

**ESTUDIO DE LOS FACTORES A CONSIDERAR EN LA REPARACIÓN DE
EMBARCACIONES EN LA EMPRESA ASTILLEROS VIKINGOS S.A.**

**GERMAN QUIROZ AMARIS
HUMBERTO YÉPEZ MARTELO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2003

**ESTUDIO DE LOS FACTORES A CONSIDERAR EN LA REPARACIÓN DE
EMBARCACIONES EN LA EMPRESA ASTILLEROS VIKINGOS S.A.**

GERMAN QUIROZ AMARIS

HUMBERTO YÉPEZ MARTELO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Mecánico**

**Director
UBALDO BARRANCO ALVAREZ
Ing. Metalúrgico**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2003

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias, D. T. Y C., 27 de Enero de 2003

Este trabajo de grado es dedicado a mis padres y hermanos por su apoyo moral, espiritual y económico para su culminación, a todos ellos que Dios los bendiga y les de prosperidad donde quiera que se encuentren.

Humberto

Esta dedicatoria está dirigida a mis padres por el apoyo y la confianza que me depositaron.

A mis hermanos por el apoyo que en cada instante me brindaron.

A mi novia por la paciencia que tuvo conmigo.

A todos les doy infinitas gracias.

Germán

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos por su contribución en esta investigación de las siguiente personas:

Al señor vicepresidente de Astilleros Vikingos S.A., ingeniero William Medina Eljack y al Ingeniero mecánico y jefe de producción Martín Cerro Rodríguez, por facilitarnos el Astilleros para realizar este proyecto, de gran importancia tanto para ellos como para nosotros.

Al ingeniero Industrial Roberto Gomez, profesor de la CUTB por su apoyo moral y su ayuda con la Empresa Tubocaribe.

Ingeniera metalúrgica Sofía Espinoza de Tubocaribe por darnos cabida a sus laboratorios, para los ensayos realizados.

Ingeniero metalúrgico Ricardo Donado Julio, gerente de Control de soldadura Ltda., por su incondicionalidad en su asesoría, referente a la soldadura.

Fernando Palma Alvarez, asesor técnico de Sika, Jorge Valera Restrepo director de Hempel, Ingeniero Roberto Guzmán, gente de Blastinaival por sus asesorías en limpieza de superficie y pinturas.

Ingeniero químico, el señor Alejandro Camargo, investigación en corrosión, por su asesoría en limpieza de superficie, pintura, protección catódica.

Aristofanes Pedroso, técnico en mediciones de potenciales.

Al ingeniero metalúrgico y director de este proyecto Ubaldo Barranco Alvarez y Nestor Reyes Murcia asesor, por darnos las guías, pautas, conocimientos sobre los diferentes temas tratados en este proyecto.

A todos muchísimas gracias.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | |
| 1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA | 4 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 5 |
| 1.2.1 Descripción del problema | 5 |
| 1.2.2 Elementos del problema | 8 |
| 1.2.3 Formulación del problema | 8 |
| 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 8 |
| 1.3.1 Objetivo general | 8 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 8 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 9 |
| 1.5 MARCO TEÓRICO | 10 |
| 1.5.1 Bases teóricas | 10 |
| 1.5.1.1 Análisis del diagrama de Pourbaix | 18 |
| 1.5.1.2 La corrosión | 19 |
| 1.5.1.3 Agentes corrosivos | 36 |
| 1.5.1.4 Limpieza de la superficie | 45 |
| 1.5.1.5 Textura superficial | 52 |
| 1.5.1.6 Pintura | 53 |

| | |
|---|-----|
| 1.5.1.7 Fundamento de la protección catódica | 85 |
| 1.5.1.8 la corrosión en la soldadura | 96 |
| 1.5.2 Marco conceptual | 124 |
| 1.5.3 Definición de términos básicos | 138 |
| 1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS | 142 |
| 1.7 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES | 143 |
| 1.8 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 143 |
| 1.8.1 Delimitación temporal | 143 |
| 1.8.2 Delimitación de espacio | 143 |
| 2. LA SOLUCIÓN | 144 |
| 2.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN | 144 |
| 2.2 IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN | 144 |
| 2.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 144 |
| 2.3.1 Información primaria | 144 |
| 2.3.2 Información secundaria | 145 |
| 2.4 RECOLECCIÓN DE DATOS | 145 |
| 2.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN | 146 |
| 2.6 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA | 149 |
| 2.6.1 Limpieza de superficie | 149 |
| 2.6.2 Soldadura | 157 |
| 2.6.3 Aplicaciones de pintura | 172 |
| 2.6.4 Consumo de recubrimiento y volumen muerto | 176 |

| | |
|---|-----|
| 2.6.5 Medición del espesor de película seca | 179 |
| 2.6.6 Diseño de un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio en embarcaciones | 192 |
| 2.7 EXPLICACIÓN DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS | 206 |
| 3. CONCLUSIONES | 207 |
| 3.1 RECOMENDACIONES | 209 |
| 4. ASPECTOS DE INFRAESTRUCTURA | 212 |
| 4.1 RECURSOS HUMANOS | 212 |
| 4.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA | 212 |
| 4.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y/O LABORATORIO REQUERIDO | 212 |
| 4.4 PLAN DE ACTIVIDADES | 214 |
| 4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 215 |
| 4.6 PRESUPUESTO | 216 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Cuadro 1. Serie de f.e.m. o de potenciales normalizados en la escala del hidrógeno | 12 |
| Cuadro 2. Análisis de los suelos | 41 |
| Cuadro 3. Clasificación de la resistividad | 41 |
| Cuadro 4. Humedad relativa | 43 |
| Cuadro 5. Punto de rocío | 44 |
| Cuadro 6. Comparación de patrones de limpieza | 51 |
| Cuadro 7. Factores de superficie | 66 |
| Cuadro 8. Factores de aplicación (Fa) | 67 |
| Cuadro 9. Ánodo de magnesio | 89 |
| Cuadro 10. Ánodos de Zinc | 89 |
| Cuadro 11. Ánodos de aluminio | 90 |
| Cuadro 12. Composición del backfill | 93 |
| Cuadro 13. Densidades de corriente | 96 |
| Cuadro 14. Significado del tercer o cuarta cifra en cuanto a la posición de la soldadura | 106 |
| Cuadro 15. Significado de los dos últimos dígitos | 107 |
| Cuadro 16. Rangos y composiciones típicas de los electrodos para acero de bajo carbón | 108 |
| Cuadro 17. Rangos típicos de corriente, velocidad y avance, de seis (6) | |

| | |
|--|-----|
| tipos de electrodos en varios diámetros de electrodos en filetes de diferentes posiciones | 112 |
| Cuadro 18. Eficiencias de deposición perdida por salpicaduras y las propiedades mecánicas de los diferentes electrodos | 114 |
| Cuadro 19. Sufijos | 115 |
| Cuadro 20. Contenido de humedad para las diferentes clases de Electrodos | 116 |
| Cuadro 21. Guía típica para la estabilización en hornos de fundentes y electrodos | 117 |
| Cuadro 22. Tamaños recomendados para cable de soldadura de cobre | 119 |
| Cuadro 23. Velocidad en diferentes posiciones, de diferentes electrodos con diferentes tamaños de electrodo | 120 |
| Cuadro 24. Intervalos típicos de corriente | 121 |
| Cuadro 25. Factor de volumen muerto | 177 |
| Cuadro 26. Perfiles de rugosidad | 181 |
| Cuadro 27. Probetas con primera capa de anticorrosivo | 182 |
| Cuadro 28. Probetas con segunda capa de anticorrosivo | 184 |
| Cuadro 29. Potenciales electródicos respecto a un electrodo de Referencia | 193 |
| Cuadro 30. Densidad de corriente mAmp/m ² | 196 |
| Cuadro 31. Características electroquímicas | 197 |
| Cuadro 32. Capacidad de corriente teórica y rendimiento | 199 |
| Cuadro 33. Medición de potenciales con respecto a electrodos de Cobre y sulfato de cobre | 205 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Diagrama de Pourbaix del sistema Fe-H ₂ O a 25° C | 11 |
| Figura 2. Sección de una pila clásica | 23 |
| Figura 3. Ejemplo de ubicación típica de corrosión – desgaste | 26 |
| Figura 4. Corrosión – erosión de la pared de un tubo de condensador | 27 |
| Figura 5. Representación esquemática del mecanismo de la corrosión – cavitación | 28 |
| Figura 6. Diagramas esquemático de interacción entre filamentos de corrosión | 30 |
| Figura 7. Esquema de la corrosión filiforme | 31 |
| Figura 8. Mecanismo de la corrosión por picadura en aluminio | 32 |
| Figura 9. Mecanismo de la corrosión intergranular en un acero inoxidable austenítico (18% Cr – 8% Ni) | 34 |
| Figura 10. Corrosión por corrientes parásitas | 35 |
| Figura 11. Variación de la velocidad de corrosión del acero con el contenido de NaCl del agua a 24° C. | 39 |
| Figura 12. Variación de la corrosión anual del acero y zinc con la velocidad del agua de mar a temperatura ambiente | 39 |
| Figura 13. Probabilidad de ataque por choque de diferentes aleaciones de cobre en agua de mar en movimiento | 40 |
| Figura 14. Reacciones de corrosión en una gota de agua de mar sobre Hierro | 71 |

| | |
|--|-----|
| Figura 15. Penetración del vapor húmedo en el área de adhesión pobre del recubrimiento | 72 |
| Figura 16. Compatibilidad entre pintura de mantenimiento industrial | 73 |
| Figura 17. Esquema de la adherencia química | 76 |
| Figura 18. Diagrama del mecanismo de ósmosis | 78 |
| Figura 19. Representación esquemática de separación de fase y ampollamiento osmótico | 79 |
| Figura 20. Electroendosmosis en el recubrimiento | 80 |
| Figura 21. Diagrama de Evans | 86 |
| Figura 22. Esquema de un sistema de protección catódica sobre la estructura del barco | 88 |
| Figura 23. Instalación típica de un ánodo de sacrificio con backfill | 92 |
| Figura 24. Sistema de protección catódica por corriente impresa | 93 |
| Figura 25. Proporciones recomendadas en ranuras para soldadura por arco según A.W.S. | 102 |
| Figura 26. Posición del electrodo de ranuras y filete | 123 |
| Figura 27. Juntas que tiene ranuras naturales y necesitan poca o ninguna preparación | 132 |
| Figura 28. Muestra de arena | 156 |
| Figura 29. Tipos de abrasivos | 156 |
| Figura 30. Ranura en V sencilla | 159 |
| Figura 31. Probetas para pruebas de tensión | 165 |
| Figura 32. Doblez de raíz | 165 |
| Figura 33. Doblez de cara | 165 |
| Figura 34. Doblez de cara y raíz | 165 |

| | |
|--|-----|
| Figura 35. Probetas previamente pintada para los ensayos | 187 |
| Figura 36. Desprendimiento catódico | 188 |
| Figura 37. Probeta para ensayo de adherencia | 188 |
| Figura 38. Tipos de ánodos de sacrificio para casco de buque | 204 |
| Figura 39. Medición del potencial en la estructura | 205 |

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Normas para la limpieza de superficie metálicas

Anexo B. Patrones fotográficos de acuerdo al estado de láminas

Anexo C. Equipos utilizados en limpieza de superficie

Anexo D. Materiales utilizados para obtener los perfiles de anclaje adecuados

Anexo E. Esquema de aplicación de pintura en una embarcación

INTRODUCCIÓN

Astilleros Vikingos S.A., es una empresa dedicada a la construcción, reparación y mantenimiento de estructuras navales, dentro de las cuales tenemos: Barcos pesqueros y comerciales, remolcadores, planchones para transporte de combustible y afines.

Se están presentando algunas fallas en los procesos involucrados en el trabajo de campo, como limpieza, soldaduras, aplicación del esquema de pintura y protección catódica de las carenas; por tal vez, no seguir al pie de la letra las normas técnicas, internacionales que prescriben los detalles con que deben ser hechas todos estos tipos de trabajos.

Hay muchas investigaciones sobre los procesos anteriormente enumerados y el Centro Nacional de Investigaciones metalúrgicas de España (Madrid), ha realizado estudios sobre la limpieza, aplicación de sistemas de pintura y protección catódica de los cascos de los buques, que están a la mano para su consulta.

Las primeras bases teóricas de la corrosión se iniciaron allá por 1818 – 1819 cuando el francés Guibourg y el inglés Hall reconocieron la presencia necesaria del oxígeno para la manifestación de la corrosión de un metal en solución acuosa. En 1894 apareció la primera protección catódica con aparallaje eléctrico (de

Brown) pero se consideró peligrosa hasta 1920, hasta que en 1923 el inglés U.R. Evans, padre de la anticorrosión moderna generalizando la noción de aireación diferencial, permitió explicar válidamente, y por consiguiente resolver, la mayoría de las dificultades.

Este proyecto está orientado para que los procesos de limpieza, soldadura, aplicación del esquema de pintura y protección catódica de la carena, se realice en la mejor forma posible siguiendo las normas técnicas adecuadas.

La importancia de esta investigación se manifestará en la calidad de las reparaciones que a partir de nuestras recomendaciones se efectúen. Este estudio permitirá dar los primeros pasos en la empresa, para la creación de un departamento de control de calidad que va a tener bajo su responsabilidad, el control de todos los procesos anteriormente mencionados.

Se han tenido muchas limitaciones, debido a la falta en la ciudad, de laboratorios que presten al público un servicio especializado de asesoría técnica y los particulares que hay son reacios a hacerlo.

En cuanto a la metodología empleada se inició el estudio consultando a personal especializado en el campo, consulta de bibliografía, consulta de internet y libros técnicos sobre códigos y normas; luego se hicieron procedimientos de soldadura, ensayos de limpieza y pintura, y se midieron potenciales de protección catódica de

un navio en el mar.

1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Estudio de los factores a considerar en la reparación de embarcaciones en la empresa Astilleros Vikingos S.A.

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Son muchas las investigaciones que se han efectuado sobre la limpieza de superficie, soldadura, aplicación de pintura anticorrosiva y protección catódica de carena de barcos, siendo una de las últimas las realizadas por el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgica de Madrid –España, por los científicos Manuel Morcillo Linares y Sebastián Feliu Matas que establecieron una serie de conceptos básicos en la tecnología de la limpieza de superficie de acero y recubrimiento con un esquema de pintura anticorrosiva, en interacción con protección catódica con ánodos de sacrificio de Zinc.

Con respecto a la soldadura, la American Welding Society (AWS) ha establecido normas y códigos que deben considerarse en la soldadura de chapa de acero al carbón, aceros inoxidable y especiales, para tener una solución de continuidad en cuanto a composición química y evitar pares bimetálicos que presentarían un severo ataque corrosivo en un medio agresivo. Además, la American Society of Mechanical Engineer (ASME) en su sección IX, contiene las normas y códigos que

tienen que ver con la preparación de procedimientos específicos de soldadura, preparación de procedimientos de calificación de soldadura, calificación del soldador, que son muy importantes para producir trabajos de buena calidad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. A pesar que Astilleros Vikingos tiene una basta experiencia en el campo de reparación y mantenimiento de estructuras navales, se están presentando fallas en el proceso de soldadura al no regirse por códigos y normas; la falta de mantenimiento y calibración de las máquinas de soldar, el mal estado de los cables trae como consecuencias fugas de corriente, amperajes y voltajes no adecuados para realizar el proceso de soldadura, dando como resultado soldadura de mala calidad (porosidad, grano grueso y fallas en el propio cordón de soldadura) induciendo a un acelerado proceso corrosivo.

Por otro lado, al no contar con horno para el correcto almacenamiento de los electrodos de soldadura y el agravante de que la humedad relativa del medio es alta, se deterioran las propiedades del electrodo y provoca pérdidas de materiales y corrosión.

Todo lo anterior influye en el bajo rendimiento y calidad de la soldadura.

En el proceso de limpieza de superficie se están presentando fallas, esto por no

contar con los equipos apropiados para determinar las variables atmosféricas o que influyen en dicho proceso. De estas variables, entre las más importantes tenemos: Punto de rocío, humedad relativa, temperatura ambiente y temperatura de la superficie.

Por otro lado, el proceso de sand-blasting se está realizando en horas de la noche, cuando la humedad relativa es demasiado alta, provocando condensación del aire sobre la superficie.

Adicionalmente, no se está dando la limpieza requerida a las zonas más críticas de la embarcación como son la obra viva y la línea de flotación.

Por último, la empresa no cuenta con un laboratorio donde puedan realizarse los análisis necesarios para verificar las características que deben cumplir las arenas para la correcta limpieza de superficie.

Concerniente a las fallas con los sistemas de pintura, estas son causadas por la incorrecta preparación de la superficie y la mala aplicación de pintura.

Al igual que en la limpieza de superficies, en el proceso de pintura no se tienen en cuenta las mismas variables atmosféricas descritas anteriormente, ni se cuentan con los equipos apropiados. Por último, pinturas en mal estado producen falla prematura.

El desgaste excesivo de los ánodos de sacrificio, se debe a los siguientes factores:

- A. Ánodos que no cumplen con el porcentaje de composición química establecido por norma. Cuando los aleantes y el porcentaje de estos no son los apropiados, el ánodo se puede pasivar no cumpliendo con la función de protección.
- B. Distribución no adecuada de los ánodos, sobre la superficie a proteger. Cuando la distribución no es la adecuada, o sea, que la superficie protegida por los ánodos es demasiado grande con respecto a su diseño, el ánodo se va a ver forzado a desgastarse más, tratando de proteger dicha superficie.
- C. Mal procedimiento de manejo de los ánodos y su respectiva instalación. Si el manejo de los ánodos no es el apropiado se incurre en el riesgo de contaminación por sustancias de tal manera que puede disminuir la eficiencia de dichos ánodos.

En cuanto a los ánodos de sacrificio, la empresa no cuenta con un diseño apropiado para llevar a cabo la debida protección de la estructura de las embarcaciones. Esto puede traer por consiguiente varios problemas como son:

- A. Pérdida de la película de pintura, cuando la protección es excesiva.
- B. Poca protección en la estructura, que conlleva a la corrosión de los metales y pérdidas excesivas de materiales en ánodos.

C. La distribución no apropiada de los ánodos en las diferentes zonas de la embarcación; timón, hélice, popa y proa.

1.2.2 Elementos del problema. Los elementos del problema se pueden resumir así: mala limpieza de superficie, poco control de factores atmosféricos, poca adherencia del sistema de pintura, soldadura de baja calidad y deficiente protección catódica.

1.2.3 Formulación del problema. ¿Mejorará la reparación de embarcaciones en la empresa Astilleros Vikingos S.A., el estudio de los factores que intervienen en ella?.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general. Estudio de los factores a considerar en la reparación de embarcaciones en la empresa Astilleros Vikingos S.A.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar el proceso de limpieza de superficie en las embarcaciones para lograr una buena adherencia del sistema de pintura y evitar la formación de óxidos.
- Establecer procedimientos de trabajo en el proceso de limpieza de superficie según normas internacionales vigentes del Sand Blasting.
- Establecer los procedimientos de soldadura eléctrica con electrodos revestidos

E6011, E7018 según normas internacionales vigentes.

- Revisar el proceso de aplicación de pintura epóxica y anticorrosiva.
- Establecer los procedimientos para la aplicación de pintura epóxicas y anticorrosivos según normas internacionales vigentes.
- Analizar los controles de la protección catódica y aplicación que se realizan actualmente en la empresa y elaborar un manual de procedimientos para su mantenimiento.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con la realización de este proyecto se van a determinar los parámetros que deben seguirse en Astilleros Vikingos, S.A., relacionado con la calidad de la limpieza de superficie, soldadura, especificación de sistemas de pintura y protección catódica en las estructuras de las embarcaciones para protegerlas de la corrosión marina. Además, se soluciona con esto, los problemas mencionados en lo concerniente a los aspectos técnicos y económicos de la empresa.

El uso de un sistema correcto y de un mantenimiento adecuado conlleva a la conservación de las estructuras en las embarcaciones y garantiza su inversión. Además, se prolonga la vida útil, reduciendo el consumo de combustible, ya que a mejor acabado de superficie se disminuye considerablemente la fricción mejorando el desplazamiento de la embarcación, debido a una menor resistencia de oposición. Para la empresa se reducen gastos y aumenta la confiabilidad de los

propietarios de las embarcaciones hacia la empresa.

El estudio de los factores en la aplicación de pintura, proceso de limpieza de superficie (como el Sand Blasting, lijado a mano, limpieza con cepillo metálico), proceso de soldadura y protección catódica rigiéndose bajo normas internacionales vigentes, conlleva a la optimización de los procesos que en dicha empresa se llevan a cabo.

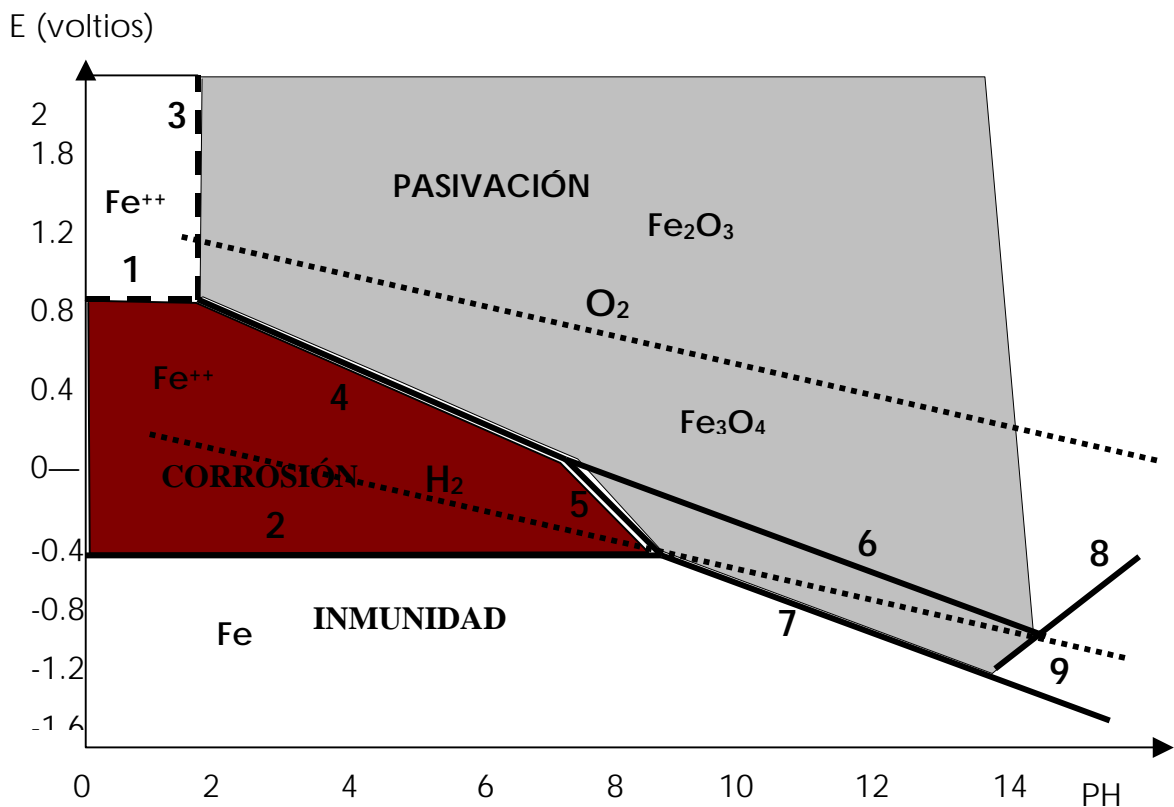
1.5 MARCO TEÓRICO

Las bases teóricas son fundamentales por que permiten la comprensión de los diversos problemas que se presenta en cada uno de los procesos a desarrollar y además de tomar correctivos necesarios para la misma.

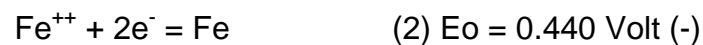
1.5.1 Bases teóricas. En el agua de mar se presentan todos los tipos básicos de corrosión. Raras veces ocurre en el agua de mar un ataque esencialmente uniforme; frecuentemente, la corrosión marina toma la forma de ataque localizado en determinada zona del componente metálico, permaneciendo inalteradas las restantes. Como casos típicos de corrosión por el agua de mar, por ejemplo, tenemos la formación picaduras del acero inoxidable 18/8, descincificación de los latones con altos contenido de zinc, la fatiga con corrosión de las palas de una hélice de bronce, etc.

Esencialmente los diagramas Pourbaix son diagramas isotérmicos que representan las relaciones metal – ión – óxido en función de las coordenadas potencial – PH. Observando el diagrama del hierro en agua, se concluye que cada especie por ejemplo el Fe^{++} , existe dentro de una región termodinámica, y sus bordes representan equilibrios entre Fe^{++} y otras especies: Fe, Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , Fe^{3+} (Ver figura 1).

Figura 1. Diagrama de Pourbaix del sistema Fe-H₂O a 25° C



Si tomamos las líneas horizontales encontramos los siguientes equilibrios:



Para calcular los potenciales, tomaremos los siguiente criterios:

A. Los valores de Eo, serán los de reducción en el cuadro 1.

Cuadro 1. Serie de f.e.m. o de potenciales normalizados en la escala del hidrógeno

| Electrodo | Reacción | Potencial normalizado de reducción 0.25°C en la escala del hidrógeno |
|---|---|--|
| Sodio, Na ⁺ ; Na | Na ⁺ + e = Na | -2.712 |
| Magnesio, Mg ²⁺ ; Mg | Mg ²⁺ + 2e = Mg | -2.340 |
| Berilio, Be ²⁺ ; Be | Be ²⁺ + 2e = Be | -1.700 |
| Aluminio, Al ³⁺ ; Al | Al ³⁺ + 3e = Al | -1.670 |
| Titanio, Ti ³⁺ ; Ti | Ti ³⁺ + 3e = Ti | -1.630 |
| Manganeso, Mn ²⁺ ; Mn | Mn ²⁺ + 2e = Mn | -1.050 |
| Zinc, Zn ²⁺ ; Zn | Zn ²⁺ + 2e = Zn | -0.762 |
| Cromo, Cr ³⁺ ; Cr | Cr ³⁺ + 3e = Cr | -0.710 |
| Hierro, Fe ²⁺ ; Fe | Fe ²⁺ + 2e = Fe | -0.440 |
| Cadmio, Cd ²⁺ ; Cd | Cd ²⁺ + 2e = Cd | -0.402 |
| Cobalto, Co ²⁺ ; Co | Co ²⁺ + 2e = Co | -0.277 |
| Níquel, Ni ²⁺ ; Ni | Ni ²⁺ + 2e = Ni | -0.250 |
| Estaño, Sn ²⁺ ; Sn | Sn ²⁺ + 2e = Sn | -0.136 |
| Plomoo, Pb ²⁺ ; Pb | Pb ²⁺ + 2e = Pb | -0.126 |
| Hidrógeno, H ⁺ ; H ₂ , Pt | H ⁺ + e = 1/2 H ₂ | 0.000 |
| Cúprico, cuproso, Cu ²⁺ , Cu ⁺ , Pt | Cu ²⁺ + e = Cu ⁺ | 0.153 |
| Calomel (saturado), Cl ⁻ ; Hg ₂ Cl ₂ (S), Hg | 1/2 Hg ₂ Cl ₂ + e = Hg + Cl ⁻ | 0.242 |
| Calomel, Cl ⁻ , Hg ₂ Cl ₂ (S), Hg | 1/2 Hg ₂ Cl ₂ + e = Hg + Cl ⁻ | 0.268 |
| Cobre, Cu ²⁺ ; Cu | Cu ²⁺ + 2e = Cu | 0.345 |
| Oxígeno, O ₂ ; OH ⁻ , Pt | 1/2 H ₂ O + 1/4 O ₂ + e = OH ⁻ | 0.401 |
| Cobre, Cu ⁺ , Cu | Cu ⁺ + e = Cu | 0.522 |
| Férrico, ferroso, Fe ³⁺ ; Fe ²⁺ , Pt | Fe ³⁺ + e = Fe ²⁺ | 0.771 |
| Plata, Ag ⁺ ; Ag | Ag ⁺ + e = Ag | 0.800 |
| Platino, Pt ²⁺ ; Pt | Pt ²⁺ + 2e = Pt | 1.200 |
| Oro, Au ³⁺ ; Au | Au ³⁺ + 3e = Au | 1.420 |

B. Las reacciones electroquímicas las escribiremos siempre en la forma descrita en (1) y (2), esto es, la forma oxidada a la izquierda y la reducida a la derecha o sea la forma de reacción de reducción, pero con el signo igual .

C. La ecuación de Nernst la aplicación en la siguiente forma:

$E = E_0 + 2.3 \frac{RT}{ZF} \text{Log} \frac{\partial_{\text{oxid}}}{\partial_{\text{red}}}$, donde E es el potencial de media celda, E₀ es el potencial estándar de la media celda, R es la constante de los gases, T la temperatura absoluta, Z el número de electrones transferidos, F es la constante de Faraday, ∂_{oxid} , ∂_{red} son las actividades (concentraciones) de las especies oxidadas y reducidas. El potencial de media celda se hace más positivo a medida que la cantidad de sustancia oxidada se incrementa, y para un incremento de esta sustancia en diez veces, el potencial de media celda se incrementa en 59 milivoltios.

Aplicando los conceptos anteriores a nuestro caso, tenemos:

$$E_1 = 0.771 + 0.059 \text{Log} \frac{\text{Fe}^{+++}}{\text{Fe}^{++}}$$

Para $\text{Fe}^{+++} = 10^{-6}$ y $\text{Fe}^{++} = 10^{-6} \rightarrow E_1 = 0.771$ volts. que corresponde a la línea 1 (Ver figura 1).

$$E_2 = -0.440 + \frac{0.059}{2} \text{Log} (\text{Fe}^{2+})$$

Como en las ecuaciones anteriores no entra la concentración del hidrógeno, el potencial no dependerá del PH, sino de las concentraciones.

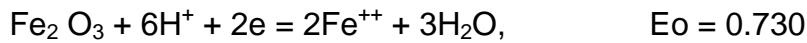
Fe⁺⁺ igual a 10⁻⁶ moles por litro, el potencial de la ecuación (2) será:

$$E_2 = -0.440 + \frac{0.059}{2} \text{Log } 10^{-6}$$

$$E_2 = -0.617 \text{ voltios}$$

Esta línea será la marcada en los diagramas Pourbaix como límite entre regiones Fe⁺⁺ - Fe, con el número 2. (ver figura 1)

Las líneas inclinadas representan equilibrio que involucran electrones e iones hidrógeno:



$$E_4 = E_0 \left(\frac{\text{Fe}^{++}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \right) + \frac{RT \text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3)(\text{H}^+)^6}{2F(\text{Fe}^{++})^2(\text{H}_2\text{O})^3}$$

$$E_4 = 0.730 + \frac{RT}{2F} \text{Log} \frac{(\text{H}^+)^6}{(\text{Fe}^{++})^2}$$

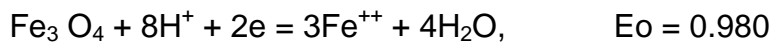
$$E_4 = 0.730 + \frac{3RT}{F} \text{Log}(\text{H}^+) - \frac{RT}{F} \text{Log}(\text{Fe}^{++})$$

$$E_4 = 0.730 + 0.177 \text{Log.} (\text{H}^+) - 0.059 \text{Log.} (\text{Fe}^{++})$$

$$E_4 = 0.730 - 0.177 \text{PH} - 0.059 \text{Log.} (\text{Fe}^{++})$$

$$E_4 = 0.730 - 0.177 \text{PH} + 0.059 \times 6$$

$$E_4 = 1.084 - 0.177 \text{PH}, \text{ esta recta es la No. 4}$$

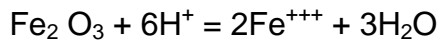


$$E_5 = 0.980 + \frac{0.059}{2} \text{Log} \frac{(\text{H}^+)^8}{(\text{Fe}^{++})^3}$$

$$E_5 = 0.980 - 0.236 \text{PH} - 0.0885 \text{Log.} (\text{Fe}^{++})$$

$$E_5 = 1.511 - 0.236 \text{PH}, \text{ esta recta es la No. 5}$$

La línea vertical depende del PH de la reacción, porque corresponde a la reacción siguiente donde no hay oxidación ni reducción, y no hay un potencial definido único.



$$\text{Log } K_3 = 2 \log. (\text{Fe}^{+++}) - \text{Log } (\text{H}^+)^6, \text{ donde } K_3 = \frac{[\text{Fe}^{3+}]^2}{[\text{H}^+]^6}$$

$$\text{Log } K_3 = 2 \text{Log } (\text{Fe}^{+++}) + 6\text{PH}$$

$$\text{Log } (\text{Fe}^{+++}) = \frac{1}{2} \text{Log } K_3 - 3\text{PH} , \quad \text{para } K_3 = 7.943$$

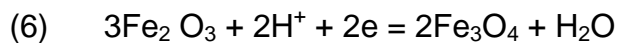
$$\text{Log } (\text{Fe}^{+++}) = 0.45 - 3\text{PH}$$

$$3\text{PH} = 6 + 0.45$$

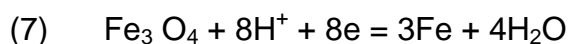
PH = 2.15 (para concentración de Fe^{+++} de 10^{-6} moles / litros) y se localizará hacia la izquierda para mayores concentraciones de ión férrico.

La existencia de algunos iones como CN^- , Cl^- , oxalato, etc. pueden extender el dominio de la región de corrosión por formación de complejos solubles. Otros iones pueden precipitar compuestos no protectores como el caso del CO_2 disuelto, el cual se ioniza como HCO_3^- y CO_3^{2-} formando películas de FeCO_3 en la región de estabilidad del Fe_3O_4 , resultando en corrosión en lugar de protección. La protección se restaura si al agua se le agrega suficiente calcio capaz de precipitar todo el CO_2 como CaCO_3 .

Las reacciones 6 y 7 son así mismo:

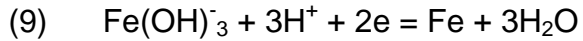
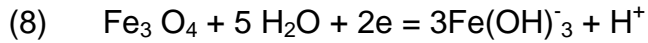


$$E_o = 0.196 \text{ voltios}$$



$$E_o = -0.096 \text{ voltios}$$

El diagrama finaliza con la representación de las reacciones 8 y 9, que son:



Dos reacciones no relacionadas directamente con el sólido sino con el medio, la reducción de los iones H^+ a H_2 y la de las moléculas de O_2 a OH^- , son importantes para finalizar la útil conformación de un sencillo diagrama de Pourbaix para el hierro en agua.

Así, para el hidrógeno:



$$E = E_0 + \frac{0.059}{2} \text{Log} (\text{H}^+)^2$$

De donde:

$$E = -0.059 \text{ PH}$$

Y para el oxígeno:



$$P_{\text{O}_2} = 0.2 \text{ atmósferas}$$

$$E = E_0 + \frac{0.059}{4} \log \frac{P_{\text{O}_2}}{[\text{OH}^-]^4}$$

$$E = 1.217 - 0.059 \text{ PH}$$

Estas dos ecuaciones se representan en la figura 1 por medio de dos líneas punteadas señaladas con un H₂ y un O₂ respectivamente.

1.5.1.1 Análisis del diagrama de Pourbaix. Un potencial eléctrico dado se puede imprimir sobre una superficie metálica sumergida en un medio acuoso de varias maneras: una es por contacto con una fuente externa de energía eléctrica, otra es por contacto con otro metal diferente y otra es por la adición al medio acuoso de sustancia oxidantes o reductoras.

Después de este recordatorio se puede iniciar el análisis del sistema Fe – H₂O, a la luz del diagrama de Pourbaix. Si se imagina la superficie de hierro a un potencial eléctrico mayor que 0.770 voltios y PH menor que 2.15, en esta situación el hierro se comporta mal en medio acuoso.

De igual manera se puede argumentar que a PH menores que 2.15 y potenciales superiores a –0.617 voltios, el equilibrio electroquímico sólo se consigue para actividades del ión Fe²⁺ superiores a 10⁻⁶M. Así entonces a PH menor que 2.15 y potenciales entre +0.77 voltios y –0.617 voltios la especie estable es el Fe²⁺. A potenciales de reducción menores que –0.617 voltios el equilibrio electroquímico se alcanza con actividades de los iones Fe²⁺ más pequeñas que 10⁻⁶M, lo cual significa que por debajo de un potencial de –0.617 voltios el hierro es inmune al ataque corrosivo del agua. Esta circunstancia es la base del método de protección catódica. Si las condiciones de potencial y PH llevan a las zonas de estabilidad

del Fe_3O_4 y del Fe_2O_3 se presenta con el tiempo una condición de pasividad en la cual el óxido formado impide el posterior desgaste del metal. Este hecho es la base del método de control de la corrosión por inhibidores o por pasivación con protección anódica. Las líneas punteadas, por otra parte, indican la zona de estabilidad del agua; por encima de la línea del O_2 el sistema es capaz de descomponer el agua produciendo O_2 gaseoso. Debajo de la línea del H_2 el sistema es capaz de descomponer el agua produciendo H_2 .

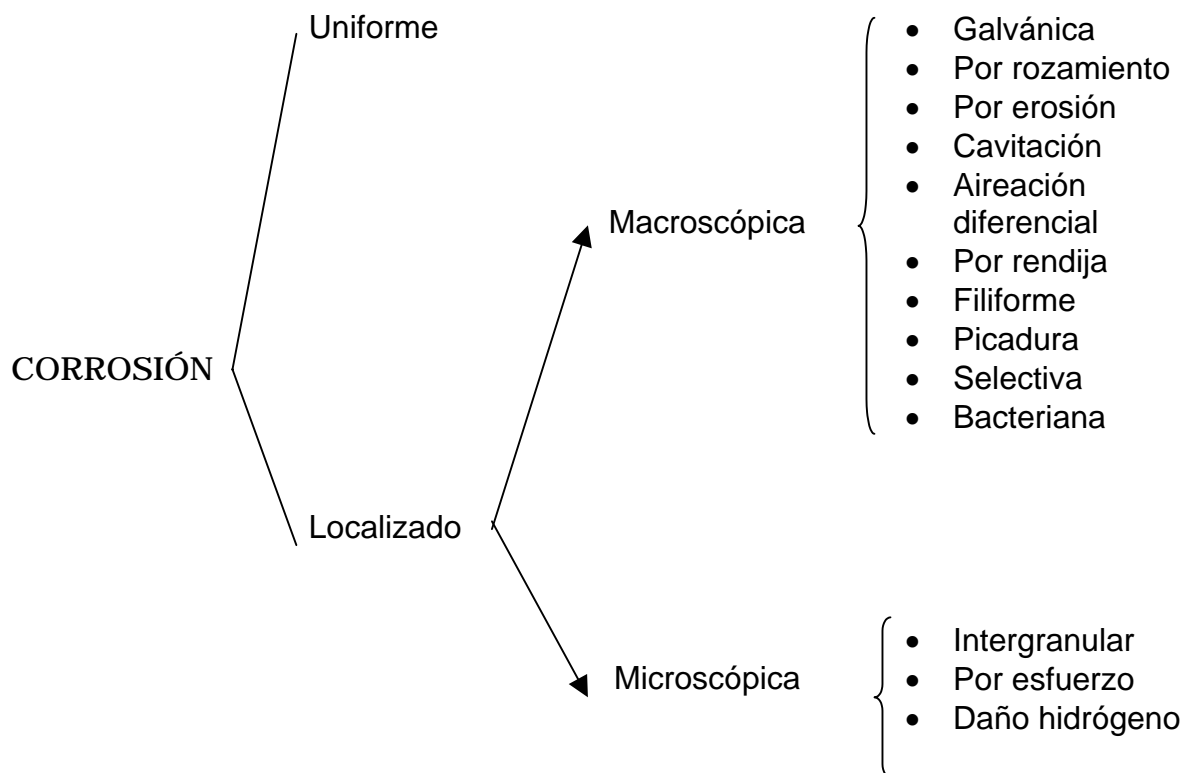
1.5.1.2 La corrosión. Se define como el deterioro de un metal debido a la reacción con su medio ambiente. La corrosión en la estructura de los aceros es un proceso electroquímico. Para que el proceso de corrosión ocurra, debe existir diferencias de potencial sobre la superficie. Estas áreas deben estar eléctricamente conectadas y en contacto con el electrolito. Hay cuatro componentes en una celda de corrosión, ánodo, cátodo, metal, electrolito.

A continuación, se presentan todos los tipos básicos de corrosión que pueden presentarse a bordo de embarcaciones sometidas a la atmósfera marina.

Formas y mecanismos de corrosión. La corrosión ha sido clasificada según la forma o el mecanismo que la origine. Muchas formas de corrosión pueden ser identificadas por simple observación visual, otras requieren de la ayuda de un medio óptico (microscopio) y en otros casos es necesario el conocimiento de las condiciones de operación para identificarla.

Algunas formas de corrosión son únicas pero la mayoría de ellas están mas o menos interrelacionadas. Como no todos los tipos de corrosión tienen una morfología propia, lo más indicado es hacer una clasificación en uniforme y localizada, subdividiendo estas últimas en macroscópica y microscópica, dependiendo, de si la corrosión ocurre superficial o internamente, en un material metálico.

A continuación se presenta esta manera de clasificación. Posteriormente se describe con detalles los tipos de corrosión que serán tratados en el campo, ya que son los que ocasionan un mayor daño al equipo de superficie.



A. **Corrosión uniforme.** Esta forma de corrosión está caracterizada por un desgaste general de la superficie del metal. Todos los metales están sujetos a este tipo de ataque bajo alguna condición. Es la forma más común y no tan grave de corrosión. Un ataque de esta naturaleza permite calcular fácilmente la vida útil de los materiales.

Su mecanismo está basado en la formación de ánodo y cátodo cercanos e intercambiables sobre la superficie metálica.

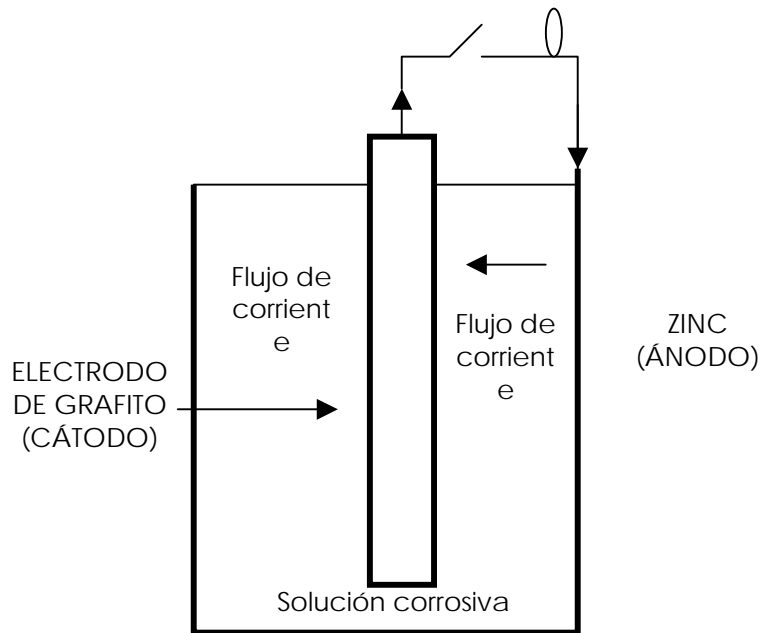
Este tipo de corrosión se da principalmente cuando los metales están expuestos a los ácidos, aunque se puede presentar también en ambiente atmosférico, en agua aireada, en suelo, etc.

B. Corrosión localizada. Puede definirse como un ataque sobre la superficie de un metal en áreas o zonas pequeñas. Usualmente ocurre bajo condiciones en las cuales las grandes partes de la superficie original no son atacadas o lo son en menor grado en los sitios localizados.

C. Corrosión galvánica. Normalmente cuando se sumergen dos materiales diferentes en una solución corrosiva o conductora, se establece un potencial eléctrico entre los dos, una corriente de electrones fluye y causa una corrosión en el ánodo.

La fuerza activante para la corriente eléctrica y para la corrosión es la diferencia de potencial entre los metales. La figura 2 muestra una pila clásica, el electrodo de grafito actúa como material noble (resistente a la corrosión), entonces es cátodo, mientras que el zinc se corroe produciendo electrones, entonces es ánodo. En este caso, la corriente del zinc se aprovecha directamente para producir corriente eléctrica.

Figura 2. Sección de una pila clásica



A continuación se tiene la serie galvánica de algunos metales comerciales y aleaciones, en agua de mar:

Serie galvánica de algunos metales comerciales y aleaciones en agua de mar:

Extremo activo o anódico

- Magnesio y aleaciones de magnesio
- Zinc
- Aluminio comercialmente puro (1100)
- Cadmio
- Aluminio 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)

- { Acero o hierro
- { Hierro (Cast)
- Acero al cromo (activo), 13% Cr
- Acero alto en níquel
- { Acero inoxidable 18-8 (Activo)
- { Acero inoxidable 18-8 Mo (Activo)
- Soldadura estaño – plomo
- Plomo
- Estaño
- { Níquel (Activo)
- { Inconel (activo) 80 Ni – 13 Cr, 7 Fe
- { Hasteloy B, 60 Ni, 30 Mo, 6Fe, 1 Mn
- { Chlorimet 2, 66 Ni, 32 Mo, 1 Fe
- { Latones, Cu Zn
- { Cobre
- { Bronces, Cu Sn
- { Cupro – níquel, 60 – 90 Cum, 4-10 Ni
- Monel 70 Ni, 30 Cu
- Soldadura de plata
- { Níquel pasivo
- { Inconel pasivo

- { Acero al cromo pasivo
- { Acero inoxidable 18-8 pasivo
- { Acero inoxidable 18-8 Mo Pasivo
- { Hastelloy C (62Ni, 17 Cr, 15 Mo)
- { Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
- Plata
- Titanio
- Grafito
- Oro
- Platino
- Extremo noble ó catódico

Esta serie fue preparada por “The international nickel company “ para pares galvánicos en agua de mar. Aquellos grupos de materiales reunidos por un paréntesis se pueden juntar sin que se presente corrosión galvánica apreciable. En general, entre mayor separación tengan en la serie, más peligroso es el par que puedan formar.

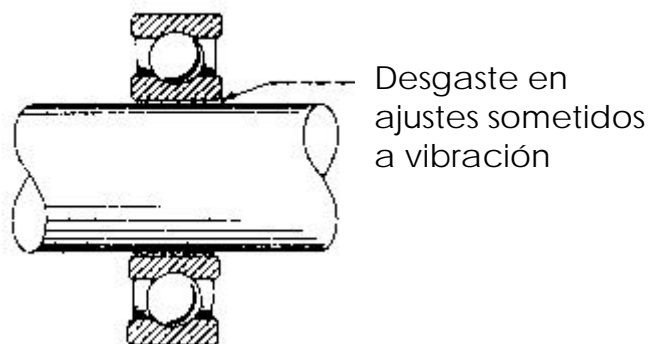
D. Corrosión por rozamiento. Trata de una corrosión localizada que se presenta en el área de contacto entre materiales bajo carga y sometidos a vibración y a deslizamiento; se forman picaduras y hoyos en el metal, rodeado de productos de corrosión. Este tipo de corrosión se observa en partes de

motores, componentes de automóviles, partes atornilladas y otras máquinas. Este es un caso especial de corrosión – erosión y se presenta primordialmente en atmósfera más que en condiciones acuosas.

La corrosión por rozamiento es muy perjudicial porque destruye los componentes metálicos y produce óxido lo que puede llevar a una pérdida de tolerancia y a un aflojamiento de partes sometidas a presión.

La figura 3, muestra un caso típico de corrosión por rozamiento. Cuando un cojinete de bola está sometido a presión sobre un eje, la corrosión puede llevar a un aflojamiento seguido por falla.

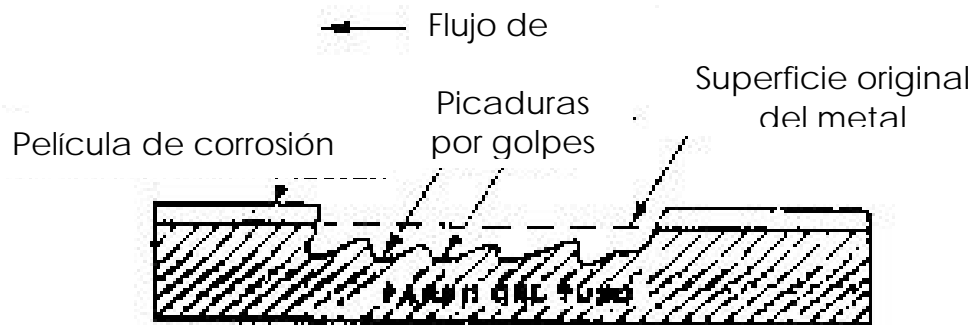
Figura 3. Ejemplo de ubicación típica de corrosión – desgaste



E. Corrosión por erosión. Es la aceleración del ataque corrosivo de un metal, debido al movimiento relativo entre el medio corrosivo y la superficie del metal. Cuando este movimiento es bastante rápido, ocurre un efecto de desgaste mecánico o de abrasión; se disuelve metal en forma de iones o se forman

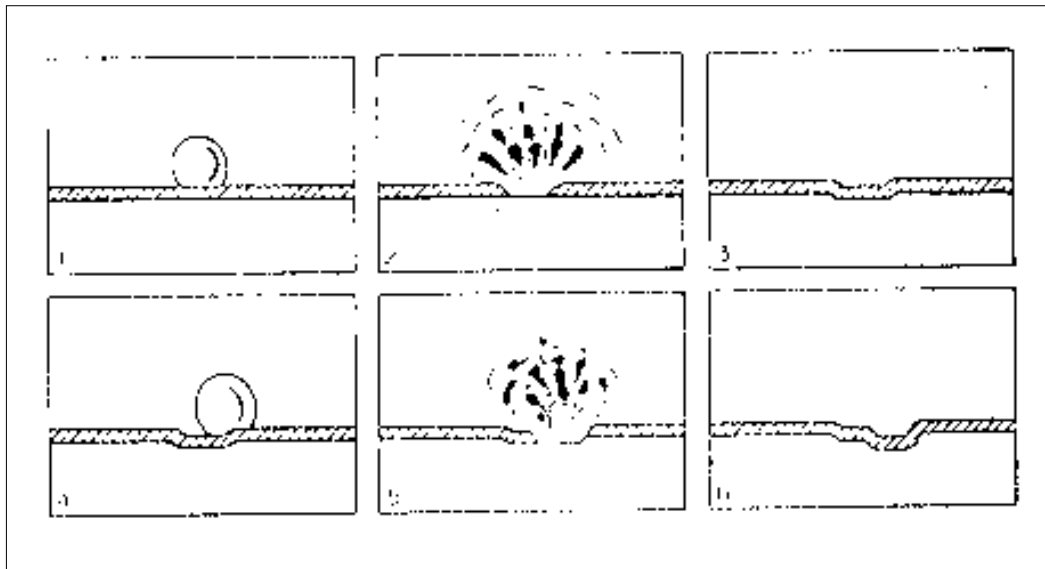
productos de corrosión, los cuales son llevados por el flujo líquido (Ver figura 4).

Figura 4. Corrosión – erosión de la pared de un tubo de condensador



F. **Daño por cavitación.** El daño por cavitación es una forma especial de corrosión – erosión, debido a la formación y al colapso de las burbujas de vapor en un líquido cerca de la superficie metálica, lo cuál se presenta en tuberías hidráulicas, hélice de barco, impulsador de bomba, y en otras superficies, sobre las cuales se encuentran líquidos a alta velocidad con cambio de presión (Ver figura 5).

Figura 5. Representación esquemática del mecanismo de la corrosión – cavitación



G. Corrosión por areación diferencial. La diferencia de concentración de oxígeno produce una diferencia de potencial dando origen a flujos de corrientes. Este tipo de celda es la causa de los daños internos en ranuras, en el acoplamiento de dos tuberías o en conexiones roscadas, debido a que la concentración de oxígeno es menor en el interior de la rosca que en los demás lugares. También es la causa de picaduras que se forma bajo la capa de herrumbre en la línea de agua (cara de contacto agua – aire).

H. Filiforme. La corrosión en forma de filamentos que se presenta sobre una superficie metálica recubierta, es un caso especial de corrosión en grietas. A este tipo de corrosión se le llama a veces “ Corrosión bajo de película” y es

muy frecuente sobre la superficie de las latas de alimentos o bebidas expuestas a una atmósfera húmeda.

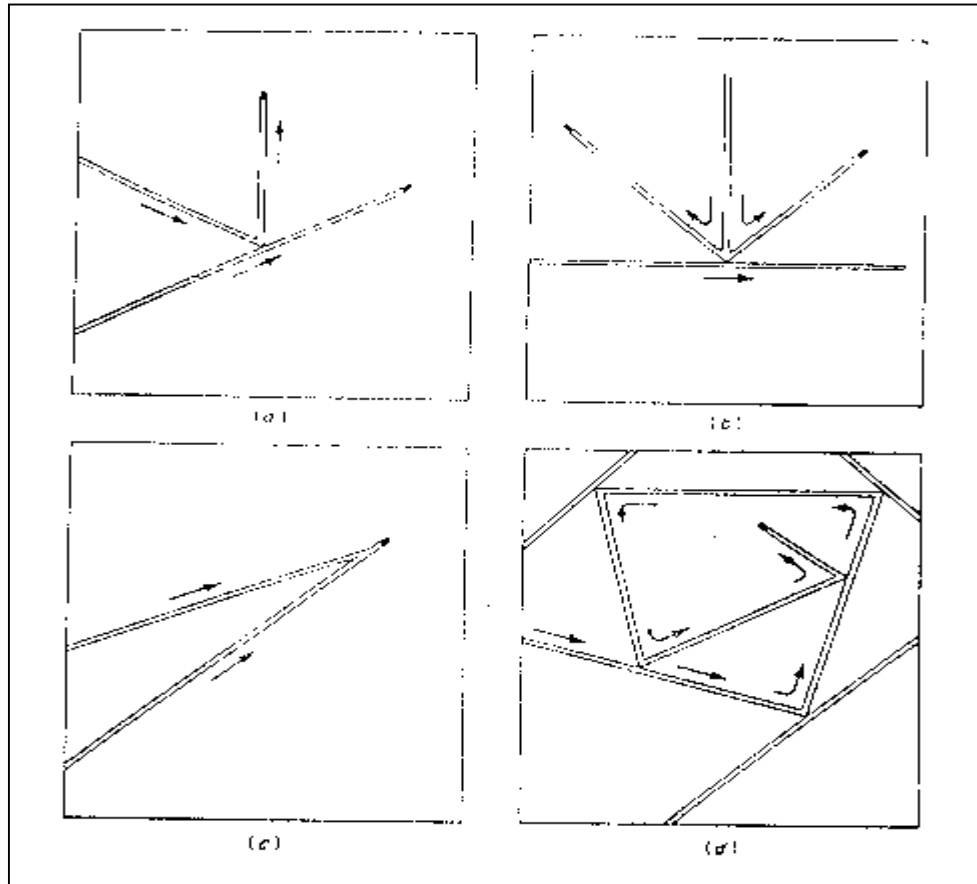
Se ha observado este tipo de corrosión sobre acero, magnesio y aluminio recubiertos con estaño, plata, oro, fosfato, esmalte o laca. Esta corrosión no destruye mucho material metálico, pero causa daño a la apariencia del producto. No se afecta el contenido de las latas, pero se disminuyen las ventas por el aspecto desagradable de las mismas.

El ataque aparece debajo de películas transparentes, como una red de líneas (filamentos) de productos de corrosión, con una “cabeza” activa de color azul-verde, “cola” de productos de corrosión de color rojo-café. El espesor del filamento es de 1/10 de pulgada o menos y la corrosión se presenta en la punta (cabeza activa). El color de las partes se explica por el grado de oxidación del ión del hierro, el color azul – verde es característico de los iones ferrosos Fe^{+2} , el color rojo – café es característico de los iones férricos.

La figura 6 muestra los interesantes fenómenos de interacción, que ocurren entre los filamentos durante el crecimiento. Las flechas indican la dirección de crecimiento de los filamentos; se observan disociaciones, asociaciones y la “trampa de muerte” como se indica en la figura.

Figura 6. Diagramas esquemático de interacción entre filamentos de corrosión.

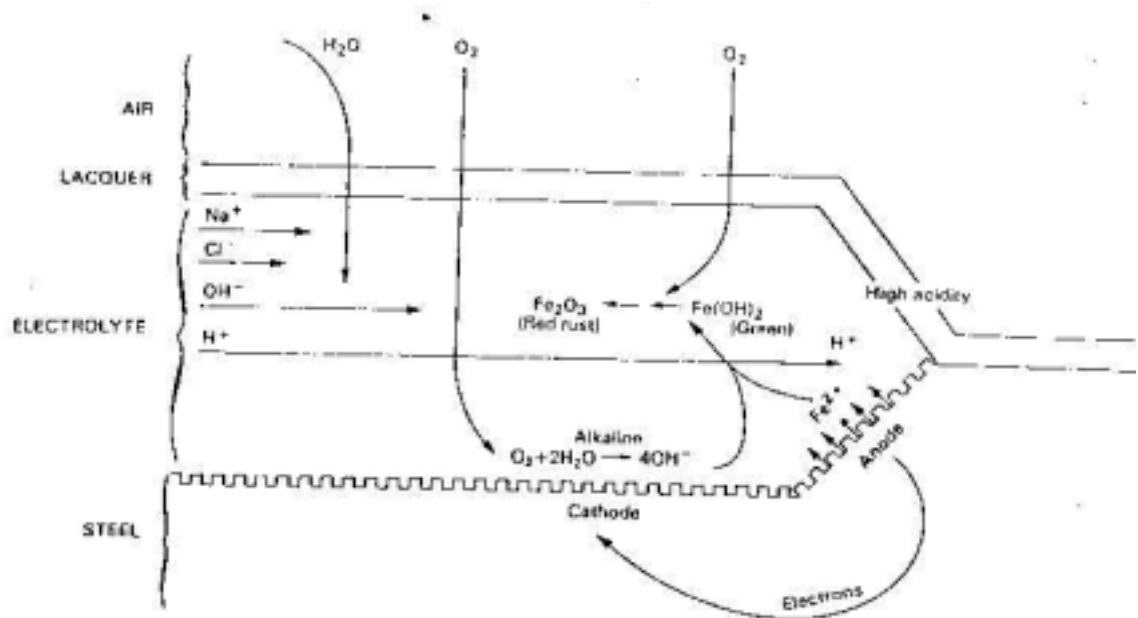
(a) Reflexión (b) Disociación (c) Asociación (d) Trampa de muerte



El mecanismo electroquímico de la corrosión filiforme, se representa en la figura

7.

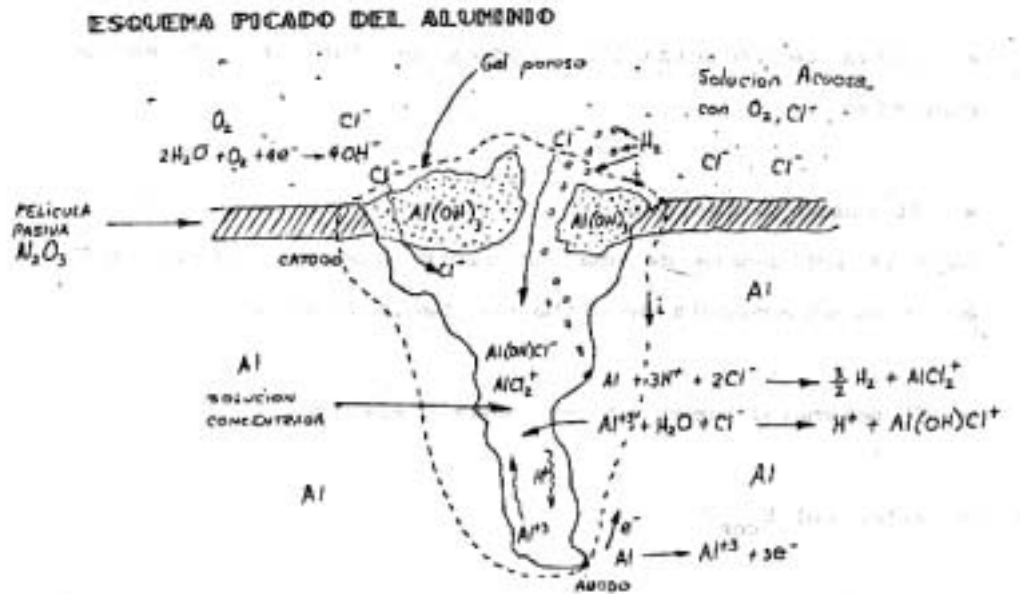
Figura 7. Esquema de la corrosión filiforme



- I. **Corrosión por picadura o pitting.** Es una forma de corrosión localizada, la cual resulta en agujeros o cavidades que inician en la superficie metálica. Estas cavidades pueden ser llenadas por productos de corrosión, estos a su vez pueden formar cápsula sobre las cavidades, las cuales son descritas como nódulos o tubérculos.

A continuación se ilustra este tipo de corrosión, en la figura 8.

Figura 8. Mecanismo de la corrosión por picadura en aluminio



J. **Selectiva.** Es similar al dezincificado en que uno o más componentes reactivos de la aleación se corroen preferentemente, dejando un residuo poroso que puede conservar la forma primitiva de la aleación. Este tipo de corrosión está limitado por lo general, a la aleación de los metales nobles, como Au – Cu y Au – Ag y se emplean prácticamente para refinar oro.

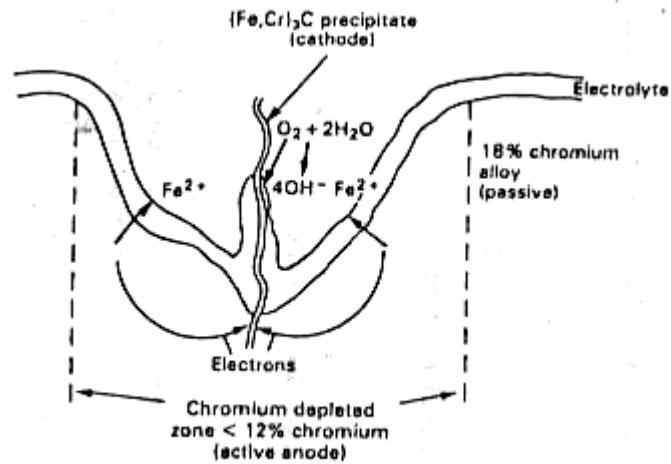
K. **Bacteriana.** Los microorganismos usualmente encontrados en agua a diferentes temperaturas, producen indirectamente deterioro de los metales, porque debido a su metabolismo ellos se alimentan de compuestos con base en azufre produciendo desechos de ácido sulfúrico en cual en diversas concentraciones se localizan indistintamente en donde aparezcan las colonias de bacterias.

Existen básicamente dos tipos de bacteria: aeróbica y anaeróbica. Las aeróbicas requieren oxígeno para su evolución y metabolismo y se concentran especialmente en la superficie de agua de enfriamiento en donde la concentración de aire es mayor.

Las anaeróbicas se localizan en los fondos debajo de depósitos o sedimentos en donde preferencialmente no entra la luz. Los desechos bacterianos atacan la aleación base cobre produciendo picadura.

L. **Corrosión intergranular.** Se presenta localizada a lo largo de los límites del grano. La forma es como una franja estrecha de ataque concentrado. Se produce fundamentalmente cuando compuestos situados en los bordes de grano son atacados por sustancias químicas. Este ataque se extiende hasta inutilizar el material. A continuación se ilustra este tipo de corrosión en el acero inoxidable austenítico con 18% de cromo, en la figura 9.

Figura 9. Mecanismo de la corrosión intergranular en un acero inoxidable austenítico (18% Cr – 8% Ni)



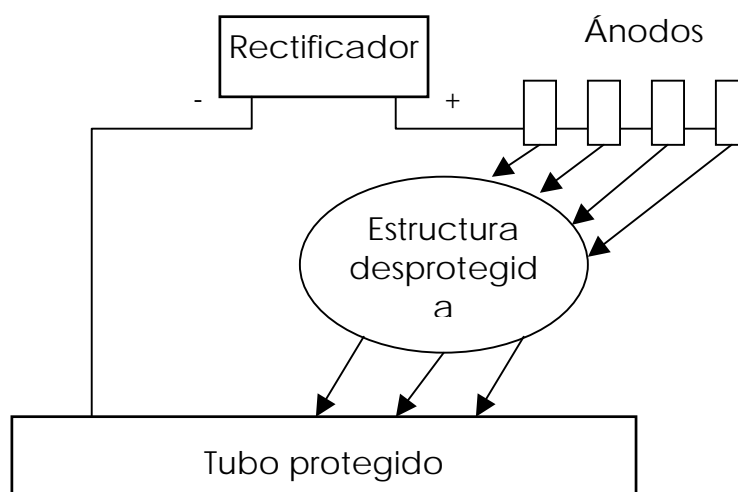
M. Corrosión por esfuerzos y tensión. Este tipo de corrosión más conocido como stress corrosion- season cracking, es el rompimiento de un metal por la acción combinada de corrosión localizada y esfuerzo residual o aplicado. La velocidad de propagación de las grietas oscilan entre 1 y 10mm/h.

N. Corrosión por hidrógeno. Este proceso de corrosión es causado por el hidrógeno que entra en el metal, bien sea por una acción de corrosión que libera hidrogeno en la superficie debido a la polarización catódica. El mecanismo de agrietamiento es producido por el desarrollo de presión interna con la liberación de hidrógeno atómico intersticial como hidrógeno molecular en oquedades y zonas favorables, bajo extrema presión, con el resultado de perdida de ductibilidad.

O. **Corrosión por temperatura.** La temperatura acelera el proceso de corrosión, además, en presencia de ambientes altamente corrosivos conlleva al deterioro del material. En el sistema de protección catódica de hierro/zinc a una temperatura mayor 60°C se invierte el proceso donde el hierro pasa a ser ánodo y el zinc cátodo.

P. **Corrosión por corrientes parásitas.** Este tipo de corrosión se da en los sistemas de protección catódica por corriente impresa, es también conocida como corriente de interferencia. La cual viaja a través del suelo electrolítico y entra en contacto con la estructura a la que no está destinada o dirigida, ver figura 10. La corriente entra a la pieza desprotegida a través del suelo de baja resistencia con el resultado de pérdida de material.

Figura 10. Corrosión por corrientes parásitas



Las fuentes que originan este tipo de corrientes son: ferrocarriles impulsados por sistemas eléctricos, maquinas de soldar, generadores termoeléctricos, metros, etc.

La severidad de corrosión por medio de corrientes parásitas depende de varios factores:

- a. Magnitud y densidad de corriente
- b. Cualidades o ausencia del recubrimiento en las superficies afectadas.
- c. La presencia de máquinas cercanas que tienen altas resistencias eléctricas.
- d. Separación entre la estructura afectada y la fuente que produce la corriente de interferencia.

Q. Corrosión erosión. Este tipo de corrosión se presenta en materiales que están sometidos a fluidos que transportan abrasivos en áreas de altas velocidades del flujo, en sitios de cambio de dirección o en zona de impacto. La intensidad del daño adicionalmente puede estar influenciando por ataque químico o disolución del estrato metálico, los cuales van acompañados de características de abrasión, por altas cantidades de sólidos en suspensión que pueden llegar a producir rotura inesperada.

1.5.1.3 Agentes corrosivos. Hay gran variedad de agentes corrosivos, que atacan a todos los metales. Estos agentes corrosivos los podemos clasificar en atmosféricos y suelos.

A. **Agentes atmosféricos.** Los agentes atmosféricos están formados por atmósferas industriales, marinas y rurales. Entre los años 1992 y 1995, en Colombia se lleva a cabo un estudio de la corrosividad atmosférica, para clasificar la agresividad de las atmósferas con base en criterios científicos.

La atmósfera en cada estación está caracterizada a partir de datos meteorológicos y contaminantes atmosféricos, temperatura, humedad relativa del aire, precipitaciones, tasa de deposición de sulfatos y cloruros.

Los principales componentes químicos que intervienen en la corrosión atmosférica son el dióxido de azufre (SO₂) y el cloruro de sodio (NaCl).

Cuando están presentes simultáneamente el cloruro y el SO₂ como en las atmósferas marinas - industriales el efecto corrosivo es evidente; el papel acelerante en la corrosión se explica por la formación de un complejo con el metal, que facilita la salida del átomo del metal mediante la reacción:



Con la posterior ruptura del complejo con la formación de iones metálicos.

La acción de los cloruros puede ser de varios tipos:

a) Como partícula sólida erosiva.

b) Como ión en el electrolito aumenta su conductividad y por lo tanto aumenta su velocidad de corrosión.

En general los cloruros son más corrosivos que los sulfatos, aún a bajas concentraciones.

En la figura 11 se relaciona la velocidad de corrosión del acero con la concentración en NaCl y contenido de oxígeno disuelto. Como se ve en esta figura, las trazas de NaCl pueden ocasionar alto nivel de corrosión en el acero, mientras en soluciones muy concentradas o saturadas son poco agresivas. La corrosión aumenta al hacerle la concentración salina de 1 a 10 gr/l. A partir de este valor, y hasta la saturación, la corrosión disminuye, al igual que la concentración en oxígeno disuelto. Dependiendo de la clase de material, un aumento de la velocidad o flujo de turbulencia puede acelerar o retardar la corrosión en la figura 12. El cobre, resiste ataque por corrosión cuando la velocidad del mar es menor en 1 m/s, a velocidades mayores experimenta fenómeno de corrosión - erosión.

Figura 11. Variación de la velocidad de corrosión del acero con el contenido de NaCl del agua a 24° C.

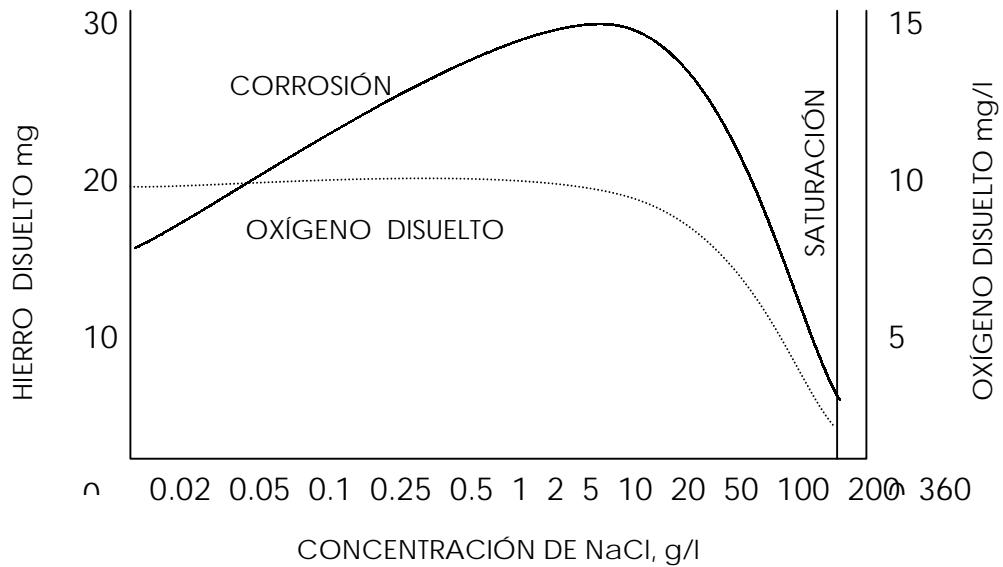
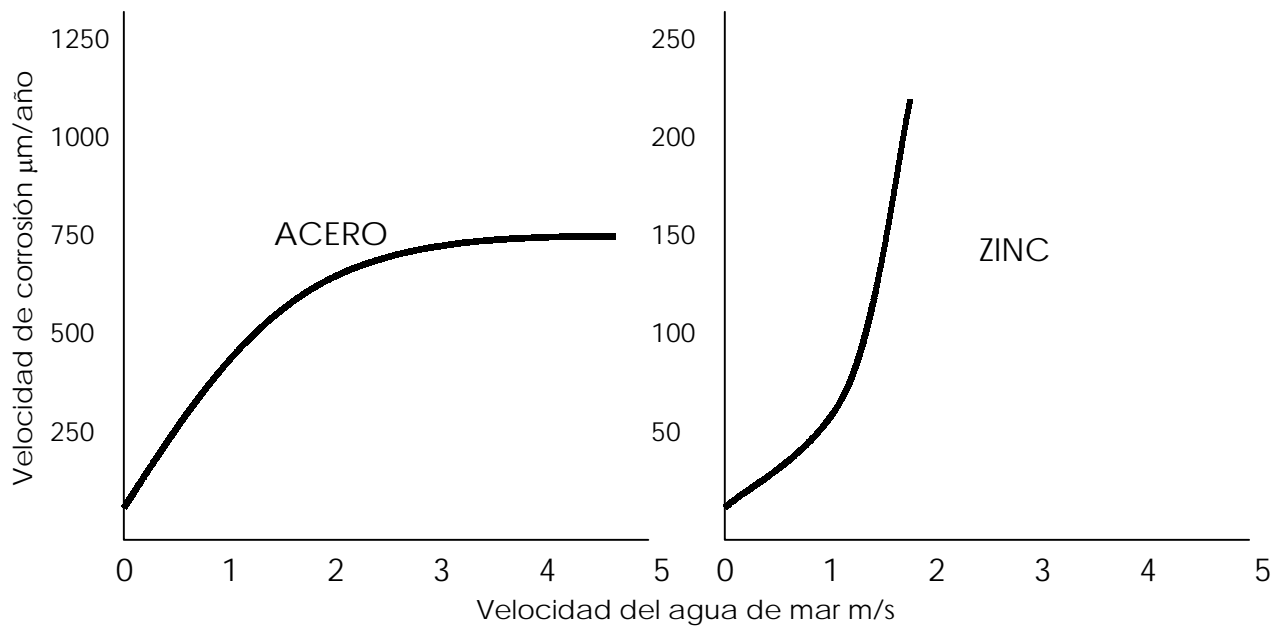
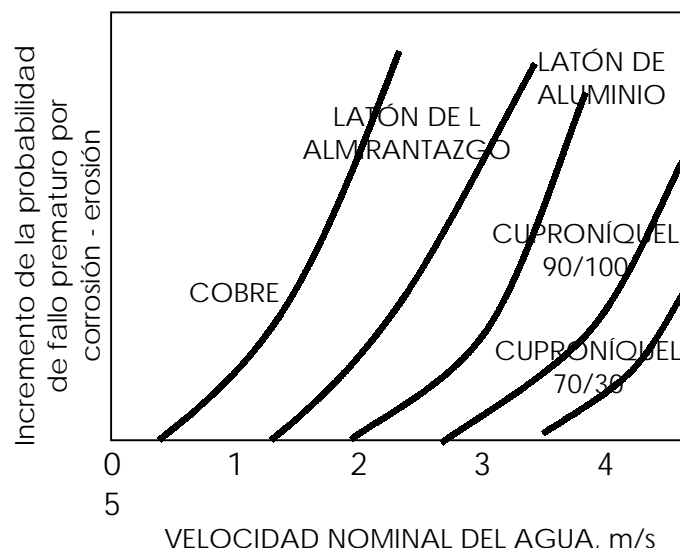


Figura 12. Variación de la corrosión anual del acero y zinc con la velocidad del agua de mar a temperatura ambiente



Se observa en la figura 13, que para el cobre la velocidad crítica del agua es de unos 2m/s, otros materiales, como el cuproníquel 70/30 puede emplearse sin peligro a velocidades elevadas.

Figura 13. Probabilidad de ataque por choque de diferentes aleaciones de cobre en agua de mar en movimiento



B. Agentes corrosivos en suelo. Hay varios factores que intervienen en la corrosividad de los materiales enterrados en los suelos. Entre estos factores tenemos: porosidad, conductibilidad eléctrica, sales disueltas, humedad, acidez o alcalinidad.

El análisis de los suelos es una prueba exitosa que ayuda a determinar los potenciales de corrosión y la aplicación de un sistema de protección catódica para prevenir la corrosión.

En el cuadro 2 se suministran las pautas en los análisis de los diferentes suelos:

Cuadro 2. Análisis de los suelos

| Constituyente | corrosivo | Muy corrosivo |
|---------------|-----------------|---------------|
| PH | 5.0 – 6.5 | < 5.0 |
| Cloruros | 300 – 1000 PPM | > 1000 PPM |
| Sulfatos | 1000 – 5000 PPM | > 5000 PPM |

La resistividad de los suelos aporta grandes informaciones sobre la corrosividad de los materiales, en el cuadro 3 se muestra la clasificación de la resistividad.

Cuadro 3. Clasificación de la resistividad

| Rango de resistividad OHM - Cm | Potencial y actividad de corrosión |
|--------------------------------|------------------------------------|
| < 500 | Muy corrosivo |
| 500 – 1000 | Corrosivo |
| 1000 – 2000 | Moderadamente corrosivo |
| 2000 – 10.000 | Medianamente corrosivo |
| > 10.000 | Poco corrosivo |

C. Humedad relativa y temperatura del aire. En Cartagena la humedad relativa y temperatura ambiente varía entre mañana, tarde y noche. Debido a estos inconvenientes debemos tomar precaución al aplicar pinturas y limpieza de superficie.

Los datos estadísticos indican que la humedad relativa en las horas de la mañana es aproximadamente de 85%; en la tarde entre 60% y 70% y en la noche de 80% y 85%.

El comportamiento de la humedad relativa es que a partir de las 8 A.m. y 9 A.m. comienza a variar desde 85% hasta alcanzar un 60% y 70% y luego comienza a variar a partir de las 3 p.m. y hasta alcanzar un 80 y 85% en la noche.

En cuanto a la temperatura, es variable, comenzando con una temperatura aproximada entre la noche, madrugada y 7 a.m. de 25° C, luego varía hasta la 1 p.m con temperatura promedio de 31 y 32° C y se mantiene hasta la 5 p.m., para descender y alcanzar de nuevo la temperatura de 25°C.

Si miramos los cuadros 4 y 5, vemos que para una humedad relativa de 80% la temperatura del punto de rocío se acerca a la temperatura ambiente que se encuentra entre 25° C y 27° C. Por razón de seguridad recomendamos aplicar pintura y limpieza de superficie como máximo a una humedad relativa de un 75%.

Cuadro 4. Humedad relativa

| °C | 40% | 42% | 45% | 47% | 50% | 52% | 55% | 57% | 60% |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | -2.9 | -2.3 | -1.3 | -0.8 | 0.1 | 0.6 | 1.4 | 1.9 | 2.6 |
| 12 | -1.1 | -0.5 | 0.5 | 1.1 | 1.9 | 2.5 | 3.3 | 3.8 | 4.5 |
| 14 | 0.6 | 1.3 | 2.3 | 2.9 | 3.8 | 4.3 | 5.1 | 5.6 | 6.4 |
| 15 | 1.5 | 2.2 | 3.2 | 3.8 | 4.7 | 5.2 | 6.1 | 6.6 | 7.3 |
| 16 | 2.4 | 3.1 | 4.1 | 4.7 | 5.6 | 6.2 | 7.0 | 7.5 | 8.3 |
| 17 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 5.6 | 6.5 | 7.1 | 7.9 | 8.4 | 9.2 |
| 18 | 4.2 | 4.9 | 5.9 | 6.5 | 7.4 | 8.0 | 8.8 | 9.4 | 10.1 |
| 19 | 5.1 | 5.8 | 6.8 | 7.5 | 8.4 | 8.9 | 9.8 | 10.3 | 11.1 |
| 20 | 6.0 | 6.7 | 7.7 | 8.4 | 9.3 | 9.9 | 10.7 | 11.2 | 12.0 |
| 22 | 7.8 | 8.5 | 9.5 | 10.2 | 11.1 | 11.7 | 12.6 | 13.1 | 13.9 |
| 23 | 8.7 | 9.4 | 10.4 | 11.1 | 12.0 | 12.6 | 13.5 | 14.0 | 14.8 |
| 24 | 9.6 | 10.3 | 11.3 | 12.0 | 12.9 | 13.5 | 14.4 | 15.0 | 15.8 |
| 25 | 10.5 | 11.2 | 12.2 | 12.9 | 13.9 | 14.5 | 15.3 | 15.9 | 16.7 |
| 26 | 11.4 | 12.1 | 13.2 | 13.8 | 14.8 | 15.4 | 16.3 | 16.8 | 17.6 |
| 27 | 12.3 | 13.0 | 14.1 | 14.7 | 15.7 | 16.3 | 17.2 | 17.8 | 18.6 |
| 28 | 13.1 | 13.9 | 15.0 | 15.6 | 16.6 | 17.2 | 18.1 | 18.7 | 19.5 |
| 29 | 14.0 | 14.8 | 15.9 | 16.5 | 17.5 | 18.1 | 19.0 | 19.6 | 20.4 |
| 30 | 14.9 | 15.7 | 16.8 | 17.5 | 18.4 | 19.1 | 20.0 | 20.5 | 21.4 |
| 32 | 16.7 | 17.5 | 18.6 | 19.3 | 20.3 | 20.9 | 21.8 | 22.4 | 23.2 |
| 33 | 17.6 | 18.4 | 19.5 | 20.2 | 21.2 | 21.8 | 22.7 | 23.3 | 24.2 |
| 34 | 18.5 | 19.3 | 20.4 | 21.1 | 22.1 | 22.7 | 23.7 | 24.3 | 25.1 |
| 35 | 19.4 | 20.2 | 21.3 | 22.0 | 23.0 | 23.7 | 24.6 | 25.2 | 26.1 |
| 36 | 20.3 | 21.0 | 22.2 | 22.9 | 23.9 | 24.6 | 25.5 | 26.1 | 27.0 |
| 38 | 22.0 | 22.8 | 24.0 | 24.7 | 25.7 | 26.4 | 27.4 | 28.0 | 28.9 |
| 39 | 22.9 | 23.7 | 24.9 | 25.6 | 26.7 | 27.3 | 28.3 | 28.9 | 29.8 |
| 40 | 23.8 | 24.6 | 25.8 | 26.5 | 27.6 | 28.2 | 29.2 | 29.8 | 30.7 |
| 42 | 25.6 | 26.4 | 27.6 | 28.3 | 29.4 | 30.1 | 31.1 | 31.7 | 32.6 |
| 43 | 26.5 | 27.3 | 28.5 | 29.2 | 30.3 | 31.0 | 32.0 | 32.6 | 33.5 |
| 44 | 27.3 | 28.2 | 29.4 | 30.1 | 31.2 | 31.9 | 32.9 | 33.5 | 34.5 |
| 45 | 28.2 | 29.1 | 30.3 | 31.0 | 32.1 | 32.8 | 33.8 | 34.5 | 35.4 |

Cuadro 5. Punto de rocío

| 62% | 65% | 70% | 75% | 80% | 85% | 90% | 95% | 100% |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3.1 | 3.7 | 4.8 | 5.8 | 6.7 | 7.6 | 8.4 | 9.2 | 10.0 |
| 5.0 | 5.6 | 6.7 | 7.7 | 8.7 | 9.6 | 10.4 | 11.2 | 12.0 |
| 6.9 | 7.5 | 8.6 | 9.6 | 10.6 | 11.5 | 12.4 | 13.2 | 14.0 |
| 7.8 | 8.5 | 9.6 | 10.6 | 11.6 | 12.5 | 13.4 | 14.2 | 15.0 |
| 8.7 | 9.4 | 10.5 | 11.6 | 12.6 | 13.5 | 14.4 | 15.2 | 16.0 |
| 9.7 | 10.4 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.3 | 16.2 | 17.0 |
| 10.6 | 11.3 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.4 | 16.3 | 17.2 | 18.0 |
| 11.6 | 12.3 | 13.4 | 14.5 | 15.5 | 16.4 | 17.3 | 18.2 | 19.0 |
| 12.5 | 13.2 | 14.4 | 15.4 | 16.4 | 17.4 | 18.3 | 19.2 | 20.0 |
| 14.4 | 15.1 | 16.3 | 17.4 | 18.4 | 19.4 | 20.3 | 21.2 | 22.0 |
| 15.3 | 16.1 | 17.2 | 18.3 | 19.4 | 20.3 | 21.3 | 22.2 | 23.0 |
| 16.3 | 17.0 | 18.2 | 19.3 | 20.3 | 21.3 | 22.3 | 23.1 | 24.0 |
| 17.2 | 18.0 | 19.1 | 20.3 | 21.3 | 22.3 | 23.2 | 24.1 | 25.0 |
| 18.2 | 18.9 | 20.1 | 21.2 | 22.3 | 23.3 | 24.2 | 25.1 | 26.0 |
| 19.1 | 19.9 | 21.1 | 22.2 | 23.2 | 24.3 | 25.2 | 26.1 | 27.0 |
| 20.0 | 20.8 | 22.0 | 23.1 | 24.2 | 25.2 | 26.2 | 27.1 | 28.0 |
| 21.0 | 21.7 | 23.0 | 24.1 | 25.2 | 26.2 | 27.2 | 28.1 | 29.0 |
| 21.9 | 22.7 | 23.9 | 25.1 | 26.2 | 27.2 | 28.2 | 29.1 | 30.0 |
| 23.8 | 24.6 | 25.8 | 27.0 | 28.1 | 29.2 | 30.1 | 31.1 | 32.0 |
| 24.7 | 25.5 | 26.8 | 28.0 | 29.1 | 30.1 | 31.1 | 32.1 | 33.0 |
| 25.7 | 26.5 | 27.7 | 28.9 | 30.0 | 31.1 | 32.1 | 33.1 | 34.0 |
| 26.6 | 27.4 | 28.7 | 29.9 | 31.0 | 32.1 | 33.1 | 34.1 | 35.0 |
| 27.5 | 28.4 | 29.6 | 30.8 | 32.0 | 33.1 | 34.1 | 35.1 | 36.0 |
| 29.4 | 30.2 | 31.6 | 32.8 | 33.9 | 35.0 | 36.1 | 37.1 | 38.0 |
| 30.4 | 31.2 | 32.5 | 33.7 | 34.9 | 36.0 | 37.0 | 38.0 | 39.0 |
| 31.3 | 32.1 | 33.5 | 34.7 | 35.9 | 37.0 | 38.0 | 39.0 | 40.0 |
| 33.2 | 34.0 | 35.4 | 36.6 | 37.8 | 38.9 | 40.0 | 41.0 | 42.0 |
| 34.1 | 35.0 | 36.3 | 37.6 | 38.8 | 39.9 | 41.0 | 42.0 | 43.0 |
| 35.0 | 35.9 | 37.3 | 38.5 | 39.7 | 40.9 | 42.0 | 43.0 | 44.0 |
| 36.0 | 36.9 | 38.2 | 39.5 | 40.7 | 41.9 | 43.0 | 44.0 | 45.0 |

1.5.1.4 Limpieza de la superficie. A pesar de que se insiste mucho sobre la importancia de una buena preparación de la superficie, el descuido es frecuente y no se cumple lo que dicen los principios y programas de mantenimiento.

Para que la pintura cumpla sus objetivos es absolutamente indispensable que se adhiera completamente al sustrato y esto sólo se consigue mediante una preparación adecuada de la superficie.

En general, el acondicionamiento de la superficie es más prolongado y costoso que la misma aplicación de la pintura; cualquiera que sea el costo, una buena preparación de superficie es garantía de éxito en la protección y seguridad de que la inversión que en ella se realice reportará ganancias en tiempo y dinero.

A. Función de la preparación de superficie. Las principales funciones de una preparación de superficie son:

- a) Limpiar el material de toda impureza que pueda ocasionar fallas prematuras en el sistema de protección.
- b) Proporcionar una superficie que pueda humectarse fácilmente para una buena adherencia del recubrimiento.

Los contaminantes típicos que se deben eliminar son: humedad, aceites, grasas, sales, óxidos, productos de la corrosión y toda clase de mugre. La calamina si

está firmemente adherida, no es necesario removerla cuando el metal se va a exponer en una atmósfera sin contaminación, pero si la pintura que se va a aplicar no tiene un buen poder humectante o si se va a someter a un medio agresivo la calamina debe eliminar totalmente.

B. Métodos de preparación de superficie.

- a) **Limpieza con solvente o ajustadores.** Realmente no es un sistema de preparación de superficie pero se utiliza para eliminar aceites grasos y otros contaminantes. La limpieza con solvente no elimina completamente la contaminación aceitosa y debe complementarse previamente lavando con agua y agentes limpiadores.

- b) **Limpieza manual.** Es la forma tradicional de remoción manual de calamina floja, pintura y óxido de acero y otras superficies, con cepillo de alambre, martillos, raquetas, papeles, telas abrasivas o la combinación de ellos.

- c) **Limpieza mecánica.** Con este método de preparación de superficie se elimina la calamina que no está firmemente adherida, las pinturas deterioradas y el óxido. Se emplean para ello maquinaria eléctrica como cepillos giratorios de alambre, discos abrasivos o pulidores.

d) Limpieza con abrasivos no metálicos

- Chorro abrasivo seco: la experiencia informa que la limpieza por este método es la más efectiva para suprimir todo tipo de impureza y especialmente para la aplicación de sistemas de pinturas sometidas a las condiciones de uso más agresivas.

En la limpieza con chorro seco se debe especificar el grado más apropiado, haciendo referencia a un patrón “estándar” visual, y el “perfil de rugosidad” especificados y controlados durante el trabajo.

El perfil de rugosidad depende de varios factores principalmente del tipo y tamaño de partículas de abrasivo empleado y del método de propulsión (aire, fuerza centrífuga).

Con el método de propulsión con aire, la presión, distancia de la boquilla y el ángulo con la superficie, son factores determinantes del perfil de rugosidad.

Con el método de propulsión centrífuga o mecánica la rapidez con que se realiza la limpieza es importante.

- Chorro abrasivo húmedo: este sistema utiliza suspensiones de abrasivos con agua a alta presión para eliminar pinturas antiguas, calamina y productos de la corrosión.

Los peligros que tiene la limpieza con chorro seco para la salud de los operarios se suprimen completamente con el chorro húmedo. “El perfil de rugosidad” y la eficiencia se regulan con la presión del agua y la concentración de abrasivos en la suspensión.

La mayor desventaja, es que el metal limpio comienza a oxidarse de inmediato, lo que no ocurre en la limpieza con chorro seco; se pueden utilizar inhibidores de corrosión en el agua pero se deben escoger con mucho cuidado porque algunos pueden afectar las propiedades de las pinturas aplicadas. Dependiendo del nivel de oxidación superficial y de las condiciones a las cuales van a estar sometidos el equipo, puede no necesitar inhibidor.

e) **Limpieza con abrasivos metálicos.** En general hoy en día se utilizan distintos abrasivos metálicos:

Granalla y perdigones, que son elementos metálicos utilizados como abrasivos en la preparación de superficies.

El perdigón tiene una forma esférica mientras que la granalla tiene una forma con arista, las cuales producen un corte mayor para la consecución del perfil de rugosidad.

- f) **Limpieza con chorro de agua a altas presiones.** Esta limpieza está bajo norma. De acuerdo con ésta, el chorro de agua es enviado a presiones superiores a 70 Mpa. La limpieza con chorro de agua no produce perfil de anclaje, si no el que tenía la superficie.

- g) **Limpieza con baño químico.** Es un antiguo sistema empleado para eliminar la calamina del acero. Existen varios procesos que se utilizan todavía, entre ellos el sistema duplex de ácidos agresivos y pasivadores. Una desventaja de los baños químicos es que dejan el acero limpio, no generan “perfil de rugosidad” necesario para la adherencia de pintura de alto espesor, para condiciones de máxima agresividad.

- h) **Limpieza con llama.** Como método de la preparación de la superficie es el menor utilizado actualmente. Lo mismo que la preparación manual a los grados más bajas de limpieza con chorro, la llama no elimina totalmente la calamina, firmemente adherida o el óxido; por consiguiente, no es aceptable para sistema de pinturas de alta resistencia. Las principales ventajas de limpieza con llama son: la remoción de algunos contaminantes químicos y la superficie tibia y seca que ayuda al secamiento inicial de las primeras manos de anticorrosivos, asegurando una buena adherencia.

C. **Estructura imprimadas.** Las estructuras que han sido limpiados con chorro abrasivo y luego impreso antes de darle forma, necesitan siempre un tratamiento

previo de limpieza antes de aplicarles el sistema de pintura definitiva. Todas las zonas afectadas por golpes, esfuerzos mecánicos, calor o diferencia en el imprimado pueden oxidarse y se deben tratar nuevamente con chorro o por medios manuales hasta obtener un patrón apropiado de limpieza.

En estos casos la limpieza con chorro es necesaria cuando se van a aplicar sistemas de pintura de alta resistencia físico-químico. También se recomienda esta limpieza para soldadura y pieza adyacente que no hallan sido imprimados después de soldar.

D. Metales no ferrosos y acero galvanizado

a) **Aluminio.** La limpieza con solvente, vapor y pretratamiento químico reconocidos, son métodos utilizados como preparación del aluminio. Generalmente se recomienda la aplicación de un acondicionamiento de superficie antes de pintar.

b) **Acero galvanizado.** En superficie recién galvanizada es necesaria eliminar los contaminantes con solvente. Un pre-tratamiento con un acondicionado de superficie o un imprimante a base de zinc en polvo es igualmente aconsejable.

El acero galvanizado que ha sido tratado con un pasivador apropiado después del galvanizado debe dejarse a la intemperie por varios meses antes de aplicarse

acondicionador de zinc en polvos. Otra alternativa es pulir la superficie hasta eliminar el pasivador.

c) **Cobre y plomo.** La limpieza con solvente, la limpieza manual y la limpieza cuidadosa con chorro (usando baja presión y abrasivos no metálicos), son métodos satisfactorios para estos metales.

d) **Otros metales no ferrosos.** La limpieza con solventes y la aplicación de un acondicionador de superficie antes de pintar es lo aconsejable para estos casos.

Cuadro 6. Comparación de patrones de limpieza

| DESCRIPCIÓN | ESPECIFICACIÓN AMERICANA | | ESPECIFICACIÓN BRITÁNICA | ESPECIFICACIÓN SUECA SIS |
|--------------------------------------|--------------------------|------|--------------------------|--------------------------|
| Limpieza con chorro ajustada | SSPC | SP1 | B5 – 4232 | 055900 |
| Limpieza manual | PSC | SP2 | | ST2 |
| Limpieza mecánica | SSPC | SP3 | | ST3 |
| Limpieza con llama acero nuevo | PSC | SP4 | | |
| Limpieza con chorro metal blanco | PSC | SP5 | Primera calidad | SA3 |
| Limpieza con chorro casi blanco | PSC | SP10 | Segunda calidad | SA2 ½ |
| Limpieza con chorro grado comercial | PSC | SP6 | Tercera calidad | SA2 |
| Limpieza con chorro “Brush – off” | PSC | SP7 | | |
| Limpieza en baño químico | PSC | SP8 | | |
| Limpieza mecánica o de metal desnudo | PSC | SP11 | | |
| Limpieza con chorro húmedo | PSC | SP12 | | |

1.5.1.5 Textura superficial. La limpieza con chorro abrasivo y mecánica dejan la superficie con un perfil completamente distinto del original. Las superficies de acero nuevo preparados con chorro abrasivo en máquinas automáticas presentan una rugosidad comparativamente uniforme.

Si se trata de superficies vieja preparadas manualmente la configuración superficial no es uniforme.

A. **Rugosidad.** Existen diferentes tipos de rugosidad que pueden presentar el mismo grado de rugosidad expresada en forma de amplitud (distancia entre pico y valle). En la práctica nunca se obtienen perfiles de rugosidad regular; pero en todo caso, es la distancia más grande que existe desde una cresta hasta el valle adyacente, lo que mejor caracteriza la rugosidad.

La rugosidad depende de la condición original del acero, de la intensidad y duración del chorreado, así como del abrasivo utilizado. Cuando se chorrea acero que no presente picadura ni herrumbre puede comprobarse que la distancia desde la cresta a los valles es bastante menor que el tamaño de las partículas del abrasivo.

En algunos casos, la amplitud es solamente 1/10 del diámetro de las partículas. Esto se explica porque los picos formados inicialmente se van reduciendo por el

impacto continuo. Se recomienda un perfil de rugosidad de 38 microm a 75 microm (1.5 a 3 mils).

a) **Rugosidad y adherencia.** La rugosidad mejora la adherencia y en consecuencia, la adherencia será mejor cuando más rugosa sea la superficie de acero con un perfil suave.

La adherencia sobre superficie granallada es mejor que sobre superficie chorreada con perdigones, pero solo en tan pequeña proporción, que no tiene consecuencia significativa, excepto en recubrimiento cuyo comportamiento sea muy crítico con respecto a la textura superficial, a fin de asegurar una buena adherencia, como ejemplo: recubrimiento rico en zinc.

1.5.1.6 Pintura. Es un producto generalmente líquido o sólido que al aplicarse sobre un objeto se adhiere a él y forma una capa o película dura que cumple las funciones para las cuales fue diseñado. Según su composición las pinturas sirven para proteger contra los agentes físico-químicos del medio ambiente, como las bases anticorrosivas; o para decorar el objeto pintado, como los esmaltes sintéticos a base de aceite; o para cumplir objetivos especiales como las pinturas para demarcación de pavimentos. Dentro del término pinturas están incluidos unos productos que teniendo alguna similitud con su composición y uso presentan diferencias entre sí. Entre ellos están las lacas, los esmaltes, los barnices, los vinilos y las bases.

A. **Composición.** Las pinturas tienen una porción sólida formadora de película y una porción volátil que desaparece para facilitar el proceso de secamiento. La parte sólida está compuesta principalmente de una o varias resinas y de uno o más pigmentos. Describamos brevemente cada uno de estos conceptos:

a) **Las resinas.** Son materiales sólidos, de origen natural (gomas, breas) o sintético (poliésteres, poliuretanos) solubles en determinados disolventes y que al secar forman una película dura, resistente a determinados agentes físicos y químicos.

De acuerdo con su composición química las resinas sirven para aglutinar los pigmentos, promover la adherencia de la pintura a la superficie de aplicación, dar flexibilidad, dureza, brillo, y resistencia a la destrucción promovida por el medio ambiente o por el uso.

Según la composición química las resinas son: alquídicas, fenólicas, de caucho sintético, vinílicas, acrílicas, celulósicas, maléicas, siliconas, epóxicas, poliuretanos, etc.

b) **Los pigmentos.** Son materiales sólidos de origen natural (óxidos de hierro, carbón) o Sintéticos (azules y verdes ftalocianinos), insolubles en los disolventes y en los demás componentes de la pintura. Por el oficio que desempeñan pueden ser:

Activos: Aquellos que proporcionan color, poder de ocultar la superficie donde se aplica la pintura, decoración, protección contra determinados ataques (la corrosión por ejemplo) o funciones muy especiales como la fluorescencia.

Inactivos: son los pigmentos que no dan color ni ocultan la superficie pero, sin dañar las propiedades de la pintura, aumentan su volumen y en algunos casos cumplen una función especial, como matear.

La parte volátil de las pinturas consta de Ajustadores (Thinners) y aditivos:

c) **Los ajustadores.** Líquidos volátiles, de origen natural como el agua o sintéticos como acetona. Se emplean para permitir la aplicación de la pintura, regular el secamiento, facilitar la penetración en la superficie de aplicación y como consecuencia, mejorar la adherencia y permitir la obtención de un mejor acabado final.

d) **Los aditivos.** Son materiales de muy variada composición química. Se emplean en cantidades relativamente pequeñas y cumplen funciones muy específicas.

Entre los aditivos más comunes se pueden citar los siguientes:

- Dispersantes: mantienen separadas las partículas de los pigmentos.

- Humectantes: facilitan la humectación de los pigmentos.
- Antidecantantes: Previenen la sedimentación de componentes sólidos de la pintura.
- Antinatas: previenen la formación de natas en pinturas de secado al aire.
- Secantes: aceleran el secamiento de algunas pinturas.
- Espesantes: aumentan la viscosidad.
- Matizantes: disminuyen el brillo de la pintura aplicada.

B. Formas de secamiento. El secamiento es un proceso de curado al formarse la película en los diferentes tipos de pintura produciendo el endurecimiento de la película.

Las formas más comunes de secamiento son:

- a) Evaporación de ajustadores
- b) Oxidación con oxígeno del aire
- c) Reacción con calor
- d) Reacción química

C. Selección del sistema de recubrimiento. Para escoger el sistema de recubrimiento a usar en el mantenimiento de una Planta Industrial se deben tener en cuenta varios factores, que en una o en otra forma, determinan el sistema de recubrimiento que se debe usar.

Tales factores son:

- a. Medio ambiente reinante en el área
- b. Temperatura de los diferentes equipos
- c. Recursos para la preparación de la superficie y factores limitantes del mismo
- d. Colores que se deben usar
- e. Costos
- f. Recubrimientos anteriores en los equipos y compatibilidad con el sistema que se desea usar.
- g. Naturaleza de la superficie a recubrir (acero, aluminio, concreto, madera, etc.)

Un estudio cuidadoso de los anteriores factores nos determina cual es el sistema más apropiado para el Mantenimiento de la Planta.

El medio ambiente reinante en el área es un factor muy importante para determinar el sistema de recubrimiento a usar; se deben tener en cuenta las condiciones ambientales de acuerdo con el clima y situación de la planta en cuestión, tales como temperatura, humedad, periodicidad de las lluvias, proximidad del mar, etc., además, son muy importantes las condiciones ambientales producidas por las características de la planta misma como los gases corrosivos o los polvos corrosivos-abrasivos (carbonato de sodio, etc.)

La temperatura de los diferentes equipos es un factor determinante del recubrimiento que se debe usar. Muchas veces un equipo sometido a alta

temperatura (más de 600°F) se encuentra ubicado en una zona altamente corrosiva: en estos casos se debe escoger muy bien el sistema de recubrimiento ya que se deben atacar dos problemas: la temperatura y la corrosión.

La preparación de la superficie es el ítem más importante en un sistema de recubrimiento; el desempeño de un sistema obedece en un 90% a la preparación de la superficie que se haga; no siempre es posible realizar una buena preparación de superficie debido a los costos de la misma, la imposibilidad de poder hacer la limpieza con 'SandBlasting' por carencia de equipo o por los efectos nocivos del polvo en los equipos aledaños, etc. Desde luego que éste es un factor que va en contra de los fabricantes de recubrimientos industriales porque como se dijo, el desempeño de la pintura depende de la preparación de la superficie. Muchas veces no es posible aplicar un buen sistema de protección por la imposibilidad de hacer una buena preparación de la superficie.

La selección de los colores a usar muchas veces obedece a caprichos del usuario, a presentación y decoración, a códigos de colores internacionalmente usados para identificar tubería o equipos o para efectos de disipación del calor por radiación; respecto a este último punto, se sabe que el color negro no disipa el calor, en cambio el blanco sí.

Esto es importante sobre todo en el recubrimiento de tanques que contienen productos de petróleo con rata de vaporización alta. Sin embargo, algunas veces es necesario sacrificar los colores escogidos para usar un producto de mejor

calidad que no se puede fabricar en tal o cual color.

Los recubrimientos anteriores son un factor de importancia para escoger el sistema a usar si tales recubrimientos no se van a cambiar en su totalidad; es necesario hacer pruebas de compatibilidad con los nuevos recubrimientos que se van a usar, para así ajustar el nuevo sistema a los requerimientos de compatibilidad con el anterior.

Los costos muchas veces determinan en un todo el sistema que se va a emplear; muchos propietarios o jefes de mantenimiento tiene presupuestos muy limitados para la pintura de sus plantas y el sistema se debe ajustar a sus capacidades económicas.

D. Sistemas de protección con pinturas. Todo sistema de protección y decoración con pinturas esta compuesto de capas sucesivas de productos afines entre sí. En los casos mas complejos se utilizan acondicionadores de superficie, base anticorrosiva, pintura de refuerzo o intermedia y pintura de acabado o decorativa.

E. Acondicionadores de superficie: Sirven para complementar o hacer más fácil y efectiva la preparación de la superficie que se obtiene utilizando medios manuales o mecánicos de limpieza. Los más comunes son: Wash-primer, imprimantes, pasivadores de óxidos residuales y los removedores de pinturas

aplicadas.

F. **Bases anticorrosivas.** También se denominan primers o imprimantes anticorrosivos. consideradas como los componentes más importantes de todo el sistema de protección; estos productos proporcionan adherencia al metal, coherencia con todo el sistema, resistencia a la corrosión y a determinados agentes físico- químicos y una apropiada flexibilidad.

Como base del sistema aplicado la anticorrosiva debe adherirse firmemente al metal y contener pigmentos inhibidores que pasiven la superficie y reduzcan la tendencia a la corrosión. Debe poseer además un alto grado de compatibilidad con las pinturas intermedias o de acabado de tal forma que se integren entre sí para formar un recubrimiento compacto.

Bajo determinadas condiciones de uso (inmersión por ejemplo), las bases anticorrosivas deben resistir el contacto permanente del producto líquido, el salpique ocasional, los vapores y en ocasiones la abrasión producida por el flujo.

G. **Pinturas intermedias.** Se conocen también como pinturas de refuerzo o de barrera, porque aíslan la base anticorrosiva del contacto con los agentes corrosivos, haciendo más efectiva y duradera la protección de los metales. Las pinturas intermedias deben:

- a) Ser compatibles con la base anticorrosiva y con la pintura de acabado.
- b) Proporcionar un alto espesor de película por mano de aplicación para rebajar los costos por mano de obra.
- c) Tener un color diferente al de la anticorrosiva y pintura de acabado para un mejor control visual de la aplicación.

H. **Pinturas de acabado.** Son utilizadas básicamente para embellecer y proteger la superficie de los objetos y por ello se denominan también pinturas decorativas. Dentro de este grupo se incluyen las pinturas anti-incrustantes para cascos de barcos, las pinturas resistentes a altas temperaturas y las pinturas indicadoras de temperatura; todas ellas muy importantes en el mantenimiento industrial.

Las pinturas de acabado deben:

- a) Ser compatibles con las pinturas intermedias.
- b) Proporcionar una barrera aislante para todo el sistema de protección.
- c) Resistir los agentes físicoquímico del medio ambiente.

I. **Equipos de aplicación.** La selección del equipo de aplicación depende del tamaño y tipo de superficie, el tipo de recubrimiento especificado, la preparación de superficie, las condiciones de trabajo y la disponibilidad de energía. Los siguientes equipos de aplicación se consideran los más

apropiados, sin embargo, se pueden utilizar equipos similares a los descritos.

- a) **Brocha.** Se utiliza donde se requieren acabados de alta calidad o para pintar áreas pequeñas o de difícil acceso. También es recomendable para pintar estructuras complejas, compuestas de partes pequeñas, donde la aplicación con pistola ocasionaría un gran desperdicio. Hay poca justificación para creer que solamente la brocha es apropiada para aplicar imprimantes; sin embargo, en trabajos de mantenimiento donde no se requiere una preparación de superficie muy exigente, la aplicación a brocha da mejor humectación.

- b) **Rodillo.** Se puede utilizar para la aplicación de la mayoría de los acabados decorativos. No es recomendable para aplicar imprimantes o para pinturas de alto espesor ya que se dificultaría el control de los espesores de película. Cuando se aplican acabados de alto espesor con este método es necesario aumentar el número de manos. No se recomienda usar el rodillo, en interior de tanques, ya que la humectación es regular y puede generar problemas de decantación del sistema.

- c) **Pistola convencional (con aire).** Este es un método ampliamente establecido para aplicar pintura rápidamente, pero no es tan útil como la pistola sin aire para aplicar pinturas de alto espesor por mano sobre superficies grandes. La pistola con aire puede ser más fácil de mantener, pero es fundamental controlar las presiones correctas de aire y fluido para obtener la aplicación

correcta. En algunos casos, por características del producto y la pistola, es necesario diluir para poder aplicar el producto.

d) **Pistola sin aire.** En general la pistola sin aire es ventajosa para recubrimientos que den alto espesor por mano de aplicación y/o sean de altos sólidos por volumen, en superficies grandes y planas, cuando se disponga de energía eléctrica o aire comprimido y de personal experto en dicho sistema. La pistola sin aire ofrece considerables ventajas económicas sobre la pistola convencional y sobre la aplicación manual en cuanto a la velocidad del trabajo, poca o ninguna dilución, pérdida mínimas de pintura aplicada y por la posibilidad que ofrece (la pistola sin aire), de aplicar un mayor número de película húmeda con pinturas de alto espesor por mano.

J. **Condiciones de aplicación.** Una de las causas más frecuentes de fallas de las pinturas es la aplicación bajo condiciones ambientales inadecuadas. La exposición a la lluvia, niebla o rocío de pinturas húmedas o sin secar tiene efectos negativos sobre la adherencia entre manos y sobre el desempeño de todo el sistema de protección. Por lo tanto, es de suma importancia aplicar la pintura en buenas condiciones ambientales.

Todo el trabajo de pintura debe hacerse cuando las condiciones atmosféricas sean favorables y de que permanecerán así durante el período de secamiento.

Todo el trabajo de pintura se debe suspender en las siguientes condiciones generales a menos que existan restricciones específicas sobre el producto que se está utilizando:

- a) Cuando la temperatura de la atmósfera circundante esté por debajo de 4⁰C (40⁰F) o la humedad relativa esté por encima de 85 %.
- b) Cuando las condiciones atmosféricas indiquen que el trabajo posiblemente se verá afectado por lluvia, neblina o rocío o si hay evidencia de que éstas se presentarán en las próximas 6 horas.
- c) Existen algunos productos que se pueden o deben aplicarse a condiciones críticas (ver hoja técnica con especificaciones del producto).

K. Ventilación. Se deben evitar los trabajos de pintura con excesiva ventilación, especialmente cuando la aplicación se hace a pistola con aire, porque la pintura atomizada puede ser arrastrada por la brisa antes de llegar a la superficie, ocasionando pérdidas y depósitos de atomizado seco que afectan el acabado. También puede suceder que la pintura húmeda se contamine con mugre o productos químicos.

L. Temperatura. Hemos tratado ya acerca de los riesgos de pintar a temperaturas muy bajas. De la misma forma las temperaturas ambientales o de superficies demasiado altas pueden resultar perjudiciales, a menos que se tomen las precauciones del caso. La aplicación a rodillo o brocha puede necesitar la adición

de ajustador extra con pérdida lógica de espesor de película por mano.

M. El rendimiento practico de las pinturas. Por la influencia que tiene sobre los costos del mantenimiento, el rendimiento práctico de las pinturas es fundamental para quienes están encargados de presupuestar la protección y decoración.

Usualmente los manuales de pinturas, hojas técnicas, etiquetas, y recomendaciones generales especifican los rendimientos teóricos de los productos y se basan en los porcentajes por volumen y del espesor de capa seca del producto aplicado, sin considerar factores tan importantes como el tipo de superficie (metal, madera y mampostería), la rugosidad de la misma, la clase de pintura (base o acabado), el método de aplicación (brocha, rodillo, pistola) y el ambiente (interior o exterior), que afectan de modo significativo el rendimiento.

Calculado de este modo, el rendimiento práctico de las pinturas proporciona una información ideal que se puede utilizar como punto inicial de comparación de los productos, siempre y cuando se refieran a las mismas unidades de medida (metro cuadrado por litro o metros cuadrados por galón), y a un mismo espesor de capa seca del producto aplicado.

N. Cálculo del rendimiento: Para calcular el rendimiento teórico se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento teórico} = \frac{\% \text{ sólidos por volumen de la pintura}}{\text{Espesor de película seca en mils} * \text{por galón de pintura}}$$

*Un mil equivale a 1 milésima de pulgada o 25 micrones.

Con base en el rendimiento teórico, el rendimiento práctico se calcula así:

$$\text{Rendimiento práctico por litro de pintura} = \frac{R_t \times E_t}{E_r} \times F_a \times F_s$$

Donde:

R_t = Es el rendimiento teórico.

E_t = Es el espesor de película seca (en mils) indicado en el rendimiento teórico.

E_r = Es el espesor de película seca (en mils) recomendado en las especificaciones.

F_s = Es un factor de corrección de acuerdo con el tipo de superficie de aplicación (ver cuadro 7).

F_a = Es un factor de corrección de acuerdo con el método de aplicación que se utilice (ver cuadro 8).

Cuadro 7. Factores de superficie

| Superficies | Pintura de base | Pintura de acabado |
|--|-----------------|--------------------|
| Acero Nuevo pulido | 0.95 | 0.98 |
| Acero nuevo | 0.90 | 0.95 |
| Acero ligeramente oxidado, limpieza mecánica o con chorro de arena | 0.80 | 0.85 |
| Acero severamente oxidado, | 0.60 | 0.65 |

| | | |
|--|------|------|
| limpieza mecánica o con chorro de arena | | |
| Superficies con protección temporal "shop primer" capa delgada | 0.55 | - |
| Concreto, mampostería en general y maderas | 0.60 | 0.75 |

Cuadro 8. Factores de aplicación (Fa)

| Superficie | Pintura |
|--|---------|
| Aplicación a brocha o rodillo | 0.90 |
| aplicación a pistola convencional en interiores sin corrientes de aire | 0.80 |
| Aplicación a pistola convencional en interiores con corrientes de aire | 0.70 |
| Aplicación a pistola "airless" en interiores o exteriores con o sin corrientes de aire | 0.85 |

M. Fallas presentadas en las pinturas. Lo asombroso acerca de fallas de pintura no es que estas puedan ocurrir sino que, con muchas cosas que pueden estar erradas en el campo haya muchos trabajos exitosos. Por nuestro conocimiento de que pueden ocurrir fallas, nosotros podemos muchas veces evitar que estas ocurran,

Muchos de los tipos de fallas están interrelacionadas y muchas veces una falla no ocurrirá sin otra. Por ejemplo, para tener desconchamiento en la película debe haber quebraduras en ella. Proviene las quebraduras, de los huecos que estaban allí cuando la pintura fue aplicada? Se quebró una ampolla por presión interna o alguien golpeó la película pobremente adherida? No se desconchará hasta que ella se haya roto.

Examinemos algunas de las fallas mas importantes que pueden ocurrir:

a) Formación de huecos.

i. Una pérdida de solvente demasiado rápida de una pintura aplicada por aspersion. Las partículas de pinturas se secan durante el tiempo transcurrido entre el salir la pintura de la pistola de aspersion y llegar a la superficie. Estas partículas no se deslizan o se juntan para formar una película continua. Esto ocurre frecuentemente con materiales de rápido secado, tales como productos del tipo vinílico y los imprimantes inorgánicos ricos en zinc particularmente cuando hay viento presente durante su aplicación. La aspersion seca puede reducirse bajando la presión de atomización, manteniendo la pistola cerca de la superficie o por adelgazamiento. Algunas veces, con condiciones particularmente malas, es necesario aplicar un solvente retardador.

“La pintura debe estar húmeda y fluida cuando llega a la superficie: así se forma una película continua”.

ii. Agua en la pintura debido a la falta de un separador adecuado entre el compresor y el depósito de pintura. El agua es depositada en la película o lo largo con la pintura donde las gotas de agua se evaporan dejan huecos. Se debe revisar en forma continua (a diario) que no exista agua ó aceite proveniente del compresor.

iii. La carencia de contraste de color “break” entre el acero limpiado por chorro y la pintura que está siendo aplicada. Es casi imposible poner una pintura gris brillante sobre una superficie a metal blanco sin dejar algunos holidays.

iv. Excesivo perfil de anclaje. Los picos de un perfil de anclaje profundo frecuentemente empujarán hacia fuera la película de pintura. Los abrasivos de pedernal triturado no solo cortan profundo, sino que dejan partículas agudas embebidas en el acero. Estas partículas se pegan a través de la película y dejan un camino para que el agua y otros corrosivos sigan por debajo y a lo largo del sustrato. También, todas las pinturas (distintas de las de 100% de materiales sólidos) producen tensión al secar, al perder el solvente. Aún si la parte alta de los picos del perfil de anclaje consigue pintarse con una delgada capa de pintura, esta se puede romper de nuevo porque no hay suficiente protección. Por años fue aceptada como norma que un perfil de anclaje debería ser 1/3 del espesor de pintura especificado. Esto es ahora puesto en duda por nuestra gente: un Superintendente de pintura dice que los resultados de su experiencia prueban que la larga vida de un sistema de pintura depende de un menor perfil de anclaje. De hecho, él usa arena tan fina como de mallas 80-100 sobre superficies que van a recibir pinturas inorgánicas de zinc.

La especificación actual, soportada por comités Internacionales que analizan la preparación de una superficie, es la de que el perfil de rugosidad debe estar entre 25 y 75 micrones (1 a 3 mils).

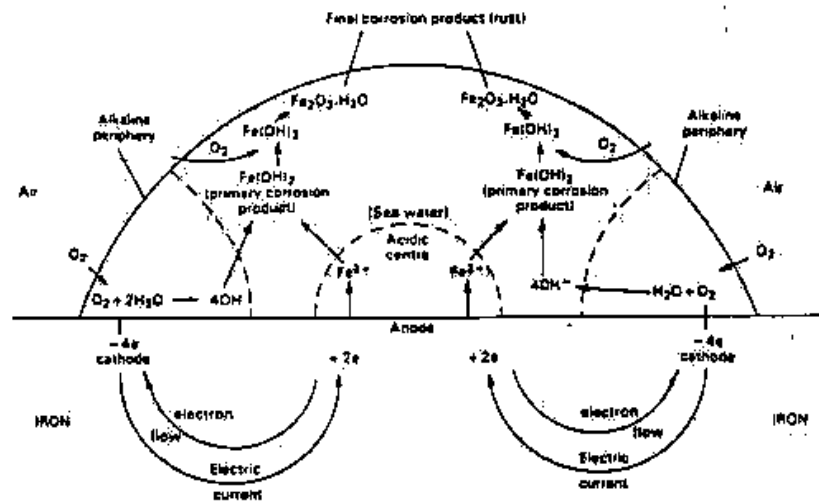
v. Daños en películas de pintura. Pueden resultar por muchas causas. Puede ser causado por arena de una tobera que inadvertidamente está golpeando la superficie cuando cerca de allí se está preparando una superficie para pintar. Esto puede no ser notado hasta que empieza a mostrarse una oxidación “sal y pimienta”. Los huecos pueden aparecer en una pintura cuando se está haciendo una soldadura encima de un sistema terminado.

vi. Aplicación de materiales de Alto Espesor en un menor espesor de película del recomendado ‘Flow-out’. Es la propiedad de la pintura de fluir sobre la superficie, saliendo en forma húmeda de la pistola de aspersion para formar una película integral. “Stay-put” es la propiedad de la pintura de permanecer en los bordes o en una superficie vertical, sin escurrirse u ondularse. Flow-put y ‘Stay put’ son opuestos. Los materiales Hi Build de alto espesor tienen un alto grado de “stay put” por consiguiente poco ‘Flow-out’. Para conseguir una película continua con Hi Builds deben ser rociados a un espesor de película húmeda tal que todas las partículas húmedas se traslapen unas a otras completamente sobre la superficie o pueden ser adelgazados antes de la aspersion de manera que el “flow – ot” sea obtenido.

b) **Desconchamiento.** Desconchamiento por definición significa mala adherencia. Esto puede ser causado por varios factores:

i. Contaminación de la superficie. La superficie que va a ser pintada puede resultar contaminada por varias causas: Pintado demasiado pronto después de (y a veces durante) un aguacero y condensación de humedad en la superficie cuando la temperatura de la superficie está por debajo del punto de rocío.

Figura 14. Reacciones de corrosión en una gota de agua de mar sobre hierro

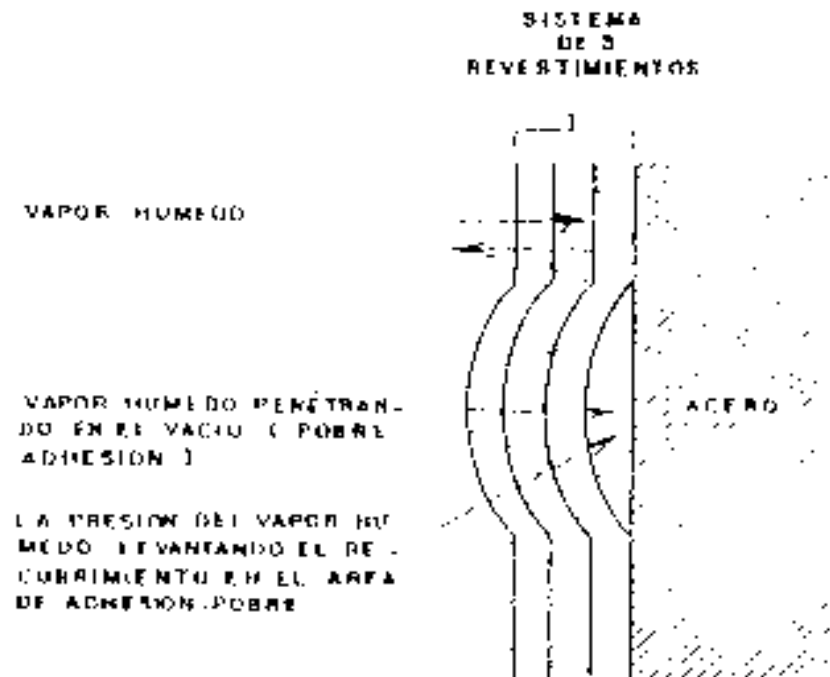


Aceite del compresor depositado durante la limpieza con chorro de arena, cuando no hay separador o éste es inadecuado en la línea entre el compresor y el depósito de arena; deposición de contaminantes provenientes de torres de enfriamiento por aspersión, "fall-out de la industria, rociado de sal en las áreas costeras cuando el viento viene del mar, o suciedad del aire; ambas, el rociado de las torres de enfriamiento y el rociado salino del mar son ricas en cloruros. Una prueba rápida para cloruro (fuera de gustar la superficie) es la aplicación de una gota de nitrato de plata diluido, el desarrollo de una formación lechosa indica la presencia de cloruros; residuos de la solución de curado en la

superficie de un Zinc inorgánico post – curado y pintores caminando sobre la superficie con los zapatos sucios antes de la aplicación de la pintura.

En la figura 15 muestra el vapor húmedo penetrando en el sustrato debido a la poca adherencia del recubrimiento

Figura 15. Penetración del vapor húmedo en el área de adhesión pobre del recubrimiento



ii. Uso de materiales incompatibles en el sistema. Hay algunos materiales de recubrimiento que no se adhieren a otros. Un ejemplo es de aplicar Esmaltes Epóxicos o Uretanos sobre una capa de Alquídico. O, en general aplicar recubrimientos que contienen solventes más fuertes (reactivos) que los formulados en la capa actualmente aplicada.

La figura 16 indica la compatibilidad de los diferentes recubrimientos usados en los mantenimientos industriales.

Figura 16. Compatibilidad entre pintura de mantenimiento industrial

| PINTURAS DE BASE | PINTURAS DE ACABADO | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|----------|--------------|-------------|-------------|----------------|-----------------|--------------------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| | ALQUÍDICA | FENÓLICA | OLEORESINOSA | EPOXI-AMINA | EPOXI-AMIDA | EPOXI-FENÓLICA | EPOXI-ALQUITRÁN | INORGÁNICA DE ZINC | POLIURETANO | CAUCHO CLORADO | VINILURETANO | ACRILURETANO |
| ALQUÍDICA | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| FENÓLICA | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| OLEORESINOSA | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| EPOXI-AMINA | | | | | | | | ■ | | | | |
| EPOXI-AMIDA | | | | | | | | ■ | | | | |
| EPOXI-FENÓLICA | | | | | | | | ■ | | | | |
| EPOXI-ALQUITRÁN | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| INORGÁNICA DE ZINC | | | | | | | | ■ | | | | |
| POLIURETANO | | | | | | | | ■ | | | | |
| CAUCHO CLORADO | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| VINILURETANO | | | | | | | | ■ | | | | |
| ACRILURETANO | | | | | | | | ■ | | | | |

| | |
|---|---|
| □ | COMPATIBLE |
| ■ | INCOMPATIBLE |
| ■ | COMPATIBLE CON SANGRAMIENTO DEL ALQUITRÁN |

iii. Demasiado tiempo de secado entre 2 capas. Algunas pinturas de rápido endurecimiento y secado deben ser recubiertos dentro de un corto intervalo para conseguir adhesión entre capas. Los fenólicos son bien conocidos por esto. Con otros materiales tales como Esmaltes Epóxicos brillantes y Coaltar Epoxi, la superficie es tan dura después de curado, que se necesita para adhesión entre

capas, abrasión mecánica como lijado o ligero blasting.

iv. Fallas al agregar el catalizador en un sistema de pintura de curado por reacción química. Esto puede ser detectado frotando la parte de atrás de un Desconchamiento con un poco de disolvente (thinner) usado en la pintura.

Si el catalizador ha sido omitido, la pintura podrá fácilmente disolverse en el thinner.

v. Preparación inapropiada de superficie. Esto puede involucrar muchas cosas; remoción pobre de óxido, suciedad antes de pintar, cascarilla de laminado en el acero, etc. se sabe que en áreas corrosivas, la cascarilla de laminado, si bien ésta parezca compacta y adherida, tarde o temprano se desprenderá trayendo la pintura con ella. Podrán ir las pinturas nuevas sobre pinturas viejas?. La respuesta es SI, si la pintura vieja está bien adherida y existe compatibilidad. Sin embargo si la pintura vieja se desprende se llevará la pintura nueva con ella.

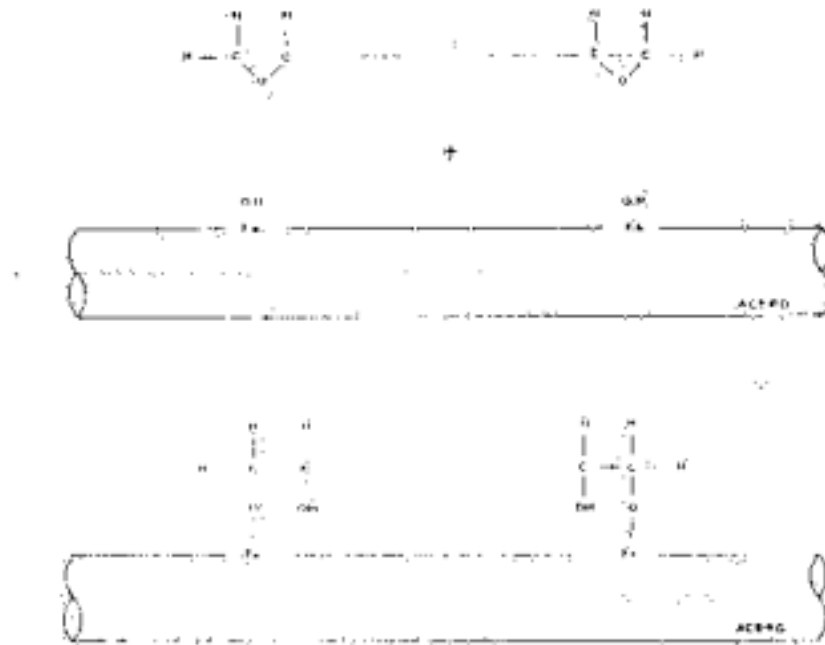
vi. Selección inapropiada del imprimante. Un buen ejemplo es el uso de un imprimante de secado rápido sobre una superficie limpiada manualmente. Los imprimantes de secado rápido sin aceite libre, tienen poca capacidad para humedecer una superficie pobremente limpia a mano. Imprimantes que contienen aceite, tal como los Alquídicos, son excelentes humectantes. La capacidad de humectación es también influenciada por el tipo de resina usada en la fórmula. Los

vinílicos, son humidificadores pobres, y solamente son recomendados para superficies preparadas por chorro o por limpieza química. Imprimantes Epoxies (tales como los de óxido de hierro rojo, Fosfomolibdato de zinc), son intermedios en su capacidad de humectación. Ambos, Vinílicos y Epoxies, humedecen mejor cuando son adelgazados a una viscosidad más baja.

Los imprimantes Epóxicos ricos en Zinc y los Inorgánicos de Zinc requieren de un alto grado de limpieza para su aplicación (SSPC-SP5 Metal Blanco con el fin de que las partículas de Zinc estén en contacto fisicoquímico con la superficie metálica).

La figura 17 muestra el comportamiento de la adherencia de los imprimantes epóxicos.

Figura 17. Esquema de la adherencia química



vii. Aplicación bajo condiciones inadecuadas para la pintura en particular. Los materiales Vinílicos y Lacas, debido a sus solventes de rápida evaporación se enfrían considerablemente cuando son atomizados y pueden condensar agua dentro de la película si son rociados a una humedad relativa mayor de un 90%. Wash Primer no cura apropiadamente a una alta humedad, sobre el 90%, y no se adherirán convenientemente sobre el aluminio. Los Inorgánicos de Zinc son específicos en sus requerimientos de aplicación.

viii. Pintar directamente sobre superficies de Zinc o acero galvanizado, con un material inadecuado. Una pintura alquídica, usualmente fallará debido a la humedad que penetra en la pintura, reacciona con el zinc para formar óxido de zinc el cual causará cuarteo y desconchamiento de la pintura.

No todas las pinturas tienen buena adherencia con los galvanizados

ix. El desconchamiento. Ocurre cuando la pintura es aplicada sobre un metal corrugado de fábrica, tal como el que es usado en construcciones metálicas. Algunos productores de aceros corrugados aplican cera sobre el material. Esto actúa como un lubricante y previene daños al acabado cuando las láminas están pasando a través de los rodillos de corrugación. No se recomienda aplicar pintura para repintar construcciones de este tipo a menos que la cera haya tenido suficiente tiempo para derretirse y salir de la superficie. Si el agua forma una película continua, no hay cera. Si el agua forma pequeñas bolas en la superficie, hay cera.

x. Las capas finales causan excesivo y prolongado ablandamiento de las capas inferiores. Cuando las capas inferiores se ablandan la adhesión se pierde. Una capa final epoxi sobre una capa de imprimante desconocido causa tan severo ablandamiento que unos meses después ambas capas estarán deshojadas como la cáscara de una banana. Aún más, no hay evidencia de desprendimiento y arrugamiento durante la aplicación para señalar el problema.

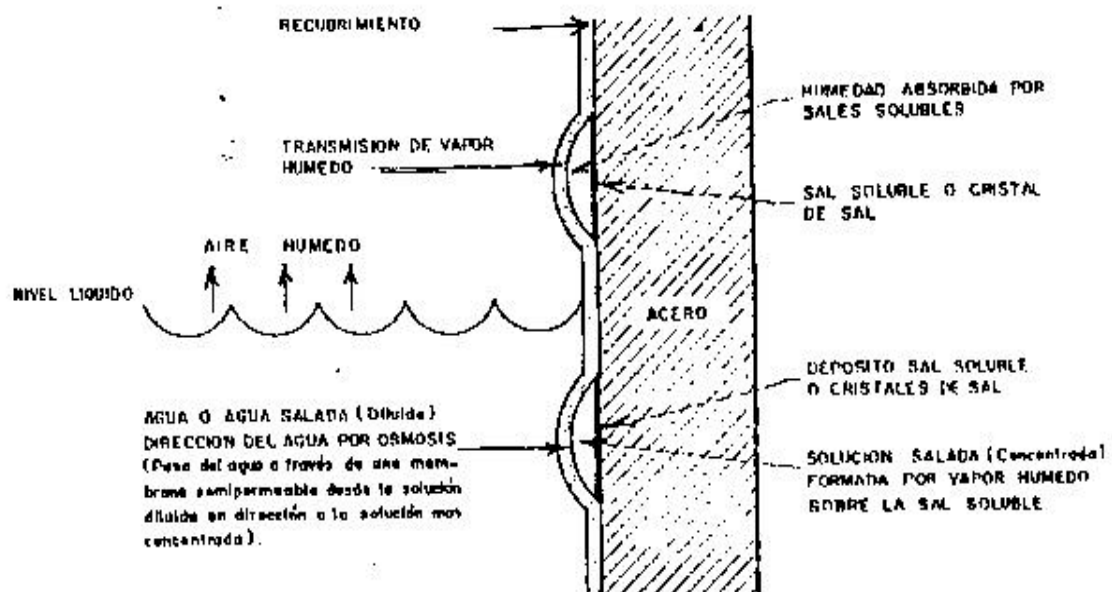
c) **Ampollamiento.** Esto puede ser debido:

i. Pintura aplicada sobre humedad. Cuando el agua gotea vaporizada en una atmósfera cálida, se forma ampollamiento en la pintura

ii. Sales solubles bajo una pintura. Esto produce osmosis. Estas ampollas estarán llenas de agua

En la figura 18 se muestra el mecanismo de ósmosis.

Figura 18. Diagrama del mecanismo de ósmosis

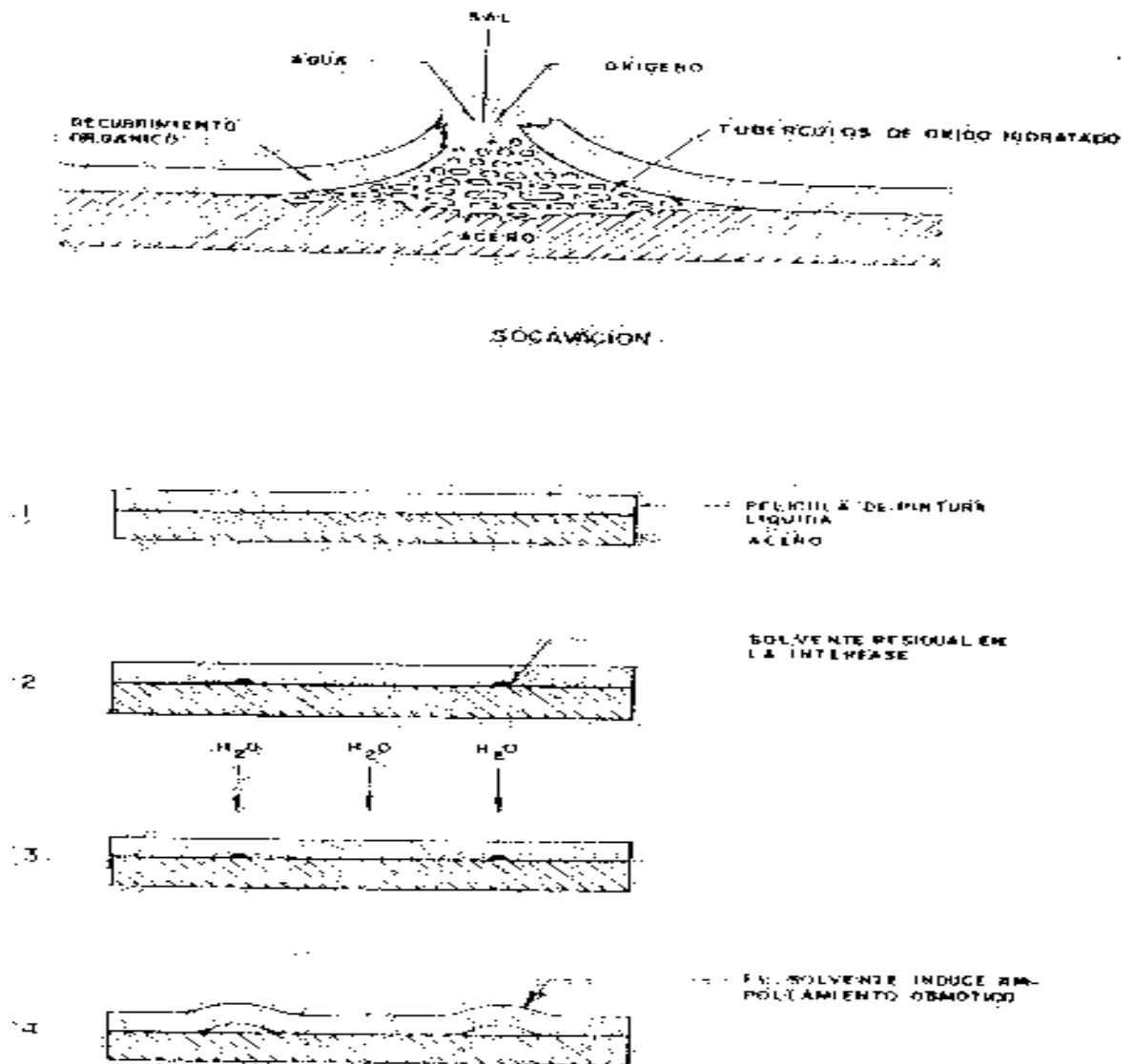


iii. Solvente atrapado Esto puede ocurrir cuando se aplican capas excesivamente gruesas. La parte de arriba de la película es seca mientras la porción inferior de la

película permanece líquida. El solvente tratando de salir empuja hacia fuera la superficie seca de la película.

La figura 19 da una ilustración cuando queda atrapado el vehículo volátil o disolvente en la capa de pintura.

Figura 19. Representación esquemática de separación de fase y ampollamiento osmótico

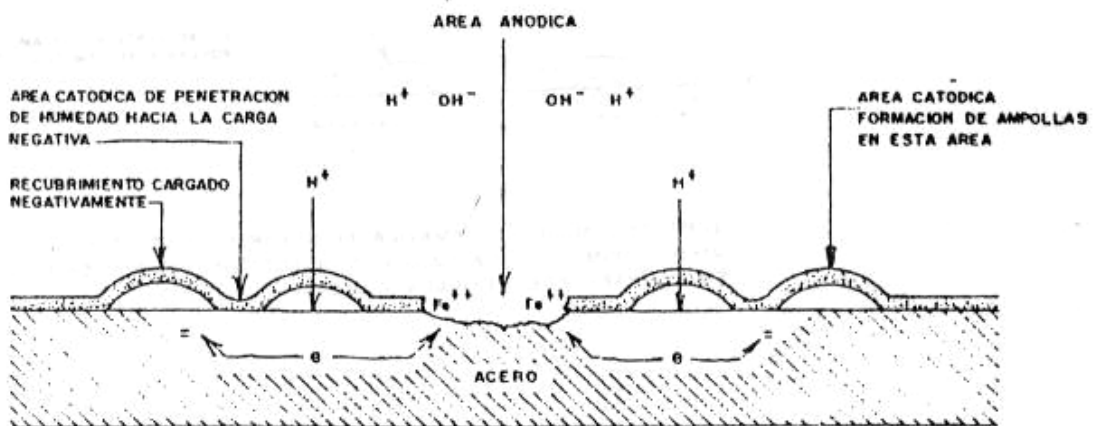


iv. La pintura es permeable al gas. Severas fallas de este tipo han ocurrido donde se han usado pinturas vinílicas en ambiente de sulfuro de hidrógeno, tal como en el interior, conos y techos de tanques en servicio de crudo de petróleo. El sulfuro de hidrógeno penetra la pintura y reacciona con el acero, formando hidrógeno y posterior desprendimiento.

v. Excesivo potencial de protección catódica. Películas bien resistentes a los álcalis como vinílicos y epoxicos resistirán potenciales a través de la película de 1 a 1.5 voltios. Otras películas se dañan a potenciales menores. Los potenciales hacen que el agua sea arrastrada a través de la película.

La figura 20 ilustra cuando hay una sobreprotección en la estructura del casco, con desprendimiento de la película de pintura y ataque al metal.

Figura 20. Electroendosmosis en el recubrimiento



vi. Humedad en el sustrato. Aparte del problema de la pintura sobre las superficies húmedas, el ampollamiento ocurre sobre la madera y construcciones exteriores de mampostería, donde la humedad forma de vapor de agua sin éxito trata de pasar a través de pinturas impermeables como Esmates Alquídicos, Vinílicos.

Esta humedad proviene de la humedad interior o de agua de lluvia que penetra a través de los defectos de construcción o cornisas, parapetos. marcos de ventanas y a través de las grietas de la mampostería

Una (1) onza de agua líquida puede producir cerca de 9.7 galones de vapor de agua y 9.7 galones en ampollas es algo grande. No se necesitan grandes cantidades de agua para ocasionar serios problemas.

d) **Entizamiento.** Todas las pinturas dan entizamiento más pronto o más tarde en varios grados. Este fenómeno es usado como una ventaja en los tanques blancos "self-cleaning". Sin embargo, entizamiento excesivo indica una rápida descomposición de la pintura que resultará en una temprana erosión. En general, los Esmaltes Alquídicos Auto lavables se dice que entizan a una rata de menos de 0.2 mils por año, lo que significa que tomarán por lo menos 5 años para perder una milésima en las más calientes y veraniegas partes del mundo.

e) Ondulamiento, festonamiento, acortamiento.

- i. Demasiada pintura aplicada por capa.
- ii. Demasiado thinner agregado a la pintura
- iii. La pintura como fue formulada tiene insuficiente tixotropía para dar la película deseada.
- iv. Pintura aplicada cuando la temperatura es, demasiado baja para que el solvente se evapore de la película suficientemente rápido.
- v. Técnica de aspersion inapropiada. Es posible producir ondulaciones en la película húmeda teniendo la pistola demasiado cerca o usando excesiva presión de atomización.

f) Fallas en el secamiento.

- i. Uso de un solvente equivocado (no recomendado por el fabricante) incompatible con la pintura.
- ii. Uso de un equipo no limpio, tales como brochas que han sido depositadas en una caneca con A.C.P.M., grasa, disolventes sucios.
- iii. Fallas al agregar catalizador a un epoxi catalizado o a una pintura fenólica o quizás agregar catalizador a un Alquíco.
- iv. Uso de pintura que está demasiado vieja. Algunos pigmentos pueden reaccionar lentamente con los secadores en la pintura perdiendo velocidad de secado, mientras la pintura está en los anaqueles. Esto es particularmente cierto para los negros, verdes oscuros y rojos orgánicos. Recuerde que la pintura no es eterna.

v. Aplicaciones de excesivo espesor por capa.

vi. Pintado en tiempo frío.

vii. Cera u otros contaminantes en la superficie.

g) Alligatoring

i. La temperatura de una superficie en verano es cercana al punto de ablandamiento de una pintura termoplástica tal como asfalto o coaltar. Ellas se expanden cuando hace calor y se contraen cuando hace frío a una rata diferente de la del acero.

ii. Incompatibilidad parcial entre capas, tal como donde un alquídico de secado duro ha sido aplicado sobre un imprimante de secado blando.

iii. Aplicación de capas de acabado antes de que las capas anteriores hayan secado completamente.

h) Rajado. El rajado ocurre en una película de pintura cuando el sustrato se expande y contrae a un mayor grado del que la pintura lo hace.

i) Gelada. La pintura como se sabe se gela en el deposito de la pintura, aún si todo fue correcto cuando se mezcló y se puso en el depósito. Todos los productores de pinturas de Eti-silicato han obtenido muchos reclamos para ir a un trabajo y ver cuál fue el error que se cometió para que la pintura se haya solidificado en el depósito de las mangueras y pistola. La gran ventaja de las pinturas de Etisilicato, tales como algunos Inorgánicos de Cinc es que a mayor

humedad, mejor y más rápido será el curado. Esto lo hace idealmente conveniente para astilleros y trabajos fuera de la playa. Ellas recogen humedad del aire, que reacciona con el vehículo de Etil-silicato (hidrólisis).

j) **Decoloración sulfídrica.** Es causada por la reacción del sulfuro de hidrógeno en el aire con los pigmentos de plomo y los secadores en la pintura. Esto puede ser bastante uniforme sobre la superficie o puede ser en sitios donde las gotas de agua permanecen y absorben sulfuro del aire. El sulfuro de plomo es negro y la decoloración puede ocurrir en pocos casos.

Hoy en día las pinturas estandarizadas resistentes a los químicos NO deben contener plomo (ecología, ambiental, higiene). Por consiguiente, pueden ser usadas en áreas sulfhídricas sin peligro de decoloración. Sin embargo, en acabados convencionales algunos colores principalmente amarillo, anaranjado y verde pueden usar pigmentos de plomo. Cuando se recomienden otras pinturas fuera de las Vinílicas para áreas sulfhidricas, chequee con el especialista en corrosión para ver si hay problema en el color escogido.

k) **Burbujas.** Hay muchas razones para la formación de burbujas en la película de pintura durante la aplicación.

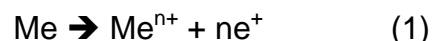
i. Pintar sobre sustratos porosos (tal como imprimantes de Zinc Inorgánicos) donde la pintura penetra en los poros y desplaza aire causando burbujas. Esto se evita usando primero una capa diluida del producto en cuestión la cual sirve de

sello penetrante.

1.5.1.7 Fundamento de la protección catódica. La mayoría de los metales, existen en la naturaleza combinados químicamente y cuando se desea liberarlo de sus compuestos, debemos suministrarles energía; una vez en su forma metálica, se expone a un ambiente natural por ejemplo atmósfera húmeda, retornarán a su estado inicial de una manera espontánea.

Es por el sistema de aplicación de energía, que podemos prevenir la reacción de degradación o de corrosión. La corrosión es un proceso electroquímico, es solo factible en las zonas anódicas, un método para evitar la corrosión consiste en hacer actuar a la estructura como cátodo, mediante una corriente eléctrica externa. Este es en esencia el fundamento de la protección catódica.

Si se considera la reacción anódica de disolución metálica.

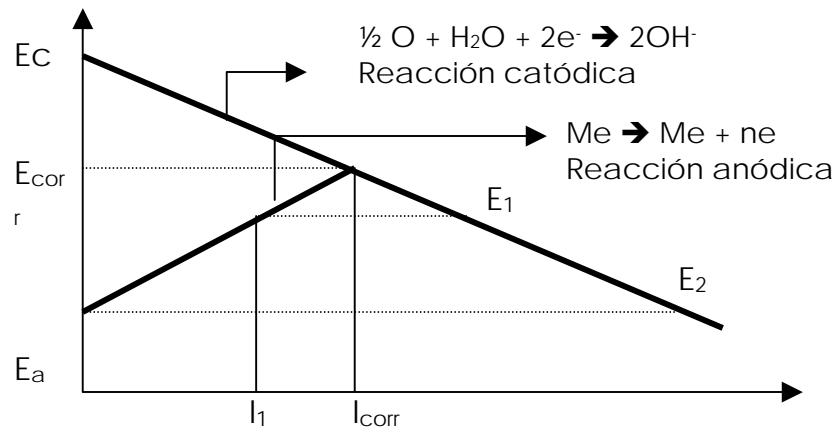


Parece natural que para conseguir la supresión de las zonas anódicas hay que aportar a la superficie metálica suficiente carga eléctrica negativa para que el equilibrio de la ecuación (1) se desplace hacia la izquierda.

Acudiendo a los diagramas de Evans corriente, en la figura 21, se ha representado las reacciones anódicas y catódicas de un metal en un medio de

baja resistencia prolongándose la curva catódica por debajo del potencial de corrosión E_{corr} .

Figura 21. Diagrama de Evans



Si prolongamos catódicamente el sistema hasta E_1 observamos una reducción de la intensidad de corrosión a I_1 . Si bien a este potencial se ha suprimido muchas zonas anódicas, todavía quedan algunas, por lo que no se ha conseguido eliminar totalmente la corrosión.

Esto se conseguirá polarizando el metal hasta E_2 punto correspondiente al potencial anódico en circuito abierto E_a . Así pues el fundamento electroquímico de la protección catódica consiste en aplicación de una polarización catódica externa suficiente para que toda la estructura metálica actúe de cátodo, lo que es lo mismo, la aplicación externa de una corriente eléctrica de modo que se origine una fuerza contraelectromotriz igual y opuesta a la reacción (1) de disolución metálica.

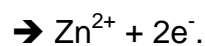
A. Método de protección catódica. La protección catódica se define como la técnica electroquímica de control de corrosión que reduce la corrosión haciendo el metal un cátodo mediante la aplicación de corriente directa. Hay cuatro (4) componentes en el sistema de protección catódica:

- a) La estructura metálica que se va a proteger (cátodo)
- b) Un sendero electrolítico continuo entre ánodo y cátodo.
- c) Una corriente continua
- d) El ánodo, material sacrificado.

Existen dos sistemas de protección catódica: sistema por medio de ánodo de sacrificio y corriente impresa.

B. Método por ánodo de sacrificio. En este sistema se forma una celda galvánica entre la estructura y el ánodo, como el ánodo es la fuente de electrones, su potencial debe ser menor que el de la estructura por proteger.

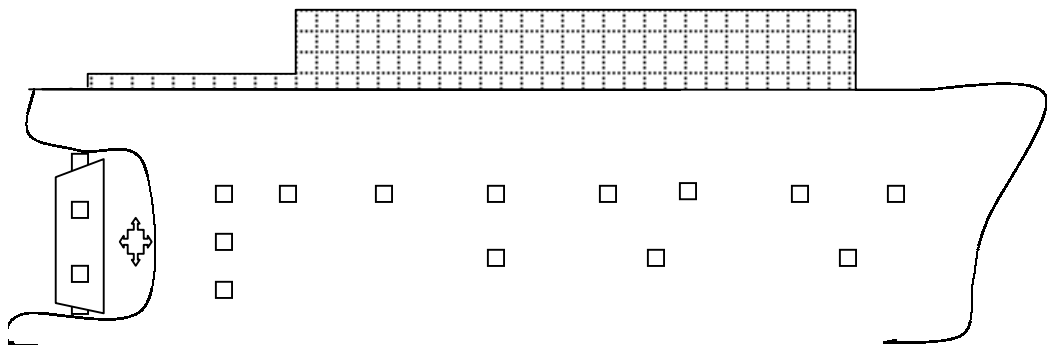
La estructura por ser cátodo, soportará la reacción catódica en su superficie, mientras que el ánodo soportará la reacción de disolución, según la ecuación Zn



Los ánodos de sacrificio son fuentes de corrientes continuas sacrificándose en beneficio del metal que se desea proteger.

El sistema de funcionamiento se muestra en la figura 22, el ánodo está eléctricamente conectado a la estructura, de manera que la corriente proactiva entra a la estructura por medio del electrolítico previniendo a la superficie de corrosión, luego la corriente retorna al ánodo a través del conductor metálico.

Figura 22. Esquema de un sistema de protección catódica sobre la estructura del barco



C. Ventajas en el sistema por ánodo de sacrificio.

- a) Operan independientemente de una fuente de corriente externa.
- b) Fácil de instalar
- c) No hay posibilidad de conexión incorrecta
- d) Potenciales uniforme sobre la estructura
- e) Los costos de mantenimiento son mínimos
- f) Poca frecuencia en monitoreo

D. Desventajas en ánodo de sacrificio.

- a) Potencial de salida es baja

- b) Limitado en suelo de baja resistividad
- c) Para grandes estructuras es limitada
- d) Manejo del potencial es limitada

E. Materiales utilizados en ánodo de sacrificio. Los metales utilizados como ánodo de sacrificio son el zinc, magnesio y el aluminio, activados con ciertos elementos aleantes, su composición debe ser adecuado para dar corriente requerida y con un buen rendimiento. (Ver cuadro 9, 10 y 11)

Cuadro 9. Ánodo de magnesio

| Elementos | Especificación en % peso |
|-----------------------------------|---|
| Aluminio (Al) | 0.10 max |
| Cobre (Cu) | 0.020 max |
| Hierro (Fe) | 0.030 max |
| Manganeso (Mn) | 0.50 – 1.30 |
| Níquel (Ni) | 0.001 max |
| Otros | 0.30 max |
| Magnesio (Mg) | Resto a 100 |
| Eficiencia | 50% min |
| Potencial | -1.65 volts (Cu/CuSo ₄) min |
| Capacidad de drenaje de corriente | 1100 Amp – hr / Kg min |

Cuadro 10. Ánodos de Zinc

| Elementos | Especificación en % peso |
|-----------------------------------|---|
| Aluminio (Al) | 0.005 max |
| Cadmio (Cd) | 0.003 max |
| Hierro (Fe) | 0.0014 max |
| Plomo (Pb) | 0.003 mx |
| Cobre (Cu) | 0.002 max |
| Zinc | Resto a 100 |
| Eficiencia | 95% |
| Potencial | -1.10 volts (Cu/CuSo ₄) min |
| Capacidad de drenaje de corriente | 780 Amp – hr / Kg min |

Cuadro 11. Ánodos de aluminio

| Elementos | Especificación en % peso |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Zinc | 3.5 – 5.0 |
| Silicio (Si) | 0.10 max |
| Hierro (Fe) | 0.13 max |
| Magnesio (Mg)) | 0.3 – 0.8 |
| Indio (In) | 0.02 – 0.05 |
| Cobre (Cu) | 0.006 max |
| Aluminio (Al) | Resto a 100 |
| Eficiencia | 90% |
| Potencial | -1.10 volts (Ag/AgCl) |
| Capacidad de drenaje de corriente | 2700 Amp – hr / Kg max |

- a) **Ánodo de zinc:** es el metal anódico de mayor utilización en la práctica, en particular en agua de mar. Las impurezas más perjudiciales para el ánodo de zinc son el hierro y el plomo, por lo que se especifica (MIL-A-18001) mantener el contenido del hierro y plomo inferiores de 14PPm. Según la norma Mil – A – 18001-G, puede admitirse un contenido mayor en hierro (50 PPM) si están presentes determinadas cantidades de Al (0.10 – 0.5%) y Cd (0.25 a 0.15%).
- b) **Ánodo de aluminio:** este material está desplazando al Zn en las aplicaciones en agua de mar, es un material de bajo peso, y alto suministro de corriente (amp x hr / kg). Hay variedades de aleaciones y puede clasificarse en cuatro grandes grupos: tres familias de aleaciones ternarias a saber, Al – Zn – Hg; Al – Zn – Sn; y una familia de aleaciones cuaternarias, es decir Al – Zn – Mg – In.
- c) **Ánodos de magnesio:** este metal anódico presenta dos inconvenientes principales:

- i. Alto potencial de trabajo, lo que limita su empleo en medio muy conductores y donde se requiere que el potencial de protección no adquiera valores muy negativos (caso del casco de un buque).
- ii. Gran tendencia a la autocorrosión, por formación de micropilas locales y bajo rendimiento de corriente, aproximadamente el 50%.

El magnesio sin alear no se puede utilizar en agua de mar, debido a la autocorrosión, el consumo progresa a gran velocidad.



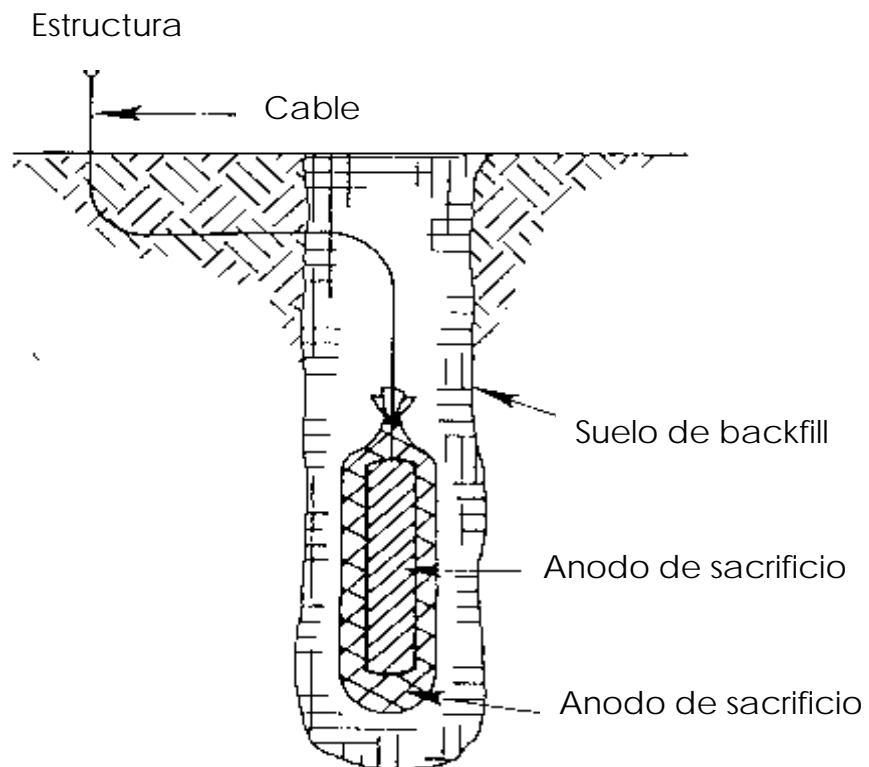
Aleando con Al, Zn y Mn se reduce el progreso de la reacción en beneficio de una mayor corriente de protección; el Mn le confiere un gran poder dispersor de la corriente.

Se utiliza mucho en protección de estructura enterrada y medio de elevadas resistividad, donde se requiere altos potenciales de trabajos.

- i. Materiales de ánodos en estructuras pequeñas: el metal anódico es empacado en backfill, cuya función es prevenir la polarización del ánodo manteniendo la corriente constante, disminuir la resistencia entre ánodo y tierra aumentando la salida de corriente.

En la figura 23 se muestra la instalación típica de ánodos de sacrificio, el ánodo debe estar centrado en el backfill especial y permanecer seco durante el almacenamiento.

Figura 23. Instalación típica de un ánodo de sacrificio con backfill



El ánodo de magnesio es bastante utilizado, pero cuando la resistividad del suelo es menor de $400 \Omega\text{cm}$ se utiliza ánodo de zinc.

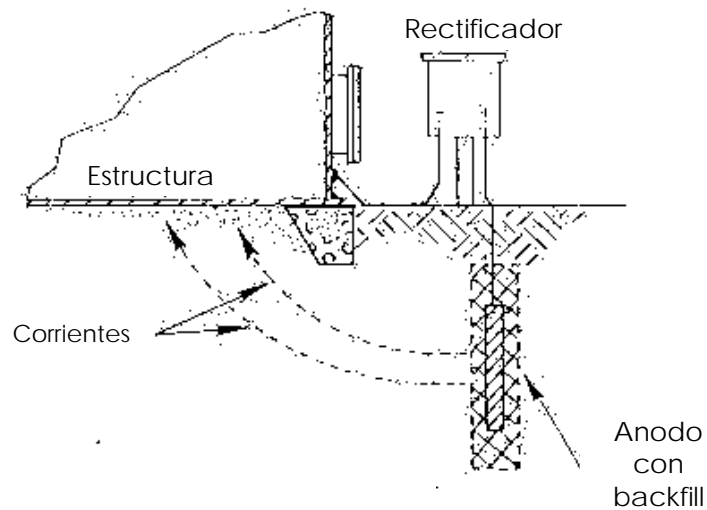
El backfill puede ser de la siguiente composición (ver cuadro 12):

Cuadro 12. Composición del backfill

| Elemento | Yeso | Bentanita | Sulfato de sodio |
|------------------|------|-----------|------------------|
| Uso general | 75 | 20 | 5 |
| Terrenos secos | 25 | 75 | 0 |
| Para ánodo de Zn | 50 | 50 | 0 |

F. **Método por corriente impresa.** El funcionamiento de este sistema de protección, proviene de una fuente externa constituida por un transformador – rectificador capaz de convertir la corriente alterna en una corriente continua de determinadas características. El polo negativo se conecta al metal a proteger y el polo positivo a un ánodo auxiliar, cerrándose el circuito a través del electrolito.

Figura 24. Sistema de protección catódica por corriente impresa



En los últimos años se han producido grandes avances de ingeniería eléctrica, en especial en el campo de los rectificadores, y controles automáticos del potencial.

En la protección de cascos de buque, en la actualidad un gran porcentaje lleva incorporados sistema automático de corriente impresa.

G. Ventajas por corriente impresa. Las ventajas en el sistema de corriente impresa son:

- a) Disponibilidad para manejo de potenciales.
- b) Alta corriente de salida capaz de proteger grandes estructuras.
- c) Capacidad de variar la corriente de salida
- d) Son aplicado en suelos de alta resistividad.

H. Desventajas en el sistema de corriente impresa.

- a) Posibilidad de errores de conexión
- b) Posibilidad de potenciales altos
- c) Distribución no uniforme de potencial.
- d) Problemas de interferencia de corriente parásita en estructura cercanas.
- e) Pérdida de corriente alterna causando pérdida de protección.
- f) Mantenimiento y operaciones costosas.
- g) Aspectos de seguridad en la localización de los rectificadores.
- h) Frecuente monitoreo del sistema.

I. Materiales utilizados en corriente impresa. Hay dos tipos de ánodos auxiliares en el sistema de corriente impresa: ánodos consumibles y ánodos inertes o permanentes. En los ánodos consumibles el material anódico se disuelve durante el proceso de protección, de la misma manera que sucede en protección por ánodos de sacrificio, por lo que tendrá que renovarse al cabo de cierto tiempo. Los ánodos inertes son aquellos que permiten el paso de corriente sin sufrir prácticamente desgaste, por lo que tienen una gran duración.

En los ánodos consumibles el material más utilizado es el hierro o acero, usualmente chatarra. Existe una gran variedad de ánodos permanentes: grafito, ferrosilicio, platino, plomo, titanio platinado, neoblio platinado, etc. El grafito a pesar de ser ánodo inerte, se consume lentamente debido a la formación de anhídrico carbónico.

Tanto el grafito como los ferrosilicio tienen inconvenientes por su gran fragilidad, el platino por motivos económicos, el de mayor utilización son aleaciones de plomo, titanio platinado.

La velocidad de desgaste (consumo) del ánodo y la capacidad para el transporte de corriente son las características principales a la hora de elegir el material anódico; en la tabla se expone para diferentes materiales

J. Factores de selección en el sistema de protección catódica.

a) **Densidad de corriente.** Es quizá el parámetro más importante a la hora de aplicar protección catódica a una estructura determinada, y su importancia reside no solamente desde el punto de vista de la protección conseguida, sino que su magnitud incide directamente en la economía del sistema. En la densidad de corriente como el medio que debe aplicarse al metal para llevarlo al potencial de protección, depende mucho de las condiciones del medio, tales como temperatura, agitación, aireación, composición, etc. y del tipo de metal o aleaciones, naturalmente, cada caso concreto requiere un estudio minucioso para la determinación exacta de la densidad de corriente.

Ver cuadro 13, las densidades de corriente para proteger el acero en varios ambientes.

Cuadro 13. Densidades de corriente

| Ambiente | Densidad de corriente A/m ² |
|---|---|
| H ₂ SO ₄ (caliente, estático) | 350 – 500 |
| Suelos | 0.01 – 0.5 |
| Agua de mar en movimiento | 0.3 – 0.15 |
| Agua caliente aireada | 0.1 – 0.15 |
| Agua fresca en movimiento | 0.05 – 0.1 |

b) **Efecto de la temperatura.** La temperatura afecta la velocidad de las reacciones catódicas y anódicas, entonces un incremento en la temperatura tiende a despolarizar los electrodos y una disminución en la temperatura incrementa la

polarización, de manera este aumento en la temperatura facilitará el alejamiento del hidrógeno gas producto catódicamente sobre ella.

c) **Efecto por agitación.** La agitación acelera el transporte de oxígeno a través de la masa de volumen y facilita la progresión del oxígeno a través de la capa de difusión.

La velocidad del electrolito o vibración del electrodo, remueven los productos de las reacciones en el ánodo y cátodo, una y otra vez, lo cual resulta en disminución de la polarización.

d) **Efecto por concentración del ión con OH⁻.** El electrolito neutro o alcalino donde la reacción catódica es la dominante $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$, el incremento en iones (OH⁻) resulta en un incremento en la polarización, y un decrecimiento en iones OH⁻ resulta en un decrecimiento en la polarización.

Aquí se vuelve a recordar que el zinc y el aluminio expuesto a protección catódica, pueden corroerse, tanto en ambiente ácidos y básicos.

e) **Efecto por concentración de oxígeno.** Aunque el oxígeno no es un ión, este es un reactante principal en la reacción catódica, y su concentración afecta la reacción catódica, y por lo tanto la polarización. El incremento de la concentración

del oxígeno en el electrolito despolariza el cátodo, y una disminución en la concentración de oxígeno en el electrolito causa el efecto inverso.

f) **Costos en la protección catódica.** En la selección de ánodo para llevar a cabo la protección catódica en una estructura, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros: costos de materiales, backfill, tamaño del ánodo, eficiencia, costo de instalación que varía con el número de ánodo requerido y costo de mantenimiento.

1.5.1.8 la corrosión en la soldadura. En todo proceso de soldadura, existen factores que directa o indirectamente, agravan la corrosión de las uniones soldadas. Entre ellas tenemos:

- a) La estructura metalográfica de la soldadura y del metal vecino a ella.
- b) La contaminación de la superficie metálica.
- c) La presencia de discontinuidades e impurezas atrapadas en el cordón de soldadura.
- d) La peculiar geométrica de unión soldada.
- e) Presencia de tensiones mecánicas.
- f) El deterioro de recubrimientos protectores.

En cuanto a la morfología de los daños, lo mismo puede la corrosión afectar amplias zonas que de ser de naturaleza localizada, pondrán diferentes formas de corrosión, como por ejemplo, intergranular, bajo tensión y por fatiga.

Al unir dos o más piezas metálicas, suelen existir diferencias de potenciales electroquímico entre el material base y el de aporte. La situación plantea graves problemas cuando el metal de aporte, de marcadamente distinta composición del metal base, es al mismo tiempo, más activo. En tal caso, es probable que la elevada relación área catódica/área anódica motive a un fuerte ataque de la soldadura, produciendo fallas catastróficas de la estructura. A fin de evitar tal peligro, se procura escoger un material de aporte adecuadamente elevado para que sea más noble que el material base.

Una mala aplicación de la soldadura, sin que se tenga en cuenta las variables esenciales, provoca diferentes tipos de corrosión, relleno deficiente, incompleta penetración en la raíz del cordón, irregularidades diversas, las mismas asperezas del cordón de soldadura dan origen a pilas de concentración o aireación diferencial.

A. Soldabilidad de los aceros. La soldabilidad es la capacidad de un metal o combinación de metales para ser soldado bajo condiciones de fabricación, en un diseño específico y apropiado de una estructura para comportarse satisfactoriamente en servicio.

La capacidad de los metales para dejarse soldar depende de factores como su composición química, tratamiento térmico que tenga, dimensiones y forma.

B. Clasificación de los aceros al carbón. Los aceros al carbono se clasifican en acero de bajo, mediano y alto contenido de carbono.

a) **Aceros de bajo carbono.** Estos aceros contienen un porcentaje menor de 0.25% de carbono, generalmente son fáciles de soldar, por cualquier método de soldadura por arco. Estos aceros no necesitan de precalentamiento y poscalentamiento.

Estos aceros con espesores de plancha de 40 a 60 mm y aceros con 0.15% de carbono y espesores de 10 a 25 mm máximo se obtiene buena soldadura.

b) **Aceros de mediano contenido de carbono.** Su contenido va desde 0.25 hasta 0.50% de carbono, pueden ser satisfactoriamente soldados, por todos los procesos de soldadura por arco, pero debido a la formación de martensita en la zona de soldadura, se requiere de un precalentamiento y poscalentamiento. En el calentamiento se minimiza la dureza y precipitación de martensita y al poscalentamiento para restaurar la ductibilidad en la zona afectada por el calor.

En la selección de electrodos de soldadura por arco se recomienda de bajo contenido de hidrógeno.

c) **Aceros de alto contenido de carbono.** Son aceros con un contenido mayor de 0.50% de carbono, son difíciles de soldar debido a que son susceptibles de

agrietarse la soldadura. La soldadura por arco de estos aceros es más crítico, que por soldadura de gas de protección.

Para mejores resultados en soldadura de arco con electrodo revestido, se deben usar electrodos de bajo contenido de hidrógeno.

Los electrodos de acero inoxidable austenita son recomendados para soldadura de alto contenido de carbono, sin embargo se necesita un precalentamiento y poscalentamiento en la zona afectada para aliviar esfuerzo y endurecimiento.

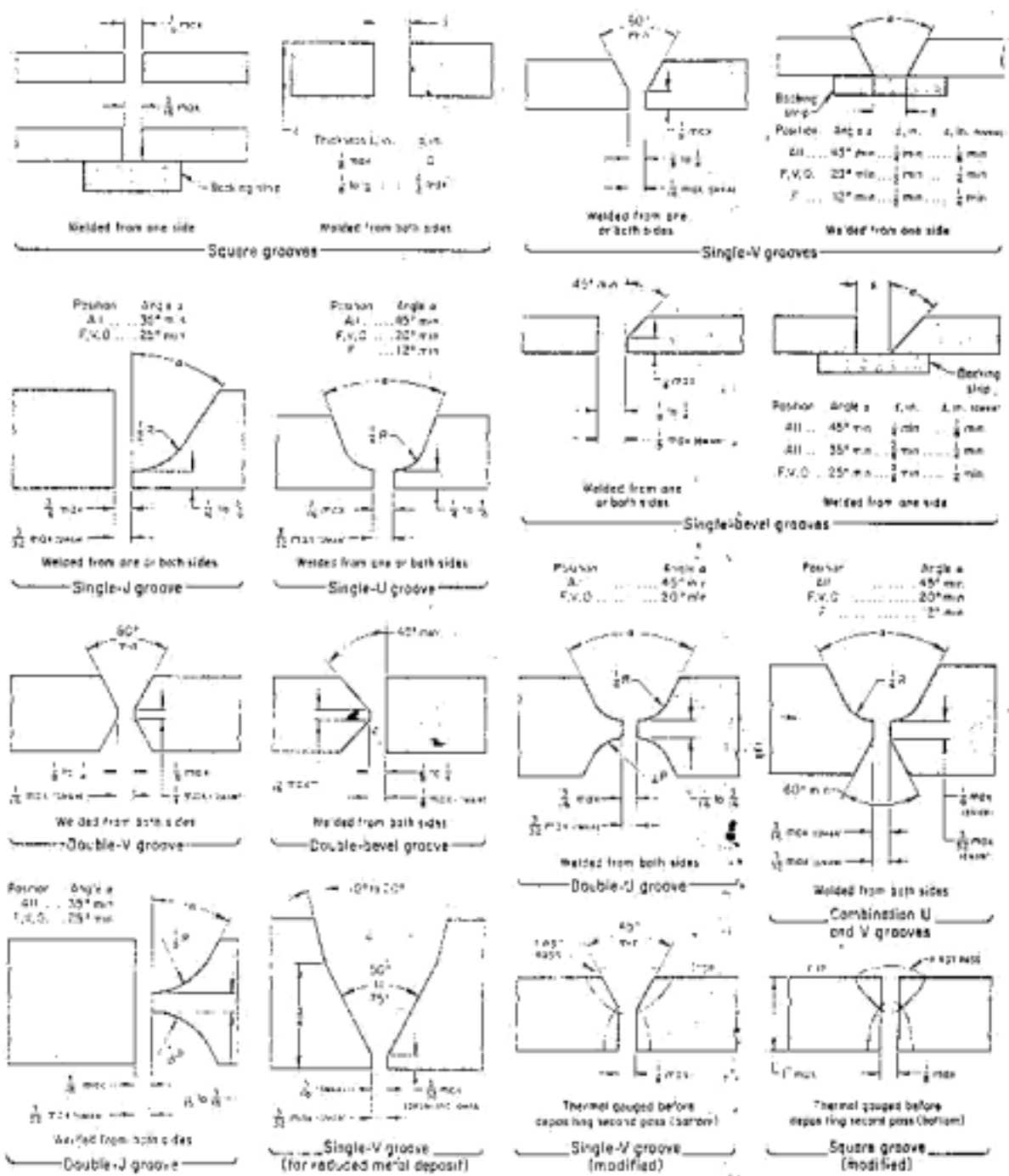
Los aceros inoxidables, aceros aleados bajos, y aleaciones resistente al calor se pueden llevar a cabo por soldadura con electrodo revestido. Las aleaciones de cobre y níquel son soldadas por este tipo de proceso de soldadura, sin embargo se prefieren soldadura de arco con gas como TIG y MIG.

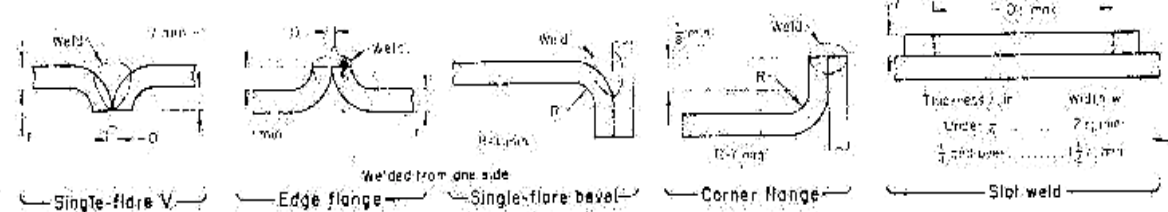
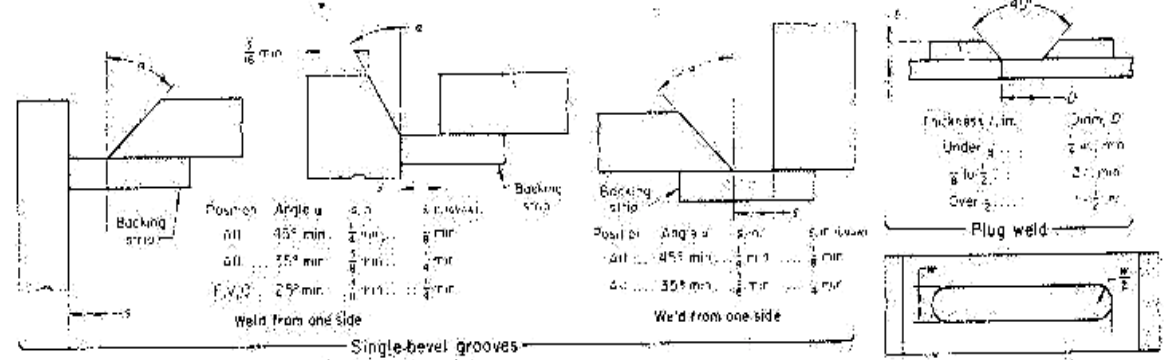
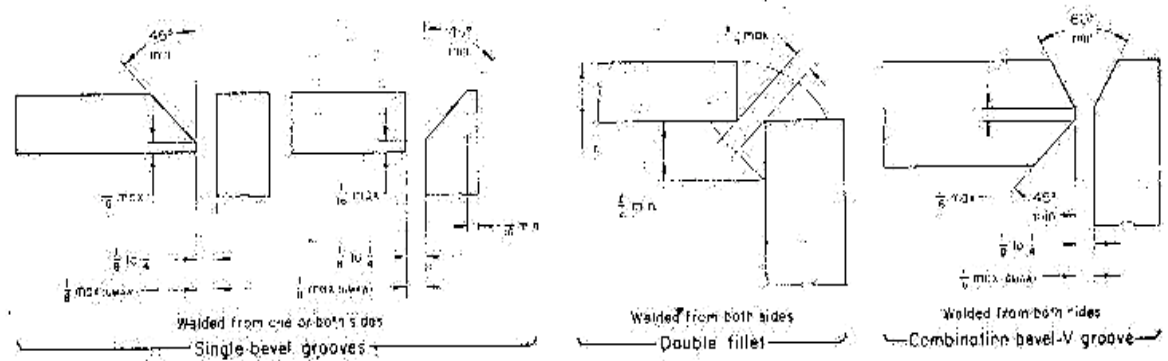
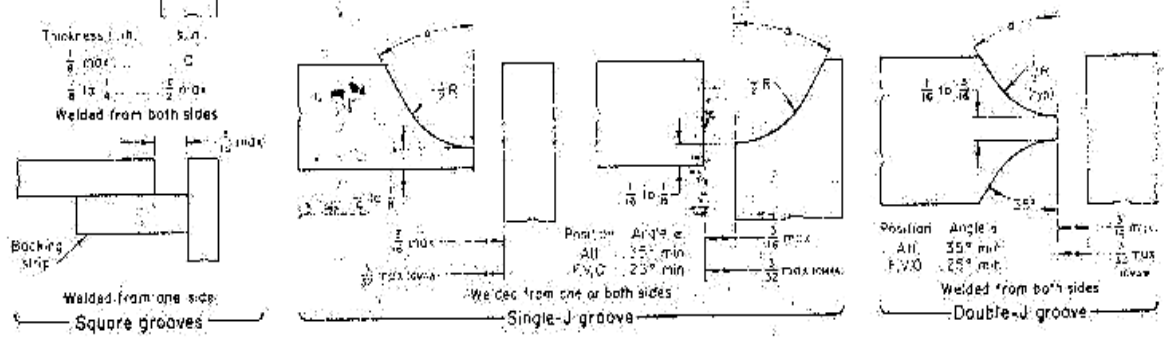
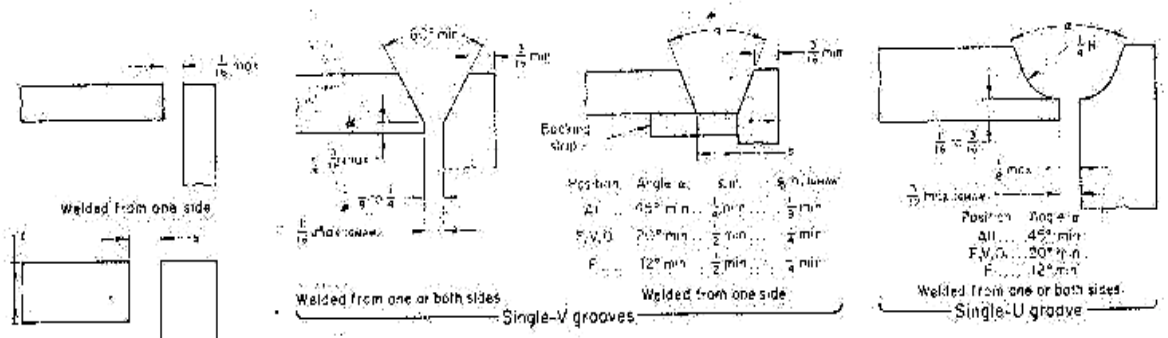
Los metales blandos como Zinc, plomo y titanio no son tan receptivos en la soldadura de arco con electrodo revestido.

d) **Posiciones y uniones básicas en soldadura.** Normalmente la posición de la unión, determina las normas que se deben optar, para llevar a cabo las diferentes formas de soldadura para cumplir los requisitos de diseño.

En la figura 25 dan las proporciones recomendadas en ranuras para soldadura por arco según A.W.S.

Figura 25. Proporciones recomendadas en ranuras para soldadura por arco según A.W.S.





These drawings are intended to be used as a guide only. All dimensions and tolerances are given in inches and fractions of an inch. All welds are made by shielded metal-arc, gas metal-arc, gas

- e) **Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).** Es también conocido, como soldadura con electrodo revestido, es uno de los métodos de soldadura más importante y comunes, por este método se pueden soldar metales de distintos tipos y espesores, en todas las posiciones y con una conversión mínima en equipo.

En soldadura de arco con electrodo revestido, los materiales del electrodo recubierto y de la pieza que se desea soldar quedan unidos al fundirse ambos debido al calor del arco, que se forma entre ellos. La descomposición del revestimiento del electrodo es lo que forma la atmósfera de protección; el electrodo fundido constituye el metal de aporte. En la aplicación del cordón de soldadura, hay que tener en cuenta sus variables esenciales, que si se cambian más allá de ciertos límites, perjudican la apariencia y la calidad de la soldadura. Para realizar un buen trabajo, hay que tomar en cuenta las siguientes variables:

- a) Tamaño del electrodo
- b) La corriente
- c) La longitud de arco
- d) Velocidad de avance
- e) Angulo del electrodo

- f) **Electrodos.** Los electrodos usados en este tipo de soldadura, tienen diferentes composiciones

longitud de 9 a 18 pulgadas. La American Welding Society (AWS), ha realizado clasificación de los diferentes electrodos utilizado en la industria. Todos los números de identificación de electrodos comienza con la letra E, que es la inicial de la palabra electrodo. La letra va seguida de una cifra de cuatro o cinco dígitos. Los dos primeros dígitos, del total de cuatro de que está formado el número; indican la resistencia a la tracción del metal que se va a depositar expresada en miles de libra por pulgada cuadrada.

El tercer dígito (o el cuarto, en caso de que el número conste de cinco dígitos) señala la posición en que se debe soldar. El tercer o cuarto dígito puede ser un 1 o un 2. En el cuadro 14 se aclara el significado de la tercera o cuarta cifra.

Cuadro 14. Significado del tercer o cuarta cifra en cuanto a la posición de la soldadura

| DÍGITO | SIGNIFICADO |
|--------|--------------|
| 1 | F, V, OH, H |
| 2 | F, filetes H |

F = posición plana

H = Horizontal

V = Vertical

OH = Elevada

Filetes H = filetes horizontal

Normalmente, el último dígito establece el tipo de corriente que se tiene que usar y el tipo de revestimiento del electrodo. En el cuadro 15 se presenta el significado de los 2 últimos dígitos combinados.

Cuadro 15. Significado de los dos últimos dígitos

| Número | Revestimiento | Tipo de corriente |
|---------------|---|--------------------------|
| EXX10 | Alto contenido de celulosa, sodio | CDEP |
| EXX11 | Alto contenido de celulosa, potasio | Ca, CDEP |
| EXX12 | Alto contenido de rutilo, sodio | Ca, CDEN |
| EXX13 | Alto contenido de rutilo, potasio | Ca, CDEP o CDEN |
| EXX15 | Bajo contenido de hidrógeno, sodio | Ca, CDEP |
| EXX16 | Bajo contenido de hidrógeno, potasio | Ca, CDEP |
| EXX18 | Bajo contenido de hidrógeno, potasio, polvo de hierro | Ca, CDEP |
| EXX20 | Alto contenido de óxido de hierro | Ca, CDEN |
| EXX22 | Alto contenido de óxido de hierro | Ca, CDEP o CDEN |
| EXX24 | Polvo de hierro, rutilo | Ca, CDEP o CDEN |
| EXX27 | Alto contenido de óxido de hierro, polvo de hierro | Ca, CDEN |
| EXX28 | Bajo contenido de hidrógeno, potasio, polvo de hierro | Ca, CDEP |

g) **Revestimiento del electrodo.** La composición de los recubrimientos, extensamente determinan el desempeño de un electrodo y la fortaleza de la soldadura. En el cuadro 16 se dan las composiciones de electrodos recubiertos, usados en la soldadura de acero de bajo carbón, sus funciones primarias y secundarias.

Cuadro 16. Rangos y composiciones típicas de los electrodos para acero de bajo carbón

| Constituent of covering | Function of constituent | | E6010 E6011 | E6012 E6013 | E6020 | E6027 | 67014 | E7016 | E7018 | E7024 | E7028 |
|---------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1º | 2º | | | | | | | | | |
| Cellulose | Shielding gas | - | 25-40 | 2-12 | 1-5 | 0-5 | 2-6 | - | - | 1-5 | - |
| Calcium carbonate | Shielding gas | Fluxing agent | - | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 15-30 | 15-30 | 0-5 | 0-5 |
| Fluorspar | Slag former | Fluxing agent | - | - | - | - | - | 15-30 | 15-30 | - | 5-10 |
| Dolomite | Shielding gas | Fluxing agent | - | - | - | - | - | - | - | - | 5-10 |
| Titanium dioxide (rutile) | Slag former | Arc stabilizer | 10-20 | 30-55 | 0-5 | 0-5 | 20-35 | 15-30 | 0-5 | 20-35 | 10-20 |
| Potassium titanate | Arc stabilizer | Slag former | - | - | - | - | - | - | 0-5 | - | 0-5 |
| Feldspar | Slag former | Stabilizer | - | 0-20 | 5-20 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | - | 0-5 |
| Mica | Extrusion | Stabilizer | - | 0-15 | 0-10 | - | 0-5 | - | - | 0-5 | - |
| Clay | Extrusion | Slag former | - | 0-10 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | - | - | - | - |
| Silica | Slag former | - | - | - | 5-20 | - | - | - | - | - | - |
| Asbestos | Slag former | Extrusion | 10-20 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Manganese oxide | Slag former | Alloying | - | - | 0-20 | 0-15 | - | - | - | - | - |
| Iron oxide | Slag former | - | - | - | 15-45 | 5-20 | - | - | - | - | - |
| Iron powder | Deposition rate | Contact welding | - | - | - | 40-55 | 25-40 | - | 25-40 | 40-55 | 40-55 |
| Ferrosilicon | Deoxidizer | - | - | - | 0-5 | 0-10 | 0-5 | 5-10 | 5-10 | 0-5 | 2-6 |
| Ferromanganese | Alloying | Deoxidizer | 5-10 | 5-10 | 5-20 | 5-15 | 5-10 | 2-6 | 2-6 | 5-10 | 2-6 |
| Sodium silicate | Binder | Fluxing agent | 20-30 | 5-10 | 5-15 | 5-10 | 0-10 | 0-5 | 0-5 | 0-10 | 0-5 |
| Potassium silicate | Arc stabilizer | Binder | - | 5-15 | 0-5 | 0-5 | -10 | 5-10 | 5-10 | 0-10 | 0-5 |

El grosor de los recubrimientos varía desde 10 a 55%, mientras que algunos ingredientes contribuyen a estabilizar el arco, otros suministran al cordón una protección de gas y lo resguarda de la escoria. Otros más se emplean para mejorar el comportamiento químico de la soldadura.

En cuanto a sus características estos revestimientos están hechos para proporcionar una serie de mejoras y aún se fabrican nuevos tipos. Dentro de sus características podemos mencionar las siguientes:

- a. Aglutinantes: mantienen pegados los revestimientos
- b. Materiales aleante: controlan la composición química de la soldadura.
- c. Fundentes: controlan al fluidez del charco y elimina los óxidos.
- d. Productores de escoria: suministran protección al charco.
- e. Dexoxidantes: previenen la porosidad y fortalecen la soldadura.
- f. Estabilizadores: facilitan el uso de los electrodos
- g. Productores de gas: suministran una protección más adecuada.

h) **Selección de los electrodos.** Los electrodos utilizados en el proceso de soldadura con electrodos revestidos, no están diseñados para uso múltiple aunque existen algunos para aplicaciones específicas. En la selección de un electrodo hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- a. Tipo de corriente (corriente alterna o directa).
- b. Composición del metal base.
- c. Posiciones en la soldadura.
- d. Exigencias de calidad.
- e. Velocidad de depósito de material.
- f. Costos en la operación de la soldadura

g. Habilidad y experiencia en el soldador.

El sistema AWS con especificaciones A5.1 rige los electrodos de acero de bajo carbono y la especificación A5.5 los electrodos de aceros de baja aleación.

Los grupos de electrodos tienen numeraciones F con base a las aplicaciones en las que se pueden usar.

- Grupos F-1: electrodos de gran velocidad de depósito : E6020; E6027; E7024 y E7028, tienen una cantidad de polvo u óxido de hierro, que a veces llega hasta un 50%. Estos electrodos no forman arcos muy poderosos, puesto que permiten una velocidad de depósito muy grande, son aptos para utilizarse únicamente en la posición horizontal o para los filetes horizontales.
- Grupo F-2: electrodos con penetración superficial: E6012; E6013 y E7014. La velocidad de depósito de los electrodos con penetración superficial es un poco menor a la de los electrodos del grupo F-1. El charco es menor fluido con el grupo anterior y tiende a solidificarse rápidamente. Este grupo de electrodos son excelentes opción para soldar en posiciones complicada.
- Grupo F-3: electrodos de penetración profunda: E6010; E6011. Los arcos de penetración profunda, son hondos. Este efecto es de mucho provecho para la soldadura de uniones a tope de placas, tubos y conductos. Permiten una excelente fusión de lado a lado en las pasadas de raíz. El charco se enfría

rápidamente, lo cual facilita su control en posiciones complicadas, son muy utilizados en soldadura descendente.

- Grupo F-4: Electrodo con bajo contenido de hidrógeno, para aceros difíciles de soldar: E7016 y E7018. Entre ellos se encuentran los aceros de alta maquinabilidad, con alto contenido de azufre. Estos electrodos son menos propensos al agrietamiento que los que pertenecen al grupo F-3. Este grupo de electrodos es de opción obligada cuando se desea lograr las mejores propiedades mecánicas y una buena calidad.

- i) **Selección del tamaño del electrodo.** Para muchas aplicaciones, obtener la operación económica depende tanto en la selección del diámetro del electrodo, así como en la selección de las clases de electrodos.

Las principales consideraciones en la selección del tamaño de los electrodos son el diseño de las juntas, grosor de la capa de la soldadura, posición de la soldadura, experiencia y destreza del soldador y corriente de entrada permisible.

En el cuadro 17 muestra los rangos típicos de corriente, velocidad y avance, de seis (6) tipos de electrodos en varios diámetros de electrodos en filetes de diferentes posiciones.

Cuadro 17. Rangos típicos de corriente, velocidad y avance, de seis (6) tipos de electrodos en varios diámetros de electrodos en filetes de diferentes posiciones

| Electrode size in | Current, amp | Weid size in | Spedd ipm for welding positions | | | | |
|-------------------|--------------|--------------|---------------------------------|------------|--------------|----------|----------|
| | | | Flat | horizontal | Downhill 30o | vertical | Overhead |
| E6011 electrodos | | | | | | | |
| 1/8 | 100 to 120 | 1/8 | 8 to 10 | 8 to 10 | 10 to 12 | --- | --- |
| | 110 to 120 | 1/8 | --- | --- | --- | 7 to 8 | 7 to 8 |
| 5/32 | 120 to 140 | 5/32 | 8 to 10 | 8 to 10 | 10 to 12 | --- | --- |
| | 130 to 140 | 5/32 | --- | --- | --- | 7 to 9 | 7 to 9 |
| 3/16 | 150 to 165 | 3/16 | --- | --- | --- | 6 to 7 | 6 to 7 |
| | 160 to 175 | 3/16 | 9 to 11 | 9 to 11 | 11 to 13 | --- | --- |
| E6012 electrodos | | | | | | | |
| 1/8 | 120 to 140 | 1/8 | 13 to 15 | 12 to 14 | 14 to 18 | 4 to 5 | 4 to 5 |
| 5/32 | 150 to 170 | 1/8 | 15 to 16 | 14 to 16 | 13 to 17 | --- | --- |
| | 150 to 170 | 5/32 | --- | --- | --- | 3 to 4 | 3 to 4 |
| 3/16 | 190 to 210 | 5/32 | 13 to 15 | 12 to 14 | 12 to 15 | --- | --- |
| | 190 to 210 | 3/16 | --- | --- | --- | 3 to 4 | 3 to 4 |
| | 200 to 220 | 3/16 | 10 to 12 | 9 to 11 | 11 to 14 | --- | --- |
| E7014 electrodos | | | | | | | |
| 5/32 | 180 to 200 | 5/32 | 10 to 11 | 10 to 11 | 12 to 13 | --- | --- |
| 3/16 | 230 to 250 | 3/16 | 11 to 12 | 11 to 12 | 12 to 13 | --- | --- |
| 7/32 | 280 to 310 | 1/4 | 10 to 11 | 10 to 11 | 11 to 12 | --- | --- |
| ¼ | 340 to 370 | 5/16 | 8 to 9 | 8 to 9 | 9 to 10 | --- | --- |
| E7018 electrodos | | | | | | | |
| 1/8 | 120 to 140 | 1/8 | 8 to 10 | 8 to 10 | --- | 4 to 6 | 7 to 9 |
| 3/16 | 200 to 225 | 3/16 | --- | --- | --- | --- | --- |
| | 220 to 240 | 5/32 | 13 to 14 | 12 to 13 | --- | --- | --- |
| | 220 to 240 | 3/16 | 10 to 13 | 8 to 12 | --- | --- | --- |
| 7/32 | 250 to 275 | 3/16 | 12 to 13 | 10 to 11 | --- | --- | --- |
| ¼ | 320 to 350 | 1/4 | 8 to 9 | 8 to 9 | --- | --- | --- |
| | 320 to 350 | 5/16 | 6 to 7 | 6 to 7 | --- | --- | --- |
| E7024 electrodos | | | | | | | |
| 1/8 | 160 to 170 | 5/32 | 15 to 16 | 14 to 15 | --- | 4 to 6 | 7 to 9 |
| 5/32 | 215 to 225 | 3/16 | 15 to 16 | 14 to 15 | --- | --- | --- |
| 3/16 | 265 to 275 | 1/4 | 12 to 13 | 11 to 12 | --- | --- | --- |
| 7/32 | 330 to 360 | 1/4 | 14 to 15 | 13 to 14 | --- | --- | --- |
| ¼ | 370 to 400 | 5/16 | 11 to 12 | 10 to 11 | --- | --- | --- |

El número de pases requerida para especificaciones establecidas, depende en mayor parte en el diseño de las uniones, espesores de la pieza de trabajo, posición de la soldadura y destreza del soldador. Todo los electrodos recubiertos están diseñados para múltiples pases de soldadura. El tamaño del electrodo para

el uso en diferentes posiciones y algunos tipos de uniones están dado en los siguientes:

- a. Para soldadura en tuberías o uniones soldadas simple, requieren buena fusión en la raíz, el electrodo recomendado para primer pase, con diámetro de 1/8 cm ó 5/32 in, para el resto de pases, 5/32 o 3/16 pulg. Los electrodos pueden ser usados en todas las posiciones.
- b. Para la posición plana de doble bisel o bisel sencillo que tienen muesca de respaldo, para la primera pase se utiliza 3/16 y para el resto de pases 7/32.
- c. Para la posición plana de filete, electrodos de 3/16, 7/32 ó 1/4 pulg. son satisfactorio. Para diámetros mayores pueden ser usados, si el espesor de la pieza puede tolerar el calor adicionado.
- d. El tamaño de los electrodos usados en bajo de hidrógeno, en la posición vertical y sobrecabeza se utiliza diámetro de 1/8 y 5/32 pulgadas, para posiciones plana y horizontal se utiliza 3/16 pulgadas o mayores.

- j) **Ratas de deposición de electrodo.** La rata de deposición es el peso de metal depositado y es generalmente expresado en libras (onza) por hora. En el cuadro 18 se dan las eficiencias de deposición perdida por salpicaduras y las propiedades mecánicas de los diferentes electrodos bajo ciertas condiciones normales, el funcionamiento y las propiedades de la soldadura pueden variar en un $\pm 7\%$, debido a técnicas del soldador, diferentes marcas, etc.

Cuadro 18. Eficiencias de deposición perdida por salpicaduras y las propiedades mecánicas de los diferentes electrodos

| Electrode class | Electrode size in | Current (ac). Amp | Deposition rate (100% are time) oz/hr | Deposition efficiency % | Spatter loss, % of core wire | Properties of weid metal Strength, psi, elongation | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--|--------|-----------------------|
| | | | | | | Tensile | Yield | Elongation in 2 in, % |
| E6011 | 3/16 | 200 max | 88 | 76 | 16 | 70.000 | 60.000 | 25 |
| | 1/4 | 300 | | | | | | |
| E6012 | 3/16 | 225 | 66 | 68 | 14 | 79.000 | 66.000 | 20 |
| | 1/4 | 380 | 120 | 78 | 16 | 71.000 | 58.000 | 15 |
| | 5/16 | 475 | 178 | 78 | --- | --- | --- | --- |
| E6013 | 3/16 | 225 | 67 | 67 | 13 | 76.000 | 67.000 | 22 |
| E6020 | 3/16 | 225 | 92 | 68 | 11 | 69.000 | 59.000 | 31 |
| | 1/4 | 380 | 177 | 69 | 11 | 65.000 | 52.000 | 29 |
| | 5/16 | 450 | 215 | 69 | 9 | 63.000 | 50.000 | 28 |
| E7014 | 3/16 | 260 | 87 | 68 | --- | 74.000 | 68.000 | 23 |
| | 1/4 | 340 | 119 | 69 | --- | 73.000 | 67.000 | 25 |
| E7016 | 3/16 | 225 | 63 | 70 | 6 | 87.000 | 75.000 | 29 |
| E7018 | 3/16 | 240 | 83 | 69 | --- | 80.000 | 67.000 | 29 |
| E7024 | 3/16 | 270 | 134 | 68 | --- | 90.000 | 80.000 | 22 |
| | 1/4 | 360 | 186 | 69 | --- | 89.000 | 77.000 | 22 |
| | 5/16 | 475 | 250 | 73 | --- | 83.000 | 74.000 | 22 |
| E7028 | 3/16 | 300 | 125 | 68 | --- | 90.000 | 81.000 | 25 |
| | 1/4 | 390 | 192 | 70 | --- | 88.000 | 80.000 | 25 |

El tipo y tamaño del electrodo, posición de soldadura determina el rango de corriente y tipo de corriente que debe ser usado.

k) **Electrodos para aceros inoxidable.** La AWS clasifica con la clave A5.4.

Esta clasificación comienza con la letra E, y los tres primeros números indican el tipo de acero inoxidable.

A continuación se presentan las ternas de números y su significado:

a. Serie 200, cromo – níquel – manganeso, austenítico no templable, no magnético.

- b. Serie 300, cromo – níquel, austenítico, no templable no magnético.
- c. Serie 400, cromo, ferrítico, no templable, magnético.
- d. Serie 400, cromo, martensítico, templable, magnético.
- e. Serie 500, cromo, molibdeno, martensítico magnético.

A continuación del número EXXX pueden aparecer algunas letras, por ejemplo, E308L. Estas letras tienen los siguientes significados (ver cuadro 19).

Cuadro 19. Sufijos

| Sufijo | Significado |
|--------|-------------------------------|
| L | Bajo contenido de carbono |
| ELC | Contenido de carbono muy bajo |
| Cb | Columbio |
| Mo | Molibdeno |

Los dos últimos dígitos pueden ser 15 ó 16. El número 15 indica que el electrodo tiene recubrimiento de cal y se puede utilizar con corriente directa con electrodo positivo (CDEP). El 16 indica revestimiento de rectilio y se utiliza en corriente alterna o CDEP. Las dos cavas pueden aparecer en todas las posiciones.

- l) **Efecto de la humedad en electrodos.** La humedad es perjudicial para los electrodos, por lo tanto deben tomarse precauciones en el almacenamiento de estos electrodos.

En el cuadro 20 recomienda el contenido de humedad para las diferentes clases de electrodos. Algunos electrodos operan mejor cuando el contenido de humedad es bajo. Algunas marcas de E6010 y E6011 operan satisfactoriamente cuando el contenido de humedad está por encima del rango recomendado.

Cuadro 20. Contenido de humedad para las diferentes clases de electrodos

| Electrode class | Recommended moisture content of covering % | Relative humidity, % for storage at normal temperature of 80 ± 20 f |
|---------------------|--|---|
| E6010 | 3.0 to 5.0 | 20 to 60 |
| E6011 | 2.0 to 4.0 | 20 to 60 |
| E6012, E6013, E6020 | Less than 1 | 6a max |
| E6027, E7014, E7024 | Less than 0.5 | 60 max |
| E7015, E7016 | Less than 0.4 | 50 max |
| E7018, E7028 | Less than 0.6 | 50 max |

El cuadro 21 es una guía general para el almacenamiento adecuado de los electrodos más comunes, en hornos especiales y temperatura durante tiempos específicos. Además, se muestran los procedimientos de reacondicionamiento y horneado para los revestimientos de los electrodos.

Cuadro 21. Guía típica para la estabilización en hornos de fundentes y electrodos

| Tpo (AWS) | Almacenamiento en aire acondicionado antes de abrir; HR = humedad relativa | Mantenimiento de la varilla seca en el horno después de abrir | Después de estar expuesto a la humedad durante el tiempo suficiente como para que se afecte la calidad de la soldadura | |
|---|--|---|--|---|
| | | | Reacondicionamiento paso No. 1 | Volver a hornar paso No. 2 |
| Celulosa EXX10 EXX11 EXX20 EXX30 Rutilo EXX12 EXX13 | 70° - 110° F (21° - 43° C) 50% max Hr | No se recomienda | No se recomienda | No se recomienda |
| Polco de hierro M.S. EXX14 EXX24 EXX27 | 70° - 110° F (21° - 43° C) 50% max Hr | 110° - 175° F (43° - 79° C) | 1 hora 250° - 300° F (121° - 149° C) | De ½ a 1 hora 350° F (177° C) |
| De 1 ½ 2 horas en total | | | | |
| Polvo de hierro, bajo contenido de hidrógeno EXX18 EXX28 | 70° - 110° F (21° - 43° C) 50% max Hr | 250° - 350° F (121° - 177° C) | 1 hora 500° - 600° F (260° - 316° C) | ½ hora 650° - 750° F (343° - 399° C) |
| 1 ½ horas en total | | | | |
| Acero inoxidable EXXX-15 EXXX-16 | 40° - 120° F (4.5° - 49° C) 60% (±10) Hr | 250° - 400° F (121° - 205° C) | 1 hora a 600° F (316° C) | No se recomienda |
| Inconel Monel Níquel Temple superficial | 40° - 120° F (4.5° - 49° C) 60% (±10) Hr | 150° - 200° F (66° - 93° C) | 1 hora 325° - 375° F (163° - 191° C) | 1 hor 500° - 600° F (260° - 316° C) |
| 2 horas en total | | | | |
| Latones Bronces | 40° - 120° F (4.5° - 49° C) 60% (±10) hr | 150° - 200° F (66° - 93° C) | No se recomienda | No se recomienda |
| Fundente granulado o aglomerado | 40° - 120° F (4.5° - 49° C) 60% (±10) hr | 200° - 300° F (93° - 149° C) | No se recomienda | 2 horas 600° - 800° F (316° - 427° C) |
| Alambre con núcleo fundente EXXT-1 EXXT-2 EXXT-5 EXXT-G | 40° - 120° F (4.5° - 49° C) 60% (±10) hr | 200° - 300° F (93° - 149° C) | 350° - 450° F (177° - 232° C) | No se recomienda |

m) **Longitud del arco.** La longitud del arco, más adecuada es más o menos igual al diámetro del electrodo a usar. El mantenimiento depende principalmente de la experiencia del soldador percepción visual y sus conocimientos.

La longitud de arco controla el voltaje y afecta la velocidad y eficiencia en la soldadura. Para arcos cortos permite un incremento en la corriente y permite un incremento en la rata de deposición y avance en la soldadura. Cuando el arco es demasiado largo, el calor es disipado al aire, la pieza es dispersado en forma de salpicadura y la rata de deposición se reduce. Además, es susceptible al rompimiento del arco, para dar origen a porosidad debido a pérdidas del revestimiento.

En corriente directa, los arcos deben ser lo más corto posible, para minimizar el rompimiento del arco y contaminación del aire.

n) **Cables para soldadura.** Los cables de soldadura deben estar en buenas condiciones, con el fin de evitar fugas de corriente, además resistente al desgaste y a la abrasión.

El tamaño requerido para una aplicación en particular depende del amperaje máximo que se usará para soldar, de la longitud del circuito de soldadura (combinación de los cables de soldadura y de la pieza de trabajo) y del ciclo de trabajo de la máquina de soldar.

El cuadro 22 muestra el tamaño recomendado para cable de cobre conectando a diversas fuentes de potencia y con diferentes longitudes del circuito. Si se usa cable de aluminio, debe ser de dos tamaños AWG mayor que el cable de cobre para la aplicación.

Cuadro 22. Tamaños recomendados para cable de soldadura de cobre

| Fuente de potencia | | Tamaño de cable AWG para el tramo combinado de cables de electrodo y tierra | | | | |
|--------------------|------------------|---|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tamaño en amperes | Ciclo de trabajo | 0 a 15 m (0 a 50 pies) | 15 a 30 m (50 a 100 pies) | 30 a 46 m (100 a 150 pies) | 46 a 61 m (150 a 200 pies) | 61 a 76 m (200 a 250 pies) |
| 100 | 20 | 8 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 100 | 20-30 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 200 | 60 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1/0 |
| 200 | 50 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1/0 |
| 250 | 30 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1/0 |
| 300 | 60 | 1/0 | 1/0 | 1/0 | 2/0 | 3/0 |
| 400 | 60 | 2/0 | 2/0 | 2/0 | 3/0 | 4/0 |
| 500 | 60 | 2/0 | 2/0 | 3/0 | 3/0 | 4/0 |
| 600 | 60 | 2/0 | 2/0 | 3/0 | 4/0 | - |

En las uniones de tramos largos a través de conectores, estos deben ser apropiados que ofrezcan un buen contacto eléctrico de baja resistencia y su aislamiento debe ser equivalente al del cable.

Los cables de aluminio requieren una buena conexión mecánica para evitar el sobrecalentamiento.

Los conectores limpios establecen buenas conexiones y contribuyen a que la curva estática de potencial contra corriente permanezca estable.

La corriente se transfiere al electrodo a través de las quijadas del portaelectrodo. A fin de asegura una resistencia de contacto mínima y evitar el sobrecalentamiento del portaelectrodo, las quijadas debe mantenerse en buenas condiciones.

o) **Velocidad de avance.** La velocidad de avance debe acoplarse a la intensidad de la corriente. En el cuadro 23 se da la velocidad en diferentes posiciones, de diferentes electrodos con diferentes tamaños de electrodo.

Cuadro 23. Velocidad en diferentes posiciones, de diferentes electrodos con diferentes tamaños de electrodo

| Electrode size, in | Current, amp | Weld size, in | Speed, imp, for welding positions | | | | |
|-----------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------------|------------|---------------|----------|----------|
| | | | Flat | Horizontal | Downhill, 30° | Vertical | Overhead |
| E6011 Electrodes | | | | | | | |
| 1/8 | 100-120 | 1/8 | 8-10 | 8-10 | 10-12 | - | - |
| | 110-120 | 1/8 | - | - | - | 7-8 | 7-8 |
| 5/32 | 120-140 | 5/32 | 8-10 | 8-10 | 10-12 | - | - |
| | 130-140 | 5/32 | - | - | - | - | - |
| 3/16 | 150-165 | 3/16 | - | - | - | 7-9 | 7-9 |
| | 160-175 | 3/16 | 9-11 | 9-11 | 11-13 | 6-7 | 6-7 |
| E6012 Electrodes | | | | | | | |
| 1/8 | 120-140 | 1/8 | 13-15 | 12-14 | 14-18 | 4-5 | 4-5 |
| 5/32 | 150-170 | 1/8 | 15-16 | 14-16 | 13-17 | - | - |
| | 150-170 | 5/32 | - | - | - | 3-4 | 3-4 |
| 3/16 | 190-210 | 5/32 | 13-15 | 12-14 | 12-15 | - | - |
| | 190-210 | 3/16 | - | - | - | 3-4 | 3-4 |
| | 200-220 | 3/16 | 10-12 | 9-11 | 11-14 | - | - |
| E7014 Electrodes | | | | | | | |
| 5/32 | 180-200 | 5/32 | 10-11 | 10-11 | 12-13 | - | - |
| 3/16 | 230-250 | 3/16 | 11-12 | 11-12 | 12-13 | - | - |
| 7/32 | 280-310 | 1/4 | 10-11 | 10-11 | 11-12 | - | - |
| 1/4 | 340-370 | 5/16 | 8-9 | 8-9 | 9-10 | - | - |
| E6012 Electrodes | | | | | | | |
| 1/8 | 120-140 | 1/8 | 8-10 | 8-10 | - | 4-6 | 7-9 |
| 3/16 | 200-225 | 3/16 | - | - | - | 4-6 | 7-9 |
| | 220-240 | 5/32 | 13-14 | 12-13 | - | - | - |
| | 220-240 | 3/16 | 10-13 | 8-12 | - | - | - |
| 7/32 | 250-275 | 3/16 | 12-13 | 10-11 | - | - | - |
| 1/4 | 320-350 | 1/4 | 8-9 | 8-9 | - | - | - |
| | 320-350 | 5/16 | 6-7 | 6-7 | - | - | - |
| E7024 and E6027 Electrodes | | | | | | | |
| 1/8 | 160-170 | 5/32 | 15-16 | 14-15 | - | - | - |
| 5/32 | 215-225 | 3/16 | 15-16 | 14-15 | - | - | - |
| 3/16 | 265-275 | 1/4 | 12-13 | 11-12 | - | - | - |
| 7/32 | 330-360 | 1/4 | 14-15 | 13-14 | - | - | - |
| 1/4 | 370-400 | 1/4 | 11-12 | 10-11 | - | - | - |

p) **La corriente.** Es muy importante la polaridad de la corriente como su intensidad. Mientras que unos electrodos requieren corriente alterna, otros trabajan con corriente directa. Otros funcionan tanto como corriente directa como corriente alterna.

En el cuadro 24, se determinan el tipo de corriente, de acuerdo con el tamaño del electrodo y las clases de electrodo (ver cuadro 13)

Cuadro 24. Intervalos típicos de corriente

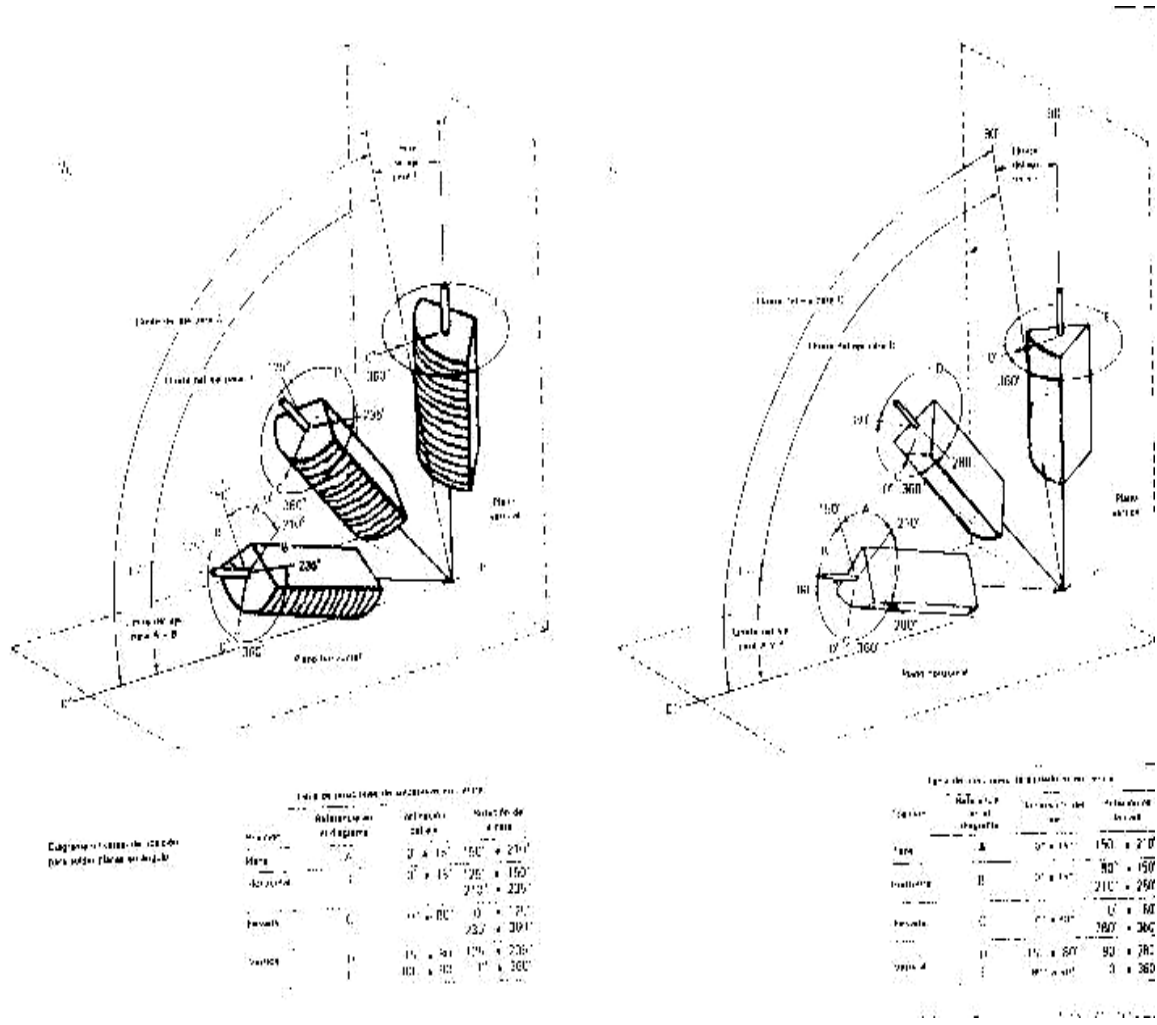
| Diámetro del electrodo | | E6010 y E6011 | E6012 | E6013 | E6020 | E6022 | E6027 Y E7027 |
|------------------------|-----|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Pulg | mm | | | | | | |
| 1/16 | 1.6 | - | 20 a 40 | 20 a 40 | - | - | - |
| 5-64 | 2.0 | - | 25 a 60 | 25 a 60 | - | - | - |
| 3/32 | 2.4 | 40 a 80 | 35 a 85 | 45 a 90 | - | - | - |
| 1/8 | 3.2 | 75 a 125 | 80 a 140 | 80 a 130 | 100 a 150 | 110 a 160 | 125 a 185 |
| 5/32 | 4.0 | 110 a 170 | 110 a 190 | 105 a 180 | 130 a 190 | 140 a 190 | 160 a 240 |
| 3/16 | 4.8 | 140 a 215 | 140 a 240 | 150 a 230 | 175 a 250 | 170 a 400 | 210 a 300 |
| 7/32 | 5.6 | 170 a 250 | 200 a 320 | 210 a 300 | 225 a 310 | 370 a 520 | 250 a 350 |
| ¼ | 6.4 | 210 a 320 | 250 a 400 | 250 a 350 | 275 a 375 | - | 300 a 420 |
| 5/16 | 8.0 | 275 a 425 | 300 a 500 | 320 a 430 | 340 a 450 | - | 375 a 475 |

| Diámetro del electrodo | | E7014 | E7015, E7016 y E7016-1 | E7018 y E7018-1 | E7024-1, E7024 Y E7028 | E7048 |
|------------------------|-----|-----------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------|
| Pulg | mm | | | | | |
| 1/16 | 1.6 | - | - | - | - | - |
| 5-64 | 2.0 | - | - | - | - | - |
| 3/32 | 2.4 | 80 a 125 | 65 a 110 | 70 a 100 | 100 a 145 | - |
| 1/8 | 3.2 | 110 a 160 | 100 a 150 | 115 a 165 | 140 a 190 | 80 a 140 |
| 5/32 | 4.0 | 150 a 210 | 140 a 200 | 150 a 220 | 180 a 250 | 150 a 220 |
| 3/16 | 4.8 | 200 a 275 | 180 a 255 | 200 a 275 | 230 a 305 | 210 a 270 |
| 7/32 | 5.6 | 260 a 340 | 240 a 320 | 260 a 340 | 275 a 365 | - |
| ¼ | 6.4 | 330 a 415 | 300 a 390 | 315 a 400 | 335 a 430 | - |
| 5/16 | 8.0 | 390 a 500 | 375 a 475 | 375 a 470 | 400 a 525 | - |

q) **Angulo del electrodo.** El ángulo que se forma al sostener el electrodo es muy importante. El metal fundido que sale del electrodo se transfiere con violencia, normalmente hacia el punto donde se dirige dicho electrodo. La fuerza que ejerce el arco puede mover el charco hacia un lado o hacia el otro, dependiendo del ángulo que forme el electrodo.

En la figura 26 se dan la posición del electrodo de ranuras y filete.

Figura 26. Posición del electrodo de ranuras y filete



1.5.2 Marco conceptual. La solución teórica del problema de corrosión (aparición de óxidos) en la carena de las embarcaciones, por falla en los procesos de limpieza, soldadura, esquema de pintura y protección catódica, se logra siguiendo las indicaciones pertinentes indicada en las normas internacionales que rigen la reparación de embarcaciones.

Todo diseño de un sistema de pintado debe contemplar aspectos tales como:

- Preparación del substrato metálico, que como veremos tiene una incidencia primordial en la adherencia del recubrimiento de pintura.
- Compatibilidad entre las diferentes pinturas que componen el sistema.
- Espesor de las diferentes pinturas que componen el esquema.

A. Preparación de superficie: con un objetivo final bien definido “potenciar la adherencia del recubrimiento a la base metálica”, la preparación de superficie tiene una doble misión:

- a. Limpieza: limpiar la superficie de material extrañas que a contaminan, polvo, grasa, productos de corrosión, contaminantes salinas, etc.
- b. Conferir a la superficie metálica cierta rugosidad que aumente el área real de contacto metal / pintura y favorece el anclaje de esta última.

La limpieza de la zona sumergida y línea de flotación de las embarcaciones, se le debe llevar por medio del chorreado hasta metal blanco según la norma SSPC-SP5, la limpieza de la obra muerta debe hacerse hasta metal casi blanco según la norma SSPC-SP10 (ver anexo A y B).

La adherencia de un revestimiento orgánico a la superficie metálica que se desea proteger es en el sistema la propiedad fundamental de la mayor importancia, hasta tal punto que si es débil se anulan por completo las propiedades protectora del recubrimiento.

La adherencia en la interfase metal / imprimación, factor de excepcional importancia y complejo, es la resultante de diversos tipos de unión.

- a. Enlace por valencia primarias: es el enlace que suministra mayor unión al sistema. Desgraciadamente, a pesar de que en la formulación de la pintura se persigue con ahínco este tipo de unión, no suele ser por lo general la preponderante.
- b. Enlace por valencia secundarias: es generalmente el tipo de unión con primacía en la tecnología de pintura. En ocasiones se consigue potenciar mediante la adición al vehículo de aditivos especiales. Con relación a esta unión, la experiencia ha demostrado la gran importancia que tiene la humectación de las superficies por los vehículos de las pinturas anticorrosivas, como factor dominante en la efectividad de estas.

En ambos tipos de enlace la fuerza de unión está estrictamente relacionada con la distancia intermolecular entre las moléculas que son objeto de unión, de ahí la importancia de una buena limpieza de la superficie metálica que potencie al máximo las propiedades adherentes del sistema. En ocasiones la presencia de residuos en la interfase metal / pintura de espesor superior a la distancia molecular óptima para una buena adherencia, anulan por completo esta propiedad.

- c. Enlace mecánico: con independencia de los tipos de unión a y b que acabamos de comentar y que componen la adherencia específica del sistema metal / pintura, la posible rugosidad de la superficie metálica favorecen también la unión y constituye lo que se denomina la adherencia mecánica del revestimiento al substrato.

Después de enlace mecánico: entre las propiedades exigibles a una pintura podemos citar:

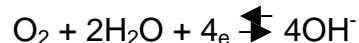
- a. Buena adherencia a la superficie
- b. Deben conservar sus propiedades con el tiempo.
- c. No deben reaccionar con la atmósfera corrosiva.
- d. No debe fragilizarse.
- e. Debe poseer una elevada resistencia electrolítica.
- f. Impermeabilidad al agua.

g. Deben ser poco poroso.

Evidentemente en la práctica es muy difícil encontrar una pintura que reúna todas estas características. Lo habitual es que en función de su composición cada pintura aporte preferiblemente algunas de estas propiedades, de manera que la capa de imprimación aporte propiedades de adherencia e inhibición de la corrosión suministrada por sus pigmentos, aunque no presenta un color estéticamente satisfactorios o su estabilidad a la intemperie y resistencia física general no sea satisfactoria.

En lo que respecta al mecanismo de protección, ejercido por la pintura, distinguiremos su influencia sobre las reacciones anódicas y catódicas.

a. Reacción catódica: en medios aireados y a Ph próximo a 7 sabemos que la reacción catódica es, fundamentalmente la reducción del oxígeno.



Para que no tuviera lugar, y el fenómeno de corrosión electroquímica apareciera bajo control catódico sería necesario que la pintura fuera impermeable al agua y al oxígeno, pero esto en realidad no ocurre (depende lógicamente de su composición) son permeable al agua y oxígeno pudiéndose concluir que las pinturas no llegan a inhibir.

b. Reacción anódica: la reacción anódica es la siguiente:



Existen dos caminos para suprimirlas:

- Haciendo la superficie metálica suficientemente negativa impidiendo que los iones metálicos, cargados positivamente, puedan abandonarla. Este mecanismo tiene lugar cuando se utilizan pinturas ricas en zinc.
- Evitando la disolución metálica mediante la utilización de pigmentos que actúan como inhibidores.

B. Compatibilidad entre pinturas: al momento de aplicar el sistema de pintura (imprimante, anticorrosivo, antiincrustante) hay que tener en cuenta la incompatibilidad entre ellas, ya que deben ser compatibles para que sea duradero el esquema de pintura.

Con el fin de evitar posibles problemas de incompatibilidad, la experiencia ha demostrado la validez de los siguientes puntos:

- a) Utilizar combinaciones donde no se conozcan limitaciones de compatibilidad.
- b) Utilizar pinturas de acabado perteneciente a la misma familia.
- c) Procurar que todas las pinturas del esquema provengan del mismo suministrador o fabricante de pinturas.

d) Seguir exactamente las condiciones de aplicación que dicta el fabricante de pintura que es sin duda el que mejor conocer las particularidades de sus productos.

C. Espesor del sistema de pintura: el espesor de un recubrimiento orgánico es el parámetro más íntimamente relacionado con el efecto barrera que poseen las pinturas con relación al ambiente en que están expuestas.

La penetración (permeabilidad) de humedad y otros agentes agresivos del medio puede reducirse notablemente mediante la aplicación de un recubrimiento con suficiente espesor, y mejor aún si éste ha sido obtenido por la aplicación de capas sucesivas de pintura. Una edificación de la película tal y como se acaba de exponer reduce la existencia de microporos (pinoles), poros u otros vacíos que de hecho siempre exhibe todo recubrimiento de pintura.

Para ejercer con eficacia la acción de barrera física un revestimiento de pintura, su espesor no debiera situarse nunca por debajo de un determinado límite, variable con el tipo de pintura, estado de la superficie, severidad de las condiciones ambientales, tiempo previsto de exposición, etc.

Son muchos los autores que atribuyen el espesor la mayor importancia en la vida del recubrimiento de pintura. De hecho, la durabilidad de éste se relaciona estrechamente con el espesor aplicado. Resulta por tanto evidente la necesidad

de superar un cierto espesor crítico para que la protección sea realmente duradera.

D. Aplicación del sistema de pintura: lo aconsejable es seguir lo más escrupulosamente posible las instrucciones que dicte el fabricante de las pinturas que componen el sistema.

Para una buena planificación de los trabajos de pintado se deberá tener en cuenta aspectos tales como: modo de aplicación, condiciones meteorológicas ambientales, composición de la mezcla si se tratase de un recubrimiento de dos componentes, tiempos de secado y curado, espesor óptimo por capa, intervalos de aplicación entre capas, adelgazamiento adecuado de la pintura del envase, retoques necesarios en determinadas zonas, etc.

E. Selección del esquema de pintado: consiste en una serie de etapas a cubrir antes de tomar la decisión final. Estas etapas se podrían resumir en las tres siguientes:

a) Confección de una lista de factores a considerar en la protección por pintura de una estructura. Se trata de requerimientos relativos a necesidades de protección y/o estética (posible división en la estructura en zonas de diferente agresividad ambiental). Preparación de superficie y condiciones de aplicación posibles, mantenimiento previsible, economía, etc.

- b) Evacuar consultas con fabricantes de pinturas y empresas consultoras contratando con ellos la selección realizada en función de los factores señalados. Continuamente vienen apareciendo nuevos recubrimientos para satisfacer determinados requerimientos y esta serie de consultas puede resultar de enorme interés.
- c) Si la toma de decisiones no es urgente, la realización de ensayos de campo en la misma estructura, o por imperativos de tiempo, la realización de ensayos de laboratorio, puede suministrar datos adicionales que nos hagan inclinar hacia la elección de un determinado recubrimiento entre varios posibles.

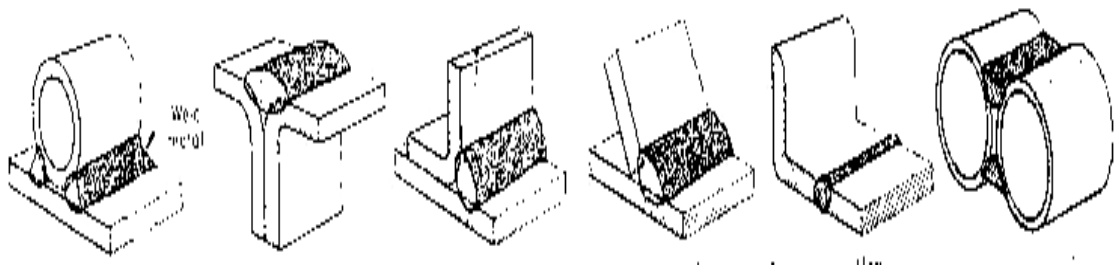
F. **Soldadura:** en el trabajo de campo del Astilleros, en cuanto a cambios de láminas, parches, unión de elementos metálicos, mediante soldadura hay que considerar primero:

- a) Diseño de juntas: el diseño de juntas (forma y dimensiones) está determinada por el diseño de la pieza de trabajo, consideraciones metalúrgicas, y códigos establecidos o especificaciones.
- b) Preparación de bordes: las juntas para ranuras rectas y para soldadura de filete son preparadas simplemente cuadrando los bordes a ser soldados en cada miembro. La preparación de bordes para bisel, V, U, J y combinación de ranuras es más compleja. Los métodos muy frecuentemente usados para la preparación de bordes son fresado, cincelado, cizallado, esmerilado, cortado con gas. Las juntas en metal con espesores hasta 3/16 o 1/4" raramente

requieren biselado para penetración completa. Soldadura de penetración parcial pueden ser hechas en trabajo de metal hasta 1/2" de espesor, sin biselado.

Algunas juntas tienen ranuras naturales para soldado (ver figura 27) y requieren mínimo o no preparación de borde.

Figura 27. Juntas que tiene ranuras naturales y necesitan poca o ninguna preparación



G. Tipos estándares de ranuras: la nomenclatura para ángulos, caras, radios y abertura de raíz en varios tipos de estándares de juntas de ranura se dan en la figura 25. Las dimensiones y proporciones de ranura para soldadura de arco se dieron en la anteriormente.

La ranura biselada sencilla y en V son los tipos muy frecuentemente usados, porque ellos pueden ser fácilmente preparados por corte de gas, usando boquillas y técnicas especiales, o por fresado, que producen ranuras más uniformes.

La ranura en U generalmente requieren menos metal de soldadura que la ranura en V, pero el uso de tiras espaciadoras en las ranuras en V a veces resulta en el mismo ahorro de metal de soldadura.

Las ranuras de simple biselado y en J son bien adoptadas para juntas en T y juntas de esquina. Las ranuras biseladas en V sencilla, U son las preparaciones de borde usuales para juntas a tope de 3/16 ó 1/4" hasta 3/4" de espesor.

Para metales de 3/4" de espesor o más, se recomiendan ranuras doble bisel, doble V, doble J y doble U, si la soldadura de ambos lados es posible. Las juntas con estas ranuras producen menos distorsión de las partes soldadas y reducen la cantidad de metal de soldadura requerida para un espesor dado.

H. Procedimiento de soldadura: después que el diseño de junta ha sido seleccionado y los bordes de los miembros han sido preparados, el primer paso en la soldadura es colocar las partes en posición y ajustarlas para el ensamble óptimo. Se puntea frecuentemente para sostener las posiciones fijas, para soldaduras en juntas que requieren más de una simple pasada, se inicia depositando un cordón angosto en el fondo de la junta. Entonces la soldadura procede depositando cordones sucesivos sobre el cordón original hasta que se obtiene la dimensión deseada de soldadura. La soldadura debe ser limpiada (desescorificado) después de cada pasada los procedimientos varían considerablemente, dependiendo del diseño de junta, posición de la junta espesor

de las secciones a ser soldadas, y variación del espesor entre las secciones que está siendo soldadas.

I. **Protección catódica:** es práctica casi común en las instalaciones de ingeniería naval (barcos, bongos, planchones, plataformas flotantes) la aplicación de protección catódica a la zona sumergida de estas estructuras que están recubiertas con un sistema anticorrosivo de pinturas. La combinación de esas dos técnicas de protección encuentra igualmente aplicación en estructuras enterradas (tuberías principalmente).

En situaciones de elevada agresividad se considera insuficiente la protección suministrada por las capas de pintura, pues estas no son totalmente impermeables y presentan poros, defectos y zonas dañadas o desprovistas de pintura, por donde el agua de mar se pone en contacto con el metal subyacente, originándose una severa corrosión.

La aplicación de protección catódica al acero desnudo requieren intensidades de corrientes tan elevadas según Routley estima en 2000 amperios la corriente necesaria para la total protección del casco de un buque de tamaño medio que hacen el método inviable económicamente. Una manera de reducir la demanda de corriente eléctrica consiste en revestir la superficie metálica que se desee proteger con capas aislantes de pintura.

De este modo la corriente que suministra la instalación de protección catódica se reduce tan solo a lo necesario para proteger los poros e imperfecciones del sistema de pintura. Sin embargo, no se pueden aplicar este procedimiento conjugado de protección sin tomar ciertas precauciones, como que el voltaje no sea excesivamente alto sino la necesaria.

Se ha comprobado repetidas veces que en determinadas pinturas por ejemplo la basada en vehículos aleorecinosos, fenólica al acero de linaza, toleran cierta dificultad dependiendo del voltaje aplicado en el complemento de la protección catódica. En estos casos, a pesar de que la protección catódica impida la corrosión del acero la corriente eléctrica motiva al deterioro del recubrimiento orgánico (ampollamiento más o menos generalizado y desprendimiento más o menos generalizado y desprendimiento de la película de pintura).

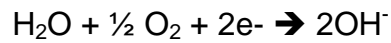
Esta es la razón por lo que desde 1950, paralelamente al desarrollo de los equipos de protección catódica y esquema de pintado más efectivo, se han puesto en marcha amplia investigación encaminada al mejor conocimiento de la interacción pintura – protección catódica y posible incompatibilidades.

Como es sabido, los requisitos del potencial de sólida de corriente son diferentes según la modalidad de protección catódica utilizada. En la protección por ánodo de zinc el potencial de la estructura a proteger, se mantienen, por lo general, en niveles inferiores (en valor absoluto) a $-1U$ frente al electrodo Ag/AgCl.

No sucede así con otro tipo de ánodo, por ejemplo magnesio, o con los equipos de corriente impresa, en los que dependiendo de sus características, sistema de ajuste y modo de aplicación, el potencial puede alcanzar ocasionalmente valores más negativos.

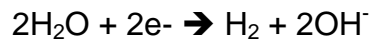
J. Pérdida de adherencia del recubrimiento: como se ha mencionada, la aplicación de un recubrimiento aislante a una superficie de acero, disminuye enormemente la demanda de corriente de protección catódica necesaria para evitar la corrosión en agua de mar. Sin embargo, como también se ha apuntado, ambas técnicas complementarias de protección anticorrosivas deben aplicarse convenientemente sino se quiere suscitar falla prematuras del recubrimiento orgánico. En efectos, hay que evitar que a consecuencia de una mala práctica en la aplicación (por ejemplo limpieza inadecuada del acero, bajo espesor del sistema de pintura, reporta no uniforme del potencial de protección catódica excesiva) se menoscabe la adherencia de la pintura al soporte metálico con desprendimiento y rotura del recubrimiento, lo que llevaría consigo un incremento de la superficie metálica expuesta y por tanto, de la demanda de corriente eléctrica para su adecuada protección.

Veamos brevemente los principales fenómenos responsables de la pérdida de adherencia de recubrimiento por efecto de la polarización catódica impuesta al metal. En primer lugar, en la superficie metálica que actúa de cátodo se produce una alcalinización, tanto mayor cuanto más levado es la corriente que fluye.



Los iones oxhidrilo pueden originar ablandamiento y ampollamiento en las pinturas sensible al álcalis (saponificables).

Según sea la densidad de corriente aplicada el proceso catódico puede conducir a la formación de ión oxhidrilos exclusivamente o a una producción concomitante de iones oxidrilo y gas hidrógeno que se desprenden de la interfase acero / pintura



Potenciales más negativos de -1V son suficientes para la formación de gas hidrógeno debajo de la capa de pintura, originándose un ampollamiento que de hacerse importante, conduce a la destrucción completa del recubrimiento protector.

Este fenómeno conocido como “sobrepotección”, es a menudo inevitable en las zonas vecinas a los fondos, donde las densidades locales de corriente de protección pueden alcanzar valores muy altos.

La electroósmosis es otro fenómeno que se verifica en la superficie catódica pintada, en virtud del cual el agua se ve forzada a pasar a través del recubrimiento (que actúa de diagrama porosos) en la dirección del flujo de corriente, dando lugar a ampollas llenas de agua y a una pérdida sensible de adherencia. Aunque la

penetración de moléculas de agua sea sensible incluso con revestimiento de alta resistencia química, los delgados, relativamente permeable son los más vulnerables. La resistividad eléctrica y el espesor de la película ejercen un papel primordial en la electroósmosis, que aumenta con el voltaje aplicado.

De la intensidad con que se desarrollan los mencionados tres fenómenos depende la rapidez con que el recubrimiento pierde adherencia. La desunión o despegamiento catódico se manifiesta generalmente por la aparición de ampollas sobre la superficie pintada o por el levantamiento del recubrimiento.

1.5.3 Definición de términos básicos.

ABRASIVO: material duro que se usa para desgastar o pulir.

ÁNODOS GALVÁNICOS: este sistema utiliza como fuente de corriente, la diferencia entre el material del ánodo y la estructura a proteger.

BACTERIA AERÓBICA: microorganismo que precisan de oxígeno para su desarrollo.

BACTERIA ANAERÓBICO: microorganismo que no necesita un ambiente con oxígeno para desarrollar su metabolismo.

CARENA: casco, en especial fondo de las embarcaciones.

CAVITACIÓN: fenómeno que consiste en la formación de burbujas de vapor en un cuerpo que se desplaza en un líquido.

CÓDIGOS: son documentación básica que rige y guía la práctica de un proceso. Estos documentos sirven para:

- a. Fabricar productos que cumplan con la calidad requerida.
- b. Suministrar un real y razonable protección a la vida, la propiedad y el medio ambiente

COMPATIBILIDAD: capacidad , habilidad o facilidad de un material para mezclarse con otro.

CORRIENTE IMPRESA: ésta requiere de una fuente de corriente directa y electrodo auxiliar (ánodo) o grupo de ánodos inertes que integran la cama anódica, situado a cierta distancia de la estructura a proteger.

CORROSIÓN: la corrosión es un proceso electroquímico en el cual el metal reacciona con su medio ambiente para formar óxidos y otros componentes.

DEZINFICACIÓN: es la pérdida de uno de los aleantes de un material. Esto se

originan en los latones que contienen alto contenido de zinc, con la pérdida de sus propiedades mecánicas.

EMULSIONES: líquido integrado por dos sustancias no miscibles, una de las cuales se halla dispersada en la otra en forma de gotas pequeñísimas.

HERRUMBE: capa de hidróxido férrico hidratado, formado por la acción de aire húmedo sobre el hierro.

IMPRIMANTE: composición líquida pigmentada o no que se emplea como primera mano para cubrir poros o facilitar la adherencia de las capas finales de pintura.

INHIBICIÓN: compuestos químicos, cuya función principal es el retardo de un proceso electroquímico con la modificación del estado superficial del material metálico.

NORMA: regla que determina las condiciones de la realización de una operación o las dimensiones y características de un objeto o producto. Las normas incluyen códigos, recomendaciones prácticas, clasificación, métodos y guías.

PINTURA ANTI-INCRUSTANTE: aquella que contiene sustancias tóxicas o venenosas ligeramente solubles, que previenen el crecimiento de la fauna acuática, caracoles, etc., sobre los cascos de barcos y otros objetos sumergido en agua.

PINTURA: preparado que se emplea para cubrir superficies con el propósito de embellecer y protegerlas de los agentes corrosivos. La pintura contiene pigmentos finamente molidos y junto con el vehículo fijo son los componentes que permanecen en la película de recubrimiento una vez seca, y el vehículo volátil, utilizado exclusivamente para hacer posible la aplicación de recubrimiento, se pierde totalmente por evaporación.

POLARIZACIÓN: es la magnitud de variación de potencial de circuito abierto de un electrodo, causado por el paso de una corriente eléctrica.

PROTECCIÓN CATÓDICA: es un método para prevenir y controlar la corrosión, de las estructuras enterrado o sumergidas, obligándolas a funcionar como cátodo en una celda de corrosión, mediante la modificación de factores electroquímicos.

SAPONIFICACIÓN: convertir en jabón un cuerpo graso, por la combinación de los ácidos que contiene con un alcali u otros óxidos metálicos.

SOLDABILIDAD: es la capacidad que tiene un material para soldarse bajo ciertas condiciones de fabricación, con el objeto de construir una determinada estructura que cumpla con eficacia las funciones para las que es diseñada.

SOLDADURA: es la coalescencia local de materiales metálicos o no metálicos que se logra al calentarlos a la temperatura adecuada, con o sin aplicación de presión,

o solo mediante la aplicación de presión, y con o sin el empleo de material de aporte.

SOLVENTES: líquido utilizado para la remoción de aceites, grasas, manchas y otros contaminantes.

TAMIZ: cedazo de malla tupida, usado para separar las partes menudas de las gruesas de una masa pulverulenta.

1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los procesos de limpieza de superficie, soldadura, pintura y protección catódica realizados en la empresa Astilleros Vikingos S.A., van a controlar eficientemente el proceso corrosivo que se presentan en las embarcaciones navales; esto, mejorará la calidad de sus trabajos, siendo atractivo para sus clientes.

1.7 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

| VARIABLES INDEPENDIENTES | DIMENSIÓN | INDICADOR |
|-----------------------------------|---|---|
| Limpieza de superficie | Calidad de superficie | <ul style="list-style-type: none">• Metal blanco• Metal casi blanco |
| Soldadura | De arco eléctrico con electrodo revestido | <ul style="list-style-type: none">• Doble de cara• Doble de raíz• Prueba de tensión |
| Aplicación del sistema de pintura | Adherencia | <ul style="list-style-type: none">• Buena• Mala |
| | Desprendimiento | <ul style="list-style-type: none">• Buena• Mala |
| | Imperfección | <ul style="list-style-type: none">• Prueba de holiday |
| Protección catódica | Sobrepotección | <ul style="list-style-type: none">• >-1.2 |
| | Protección | <ul style="list-style-type: none">• -1.031 |
| | Semiprotección | <ul style="list-style-type: none">• 0.85 |

1.8 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Delimitación temporal. Para el desarrollo y respectivo cumplimiento de los objetivos, este proyecto se desarrollará durante siete meses (28 semanas) contados desde el momento mismo de la aprobación del proyecto.

1.8.2 Delimitación de espacio. Esta investigación se realizará a las embarcaciones navales que son reparadas en Astilleros Vikingos S.A. y que se movilizan por río o por mar.

2. LA SOLUCIÓN

2.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Con base a las diferentes investigaciones existentes, se concluye que la presente investigación es de tipo experimental dada sus características.

2.2 IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este proyecto se da solución a ciertos problemas de corrosión que se presenta en Astilleros Vikingos S.A., dando pie para futuras investigaciones en este campo, logrando con ello que se obtenga un amplio conocimiento sobre los procesos corrosivos que se dan en estos medios, para así implementar los correctivos adecuados que impidan o reduzcan el deterioro de elementos y estructuras sometidas a este ambiente.

2.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para desarrollar el siguiente proyecto se contará con información primaria y secundaria.

2.3.1 Información primaria. Se obtendrá a través de pruebas de laboratorio

realizada por personas calificadas.

2.3.2 Información secundaria. Esta información es aquella que se recoge de estudios ya realizados por investigadores; para el presente proyecto se recopilarán, libros, revistas, catálogos, Internet, normas de procesos, documentos de CUTB, etc.

2.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos del estudio se seleccionaron las pruebas que se enumeran a continuación y que fueron realizados por los responsables respectivos:

En soldadura:

| Prueba | Responsable |
|--|----------------------------|
| Radiografía de soldadura | Control de soldadura Ltda. |
| Procedimiento de calificación de la soldadura (PQR: proceduce qualifation record) | Control de soldadura Ltda. |
| Calificación del soldador (WQTR) | Control de soldadura Ltda. |
| De tensión | Tabulación de Tubocaribe |
| Doble de raíz | Tabulación de Tubocaribe |
| Doble de cara | Tabulación de Tubocaribe |

En pintura

| Prueba | Responsable |
|---|---------------------------|
| Desprendimiento catódico | Laboratorio de Tubocaribe |
| Adherencia | Sika Andina |
| Continuidad eléctrica ó holiday | Sika Andina |
| Determinación de espesores de película seca | Sika Andina |

Protección catódica

| Prueba | Responsable |
|--|-----------------------------|
| Medida de potencial del casco en la embarcación "Redes" recién reparada según normas internacionales | Técnico Aristófanés Pedrozo |

2.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En soldadura:

Para las pruebas de radiografía, doblez de cara, doblez de raíz, tensión, PQR, WPS se seleccionó un soldador de la empresa Astilleros Vikingos S.A. para que soldara en posición plana, ranura en V, dos láminas de acero naval con dimensiones 30 x 7 x 3/8" cada una; electrodo utilizado fue E6011 en la raíz (3 pasadas) y E7018 para rellenos (3 pasadas); el amperaje utilizado para E6011 fue 75 Amp. y para E7018 150 Amp. El tipo de corriente fue corriente continua con electrodo positivo (polaridad invertida).

Con los siguientes resultados:

Análisis radiográfico:

El cordón fue satisfactorio y por consiguiente se procedió a hacer los análisis de:

| | |
|--------------------------|--|
| Prueba de tensión (1) | Límite elástico: 53.700 Psi Resistencia: 69.700 Psi |
| Prueba de Tensión (2) | Límite elástico: 55.300 Psi Resistencia: 71.300 Psi |
| Resistencia de soldadura | Satisfactoria |

Procedimiento de calificación de soldadura

Pruebas de dobléz y de cara: debe examinarse de la superficie convexa de la muestra doblada para ver si esta presenta discontinuidades: para que el trabajo sea aceptable la superficie no debe tener discontinuidades cuyas dimensiones sean mayores a las siguientes:

- a) 1/8" (3.2 mm) medidas en cualquier dirección sobre la superficie.
- b) 3/8" (9.5mm) suma de las dimensiones totales de todas las discontinuidades que excedan 1/32" (0.8mm) pero que sean menores o iguales a 1/8" (3.2mm).
- c) 1/4" (6.4mm) máximo para las grietas en esquinas, excepto cuando las grietas de este tipo hayan sido originadas por una inclusión de escoria visible o por tipo de discontinuidad de fusión. En estos últimos casos se deben tomar en consideración un máximo de 1/8" (3.2mm) deben desecharse de las muestras que tengan grietas en esquinas mayores que 1/4" (6.4mm) en que no haya evidencia de inclusiones de escoria u otras discontinuidades de presión.

| | | |
|------|----------------------------|---------------|
| PQR | Doblez de cara | o.k. |
| | Doblez de raíz | o.k. |
| | Carácter de la falla | Dúctil |
| | Procedimiento de soldadura | Satisfactorio |
| WQTR | Calificación de soldadura | Satisfactorio |

Pintura

| | |
|---------------------------------|----------------------------|
| Desprendimiento catódico | O.k. |
| Adhesión | Satisfactoria |
| Prueba de continuidad eléctrica | 100% ausencia de porosidad |

Estos resultados indican que la pintura tuvo un buen comportamiento.

Protección catódica ($V_p = -1.031$)

Es satisfactorio porque el potencial del casco está por encima de -0.85 volt en valores absolutos (respecto al electrodo de referencia Cu/CuSO_4) y por debajo de -1.2 (no hay sobreprotección).

2.6 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

A continuación se aplicará normas, especificaciones y códigos que rigen cada proceso para la solución de los problema, de acuerdo a patrones establecidos por organismos internacionales que son las que la determinan a estos.

2.6.1 Limpieza de superficie. En la limpieza de superficie se establecerá cuales son las normas que rigen en cada una de las zonas de la embarcación. Con el fin de eliminar todas aquellas sustancias que son perjudiciales al esquema de pintura por ejemplo grasa, manchas, aceites, etc.

Una buena preparación de superficie garantiza el éxito en la protección de una estructura o elemento metálico.

El buen desempeño de un recubrimiento depende en más del 90% de una correcta limpieza de superficie.

Para que una pintura cumpla con sus objetivos, es indispensable que se adhiera completamente a la superficie y esto solo se consigue mediante una preparación adecuada del objeto que se va a pintar.

Aquí expondremos la manera apropiada de hacer una correcta limpieza de superficie, incluyendo las condiciones que se deben tener en cuenta.

Como primera medida se consideran los siguiente factores:

- a) Humedad relativa.
- b) Punto de rocío.
- c) Temperatura de la estructura o sustrato.
- d) Condición de los abrasivos (arena)
- e) Condición de la superficie.

La humedad relativa debe estar como máximo en un 75%, preferiblemente se debe sand-blastear entre 10 a.m. – 3 p.m. teniendo en cuenta que la temperatura de la superficie se encuentra entre 8 – 40° C y 4° C por encima del punto de rocío aproximadamente; si no se tiene en cuenta lo anterior hay la posibilidad de que el contenido de humedad del aire se condense produciendo oxidación de la superficie con inclusión de gran cantidad de iones cloruros, sulfuros que le van a restar adherencia a la superficie.

Para sand-blastear la superficie de los barcos se tienen en cuenta 2 zonas:

A. Zona sumergida y de flotación. Se recomienda limpieza con chorro abrasivo a metal blanco SSPC – SP5 / ISO 8501-1.

Procedimiento:

Remoción por medios mecánicos de caracolejos, hierva, incrustantes. Para la eliminación de las sales solubles, principalmente cloruros y sulfato de hierro (subproductos de corrosión en ambientes marinos), que son higroscópicos y pueden inducir la aparición posterior de ampolla debe procederse a un lavado con agua dulce, preferiblemente a presión.

Limpieza con chorro a metal blanco puede consistir en las siguientes secuencias de operaciones:

- a) Depósitos pesados de aceites o grasas, pueden ser removidos por el método especificado en SSPC – SP1 “limpieza con solventes” pequeñas cantidades de aceites o grasa pueden ser removidos con limpieza por chorro, el abrasivo no puede volverse a usar porque sería perjudicial para la superficie.
- b) Excesiva cascarilla de laminación puede ser removida con herramientas de impacto según SSPC-SP2

Limpieza manual o SSPC-SP3 Limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas o por equipo especial de limpieza con chorro.

Subsanar defectos de construcción tales como cantos vivos, grietas, esfoliaciones, cordones irregulares de soldadura. Los cantos vivos, cordones de soldadura y otros defectos deben redondear y dominarse por procedimiento mecánico

(Muelas de esmeril o disco abrasivo), reduciendo con esto sobrecosto en combustible por mayor resistencia del H₂O.

La superficie podrá ser limpiada hasta un acabado de mitad blanco por alguno de los métodos siguientes:

- a) Chorro de arena seco usando aire comprimido, toberas y arena seca con un máximo de tamaño de partícula que no pase a través de un tamizado de 16 mallas (Ver anexo C).
- b) Chorro de arena húmeda con vapor de agua usando aire comprimido, toberas, agua y arena con un máximo de tamaño de partícula que no pase de un tamiz de 16 mallas.

En este tipo de limpieza se aplica una solución acuosa que contenga 0.32% de nitrato de sodio, 1.28 en peso de fosfato de amonio o también una solución acuosa que contenga cerca de:

- a) 0.2% en peso de ácido crómico, ó
- b) Dicrómetro de sodio, ó
- c) Crómato de sodio, ó
- d) Crómato de potasio.

Si se ha hecho limpieza con chorro seco, la superficie debe ser cepillada con cepillo, hechos de pelo, cerda o fibra, sopladas con aire comprimido (seco y sin

aceite), o limpiar al vacío con el propósito de remover las traza del producto de la limpieza con chorro de la superficie y también para remover el abrasivo de cavidades y esquinas.

Si se ha hecho limpieza con chorro abrasivo húmedo, la superficie debe ser limpiada para enjuague con agua fresca, a la cual se le ha de agregar una cantidad suficiente de inhibidor para prevenir herrumbre, o con agua fresca seguida de un tratamiento de inhibidores.

Esta limpieza debe ser suplementada con un cepillo si es necesario, para remover residuos.

El aire comprimido usado en la limpieza con chorro debe estar libre de agua condensado y aceite. Un separador adecuado o una trampa debe ser prevista.

La operación de limpieza por chorro debe hacerse de tal manera que no se produzcan daños a áreas adyacentes al trabajo.

El sand-blasting seco no debe darse en superficies que pueden humedecerse después de la limpieza y antes de pintarse o cuando las condiciones ambientales son tales que aparecen una visible oxidación antes de pintar.

Si su forma herrumbre después del sand-blasting la superficie debe ser limpiada nuevamente antes de pintar.

La superficie limpiada con chorro debe ser examinado por si hay trazos de aceite, grasa o hollín, si está presentes deben ser removido según SPEC SSPC-SP1 “limpieza de solventes”.

El perfil de anclaje recomendado en esta zona es entre 1.5 a 3 mils (ver anexo D).

B. Zona no sumergida o muerta. se recomienda limpieza con chorro abrasivo o metal casi blanco SSPC-SP10/ISO 8501-1.

Procedimiento

Deben hacerse procedimientos preliminares igual al SSPC-SP-5, eliminación de sales solubles, subsanar cantos vivos, grietas, cordones de soldaduras, aceites, grasas y suciedad.

La superficie del metal podrá ser limpiada por limpieza con chorro a metal casi blanco, aire comprimido, toberas y arena seca con un máximo de tamaño que no pueda pasar a través de un tamiz de 16 mallas de US sieve series. Luego se hace un barrido con cepillos hechos de pelo, cerda o fibra, sopladas con aire comprimido seco y libre de aceite, o limpiados al vacío con el propósito de

remover las trazas de productos de la limpieza de la superficie y para remover al abrasivo de las cavidades y rincones.

Si se hace con chorro húmedo, la superficie de ser limpiada por enjuague con agua fresca a la cual se ha agregado una cantidad suficiente de inhibidor para prevenir la herrumbre o con un agua potable seguida inmediatamente de un tratamiento de inhibición. Esta limpieza debe ser suplementada con una cepillada, si es necesario, para remover residuos.

El aire comprimido usado en la tobera, debe estar libre de cantidades perjudiciales de agua condensada y aceite. Un separador o una trampa deben ser previsto.

Donde puedan ocurrir contaminación químicas de la superficie, el acero debe ser pintado tan pronto como sea posible después de la limpieza con chorro.

En resumen, la limpieza se realiza de la siguiente manera:

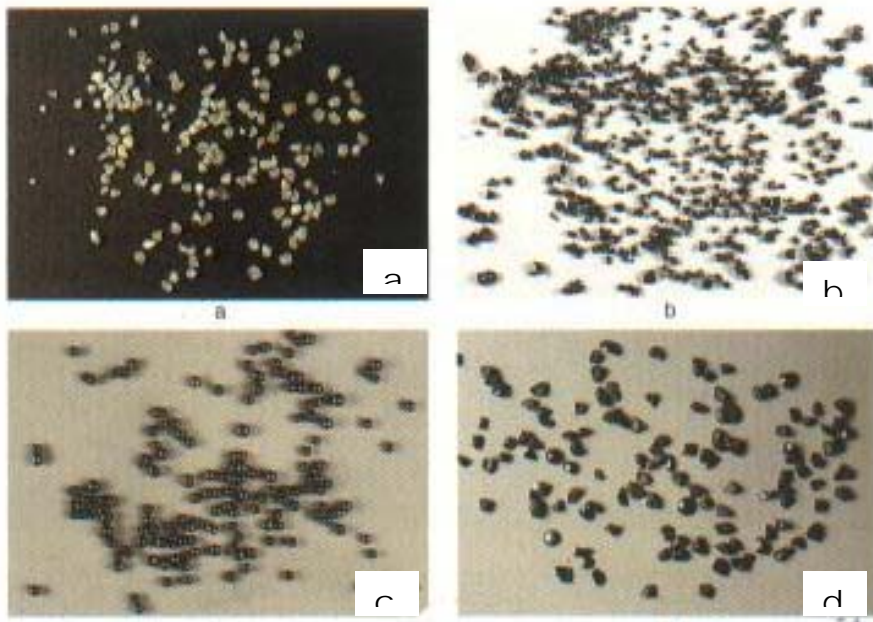
- a) Remoción de caracolejos e incrustación.
- b) Lavado de superficie del barco con agua dulce.
- c) Sand – blasting toda la estructura teniendo en cuenta el grado de limpieza que necesita cada zona.

Figura 28. Muestra de arena



Superficie chorreada con
abrasivo angular

Figura 29. Tipos de abrasivos



(a) Arena de sílice. (b) Escoria de cobre. (c) Granalla de acero esférica. (d) Granalla de acero angular

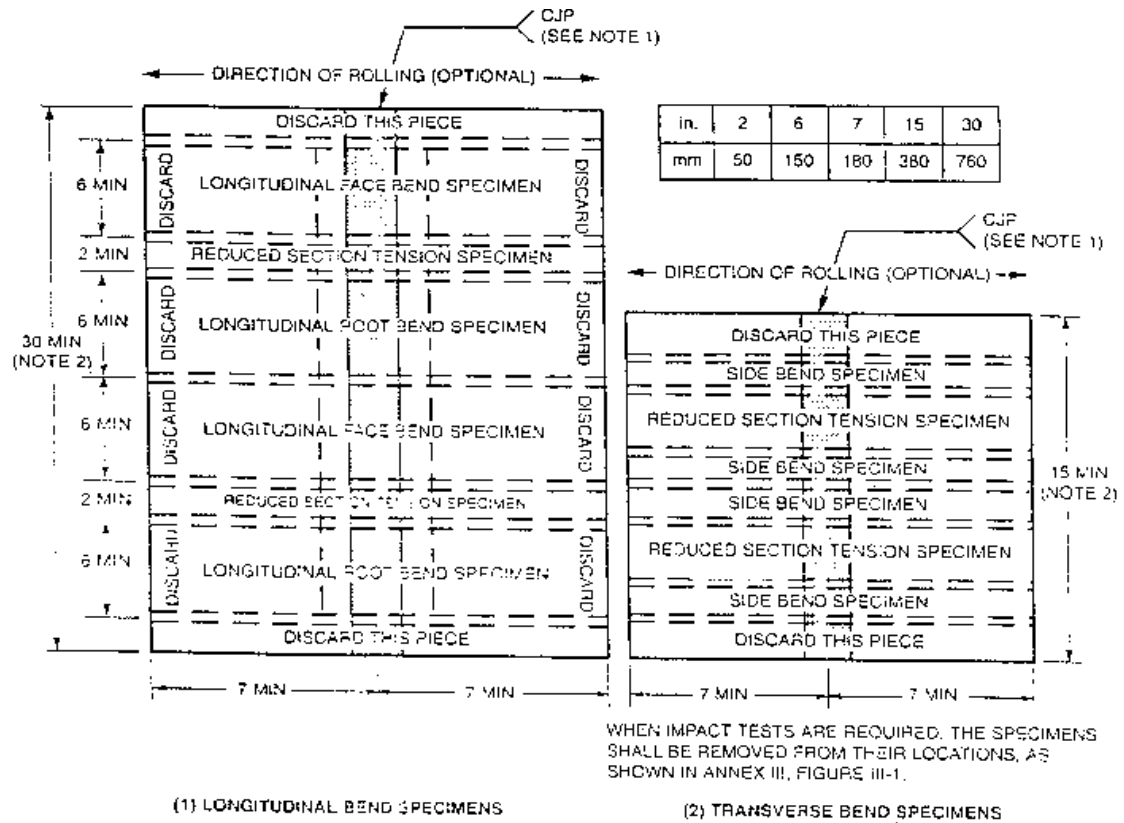
2.6.2 Soldadura. En la soldadura se aplicará el código D1.1, que rige para estructuras navales, puentes, estructuras metálicas, etc., con el fin de obtener soldaduras que cumplan con las propiedades químicas, metalúrgicas y requisitos de diseño.

Las láminas de acero naval A-131GA, utilizadas en la reparación de las estructuras tienen según las ASME, las siguientes características:

- a) Esfuerzo Máximo: 58.000 PSI
- b) Fluencia: 32.000 PSI a 34.000 PSI
- c) Impacto: E2356T a 15°C
- d) Longitudinal: 20 lb/pie
- e) Transversal: 14 lb/pie
- f) Elongación de la probeta de 2": 23%
- g) Tamaño mínimo del grano: 5
- h) Porcentaje de carbono: 0.14 a 0.23%
- i) Dureza: 120 a 120 HB

Para llevar acabo el procedimiento lo primero es la preparación de las juntas. En la figura 25, según la AWS se dan las recomendadas de filete a tope en V sencilla y doble etc.

Procedimiento. Se selecciono dos laminas de acero naval A131 con las siguientes dimensiones 30X7X3/8 pulgadas, de acuerdo al código AWS D1.1 que se muestra en la figura siguiente:



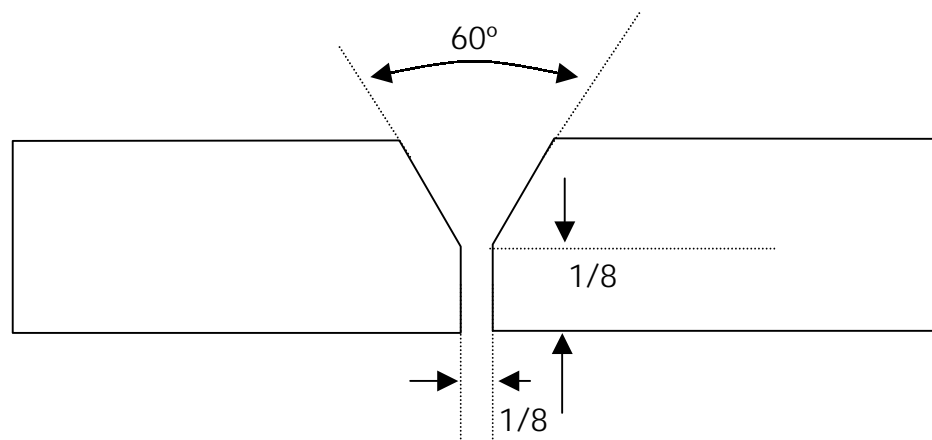
- NOTES:
1. THE GROOVE CONFIGURATION SHOWN IS FOR ILLUSTRATION ONLY. THE GROOVE SHAPE TESTED SHALL CONFORM TO THE PRODUCTION GROOVE SHAPE THAT IS BEING QUALIFIED.
 2. LONGER TEST PLATES MAY BE REQUIRED WHEN IMPACT TESTING ON CONTRACT DOCUMENTS OR IN SPECIFICATIONS. IMPACT SPECIMENS SHOULD BE REMOVED AT MID-LENGTH OF THE TEST WELD.

Figure 4.10—Location of Test Specimens on Welded Test Plate Over 3/8 in. (9.5 mm) Thick—WPS Qualification (see 4.8)

Se inspecciona la lamina que no tenga defectos superficiales tales como poros, grietas, etc.

Se biselan ambas laminas con un ángulo de 30° cada una con una altura de cara y abertura de raíz $1/8''$ de acuerdo con la figura siguiente.

Figura 30. Ranura en V sencilla



Continuación se sueldan las dos laminas, el código establece para ranura en V sencilla los primeros pases con electrodos E6011 o E6010 con diámetro de electrodo de $1/8''$ y corriente de 75 A de acuerdo al cuadro 24.

Para acabados se utilizan electrodo E7018 con diámetro de $5/32''$ para posiciones verticales y de cabeza, para la posición plana se utilizan electros de $3/16''$ o mayores. La corriente para el electrodo E7018 con un diámetro de $5/32''$ es de 120 A de acuerdo al cuadro 24.

Luego se realiza una inspección visual desacuerdo a los siguientes criterios:

- a) La soldadura debe estar libre de fisuras.
- b) La cara de la soldadura debe resaltar con la superficie del metal base en forma tal que sea continua.
- c) La socavación no debe excederse de un $1/32$ ".
- d) La soldadura de refuerzo no debe excederse de $1/8$ ".
- e) En la raíz de la soldadura no debe haber evidencia de fisura, fusión incompleta o penetración inadecuada.
- f) La concavidad de la superficie de la raíz debe emerger sobre el metal base, la concavidad máxima permitida es de $1/16$ ".

A continuación la lamina se somete a un ensayo no destructivo, una radiografía, para criterios de aceptación de la radiografía se determina de acuerdo a la figura 6.2.

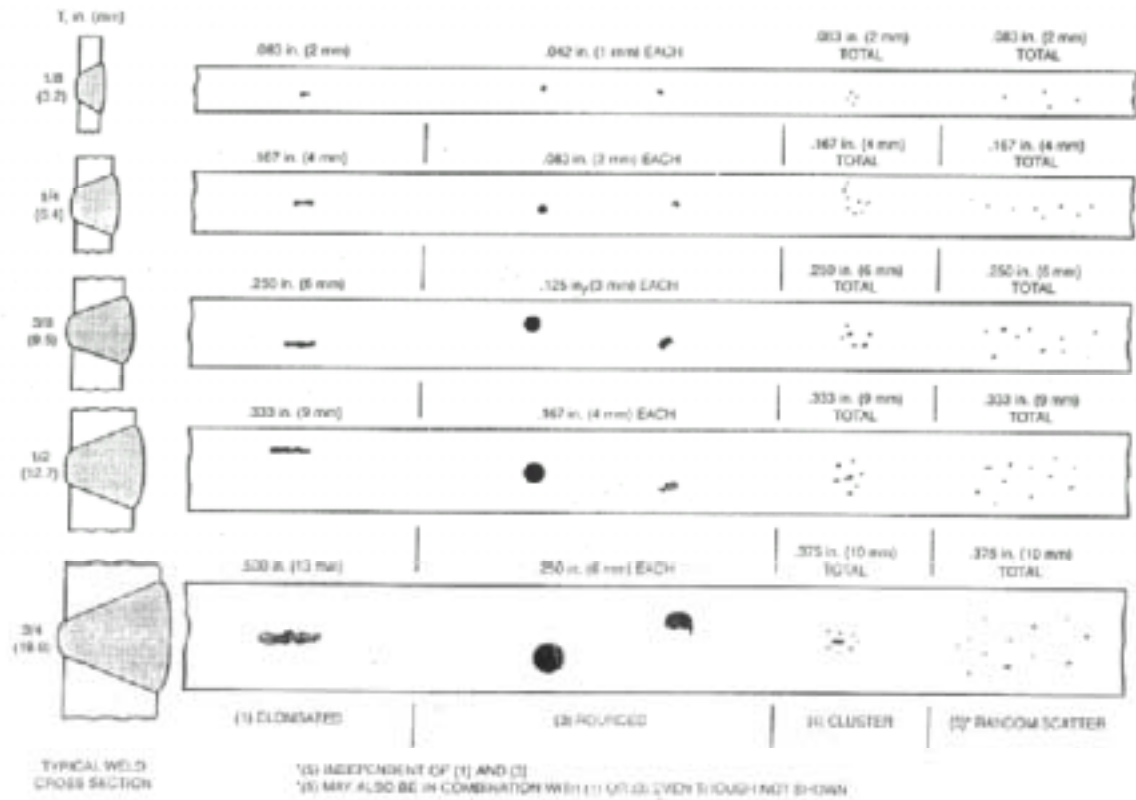
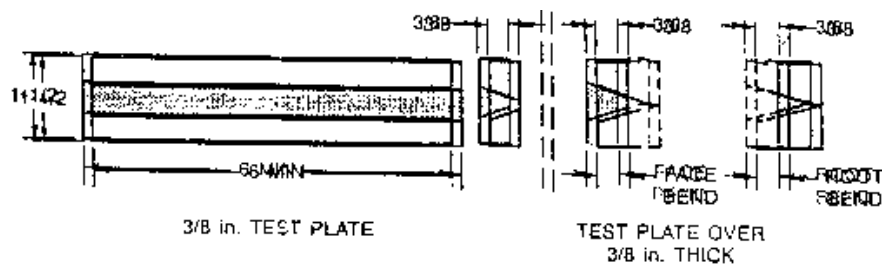
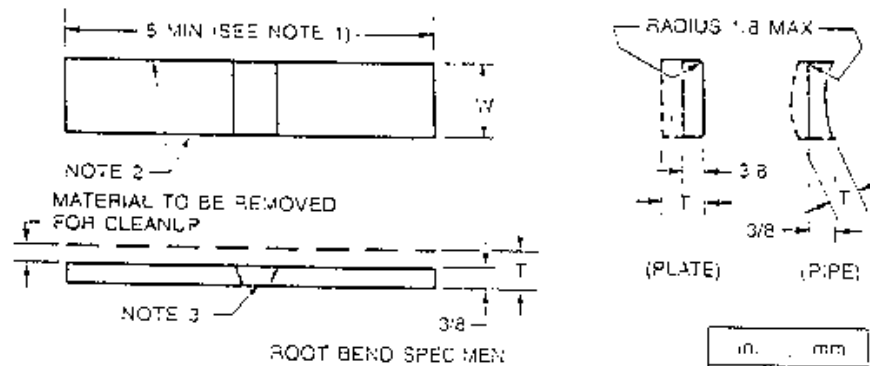
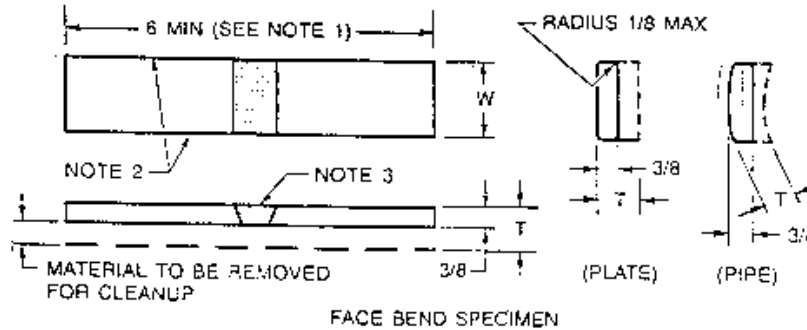


Figura 6.2—Maximum Acceptable Radiographic Images Per 6.12.3.1 (see 6.12.1.2 and 6.12.3.2)

Si la pieza pasa el ensayo de radiografía se procede a elaborar las probetas, dos probetas para prueba de tensión, dos para dobles de cara y dos para dobles de raíz. En la figura 4.12 y 4.14 se dan las dimensiones de las probetas, además preparación de los bordes y entalladura que exige la prueba.



(1) LONGITUDINAL BEND SPECIMEN



(2) TRANSVERSE BEND SPECIMEN

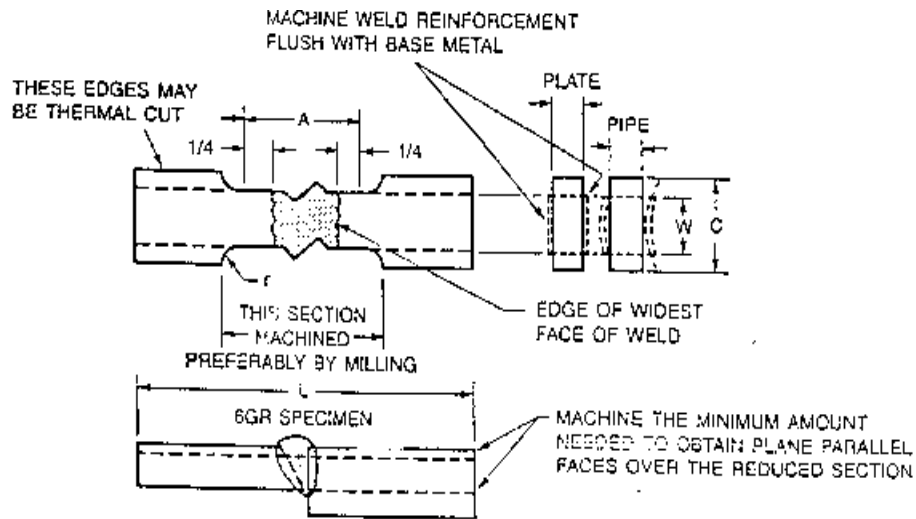
| Dimensions | |
|---|------------------------------|
| Test weldment | Test specimen width, in. (W) |
| Plate | 1-1/2 |
| Test pipe or tube ≤ 4 in. (100 mm) in diameter | 1 |
| Test pipe or tube > 4 in. (100 mm) in diameter | 1-1/2 |

| in. | mm |
|-------|-----|
| 1/8 | 3 |
| 3/8 | 10 |
| 1 | 25 |
| 1-1/2 | 38 |
| 2 | 50 |
| 3 | 75 |
| 6 | 150 |
| 9 | 200 |

Notes:

1. A longer specimen length may be necessary when using a wraparound type bending fixture or when testing steel with a yield strength of 90 ksi (620 MPa) or more.
2. These edges may be thermal-cut and may or may not be machined.
3. The weld reinforcement and backing, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen (see 5.24.4.1 and 5.24.4.2). If a recessed backing is used, this surface may be machined to a depth not exceeding the depth of the recess to remove the backing; in such a case, the thickness of the finished specimen shall be that specified above. Cut surfaces shall be smooth and parallel.
4. T = plate or pipe thickness.
5. When the thickness of the test plate is less than 3/8 in. (9.5 mm), use the nominal thickness for face and root bends.

Figure 4.12—Face and Root Bend Specimens (see 4.8.3.1)



| Dimensions in inches | | | | |
|---|--|------------------------------|-----------------------------|--|
| | Test plate | | | Test Pipe |
| | $T_p \leq 1$ in. | $1 < T_p < 1\frac{1}{2}$ in. | $T_p \geq 1\frac{1}{2}$ in. | 2 in. & 3 in. diameter 6 in. & 8 in. diameter or larger job size pipe |
| A—Length of reduced section | Widest face of weld + 1/2 in., 2-1/4 min | | | Widest face of weld + 1/2 in., 2-1/4 min |
| L—Overall length, min (Note 2) | As required by testing equipment | | | As required by testing equipment |
| W—Width of reduced section (Notes 3, 4) | 3/4 in. min | 3/4 in. min | 3/4 in. min | 1/2 ± 0.01 3/4 in. min |
| C—Width of grip section (Notes 4, 5) | $W + 1/2$ in. min | $W + 1/2$ in. min | $W + 1/2$ in. min | $W + 1/2$ in. min $W + 1/2$ in. min |
| t—Specimen thickness (Notes 6, 7) | T_p | T_p | T_p in (Note 7) | Maximum possible with plane parallel faces within length A |
| r—Radius of fillet, min | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 1 |

Notes:

1. T_p = Nominal Thickness of the Plate.
2. It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two-thirds or more of the length of the grips.
3. The ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004 in. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width of either end shall not be more than 0.015 in. larger than the width at the center.
4. Narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases, the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits. If the width of the material is less than W, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.
5. For standard plate-type specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.25 in.
6. The dimension t is the thickness of the specimen as provided for in the applicable material specifications. The minimum nominal thickness of 1-1/2 in. wide specimens shall be 3/16 in. except as permitted by the product specification.
7. For plates over 1-1/2 in. thick, specimens may be cut into approximately equal strips. Each strip shall be at least 3/4 in. thick. The test results of each strip shall meet the minimum requirements.
8. Due to limited capacity of some tensile testing machines, the specimen dimensions for Annex M steels may be as agreed upon by the Engineer and the Fabricator.

Figure 4.14—Reduced-Section Tension Specimens (see 4.8.3.4)

Después se someten las probetas a sus respectivos ensayos y se elabora un registro de especificaciones de procedimiento donde se establecen las diferentes variables tales como: Diseño de la junta, tipo de corriente, polaridad, tipo y tamaño de los electrodos utilizados; grupo de electrodos (WPS).

En los registros de calificación de procedimiento (ver PQR) se dan los resultados obtenidos y es el que respalda al WPS. Para la calificación del soldador (WQR) esta determinada por la radiografía, inspección visual, ensayo de dobles de cara y de raíz; que determina si el soldador es capaz de llevar a cabo soldaduras integrales sin poros ni discontinuidades y que cumplan con los requisitos de diseño.

Las pruebas de doblez de cara y de raíz (figuras 31, 32, 33 y 34) debe examinarse las superficies convexas de la muestra doblada, para que la probeta sea aceptada esta no debe tener discontinuidades cuyas dimensiones sean mayores a las siguientes:

- a) 1/8" (3.2mm) medidas en cualquier dirección sobre la superficie convexa.
- b) 3/8" (9.5mm) suma de todas las discontinuidades que excedan 1/32" pero que sean menores a 1/8".
- c) 1/4" (6.4mm) máxima para grietas en esquina excepto cuando las grietas de este tipo hayan sido originadas por inclusión de escoria visible.

Los resultados de las pruebas de tensión se encuentran en el PQR y en la figura 31 se muestra el estado de la probeta después de el ensayo.

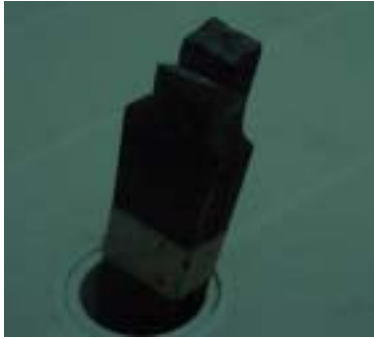


Figura 31. Probetas para pruebas de tensión



Figura 32. Doblez de raíz



Figura 33. Doblez de cara



Figura 34. Doblez de raíz y de cara



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes
PREQUALIFIED _____ QUALIFIED BY TESTING
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes
CODE AWS D1.1

CONTROL SOLDADURA LTDA.
 TEL. 6534257 - CEL. 310-6465889
 Cartagena - Colombia

Company Name TESIS DE GRADO
 Welding Process(es) SMAW
 Supporting PQR No.(s) PQR 195

Identification # PQR 195
 Revision 0 Date DCT 29-02 By Quiroz/yepez
 Authorized by [Signature] Date _____
 Type - Manual Machine Semi-Automatic
 Automatic

JOINT DESIGN USED
 Type: Top
 Single Double Weld
 Backing: Yes No
 Backing Material: _____
 Root Opening 1/8" Root Face Dimension _____
 Groove Angle: 60° Radius (J - U) _____
 Back Gouging: Yes No Method _____

POSITION
 Position of Groove: 1 G Fillet _____
 Vertical Progression: Up Down

BASE METALS
 Material Spec: A 131
 Type or Grade _____
 Thickness: Groove 0.375" Fillet _____
 Diameter (Pipe) _____
 Thickness Qualified, in 1/8" - 0.750"

ELECTRICAL CHARACTERISTICS
 Transfer Mode (GMAW) _____ Short-Circuiting
 Globular Spray
 Current: AC DCEP DCEN Pulsed
 Other _____
 Tungsten Electrode (GTAW) _____
 Size: _____
 Type: _____

FILLER METALS
 AWS Specification SFA 5.1
 AWS Classification E 6011 y E 7018

TECHNIQUE
 Stringer or Weave Bead: Oscilado
 Multi-pass or Single Pass (per side) Multiples
 Number of Electrodes 1
 Electrode Spacing _____
 Longitudinal _____
 Lateral _____
 Angle _____

SHIELDING
 Flux _____ Gas _____
 Composition _____
 Electrode-Flux (Class) _____ Flow Rate _____
 Gas Cup Size _____

Contact Tube to Work Distance _____
 Peening No
 Interpass Cleaning: Cepillo y Pulidora

PREHEAT
 Preheat Temp., Min 30°C (Ambiente)
 Interpass Temp., Min 30°C Max 200°C

POSTWELD HEAT TREATMENT
 Temp. No
 Time N.A.

WELDING PROCEDURE

| Pass or Weld Layer(s) | Process | Filler Metals | | Current | | Volts | Travel Speed | Joint details |
|-----------------------|---------|---------------|-------|-----------------|-------------------------|-------|--------------|---------------|
| | | Class | Diam. | Type & Polarity | Amps or Wire Feed Speed | | | |
| 1 | SMAW | E 6011 | 1/8" | CDEP | 75-125 | 22-27 | | |
| 2 Y MAS | SMAW | E 7018 | 5/32" | CDEP | 150-220 | 22-27 | | |





CONTROL SOLDADURA LTDA.
TEL. 6534257 - CEL. 310-6405889
Cartagena - Colombia

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR) # 195

Test Results

TENSILE TEST

| Specimen No. | Width | Thickness | Area | Ultimate Tensile Load, lb | Ultimate Unit Stress, psi | Character of Failure and Location |
|--------------|--------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0.735" | 0.378" | 0.27783" | 53.700 PSI | 69.700 | DUCTIL |
| 2 | 0.778" | 0.378" | 0.293328" | 55.300 PSI | 71.300 | DUCTIL |
| | | | | | | |

GUIDE BEND TEST

| Specimen No. | Type on Bend | Result | Remarks |
|--------------|--------------|--------|---------|
| 3 | Cara | o.k. | |
| 4 | Cara | o.k. | |
| 5 | Raiz | o.k. | |
| 6 | Raiz | o.k. | |

VISUAL INSPECTION

Appearance Acceptable
Undercut Inexistente
Piping porosity Inexistente
Convexity Acceptable
Test date Octubre 8 de 2.002
Witnessed by R. Donado J.

Radiographic-ultrasonic examination

RT Report No. 001 Result O.K.
UT Report No. _____ Result _____

FILLET WELD TEST RESULTS

Minimum size multiple pass Maximum size single pass

Macroetch Macroetch
1. _____ 3. _____ 1. _____ 3. _____
2. _____ 2. _____

Other Tests

All-weld-metal tension test

Tensile strength, psi _____
Yield point strength, psi _____
Elongation in 2 in., % _____
Laboratory test No. _____

Welder's name Miguel Hernandez

Clock No. _____ Stamp No. _____

Test conducted by G. Suarez - Tubocaribe

Laboratory _____

Test number PQR 195

Per German Quiroz y Humberto Yepes

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of section 4 of ANSIAWS D1.1 (1.998) Structural Welding Code - Steel (year)

Signed _____
Manufacturer or Contractor

By JJ

Title _____

Date Noviembre 16 de 2.002

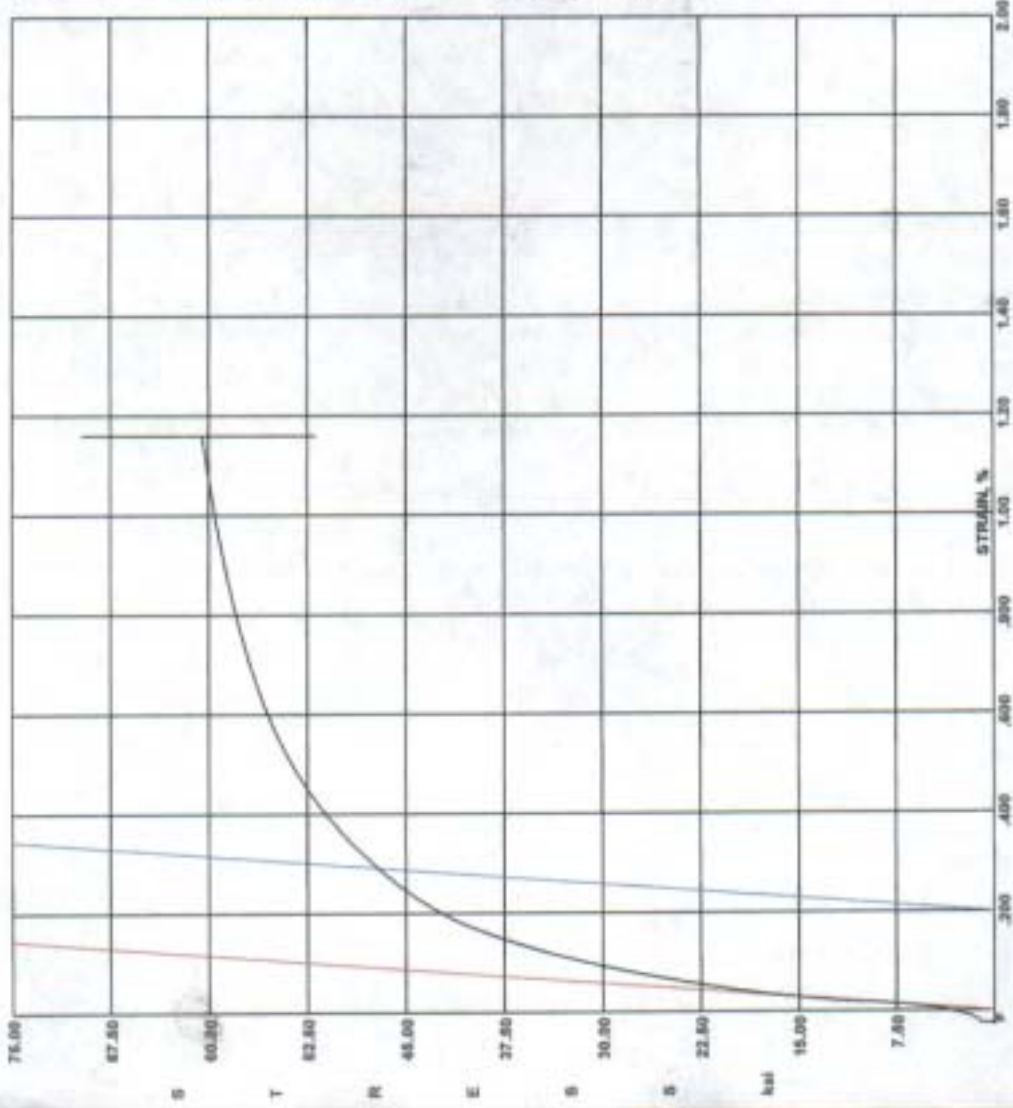
Tubocaribe - Tubos del Caribe S.A.
Subgerencia Aseguramiento de Calidad
Prueba de Tensión

ES ASTM Report
Program #195,020-R0

Cliente: PRUEBA
 Especificación: A131
 Espesor Nominal: 0.378
 Diámetro: LAMINA
 Operador: G.SUAREZ
 Numero De Colada: A131
 Orden de Producción: **

Test Set: PLANA
 Localización: **
 Lote #: PRUB. 1
 Print Date: octubre 29, 2002

Numero de Muestr: PRUB.1
 Width, in: 0.735
 Thk, in: 0.378
 CS Area, in²: 0.27783
 Esfuerzo Fluenci: 53700
 EUL @ 0.5, psi: 69700
 Esf. UR. Tensio: 69700
 Ultimate, psi: 69700
 Aprobado: 0.0
 TE (Man), %:
 Dureza Prom.:



Specimen Break
 oct 29, 2002 10:45:35 AM

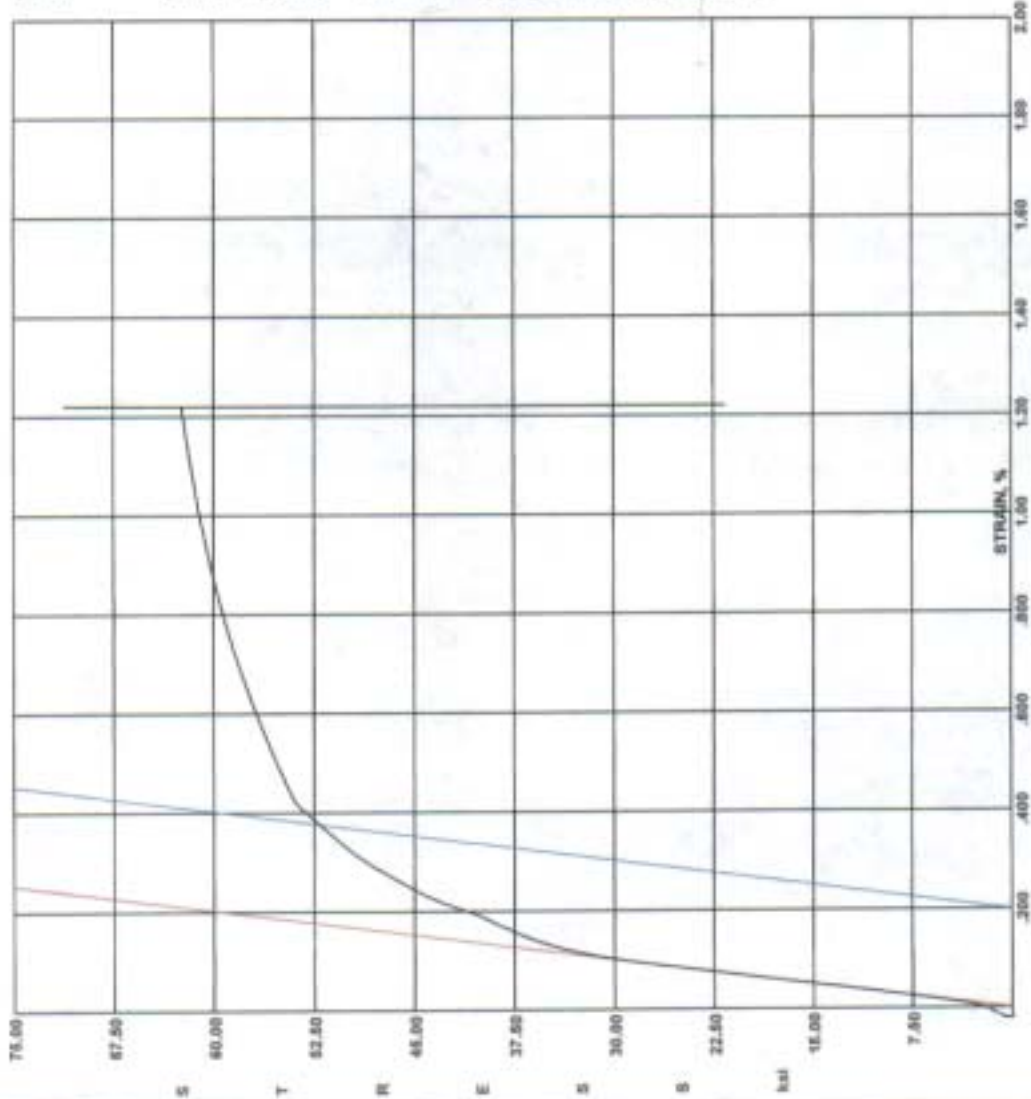
Tubocaribe - Tubos del Caribe S.A.
Subgerencia Aseguramiento de Calidad
Prueba de Tensión

ES ASTM Report
 Program #155,020-R0

Cliente: PRUEBA
 Especificación: A131
 Espesor Nominal: 0.375
 Diámetro: LAMINA
 Operador: G.SUAREZ
 Numero De Colada: A131
 Orden de Producción: **

Test Set: PLANA
 Localización: **
 Lote #: PRUB. 2
 Print Date: octubre 29, 2002

Numero de Muestr : PRUB.2
 Width, in: 0.776
 Thk, in: 0.378
 CS Area, in²: 0.293328
 Esfuerzo Fluenci : 55300
 EUL @ 0.5, psi: 71300
 Esf. Ulr. Tensio :
 Ultimate, psi:
 Aprobado :
 TE (Man), %:
 Dureza Prom. :



Specimen Break
 oct 29, 2002 10:50:06 AM



CONTROL SOLDADURA LTDA.
TEL. 6534257 - CEL. 310-6465889
Cartagena - Colombia

WELDER, WELDING OPERATOR POR TACK WELDER QUALIFICATION TEST RECORD

| | | |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Type of Welder <u>Manual</u> | Identification No. _____ | Date <u>Nov. 17-2.002</u> |
| Name <u>Miguel Hernandez</u> | Rev. <u>0</u> | |
| Welding Procedure Specification No. <u>195</u> | | |

| Variables | Record Actual Values Used in Qualification | Qualification Range |
|---|--|---------------------|
| Process/Type [Table 4.10, Item (1)] | SMW | |
| Electrode (single or multiple) [Table 4.10, Item (8)] | SIMPLE | |
| Current/Polarity | CDEP | |
| Position [Table 4.10, Item (4)] | 1G | PLANA |
| Weld Progression [Table 4.10, Item (6)] | SI | |
| Backing (YES or NO) [Table 4.10, Item (8)] | A 131 To A | |
| Material/Spec. | | |
| Base Metal | | |
| Thickness: (Plate) | | |
| Groove | 0.375" | 1/8" HASTA 3/4 |
| Fillet | | TODOS |
| Thickness: (Pipetube) | | |
| Groove | | 1/8" HASTA 3/4 |
| Fillet | | TODOS |
| Diameter: (Pipe) | | |
| Groove | | 1/8" HASTA 3/4 |
| Fillet | | TODOS |
| Filler Metal [Table 4.10, Item (3)] | A-5.1 | |
| Spec No. | E-6011 Y E-7018 | |
| Class | 3 Y 4 | |
| F-No | N.A. | |
| Gas/Flux Type [Table 4.10, Item (4)] | NO | |
| Other | | |

| VISUAL INSPECTION (4.8.1) | | | |
|-----------------------------------|---------------|------|---------------|
| Acceptable YES or NO _____ | | | |
| Guided Bend Test Results (4.30.5) | | | |
| Type | Result | Type | Result |
| RAIZ | SATISFACTORIO | CARA | SATISFACTORIO |
| RAIZ | SATISFACTORIO | CARA | SATISFACTORIO |

| Fillet Test Results (4.30.2.3 and 4.30.4.1) | |
|--|-------------------|
| Appearance _____ | Fillet Size _____ |
| Fracture Test Root Penetration _____ | Macroetch _____ |
| (Describe the location, nature, and size of any crack por tearing of the specimen) | |
| Inspected by _____ | Test Number _____ |
| Organization _____ | Date _____ |

| RADIOGRAPHIC TEST RESULTS (4.30.3.1) | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----------|----------------------------|---------|---------|
| Film Identification Number | Results | Remarks | Film Identification Number | Results | Remarks |
| ESP1 | SATISFACTORIO | CTB TESIS | | | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Interpreted by <u>ING. Ricardo Donado Julio</u> | Test Number <u>001</u> |
| Organization <u>CONTROL SOLDADURA LTDA</u> | Date <u>OCTUBRE 16 DE 2.002</u> |

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test weld were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of section 4 of ANSIAWS D1.1, (1998) Structural Welding Code - Steel.

| | |
|---|--|
| Manufacturer or Contractor <u>TESIS</u> | Authorized By <u>ING. Ricardo Donado Julio</u> |
| | Date <u>NOV. 2.002</u> |



CONTROL DE SOLDADURA LTDA
TEL. 6534257 - CEL. 310-6465889
CARTAGENA - COLOMBIA

CERTIFICADO DE PRUEBA DE DOBLEZ

N° 01
FECHA: Octubre 29 de 2002

EQUIPO: TESIS DE GRADO

PARTE PROBADA: SOLDADURA

MATERIAL: A 131 ESPESOR: 3/8"

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA: PQR 195 SOLDADOR: MIGUEL HERNANDEZ

TIPO DE PRUEBA SEGÚN CODIGO : AWS D1.1

PLATINAS DE PRUEBA

| MARCA | MATERIAL | ESPESOR | RESULTADO | OBSERVACIONES |
|-------|----------|---------|---------------|---------------|
| 01 | A 131 | 3/8" | SATISFACTORIO | |
| 02 | A 131 | 3/8" | SATISFACTORIO | |
| 03 | A 131 | 3/8" | SATISFACTORIO | |
| 04 | A 131 | 3/8" | SATISFACTORIO | |



ING. RICARDO DONADO JULIO

2.6.3 Aplicaciones de pintura. En la pintura se determinará los espesores ideales que son indispensables en el esquema pintura-protección catódica en la zona sumergida. En la medida que los espesores de película se encuentren en el rango establecido por las normas (Ship Building Technical Society), habrá un buen comportamiento tanto para pintura y la protección catódica.

Espesores por debajo de estos rangos causan problemas como es el desprendimiento de la película de pintura llamada desprendimiento catódico.

Terminada una correcta limpieza de superficie no debemos darle tiempo a que la superficie se contamine nuevamente o sea que aparezcan rastros de óxido.

Al igual que la limpieza de superficie la aplicación se tienen que tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Punto de rocío.
- b) Temperatura ambiente.
- c) Temperatura de superficie.
- d) Humedad relativa.

Los márgenes recomendados son los siguientes:

- a) Temperatura mínima de superficie entre 3 y 8° C por encima del punto de rocío.

b) Temperatura de superficie 40° C.

Si no se cumplen estas condiciones existe la posibilidad de que haya un fallo prematuro de la pintura aplicada, debido a la posible condensación de agua del aire que quedaría atrapada en el sustrato esta a su vez ejercería una presión osmótica sobre la pintura levantándola posteriormente.

Las estructuras navales están divididas en 3 zonas atacada por la corrosión.

Estas zonas son las siguientes:

- a) Obra viva o sumergida
- b) Línea de flotación.
- c) Obra muerta.

El anexo E muestra aspectos de la aplicación de los sistemas de pintura en una embarcación.

A. **En la zona de obra viva** se utiliza un imprimante epóxico óxido de hierro se recomienda espesores de película seca de 3 a 4 mils.

Esto aplicado en 2 manos o etapa uno en sentido longitudinal y el otro transversalmente o viceversa.

Cada fabricante de pintura tiene su ficha técnica donde está indicado el tiempo de secado o curado entre una capa y otra.

Los tiempos de secamiento de los anticorrosivos epóxico varían de acuerdo con la temperatura ambiente y el espesor de película aplicada.

Sistema de barrera intermedia (Coaltar epóxico) se recomienda espesores de película entre 6 y 7 mils aplicada entre 2 y 3 etapas preferentemente para evitar que queden atrapada moléculas de disolvente en la capa de pintura y esta sufra un ampollamiento con el tiempo al tratar de salir la molécula de disolvente al ambiente. Además, que el acero de espesor de película produce una tensión superficial haciendo que este falle por su sola adición a los sobrecostos por exceso de pintura.

Al igual que lo anterior se tienen que tener en cuenta:

- a) Punto de rocío.
- b) Temperatura de superficie 40° C.
- c) Temperatura mínima de superficie 3 y 8° C por encima del punto de rocío.
- d) Temperatura ambiente

Acabado (antifouling vinílico)

Se recomienda de 5 a 6 mils de película seca, esto aplicado en 2 cpas.

De igual manera se tienen que tener en cuenta todas las condiciones anteriores.

B. Línea de flotación, se recomienda imprimente epóxico óxido de hierro con espesores de película entre 3.5 y 4 mils aplicado en 2 etapas.

Siempre teniendo en cuenta los factores atmosféricos y ficha técnica de fabricante.

- a) Sistema de barrera o intermedia (coaltos epóxico).
- b) Se recomienda de 4 a 6 mils de película seca.
- c) Sistema de acabado (esmalte epóxico).
- d) Se recomienda espesor de película seco de 3.5 mils sistema epóxico.

C. Obra muerta

- a) Imprimente epóxico rico en zinc con espesor de película seca entre 3.5 y 4 mils teniendo en cuenta los factores atmosféricos y ficha técnica del fabricante.
- b) Barrera epóxica, espesor de película en seco 3.5 mils.
- c) Acabado esmalte uritano de 2 mils de espesor de película seca

Todo lo anterior se realiza de la siguiente manera:

- a) Aplicación de anticorrosivo a toda la estructura respetando las zonas en la embarcación y si correspondiente espesor de película seca.
- b) Aplicación de barrera al igual que lo anterior.

c) Antifouling o acabado dependiendo de la zona a pintar en el barco.

Nota: siempre se tiene que tener en cuenta al seleccionar un sistema de recubrimiento la compatibilidad entre el anticorrosivo, intermedia y el acabado.

2.6.4 Consumo de recubrimiento y volumen muerto. Cuando se chorrea una superficie de acero, no solo se limpia sino que se le confiere una cierta rugosidad superficial.

Se define como rugosidad la distancia media existente entre los picos y los valles de un perfil, y es un parámetro muy difícil de medir en campo, dado que no se dispone de aparatos suficiente perfeccionados para ello.

La rugosidad aumenta la superficie real a pintar ya que esta deja de ser plana para tomar un perfil anfractuso.

Para calcular el consumo (litro / 100 m²) para un determinado trabajo, se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Espesor de película seca (micra)}}{\text{Sólidos en volumen} \times 10}$$

Para rellenar los huecos que deja el perfil de anclaje, es necesario de una cantidad extra para rellenar las cavidades o volumen muerto, esta se puede estimar mediante el cuadro 25.

Cuadro 25. Factor de volumen muerto

| Rugosidad (micras) | Factor de volumen muerto (litros / 100 m ²) |
|--------------------|---|
| 15 | 1 |
| 20 | 2 |
| 45 | 3 |
| 60 | 4 |
| 75 | 5 |
| 90 | 6 |
| 105 | 7 |

El factor del volumen muerto debe dividirse por la proporción de sólidos en volumen.

Ejemplo del cálculo del consumo de recubrimiento: aplicar 2 capas de imprimante epóxico de 4 mils (102 micras), en un área de 100 m² con una rugosidad de 1.77 mils (45 micras).

En primer lugar miramos la ficha técnica de la pintura para ver el porcentaje de sólidos por volumen de producto, supongamos que sea el 65% lo cual significa un consumo en la primera capa de:

$$\frac{\frac{102}{2}}{0.65 \times 10} = 7.85 \text{ lts} / 100 \text{ m}^2$$

El volumen muerto correspondiente a 45 micras corresponde un volumen muerto de 3 litros / 100 m² según tabla:

$$\frac{3}{0.65} = 4.62\text{lbs} / \text{m}^2$$

El consumo de la primera capa es:

7.85 + 4.62 = 12.47 lts / 100 m² a un espesor de 51 micras de película seca, para la segunda capa (eliminando el volumen muerto) será:

$$\frac{51}{0.65 \times 10} = 7.85\text{lts} / 100\text{m}^2$$

a un espesor de película seca.

El consumo total para las 2 capas de imprimente será: 12.47 + 7.85 = 20.32 lts / 100 m² para espesor de película de 102 micras, la cual hay que añadir una cierta cantidad de concepto de salpicaduras y otros pérdidas factor = 1.3 (Brisas)

$$20.32 \text{ lts} / 100 \text{ m}^2 \times 1.3 = 26.42 \text{ lts} / 100 \text{ m}^2$$

Si se prefiere con cifra de rendimiento, tenemos:

$$\frac{100}{12.47} = 8\text{m}^2 / \text{lts primera capa}$$

$$\frac{100}{7.85} = 12.73\text{m}^2 / \text{lts segunda capa}$$

El rendimiento total para las 2 capas será:

$$\frac{8 + 12.73}{2} = 10.37\text{m}^2 / \text{lts}, \text{ considerando pérdidas por salpicaduras y brisas}$$

tenemos:

$$\frac{10.37}{1.3} = 7.97\text{m}^2 / \text{lts} \times 3.786\text{lts} / \text{gl} = 30.17\text{m}^2 / \text{gl}; \text{ si:}$$

$$\text{gl} \rightarrow 30.17 \text{ m}^2$$

$$x \rightarrow 100 \text{ m}^2$$

$$x = \frac{100}{30.17} = 3.31\text{gl}$$

2.6.5 Medición del espesor de película seca. La siguiente ecuación matemática relaciona el espesor de película aplicada de un recubrimiento y la película seca obtenida después del curado.

$$\text{EPS} = \text{EPH} \times \% \text{ solv.}$$

EPS = Espesor de película seca

EPH = Espesor de película húmeda

% sol = porcentaje de sólido x volumen

A continuación se explicará el procedimiento de preparación de las probetas de pintura para después realizarse sus respectivos ensayos de acuerdo con la norma ASTM D 4414 Determinación de espesores de película seca.

El día 19 de agosto se chorrearon con arena, 7 probetas de acero al carbono, cuyas dimensiones fueron: 7 x 4 1/8 in, hora de sand blasting 3:30 p.m.

Se utilizó un termómetro de contacto dando los siguientes resultados:

- a) Temperatura ambiente = 31° C
- b) Humedad relativa = 72%
- c) Punto de rocío = 25° C

De inmediato se tomaron los perfiles de rugosidades en cada probetas, con los siguientes resultados (ver cuadro 26):

Cuadro 26. Perfiles de rugosidad

| Probeta | Mils | Promedio |
|---------|------|-----------|
| 1 | 1.5 | 1.34 mils |
| | 1.5 | |
| | 1 | |
| | 1.2 | |
| | 1.5 | |
| 2 | 1 | 1.04 mils |
| | 1 | |
| | 1 | |
| | 1.2 | |
| | 1 | |
| 3 | 1.8 | 1.86 mils |
| | 1.5 | |
| | 1.8 | |
| | 1.2 | |
| | 1.5 | |
| 4 | 2.5 | 1.98 mils |
| | 1.8 | |
| | 1.8 | |
| | 2 | |
| | 1.8 | |
| 5 | 2 | 1.9 mils |
| | 2.5 | |
| | 1.5 | |
| | 1.5 | |
| | 2 | |
| 6 | 1.5 | 1.44 mils |
| | 1.5 | |
| | 1.2 | |
| | 1.5 | |
| | 1.5 | |
| 7 | 3.2 | 2.14 mils |
| | 1.5 | |
| | 2.5 | |
| | 2 | |
| | 1.5 | |

A las 4 p.m. se aplicó anticorrosivo epóxica con referencia 137008. La norma dice que los espesores de película seca apropiado es 3 mils y 4 mils. Se procedió aplicarlas en 2 capas, para la primera capa de anticorrosivo se obtuvieron los siguiente resultados (ver cuadro 27)

Cuadro 27. Probetas con primera capa de anticorrosivo

| Probeta | Mils | Promedio |
|---------|------|-----------|
| 1 | 2.5 | 2.42 mils |
| | 2.9 | |
| | 2.2 | |
| | 2.3 | |
| | 2.4 | |
| | 2.4 | |
| 2 | 3 | 2.05 mils |
| | 1.6 | |
| | 1.8 | |
| | 1.6 | |
| | 2.2 | |
| | 2.1 | |
| 3 | 2.4 | 2.47 mils |
| | 2.4 | |
| | 2.8 | |
| | 2.5 | |
| | 2.1 | |
| | 2.6 | |
| 4 | 1.5 | 2.1 mils |
| | 3 | |
| | 2.1 | |
| | 2.3 | |
| | 1.8 | |
| | 1.9 | |
| 5 | 2.2 | 2.47 mils |
| | 1.7 | |
| | 2.8 | |
| | 3 | |
| | 2.3 | |
| | 2.8 | |
| 6 | 2.8 | 2.62 mils |
| | 2.7 | |
| | 2.6 | |
| | 2.5 | |
| | 2.7 | |
| | 2.4 | |
| 7 | 2 | 2.15 mils |
| | 3 | |
| | 1.9 | |
| | 2.3 | |
| | 1.8 | |
| | 1.9 | |

Para la segunda capa de imprimante epóxico, se buscó su ficha técnica para determinar el tiempo de curado, la cual indicaba que decía ser entre 12 a 18 horas a una temperatura de 25° C.

Al igual que la primera capa, se utilizó el termómetro de contacto; hora de aplicación 9:50 a.m.

- a) Temperatura ambiente = 30.3° C
- b) Humedad relativa = 73%
- c) Punto de rocío = 24.9° C

Con la aplicación de las 2 capas de anticorrosivo se consiguieron los siguiente resultados (ver cuadro 28).

Cuadro 28. Probetas con segunda capa de anticorrosivo

| Probeta | Mils | Promedio |
|---------|------|-----------|
| 1 | 3.6 | 4.23 mils |
| | 3.6 | |
| | 4.5 | |
| | 5 | |
| | 3.7 | |
| | 5 | |
| 2 | 2.5 | 3.02 mils |
| | 4.9 | |
| | 2.5 | |
| | 2.8 | |
| | 2.5 | |
| | 2.9 | |
| 3 | 3 | 3.58 mils |
| | 4.1 | |
| | 3.4 | |
| | 3.1 | |
| | 3.9 | |
| | 4 | |
| 4 | 2.8 | 3.18 mils |
| | 3 | |
| | 3.5 | |
| | 3 | |
| | 3 | |
| | 3.8 | |
| 5 | 5 | 3.93 mils |
| | 4.5 | |
| | 3.3 | |
| | 3.2 | |
| | 5 | |
| | 2.6 | |
| 6 | 3.3 | 3.55 mils |
| | 3 | |
| | 4.2 | |
| | 3.6 | |
| | 4.2 | |
| | 3 | |
| 7 | 3.8 | 3.18 mils |
| | 2.8 | |
| | 3 | |
| | 3.5 | |
| | 3 | |
| | 3 | |

Al igual que el procedimiento anterior, se aplicaron 2 capas de barrera o intermedia con humedad relativa de 74%, temperatura ambiente 33° C, punto de

rocío de 27.5° C, temperatura de chapa de 36° C, para la primera capa; humedad de 70%, temperatura ambiente de 30° C, punto de rocío de 23.9° C. Se consiguieron los diferentes espesores de película seca:

Probeta No. 3 → 10.1; 10.1; 10.4; 10.8; 10.5; 11.2 mils

Probeta No. 2 → 7.1; 7.7; 7.5; 7; 7.5; 7.7 mils

Probeta No. 1 → 11.2; 12.5; 13; 12.2; 12.7; 13 mils

Probeta No. 4 → 9.2; 9.1; 9.7; 9.5; 9.2; 9.7 mils

Probeta No. 5 → 9.7; 9.2; 9.7; 9.1; 9.7; 9.1 mils

Probeta No. 6 → 10.2; 10.1; 10; 9.9; 9.8; 11 mils

Probeta No. 7 → 9.8; 9.7; 9.1; 10; 10.2; 9.6 mils

Por último aplicamos el acabado o antifouling con referencia 604020; donde se especifica espesores recomendados de 5 a 6 mils de película seca, aplicados en 2 capas, con humedad relativa de 70%, temperatura ambiente de 32° C, temperatura de rocío de 25.8° C, temperatura de la probeta 35° C.

La segunda capa de antifouling con 68% de humedad relativa, temperatura ambiente de 32° C, temperatura de rocío de 23.1° C, temperatura de la pieza de 33° C.

Luego se tomaron los espesores de película seca totales, con los siguientes resultados:

Probeta No. 1 → 17; 18; 16; 17; 17.5; 18 mils

Probeta No. 2 → 13.6; 12.5; 14.5; 13.7; 14.2; 13.2 mils

Probeta No. 3 → 15; 18; 17; 18; 17; 16 mils

Probeta No. 4 → 15; 14; 13.5; 15; 15; 15 mils

Probeta No. 5 → 14; 14; 15; 17; 18; 14 mils

Probeta No. 6 → 18; 17; 17; 18; 19; 14 mils

Probeta No. 7 → 14; 13; 15; 17; 17; 17 mils

Resumiéndose los siguientes espesores de películas seca promedio (ver figura 35):

Probeta No. 1 con un promedio de 17.25 mils

Probeta No. 2 con un promedio de 13.61 mils

Probeta No. 3 con un promedio de 16.83 mils

Probeta No. 4 con un promedio de 14.58 mils

Probeta No. 5 con un promedio de 15.33 mils

Probeta No. 6 con un promedio de 17.16 mils

Probeta No. 7 con un promedio de 15.5 mils

Figura 35. Probetas previamente pintada para los ensayos



Para determinar si con este tipo o manera de aplicación de pintura cumple con los requisitos de diseño, como resistencia mecánica y adherencia, se realizaron los siguiente experimentos:

- a. Desprendimiento catódico (ver figura 36)
- b. Prueba de adherencia (ver figura 37).
- c. Prueba de holiday.

En la prueba de desprendimiento catódico, las probetas, primero pasan por la prueba de holiday, de manera que las probetas no presentaron problema de imperfecciones.

Figura 36. Desprendimiento catódico



Figura 37. Probeta para ensayo de adherencia



Cartagena de Indias D, T y C. Noviembre 14 de 2002.


Sres.:
HUMBERTO YEPEZ
GERMAN QUIROZ.
Estudiantes Ing. mecánica
U. Tecnológica de Bolívar.
L. C.

A continuación se relacionan los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas a dos laminas de acero revestidas con pintura epóxica líquida.

| LAMINA # | DESP. CATODICO | OK | ADHESION | OK |
|----------|----------------|----|----------|----|
| #5 | 5.5 mm. | OK | FALLA | X |
| #7 | 6.2 mm. | OK | FALLA | X |

La prueba de desprendimiento catódico se realizó a una temperatura de $65 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 3.5 voltios durante 24 horas, la de adhesión se realizó a 24 horas sometidas a agua caliente a una temperatura de 95°C . Esta ultima prueba presentó problemas debido a que la pintura perdió resistencia mecánica y no se pudo obtener buenos resultados ya que las pruebas se realizaron bajo las especificaciones de la norma Canadiense CAN/CSA Z245.20-98. Y esta aplica solamente para pintura epóxica en polvo, o sea no es la prueba adecuada para este tipo de pintura.

Atentamente,



LUIS CARLOS AGUILAR M.
Coord. Laboratorio Revestimiento
Tubos del Caribe S.A.

Sika Colombia S.A.

Señores
HUMBERTO YEPEZ MARTELO
GERMAN QUIROZ AMARIS

Cartagena

Cartagena., enero 20 del 2003

N-Ref.: FPA/ - CTG-999-03

Apreciados Señores,

Ref. Informe Pruebas de Adherencia y Continuidad Eléctrica Probetas

De acuerdo a su solicitud estamos certificando la realización de pruebas de adherencia y Continuidad de película en dos probetas con los siguientes resultados:

Pruebas de Adherencia (Norma NTC 3896)

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Sistema | Espesor Película Seca | Condiciones Amb |
| Imprimante 137008 | 14,0 a 15,0 mils (promedio) | 75% HR |
| Coaltar Epoxico 786502 | | 25.3C Punto Rocio |
| Antifouling Vinilico Rojo | | 28 C |
| | | Pegante |
| | | Epoxi Acrilato |
| | | Tiempo Cura |
| | | 20 min |

Probeta No 1
450 psi – falla en la capa antifouling por cohesión 100%

Probeta No 2
500 psi – Falla capa Antifouling por cohesión 100%

Los resultados son satisfactorios.

Prueba de Continuidad Eléctrica

100% ausencia de porosidad.



Sika Colombia S.A.

HUMBERTO YEPEZ MARTELO- Página 2
GERMAN QUIROZ AMARIS

Normas

ASTM D 4414 Determinación de Espesores de Película Seca
NTC 591 Medición de Espesores de Película Seca
ASTM D4541 Pruebas de Adherencia
NTC 3733 Discontinuidad Eléctrica

Las anteriores pruebas se realizaron para probetas de evaluación dentro del Proyecto de Grado Titulado "Factores a Considerar en la Reparación de Las Embarcaciones en La Empresa Astilleros Vikingos S.A." en la Carrera de Ingeniería Mecánica.

Cordialmente,


ARTURO MANTILLA GARCIA
Gerente Regional


FERNANDO PALMA A.
Técnico Recubrimientos



2.6.6 Diseño de un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio en embarcaciones. En cuanto a la protección catódica, se establecerá cuales son las densidades de corrientes (zona sumergida) en cada una de las partes de la embarcación con el fin de suministrar corrientes de protección en las carenas, para evitar que se produzcan reacciones electroquímicas en la superficie.

Este método es efectivo para protección contra la corrosión de estructuras metálicas en agua, en suelos y en otros medios neutrales corrosivos (PH = 7).

En medio ácidos u utilización está limitada, ya que no es fácil detener la polarización catódica en los metales y por la gran autodisolución del metal de los ánodos de sacrificio.

El agua de mar y agua dulce tiene un PH = 7.2 y 7.3, promedio, por lo tanto los ánodos de aluminio y zinc pueden ser utilizados para llevar a cabo la protección en las embarcaciones.

El proyecto de protección catódica con ánodos de sacrificio consta de las partes siguientes:

A. Potencial electródico estacionario: con la medición de potenciales se determina la diferencia de tensión entre la estructura metálica y el medio que la rodea mediante un electrodo de referencia, la cual permite fijar las condiciones de

diseño de un sistema de protección catódica.

En el cuadro 29 se dan los valores mínimos del hierro y aceros, con electrodos de sulfato de cobre y plata / cloruro de plata.

Cuadro 29. Potenciales electroquímicos respecto a un electrodo de referencia

| Metal o aleación | Electrodo de referencia de uso | Condiciones |
|---------------------|--|-----------------------------------|
| | Cobre / sulfato de cobre suelos y agua dulce | Plata / cloruro de plata (en mar) |
| Hierro y acero | | |
| Ambiente aerobico | - 0.85 volts | -0.800 volts |
| Ambiente anaeróbico | -0.950 volts | -0.900 volts |

En la medición de referencia del potencial electroquímicos con un electrodo de referencia de cobre / sulfato de cobre y un voltímetro de alto ohmiaje, con resistencia interna superior a 20 Kohm / v.

El electrodo de sulfato de cobre consta de un tubo o barra de cobre rojo electroquímicamente templado, sumergido en una solución acuosa saturada de CuSO_4 en una vasija especial no metálica.

La solución penetra a través del fondo poroso humedeciendo su superficie externa, creando un contacto galvánico entre el electrodo de cobre y el terreno (electrolito), en la cual se instala el electrodo de sulfato de cobre.

Antes de efectuar las mediciones, se requiere limpiar la barra de cobre de las contaminaciones y películas de óxidos, sumergiéndola en una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico con cloruro de sodio.

Después de tratada, la barra se lava cuidadosamente con agua destilada, se introduce en el cuerpo del electrodo y se llena de solución de CuSO_4 (usando agua destilada), añadiendo después cristales de sulfato de cobre para saturarla.

Los electrodos se rellenan un día antes de comenzar la medición, una vez llenados todos los electrodos, se introducen en una vasija (de cristal) con una solución de sulfato de cobre de forma tal, que los tapones porosos estén completamente introducidos en la solución.

En la medición del potencial “estructura – agua” el fondo poroso del electrodo de sulfato de cobre se introduce en el agua.

En la medición del potencial, el borne positivo del voltímetro se conecta a la estructura y el negativo al electrodo de sulfato de cobre.

Para determinar la densidad de corriente de protección apropiada para el buen funcionamiento de un sistema anódico instalado en el casco de un barco, se tienen que identificar 2 zonas que son:

- a) La popa y timón
- b) Resto de la embarcación (babor, estribor y proa).

En la popa o zona de gran turbulencia la densidad de corriente de protección debe ser mayor que en cualquier otro sitio de la embarcación debido a que en esta zona los ataques corrosivos son más severos, limitando esta, de tal manera que dicha intensidad no vaya a afectar al recubrimiento.

La densidad de corriente que se debe utilizar en zona de codeste, timón y hélice es de 220 mA/m².

Para el resto de la embarcación la densidad de corriente debe estar comprendida entre 65-90 mA/m².

$$I_c = S_s D_c$$

Siendo:

I_c = intensidad de corriente requerida

S_s = superficie sumergida

D_c = densidad de corriente

Cálculo de intensidad de corriente en popa (hélice y timón):

$$(Ic)_p = (Ss)_p \times (Dc)_p$$

Siendo:

P = popa

Cálculo de la intensidad de corriente en el resto de la embarcación (babor, popa y proa):

$$(Ic)_R = (Ss)_R \times (Dc)_R$$

Siendo:

R = resto de la embarcación

Ver cuadro 30 de densidad de corriente.

Cuadro 30. Densidad de corriente mAmp/m²

| | |
|----------------|-------|
| Babor – proa | 65-90 |
| Hélice – timón | 220 |

Cálculo de masa anódica requerida:

$$W=Ic \times Dr \times DI$$

Siendo:

W = el peso de masa anódica requerida en Kg.

Dr = Disipación del ánodo en Kg / Amper / años

DI = Vida de diseño del sistema en años

Ver cuadro 31 características electroquímicas de los materiales anódicos.

Cuadro 31. Características electroquímicas

| | |
|---------------|-------------------|
| Magnesio | 11.3 kg/amp – año |
| Galvalium III | 5.45 kg/amp – año |
| Zinc | 11.3 kg/amp – año |

Cálculo del número de ánodos requeridos: Para el cálculo de ánodos requeridos hacemos la siguiente relación:

$$N = W/W_A$$

N = Número de ánodos

W = peso total de la masa requerida

W_A = Peso de cada ánodo

Desprendimiento de corriente de un ánodo. El desprendimiento de corriente que entrega un ánodo está determinado por la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{\Delta V}{R}$$

Siendo ΔV = la diferencia de potencial entre la estructura y la tensión que entrega el ánodo, en los cuadros 9, 10 y 11 se dan los valores de potenciales del zinc, aluminio y magnesio.

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

R = La resistencia del ánodo de sacrificio (Ohms)

l = Longitud del ánodo

A = El área del ánodo

ρ = Es la resistividad del electrolito

En el agua de mar la resistividad es de $20\Omega \times \text{cms}$ lo cual es buena conductora de la corriente, además es un medio agresivo.

Vida útil de un ánodo: La vida útil del ánodo depende tanto de su material como su peso:

Para el cálculo, tenemos la siguiente ecuación:

$$T = \frac{C \times P \times R \times U}{Y}$$

Siendo:

T = Tiempo de servicio del ánodo de sacrificio en años.

C = Capacidad de corriente en Amp – año / Kg (cuadro 32)

P = Peso del ánodo en Kg.

R = Rendimiento (cuadro 34)

U = Factor de utilización (0.60)

Y = Entrega de corriente del ánodo en amperio

Cuadro 32. Capacidad de corriente teórica y rendimiento

| Metal anódico | Capacidad corriente teórica (A – año/kg) | Rendimiento % |
|---------------|---|---------------|
| Zinc (Zn) | 0.094 | 95 |
| Aluminio (Al) | 0.340 | 90 |
| Magnesio (Mg) | 0.251 | 50 |

Materiales de los ánodos: Los materiales empleados en los sistemas de protección catódica deben de entregarse con certificados de garantía y calidad del proceso de fabricación, que asegure la confiabilidad del producto durante la vida útil del sistema. En el caso de los ánodos se debe verificar su composición química, capacidad de corriente, consumo, potencial del circuito abierto, peso específico.

La composición química de los ánodos debe de cumplir con lo indicado en los cuadros 9, 10 y 11.

Aplicación de protección catódica. En la protección catódica por ánodo de sacrificio en la embarcación “redes”, se realizó el siguiente diseño: se utilizó ánodos de zinc de 5 kg corriente requerida en la popa (hélice).

$$I_R = D_c \times A_s$$

$$D_c = \text{Densidad de corriente (220 } \frac{\text{mAmp}}{\text{m}^2} \text{)} \quad (\text{tabla 24})$$

$$A_s = \text{Área sumergida} = 10 \text{ m}^2$$

$$I_R = \frac{220 \text{mAmp} / \text{m}^2 \times 10 \text{m}^2}{1000} = 2.2 \text{amp}$$

Peso requerido en la popa:

$$W = I_r \times D_r \times D_I$$

$$W = \text{peso en Kg}$$

D_r = Disipación o consumo de ánodo, Kg/amp – año

$$D_r = 11.3 \text{ kg/amp – año (Zinc) (tabla 25)}$$

D_I = vida de diseño (años)

$$W = 2.2 \text{ amp} \times 11.3 \text{ kg/ amp-año} \times 2 \text{ años} = 49.72 = 50 \text{ kg}$$

Número de ánodos requeridos:

$$N = \frac{W}{W_a}$$

W_a = peso del ánodo

$$N = \frac{50\text{kg}}{5\text{kg}} = 10 \text{ ánodos}$$

Para el timón:

$$I_r = D_c \times A_s$$

$$A_s = 3.4 \text{ m}^2$$

$$D_s = 220 \text{ mAmp/m}^2$$

$$I_r = \frac{220\text{mAmp/m}^2 \times 3.4\text{m}^2}{1000} = 0.75\text{amp.}$$

Peso requerido en el timón:

$$W = I_r \times D_r \times D_l$$

$$W = 0.75 \times 11.3 \times 2 = 16.95 = 17 \text{ kg.}$$

Número de ánodos:

$$N = \frac{W}{W_a} = \frac{17\text{kg}}{5\text{kg}} = 3.4 = 4 \text{ ánodos}$$

Corriente requerida en el resto de la embarcación:

$$I_r = D_c \times A_s$$

Dc = La densidad de corriente, está establecida entre $65 \frac{\text{mAmp}}{\text{m}^2}$ a $90 \frac{\text{mAmp}}{\text{m}^2}$.

$$Dc = 80 \frac{\text{mAmp}}{\text{m}^2}$$

$$As = 90 \text{ m}^2$$

$$I_r = \frac{80 \frac{\text{mAmp}}{\text{m}^2} \times 90 \text{ m}^2}{1000} = 7.2 \text{ amp}$$

Peso requerido:

$$W = I_r \times D_r \times D_l$$

$$W = 7.2 \times 11.3 \times 2 = 163 \text{ kg.}$$

Número de ánodo:

$$N = \frac{W}{W_a} = \frac{163 \text{ kg}}{5 \text{ kg}} = 33 \text{ ánodo}$$

Total de ánodo en la embarcación: $33 + 4 + 10 = 47$ ánodos.

Vida útil del ánodo. El tiempo de servicio del ánodo depende de su peso, de la corriente y el suministro de corriente teórico, rendimiento y factor de utilización.

$$T = \frac{C \times P \times R \times U}{Y} \text{ (años)}$$

C = capacidad de corriente teórica

P = peso del ánodo

R = Rendimiento

U = Factor de utilización

Y = Corriente dada por un ánodo

Para determinar Y, utilizamos la siguiente relación:

$$Y = \frac{\Delta V}{R} = \frac{V_{est} - V_{zinc}}{R}$$

$V_{est} = 0.85$ voltios (con electrodo de Cu/CuSO₄)

$V_{zinc} = 1.1$ voltios (con electrodo de Cu/CuSO₄)

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

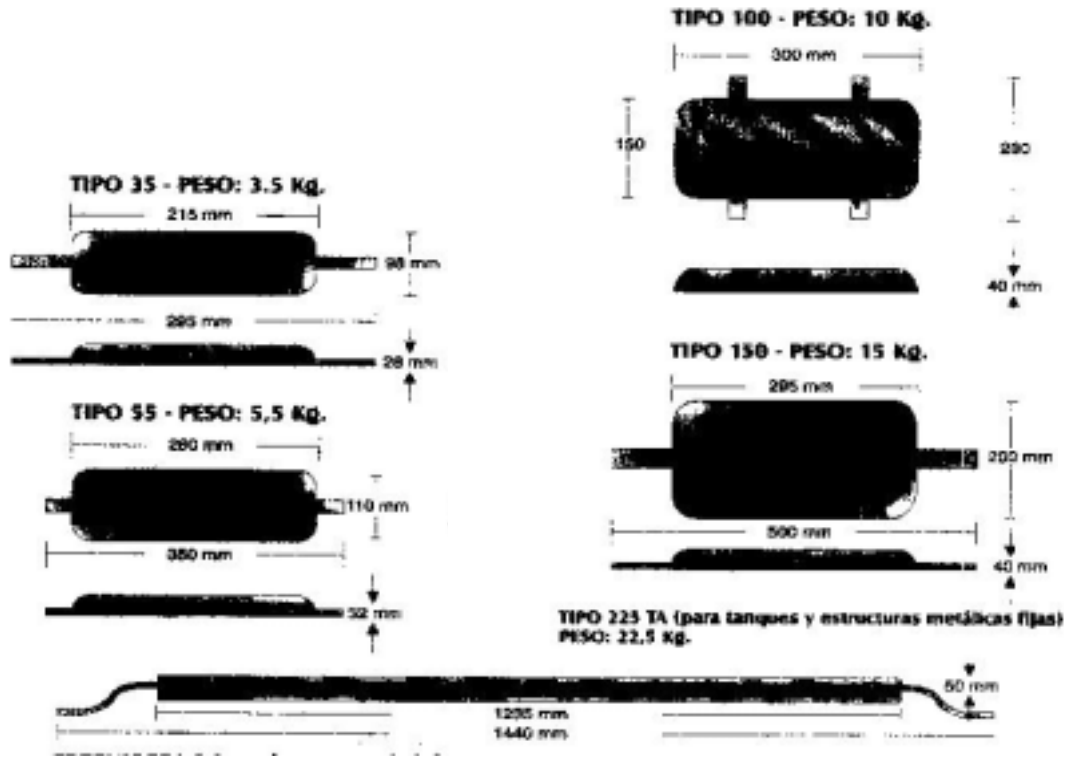
$\rho = 20 \Omega \times \text{cm}$ (agua de mar)

para una superficie rectangular será:

$$R = \frac{\rho l}{6A}$$

El tipo 55 de un peso de 5 kg tiene las siguientes dimensiones (ver figura 38).

Figura 38. Tipos de ánodos de sacrificio para casco de buque



$$R = \frac{20\Omega \times 6 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}}{6 \times 11 \times 3.2 \text{ cm}^2} = 2.46\Omega$$

$$Y = \frac{V_{\text{casco}} - V_{\text{zinc}}}{R} = \frac{-0.85 - (-1.1)}{2.46} = \frac{0.25 \text{ Voltios}}{2.46} = 0.102 \text{ amp}$$

$$T = \frac{C_x P_x R_x U}{Y} = \frac{0.094 \frac{\text{Amp} \cdot \text{año}}{\text{kg}} \times 5 \text{ kg} \times 0.9 \times 0.6}{0.102} = \frac{0.2538}{0.102} = 2.48 \text{ años}$$

Para esta experiencia se utilizó un aparato de medida de corriente con la siguiente característica:

- Marca Miller

- Modelo RE -5
- Voltímetro de alto ohmniaje $\left(10.000 \frac{\Omega}{V}\right)$, y
- Un electrodo de referencia de cobre / sulfato de cobre

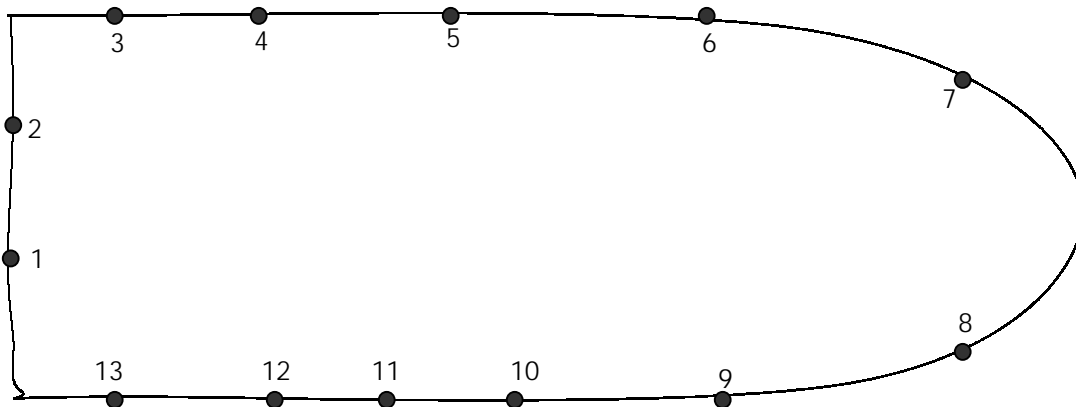
Cuadro 33. Medición de potenciales con respecto a electrodos de Cobre y sulfato de cobre

| Punto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Electrodo de cobre / sulfato de cobre | -1.064 | -1.062 | -1.056 | -1.022 | -1.018 | 1.018 | -1.022 |

| Punto | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Electrodo de cobre / sulfato de cobre | -1.028 | -1.014 | -1.018 | -1.026 | -1.032 | -1.028 |

Una vez instalado los ánodos y la embarcación se encuentra en el agua, se procedió a determinar los potenciales de polarización en diferentes sitios como se indica en la figura 39.

Figura 39. Medición del potencial en la estructura



2.7 EXPLICACIÓN DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se reparó la embarcación de pesca “redes”, realizando la limpieza de superficie considerando las condiciones atmosféricas, se le soldaron parches en el casco; luego se aplicó el esquema de pintura apropiado y se colocaron sus respectivos ánodos de sacrificio; se tomaron lecturas de potenciales del casco dentro del mar y se tuvieron valores aceptables por encima de -1 voltio lo que nos comprueba que el sistema de pintura está trabajando en colaboración de la protección catódica y que todos los procesos realizados fueron aceptables.

3. CONCLUSIONES

- A. La calidad en la preparación de superficie del casco de una embarcación, es decisiva para el anclaje del esquema de pintura.
- B. La condensación del agua contenida en la atmósfera, sobre la superficie preparada, más la presencia de iones SO_4^- y el Cl^- , promueven prontamente el desprendimiento del sistema de pintura.
- C. Si las pinturas aplicadas sobre la carena son compatibles, se presentarán fallas en ellas.
- D. El espesor del esquema de pintura es importante para minimizar la existencia de poros, que tratarán de actuar de ánodos.
- E. El área protegida por los ánodos de sacrificio es un poco menor hacia la popa de la embarcación, debido a la mayor turbulencia en ese sector.
- F. Los ánodos de sacrificio van a proteger el metal de la gran cantidad de poros, que quedan en el sistema de pintura.
- G. Si hay sobreprotección catódica, se desprende el esquema de pintura, debido

a la alcalinización y desprendimiento de gas hidrógeno.

- H. Los cordones de soldadura depositados por mal procedimiento del soldador, van a ser fuente de discontinuidades, disminuyendo la resistencia mecánica de la junta.
- I. Una mala preparación de bordes en la soldadura de chapas, produce poca penetración del metal de soldadura.
- J. Los ensayos radiográficos PQR y WQTR permiten seleccionar soldaduras para producir trabajos de calidad.
- K. Si la empresa produce con calidad, sus trabajos serán duraderos y atraerá más clientes.
- L. Se produjo intercambio de conocimientos entre los investigadores y asesores del estudio.
- M. Haciendo investigación se autoeducan los investigadores.
- N. El proceso investigativo debe ser visto como parte de una experiencia educativa que sirve para establecer necesidades de la comunidad y aumentar la conciencia y el compromiso dentro de este.

- O. Los recubrimientos de alto desempeño requieren de un perfil de anclaje entre 1 mil y 3 mil

3.1 RECOMENDACIONES

- A. Los procesos de limpieza de superficie, reparaciones por soldadura eléctrica, aplicación de esquema de pintura y protección catódica de carena de embarcaciones, deben realizarse según normas internacionales para que sean de buena calidad y confiables para los clientes.
- B. Astilleros Vikingos S.A., debe crear un Departamento de Control de Calidad que lidere actividades para lograr obtener trabajos de excelente calidad.
- C. La arena para sand-blasting, debe tener la granulometría apropiada para producir una buena rugosidad del substrato metálico.
- D. La arena para sand-blasting debe estar exenta de sales (Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$)
- E. Los soldadores de soldadura eléctrica con electrodo revestido, deben ser calificados por el departamento de control de calidad.

- F. Los equipos de soldadura eléctrica deben ser calibrados cada cierto tiempo de acuerdo al volumen trabajo por el Departamento de Control de Calidad.
- G. Los conectores de tramos largos de cable, deben ser apropiados para que ofrezcan un buen contacto eléctrico de baja resistencia y su aislamiento debe ser equivalente al del cable.
- H. Los cables de aluminio requieren una buena conexión mecánica para evitar el sobrecalentamiento.
- I. Las aristas vivas producidas en los cordones de soldadura deben ser pulidas.
- J. El metal de soldadura, debe ser similar en composición al metal base, para evitar la formación de pares galvánicos.
- K. Se requiere una buena preparación de borde en la soldadura de chapas, para que haya buena penetración del metal de soldadura hasta la raíz.
- L. Los esquemas de pinturas deben ser formados con pinturas del mismo productor y seguir sus recomendaciones.
- M. El departamento de control de calidad, debe asesorarse de los productores especializados, como SIKA, HEMPEL, PINTUCO.

- N. El departamento de control de calidad debe tener los equipos necesarios para realizar controles, a la limpieza de superficie, soldaduras, pinturas y ánodos de sacrificio.
- O. Los ánodos de sacrificio deben tener la composición química apropiada para que sea buena su disolución durante su uso.
- P. Evitar la deficiente y sobreprotección catódica de las carenas de los buques, para proteger el sistema de pintura.
- Q. Deben colocarse más ánodos de sacrificio cerca de la popa de las embarcaciones debido a que la corrosión allí es mayor.

4. ASPECTOS DE INFRAESTRUCTURA

4.1 RECURSOS HUMANOS

Para la realización del presente proyecto se contará con personal calificado en este campo de investigación.

4.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

La empresa Astilleros Vikingos S.A., es una empresa que presta sus servicios a la comunidad a nivel local, nacional e internacional en reparación y mantenimiento de barcos con capacidad de 350 ton de carga y bongos o barcosas de acero hasta de 55 m de eslora y 12 de manga, una grúa de 15 ton, 40 máquinas de soldar, 20 equipos de corte, una red de oxígeno, un equipo de sand-blasting de 600 CFM, equipos de pintura Wincher para 200 ton, carros móviles, hormigones de concreto y roles.

4.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y/O LABORATORIO REQUERIDO

Para la elaboración del proyecto se requiere la utilización de los siguientes equipos y ensayos.

Para limpieza:

- a) Compresor
- b) Rugutest
- c) Termómetro de contacto
- d) Prueba granulométrica
- e) Análisis de cloruro

Para pintura:

- a) Probetas
- b) Termómetro de contacto
- c) Medidor de peine para película húmeda
- d) Audio goge para película seca
- e) Equipo de pintura
- f) Ensayo de adherencia
- g) Ensayo de Holiday
- h) Ensayo de desprendimiento catódico

En soldadura:

- a) Máquina de soldar
- b) Electrodo E6011 y E7018
- c) Probetas
- d) Ensayos radiográficos
- e) Ensayo de tensión
- f) Ensayo de doblez de raíz

g) Ensayo de doblez de cara

Protección catódica:

a) Electrodo de referencia (cobre / sulfato de cobre).

4.4 PLAN DE ACTIVIDADES

a) Recopilación y análisis de la información primaria y secundaria.

b) Analizar proceso de limpieza de superficie.

c) Establecer procedimiento de trabajo en el proceso de limpieza de superficie.

d) Revisar el procedimiento de soldadura con electrodo revestido.

e) Elaborar procedimiento de soldadura con electrodo revestido

f) Verificar proceso de aplicación de pintura epóxica y anticorrosivas.

g) Elaborar proceso de aplicación de pintura epóxica y anticorrosiva

h) Ensayos de soldadura.

i) Inspeccionar los controles de protección catódica

j) Diseño de un sistema de protección catódica en proa, timón y hélice de las embarcaciones y ensayos.

k) Ensayos de pintura

l) Transcripción y entrega de trabajo de grado.

4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| Actividades | Enero | Feb. | Mar. | Abr | May | Jun. | Jul. | Agos. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|--|-------|------|------|-----|-----|------|------|-------|------|------|------|------|
| Recopilación y análisis de la información primaria y secundaria | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Analizar proceso de limpieza de superficie | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| Establecer procedimiento de trabajo en el proceso de limpieza de superficie | | | | | ■ | | | | | | | |
| Revisar el procedimiento de soldadura con electrodo revestido | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| Elaborar procedimiento de soldadura con electrodo revestido | | | | | | | ■ | | | | | |
| Verificar proceso de aplicación de pintura epóxica y anticorrosivas | | | | | | | | ■ | | | | |
| Elaborar proceso de aplicación de pintura epóxica y anticorrosiva | | | | | | | | | ■ | | | |
| Ensayos de soldadura | | | | | | | | | | ■ | | |
| Inspeccionar los controles de protección catódica | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| Diseño de un sistema de protección catódica en proa, timón y hélice de las embarcaciones y ensayos | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| Ensayos de pintura | | | | | | | | | | | ■ | |
| Transcripción y entrega de trabajo de grado | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |

4.6 PRESUPUESTO

| | |
|--|-----------|
| Papelería y fotocopias | 400.000 |
| Libros, revista, catálogos sobre corrosión, normas Técnicas de la NACE. | 500.000 |
| Asesorías de personal calificado | 1.600.000 |
| Gasto de computadora, Internet, copias, documentación | 600.000 |

Ensayos de pintura

| | |
|---|---------|
| Desprendimiento catódico | 100.000 |
| Prueba de adherencia | 50.000 |
| Prueba de Holliday | 40.000 |
| Preparación de probetas para pruebas de pintura | 60.000 |

Ensayos de soldadura

| | |
|--|---------|
| Elaboración de probeta para tensión | 56.000 |
| Elaboración de probetas para doblez y cara | 60.000 |
| Pruebas de tensión | 110.000 |
| Pruebas de doblez | 128.000 |
| Radiografía | 220.000 |
| Calificación de proceso de soldadura | 350.000 |
| Calificación del soldador | 150.000 |
| Fotografía | 100.000 |

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Análisis químico y granulométrico | 70.000 |
| Alquiler de instrumentos de medición | 120.000 |
| Transporte | 800.000 |
| Total | \$5.514.000 |

Los gastos de transporte incluyen la movilización de los diferentes sitios de la ciudad y de otros lugares fuera de Cartagena para recolectar información.

BIBLIOGRAFÍA

BOTIA F., José. Ingeniería de corrosión. Instituto nacional del acero. Bogotá, 1985. Pag. 2-35

FRANCIS L. LAQUE — Marine Corrosión — causes and prevention. John Wiley & Sons, Inc. 1978. Pag. 201.

GEORGE W., Kurr. Sacrifice Anodes applications in Ships. Materials protection, november, 1969, pag 13 – 25.

JOHN, Morgan Cathodic protection (Second Edition). Nace 1987, pág. 132- 135.

KOELL H., Leonard; MANS August; HORNBENGER Eugene. Manual de soldadura. Segunda edición. México D.F: Limusa S.A. de C.V. grupo Noriega editores. 200-265 p.

MANUAL DE PINTURAS MARINAS, Sigma coating S.A., España (Madrid, mayo de 1999). Pág. 7 — 85.

Marine Corrosión. Causes and prevention. John Wiley & Sons, inc 1978.

Pag. 35

NACE PUBLICATION 36173 Cathodic protection of ship hulls & relatives parts
Materials performance november 1973. Pag. 38-42

PERE MOLERA, Solá. Soldadura industrial: Clases y aplicaciones. Marcombo,
S.A., 1997. Pág. 17 — 39.

performance, vol 17, N^o 3. March 1978. Pág. 32 — 36.

RETAMOSOS R, Clemente. Curso de corrosión departamento de ingeniería
química. Bucaramanga, 1984. Pag. 105-108

Sacrifice Anodes applications in ships. Materials protection, november, 1969. Pag.
121-125

SAFULIN, Adan; DEL CAMPO, Jorge y CLITO; Francisco. Protección catódica
para estructuras metálicas utilizando ánodos de sacrificio. 10-24 p.

SIGMA COATING S.A., España (Madrid, mayo de 1999). Manual de pinturas
marinas desde la pág. 7 - 85.

SIKA. Manual de guía para el mantenimiento y protección de alimentos metálicos.
11 – 13 p.

WEST M. John. Corrosión y oxidación. México: Limusa, 1986. Pag. 138-145.

ANEXOS

Anexo A. Normas para la limpieza de superficie metálicas

LIMPIEZA CON CHORRO A METAL BLANCO - SSPC-SP5

1. OBJETO

1.1 Estas especificaciones dan los procedimientos requeridos para limpieza por chorro, de superficies de acero estructural antes de pintarlas.

2. DEFINICIÓN

2.1 La limpieza por chorro es un método de preparar superficies metálicas para pintar, removiendo toda la cascarilla de laminado, herrumbre, pintura o materias extrañas mediante el uso de un abrasivo impulsado a través de tobera o por ruedas centrífugas.

2.2. Superficie preparada a metal blanco por limpieza por chorro se define como una superficie con color uniforme gris blanco metálico, ligeramente rugosa para formar un conveniente perfil de anclaje para la pintura, la superficie quedará libre de aceite, grasa, suciedad, cascarilla de laminado visible, herrumbre, productos de corrosión, óxidos, pintura o cualquier otra materia extraña. El color de la superficie limpia puede ser afectado por la clase de medio abrasivo usado.

2.3 Fotografías u otros standards visuales de la preparación de la superficie como se prevé en el Apéndice, pueden ser usados para definir las superficies, si se especifica en el contrato.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Limpieza con chorro a metal blanco puede consistir en las siguientes secuencias de operación:

3.1.1 Depósitos pesados de aceite o grasa, pueden ser removidos por el método especificado en Spec SSPC-SP1 “Limpieza con solventes”. Pequeñas cantidades de aceite o grasa pueden ser removidas con limpieza por chorro. Si el aceite o grasa son removibles por chorro, el abrasivo no puede volver a usarse porque sería perjudicial para la superficie.

3.1.2 Excesiva cascarilla de laminado puede ser removida con herramientas de impacto según Spec. SSPC-SP2 “ Limpieza manual” ó Spec. SSPC- SP3 “Limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas” ó por equipo especial de limpieza con chorro.

3.1.3 La superficie podrá ser limpiada hasta un acabado de metal blanco por alguno de los siguientes métodos:

3.1.3.1 Chorro de arena seco usando aire comprimido, toberas y arena seca con

un máximo de tamaño de partícula que no pase a través de un tamiz 16 mallas “US Sieves series”.

3.1.3.2 Chorro de arena húmedo con vapor de agua usando aire comprimido, Toberas, agua y arena con un máximo de tamaño en partícula que no pase a través de un tamiz de 16 mallas “US Sieves series”.

3.1.3.3 Chorro con granalla usando aire comprimido, toberas y partículas trituradas hechas de hierro fundido, hierro maleable, acero o partículas sintéticas distintas de arena con un máximo de tamaño de partícula que no pase a través de un tamiz de 16 mallas” US Sieves series”. El más grande grado comercial de partículas metálicas permitido por estas especificaciones es el SAE No. G-25 material abrasivo.

3.1.3.4 Chorro con perdigones usando aire comprimido, toberas y perdigones de hierro fundido hierro maleable, acero o sintéticos de una máximo tamaño que no puedan pasar por un tamiz de 16 mallas “ US Sieves series”. El más grande grado comercial permitido para esta especificación es SAE No. 5-330

3.1.3.5 Tobera cerrada con recirculación, usando compresor de aire, vacío y alguno de los anteriores abrasivos.

3.1.3.6 Chorro con granallas usando ruedas centrífugas y granallas trituradas de

hierro fundido hierro maleable, acero o sintéticos con un máximo tamaño que no pase a través de un tamiz de 16 mallas 'US Sieves series El más grande grado comercial de las partículas metálicas permitido por las especificaciones es el SAE No. G-25

3.1.3.7 Chorro con perdigones usando ruedas centrífugas y perdigones de hierro fundido. hierro maleable, acero o sintéticos con un máximo de tamaño de partículas que no pueda pasar por un tamiz de 16 mallas ' US Sieves series" El mayor grado comercial permitido por estas especificaciones es SAE No. 330

3.2 Si se ha hecho limpieza con chorro seco, la superficie debe ser cepillada con cepillos hechos de pelo, cerda o fibra, sopladas con aire comprimido (seco y sin aceite), o limpiadas al vacío con el propósito de remover las trazas de productos de la limpieza con chorro de la superficie y también para remover el abrasivo de cavidades y esquinas.

3.3 Si se ha hecho limpieza con chorro húmedo, la superficie debe ser limpiada para enjuague con agua fresca a la cual se le ha agregado una cantidad suficiente de inhibidor para prevenir el herrumbre, o con agua fresca seguida de un tratamiento de inhibidores. Esta limpieza debe ser suplementada con un cepillado, si es necesario, para remover residuos.

3.4 El aire comprimido usado en la limpieza con chorro debe estar libre de agua

condensada y aceite. Un separador adecuado o una trampa deben ser previstas.

3.5 La operación de limpieza por chorro debe hacerse de tal manera que no se produzcan daños a áreas adyacentes al trabajo.

3.6 El “blasting” seco no debe darse en superficies que pueden humedecerse después de la limpieza y antes de pintarse o cuando las condiciones ambientales son tales que aparece una visible oxidación antes de pintar.

Si se forma herrumbre después del “blasting”, la superficie debe ser limpiada nuevamente antes de pintar.

3.7 La superficie limpiada con chorro debe ser examinada por si hay trazas de aceite, grasa o hollín; si están presentes deberán ser removidos según Spec. SSPC-SP1 “Limpiezas con solventes”.

3.8 La altura del perfil de anclaje producido en la superficie debe ser limitada a un máximo, que no es perjudicial para la vida de la película de pintura. El tamaño máximo de las partículas específicas en los párrafos 3.1.3 a 3.1.3.7 puede producir un perfil de anclaje que sea demasiado alto y demasiado áspero para el sistema de pintura que se a va usar En tales casos el tamaño del abrasivo deberá ser reducido. Si la aplicación de la segunda mano de pintura es demorada, se debe hacer una adecuada reducción en la altura del perfil de anclaje.

3.9 La altura del perfil de anclaje puede ser determinada puliendo un sitio plano de la superficie limpiada hasta alcanzar el fondo de las picaduras. la altura puede ser medida con un micrómetro de profundidad graduado para leer 0.00 1”.

3.10 La superficie limpiada con chorro puede ser posteriormente tratada o imprimada como se especifique en los acuerdos, preferiblemente dentro de las 24 horas después de la limpieza cuando se practicable, pero en todo caso antes de que alguna oxidación visible pueda ocurrir. (Véase Sección 3.6 y Apéndice A.7).

Donde pueden ocurrir contaminaciones químicas de la superficie, el acero debe ser pintado tan pronto como sea posible después de limpiada con chorro.

4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

4.1 Si hay peligro de fuego o explosión se deberán tomar las precauciones adecuadas antes de que se haya iniciado el trabajo. Si la estructura previamente contenía materiales inflamables, debe ser purgada de concentraciones peligrosas.

4.2 Los operadores de la tobera, expuestos al polvo deben llevar un casco adecuado. conectado a una fuente de aire comprimido limpio.

4.3 Respiradores de aire tipo filtro, deberán ser usados por los otros trabajadores

que están expuestos al polvo del chorro. Debe proveerse adecuada protección para el personal contra las partículas en el aire de la operación de la limpieza con chorro.

4.4 Anteojos de seguridad deben ser usados por las personas que están cerca de cualquier operación de limpieza con chorro

4.5 La manguera del equipo de limpieza deberá ser aislada en tierra para evitar cargas estáticas.

5. INSPECCIÓN

5.1 Todo trabajo bajo estas especificaciones debe ser sujeto a inspecciones por parte del cliente o su representante. Todas las partes del trabajo deben ser accesibles al inspector. El contratista debe corregir aquellos trabajos que se encuentran defectuosos bajo las especificaciones. Si el contratista no está de acuerdo con el inspector, el arbitramento o procedimiento establecido en el contrato, si lo hay, deberá seguirse. Si no hay arbitramento o un procedimiento establecido, podrá ser usado el procedimiento establecido por la Asociación Colombiana de Ingenieros

LIMPIEZA CON CHORRO GRADO CASI BLANCO - SSPC-SP10

1. OBJETO

1.1 Esta especificación da los procedimientos requeridos para la limpieza con chorro grado casi blanco de superficies de acero estructural antes de pintarlas.

2. DEFINICIÓN

2.1 Limpieza con chorro grado casi blanco, es un método de preparación de superficies metálicas para pintarlas removiendo casi toda la cascarilla de laminado, la herrumbre, la pintura y las materias extrañas, por el uso de un abrasivo impulsado a través de una tobera o por una centrífuga, hasta el grado aquí después especificado

2.2 El acabado final de una superficie limpiada con limpieza con chorro, grado casi blanco. se define como aquella en la cual todo aceite, grasa, suciedad, cascarilla de laminado, herrumbre, productos de corrosión , pintura y otras materias extrañas han sido completamente removidas de la superficie, excepto ligeras sombras, rayas o ligeras decoloraciones causadas por manchas de herrumbre, ligeras cascarillas de laminado y delgados residuos de pintura. Por lo menos un 95% de cada pie cuadrado de superficie está libre de residuos visibles, y el resto, se limita a las ligeras decoloraciones mencionadas antes.

2.3 Fotografías u otros standard visuales de preparación de superficie pueden ser usados como se prevén en el Apéndice para modificar y definir las superficies si se especifica en el contrato.

2.4 El tiempo gastado (Nozzle time) no debe ser menos de los 2/3 del que se requiere para producir un acabado de metal blanco sobre la misma superficie, ni debe ser mayor del 95% de los que este esfuerzo requiere.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Limpieza con chorro o grado casi blanco puede consistir en las siguientes secuencias de operación:

3.1.1 Depósitos pesados de aceite, grasa pueden ser removidos por métodos especificados en la Limpieza con solventes". Pequeñas cantidades de aceite o grasa pueden ser removidos con limpieza con chorro. Si el aceite o grasa son removidos por chorro el abrasivo no puede volverse a usar porque sería perjudicial para la superficie.

3.1.2 Excesiva cascarilla de laminado puede ser removida con herramienta de impacto según "Limpieza manual" o" Limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas" o por equipo especial de limpieza por chorro.

3.1.3 La superficie del metal podría ser limpiada por “Limpieza con chorro grado casi blanco’ por alguno de los siguientes métodos:

3.1.3.1 Chorro de arena seca usando aire comprimido y toberas . La arena debe tener un tamaño máximo que no pueda pasar a través de un tamiz de 16 mallas de US. Sieve Series.

3.1.3.2 Chorro de arena húmedo, o de vapor de agua, aire comprimido toberas, agua. La arena con un máximo de tamaño en partícula que no pueda pasar un tamiz de 16 mallas de US. Sieves series.

3.1.3.3 Chorro de granalla, usando aire comprimido y toberas. Las granallas trituradas de hierro fundido, hierro maleable, acero, o sintéticos con un máximo tamaño en partículas que no puedan pasar por un tamiz ,de 16 mallas US. Sieves series. El más grande grado de partícula metálica permitido por estas especificaciones es el Material abrasivo.

3.1.3.4 Chorro de perdigones, usando aire comprimido y toberas. Los perdigones de hierro fundido, hierro maleable, acero o sintéticos con un máximo de tamaño en partícula que no pueda pasar a través de un tamiz de 16 mallas US Sieves Series. El más grande grado comercial permitido para esta especificación, es SAE No. 330.

3.1.3.5 Tobera cerrada con recirculación usando aire comprimido, vacío y alguno de los anteriores abrasivos

3.1.3.6 Chorro de granalla, usando ruedas centrifugas y partículas trituradas de hierro fundido, hierro maleable, acero o sintéticos con máximo de tamaño en partículas que no pase a través de un tamiz de 16 mallas US Sieves series El mayor grado comercial permitido de las partículas metálicas, es el SAE No. G-25

3.1.3.7 Chorro de perdigones. usando ruedas centrifugas y perdigones de hierro fundido, hierro maleable, acero o sintéticos con un máximo de tamaño en partícula que no pasar a través de un tamiz de 16 mallas US. Sieves series. El mayor grado comercial permitido para esta especificación es SAE No. 330.

3.2 Si se ha hecho chorro seco, la superficie debe ser cepillada con cepillos hechos de pelo, cerda o fibra, sopladas con aire comprimido seco y libre de aceite, o limpiados con vacío con el propósito de remover las trazas de productos de la limpieza de la superficie y también para remover el abrasivo de las cavidades y rincones.

3.3 Si se ha hecho chorro húmedo, la superficie debe ser limpiada por enjuague con agua fresca a la cual se ha agregado una cantidad suficiente de inhibidor para prevenir la herrumbre o con agua potable seguida inmediatamente de un tratamiento de inhibición. Esta limpieza debe ser suplementada con una cepillada,

si es necesario, para remover residuos.

3.4 El aire comprimido usado en la tobera, debe estar libre de cantidades perjudiciales de agua condensada y aceite. Un separador o una trampa deben ser previstos.

3.5 La operación de limpieza con chorro debe hacerse de tal manera que no se produzcan daños a porciones parciales o completas del trabajo

3.6 El chorro seco, no debe darse en superficies que puedan humedecerse después de la limpieza y antes de pintarse, o cuando las condiciones ambientales son tales que aparece un visible oxidación antes de pintar.

Si se forma herrumbre después de la limpieza, la superficie debe ser limpiada de nuevo antes de pintar.

3.7 La superficie limpiada con chorro debe ser examinada por si hay trazas de aceite. grasa y hollín. Si están presentes, deberán ser removidas según Spec. SSPC-SP1 Limpieza con solventes”

3.8 La altura del perfil de anclaje producido en la superficie debe ser limitado a un máximo que no sea perjudicial para la vida de la película de pintura. El máximo de las partículas especificado en los párrafos 3.1.3 a 3.1.3.7 puede producir un

perfil de anclaje que sea demasiado alto y demasiado áspero para el sistema de pintura que se va a usar. En tales casos, el tamaño del abrasivo deberá ser reducido. Si la aplicación de la segunda mano de pintura es demorada, se debe hacer una adecuada reducción de la altura del perfil de anclaje

3.9 La altura del perfil de anclaje puede ser determinada, puliendo un sitio plano de la superficie limpiada hasta alcanzar el fondo de las picaduras. La altura puede ser medida con un micrómetro de profundidad graduado para leer 0.001

3.10 La superficie limpiada con chorro debe ser posteriormente tratada o pintada como se especifique en los acuerdos sobre el trabajo preferiblemente dentro de las 24 horas después de la limpieza cuando sea practicable, pero en todo caso antes de que algún óxido visible pueda ocurrir (Véase sección 3.6 y Apéndice A.7).

Donde puedan ocurrir contaminaciones químicas de la superficie, el acero debe ser pintado tan pronto como sea posible después de la limpieza con chorro.

4.4 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

4.1 Si hay peligro de fuego o explosión se deberán tomar las precauciones adecuadas antes de que haya sido iniciado el trabajo. Si la estructura previamente contenía materiales inflamables, debe ser purgada de concentraciones peligrosas.

4.2 Los operadores de la tobera expuestos al polvo deben llevar un casco de seguridad, conectado con una fuente de aire comprimido limpio.

4.3 Respiradores de aire tipo filtro, deberán ser usados por los otros trabajadores que están expuestos al polvo de la limpieza por chorro. Debe proveerse adecuada protección para el personal , contra las partículas en el aire de la operación de la limpieza por chorro.

4.4 Anteojos de seguridad deben ser usados por las personas que estén cerca de cualquier operación de limpieza por chorro.

4.5 La manguera del equipo de limpieza deberá ser aislada a tierra para evitar cargas estáticas.

5. INSPECCIÓN

5.1 El trabajo bajo estas especificaciones deberá estar sujeto a inspección por parte del cliente o su representante. Todas las partes del trabajo deben ser accesibles al inspector. El contratista debe corregir aquellos trabajos que se encuentren defectuosos bajo las especificaciones. Si el contratista no está de acuerdo con el inspector, el arbitramento o procedimiento establecido en el contrato, si lo hay, deberá ser seguido. Si no hay arbitramento o un procedimiento establecido, podrá ser usado el procedimiento establecido por la Asociación Colombiana de Ingenieros

Anexo B. Patrones fotográficos de acuerdo al estado de láminas

Grados de limpieza: Normas ISO 8501-1 - SIS 055900

Los grados de limpieza a obtener varían definidos por una serie de normas, la más divulgada de las cuales es la norma SIS 055900 del SWEDISH STANDARDS INSTITUTION, que ha sido recientemente transformada en norma ISO 8501-1 : 1988, en las que los grados de preparación están en función del estado inicial del acero a pintar. Estas normas contemplan solamente acero más o menos envejecido, pero que nunca ha sido pintado.

Estados iniciales definidos por ambas normas:

- A - Superficie de acero completamente recubierta con cascarrilla de laminación o calamina y con trazas de óxido. (El grado A es normalmente el que presenta el acero poco tiempo después de su laminación en caliente.)
- B - Superficie de acero que ha iniciado su corrosión y de la que ha empezado a desprenderse la cascarrilla de laminación. (El grado B es normalmente el estado de una superficie de acero laminado en caliente después de haber permanecido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva, durante 2 ó 3 meses.)
- C - Superficie de acero de la que la corrosión ha hecho saltar la totalidad de la cascarrilla de laminación, pero que todavía no presenta picaduras detectables a simple vista. (El grado C es normalmente el estado de una superficie de acero que ha sido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva, durante 1 año, aproximadamente.)
- D - Superficie de acero de la que se ha desprendido la totalidad de la cascarrilla de laminación y en la que se observan picaduras a simple vista. (El grado D corresponde al estado de una superficie de acero después de su exposición a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva durante unos 3 años.)

(GRADOS DE PREPARACIÓN): A partir de cada uno de los estados iniciales se definen varios grados de preparación, denominados con las siglas St, Sa o Fi.

St = Rasado, cepillado, picado, etc., por medios manuales o mecánicos.

Sa = Chorro abrasivo.

Fi = Limpieza a la llama (flameado). (Solo incluido en la ISO 8501-1).

El estado inicial A sólo admite preparación por chorro abrasivo (Sa), único método que permite eliminar la calamina.

En lo sucesivo sólo se considerarán los grados St y Sa, ya que el flameado se utiliza muy poco en la práctica.

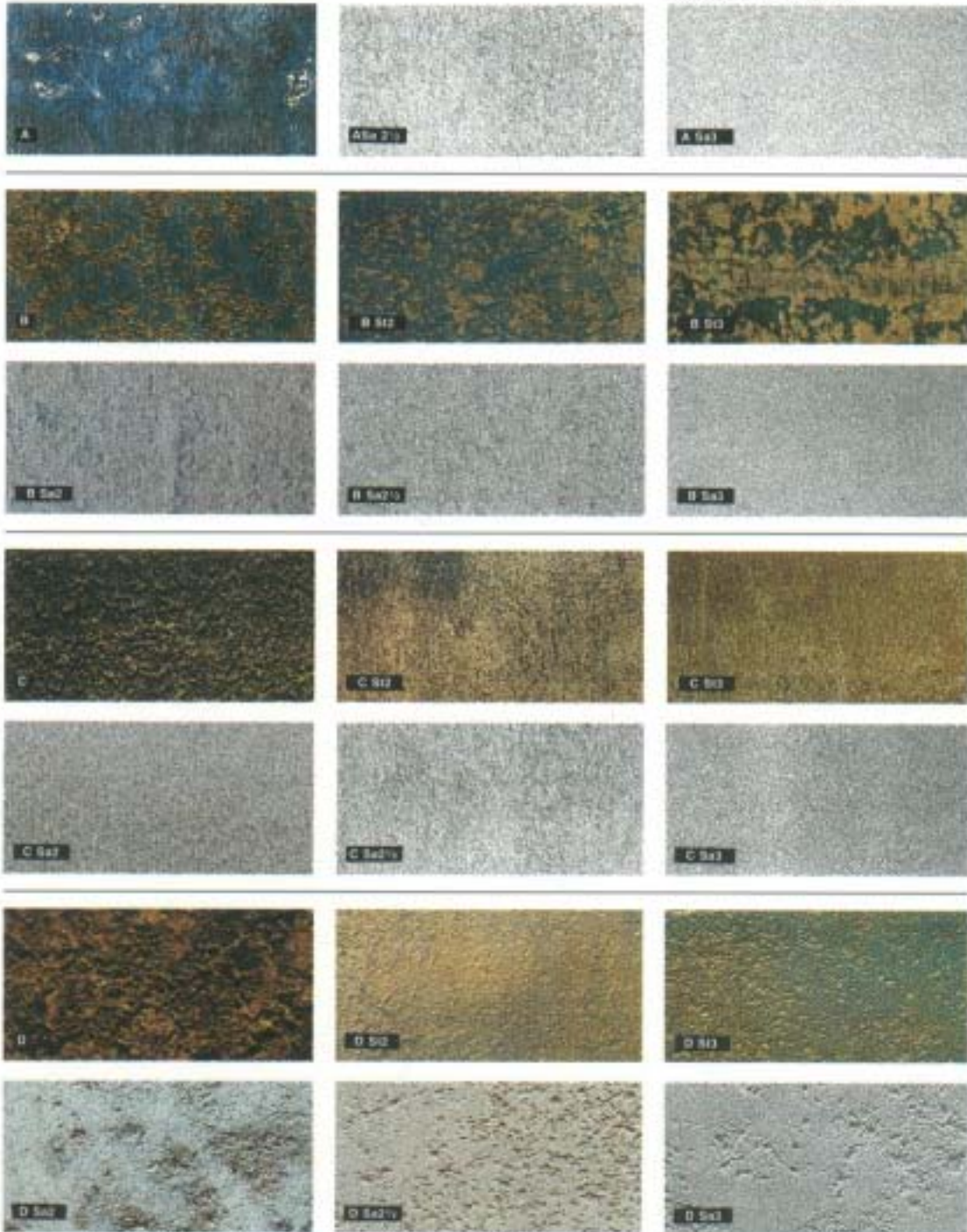
Los grados más usualmente recomendados son los siguientes:

| Norma suca | Descripción | Equivalencia con otras normas | |
|----------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| ISO 8501-1 SIS 055900 Sa3 | Eliminar la totalidad del óxido visible, cascarrilla de laminación, pintura vieja y cualquier materia extraña. Limpieza por chorro hasta metal blanco . El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo necesario para eliminar la totalidad de la cascarrilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, la superficie se limpia con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio, para eliminar los residuos de polvo de abrasivo. Debe entonces quedar con un color metálico uniforme. | SSPC-SP-5 | Chorro a metal blanco. |
| ISO 8501-1 SIS 055900 Sa2½ | Chorro abrasivo hasta metal casi blanco , a fin de conseguir que por lo menos el 95% de cada porción de la superficie total quede libre de cualquier residuo visible. Chorro muy cuidadoso. El chorro se mantiene sobre la superficie el tiempo necesario para asegurar que la cascarrilla de laminación, herrumbre y materias extrañas son eliminadas de tal forma que cualquier residuo aparezca sólo como ligeras sombras o manchas en la superficie. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio. | SSPC-SP-10 | Chorro a metal casi blanco. |
| ISO 8501-1 SIS 055900 Sa2 | Chorro hasta que al menos los 2/3 de cualquier porción de la superficie total estén libres de todo residuo visible. Chorro cuidadoso. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo suficiente para eliminar la casi totalidad de cascarrilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio. La superficie debe quedar de color grisáceo. | SSPC-SP-6 | Chorro comercial. |
| ISO 8501-1 SIS 055900 St3 | Rasado con raquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre, muy cuidadoso. El rasado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar un pronunciado aspecto metálico. | SSPC-SP-3 | Limpieza mecánica. |
| ISO 8501-1 SIS 055900 St2 | Rasado cuidadoso con raquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre. El rasado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar aspecto metálico. | SSPC-SP-2 | Limpieza manual. |

Existe también el grado Sa1, que corresponde a un chorro ligero o aislado con abrasivo, pero en la práctica se usa muy poco.

Patrones fotográficos

Patrones orientativos. Los únicos oficialmente válidos son los que figuran en las normas ISO 8501-1 - SS 055900



Anexo C. Equipos utilizados en limpieza de superficie

Equipo para la limpieza con chorro abrasivo



Boquillas de Carburo de Silicio



Corte telescópico de la boquilla



Resaca gruesa

Acople rápido sin rosca



Manguera ultratensa y flexible, boquilla de carburo de silicio con exterior de uranio a la portaboquilla



Limpeza con chorro abrasivo



REQUISITOS DE AIRE COMPRIMIDO & CONSUMO DE ABRASIVO

Los datos suministrados de consumo son referidos a aquellos
abrasivos que tienen una densidad de 100 libras por pie cubico

| Diámetro de la boquilla ó tobera | Presión en boquilla (psi) | | | | | | | Requisitos de: Aire y potencia del compresor |
|---|---------------------------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 125 | |
| No. 2 1/8" | 11 | 13 | 15 | 17 | 18.5 | 20 | 25 | Aire (cfm) |
| | 67 | 77 | 88 | 101 | 112 | 123 | 152 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | Compresor (hp) |
| No. 3 3/16" | 26 | 30 | 33 | 38 | 41 | 45 | 55 | Aire (cfm) |
| | 150 | 171 | 196 | 216 | 238 | 264 | 319 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 | 12 | Compresor (hp) |
| No. 4 1/4" | 47 | 54 | 61 | 68 | 74 | 81 | 98 | Aire (cfm) |
| | 268 | 312 | 354 | 408 | 448 | 494 | 608 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 11 | 12 | 14 | 16 | 17 | 18 | 22 | Compresor (hp) |
| No. 5 5/16" | 77 | 89 | 101 | 113 | 126 | 137 | 168 | Aire (cfm) |
| | 468 | 534 | 604 | 672 | 740 | 812 | 982 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 18 | 20 | 23 | 26 | 28 | 31 | 37 | Compresor (hp) |
| No. 6 3/8" | 108 | 126 | 143 | 161 | 173 | 196 | 237 | Aire (cfm) |
| | 668 | 764 | 864 | 960 | 1052 | 1152 | 1393 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 24 | 28 | 32 | 36 | 39 | 44 | 52 | Compresor (hp) |
| No. 7 7/16" | 147 | 170 | 194 | 217 | 240 | 254 | 314 | Aire (cfm) |
| | 896 | 1032 | 1176 | 1312 | 1448 | 1584 | 1931 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 33 | 38 | 44 | 49 | 54 | 57 | 69 | Compresor (hp) |
| No. 8 1/2" | 195 | 224 | 252 | 280 | 309 | 338 | 409 | Aire (cfm) |
| | 1160 | 1336 | 1512 | 1680 | 1856 | 2024 | 2459 | Abrasivo (lb/hr) |
| | 44 | 50 | 56 | 63 | 69 | 75 | 90 | Compresor (hp) |

Anexo D. Materiales utilizados para obtener los perfiles de anclaje adecuados

RENDIMIENTOS TÍPICOS SEGUN EQUIPO DE APLICACION

| EQUIPO | m ² /día |
|-----------------------------|---------------------|
| Brocha | 65 |
| Rodillo | 120 a 260 |
| Equipo de aire convencional | 400 a 800 |
| Equipo sin aire(airless) | 600 a 1000 |

TAMAÑO DEL ABRASIVO

| Malla | Tamaño (mm) |
|-------|-------------|
| 10 | 2.00 |
| 16 | 1.18 |
| 20 | 0.85 |
| 30 | 0.60 |
| 40 | 0.425 |
| 50 | 0.300 |
| 80 | 0.180 |

Tamaño del Abrasivo contra Altura de Perfil

| Abrasivo | Máximo tamaño Partícula | Máxima altura de perfil (mts) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Arena muy fina | A través de malla 80* | 1.5 |
| Arena fina | A través de malla 40 | 2.8 |
| Arena media | A través de malla 18 | 3.4 |
| Arena gruesa | A través de malla 12 | 3.8 |
| Steel grit # G-80** | A través de malla 40 | 1.8 |
| Iron grit # G-50*** | A través de malla 30 | 2.2 |
| Iron grit # G-40 | A través de malla 20 | 3.4 |
| Iron grit # G-25 | A través de malla 16 | 4.6 |
| Iron grit # G-16 | A través de malla 12 | 6.5 |
| Steel shot # S-170** | A través de malla 20 | 2.8 |
| Iron shot # S-230 | A través de malla 18 | 3.0 |
| Iron shot # S-330 | A través de malla 16 | 3.5 |
| Iron shot # S-390 | A través de malla 14 | 3.8 |

Anexo E. Esquema de aplicación de pintura en una embarcación



APÉNDICE

A.1 OBJETO. Las recomendaciones contenidas en este apéndice, se cree representan una corriente y buena práctica, pero no pueden ser consideradas como requerimientos a esta especificación.

A.2 Limpieza con chorro” Brush-oof, puede ser empleado cuando el ambiente es suave que permite delgada cascarilla de laminado, pintura y menos cantidad de herrumbre y materias extrañas permanezcan en la superficie.

La superficie resultante de este método de preparación puede estar libre de toda cascarilla de laminado desprendida y herrumbre desprendida. las pequeñas cantidades de herrumbre que permanecen podrán ser una parte integral de la superficie. la pintura y cascarilla de laminado remanente podrán ser delgadas y la superficie suficientemente pulida para proporcionar un buen anclaje a la pintura. El bajo costo de este método puede resultar una protección económica en ambiente suaves.

A.3 Cuando esta especificación es usada en mantenimiento de pintura, instrucciones específicas deberán ser dadas sobre extensión de las superficies para ser limpiadas de acuerdo con esta especificación y la cantidad de sitios de limpieza requeridos. En mantenimiento de pinturas no es ordinariamente entendido que la pintura vieja adherente y seca sea removida, únicamente si es

excesivamente gruesa y no flexible.

En la preparación previa de una superficie para limpiar es necesario remover toda la corrosión y toda la pintura que muestra evidencias de corrosión, desconchamiento, excesivo espesor, fragilidad, ampollas, escamado o desintegración general. Es esencial que el removimiento de la pintura vieja sea llevado alrededor del lugar o área, hasta encontrar otra área con pintura completamente intacta y adherente sin herrumbre ni ampollas, la pintura vieja que permanece deberá tener suficiente adhesión de manera que no pueda ser desprendida como una lámina insertando bajo ella un cuchillo o espátula. La rata de limpieza con chorro puede varias de una área a la siguiente, en razón de conseguir la condición final deseada.

A.4 El máximo tamaño permisible de las partículas del abrasivo dependerá de la permisible rugosidad de la superficie o máxima altura del perfil de la superficie, el cual dependerá a su vez del espesor de la pintura que va a ser aplicada.

La máxima altura del perfil, es la altura del perfil de anclaje producido en la superficie, midiendo desde el fondo de las más profundas picaduras hasta la parte más alta de los más altos picos.

El perfil máximo puede variar con el ángulo y la velocidad de la partícula, con la dureza de la superficie con la cantidad de recycling of working mixtures (of shot and grit', y con la calidad de la limpieza con chorro.

| Error Abrasivo | Marcador no detenido. Partícula | Máximo tamaño | Máxima altura de perfil | |
|------------------------|--|----------------------|--------------------------------|------|
| Arena muy fina | | A través de malta 80 | 1.5 | Mils |
| Arena fina | | A través de malta 40 | 1.9 | |
| Arena media | | A través de malta 18 | 2.5 | |
| Arena gruesa | | A través de malta 12 | 2.8 | |
| Steel grit No. g-80 ++ | | A través de malta 40 | 1.3 - 3.0 | |
| Iron grit No. G-50 +++ | | A través de malta 25 | 3.3 | |
| Iron grit No. G-40 | | A través de malta 18 | 3.6 | |
| Iron grit No. G-25 | | A través de malta 16 | 4.0 | |
| Iron grit No. G-16 | | A través de malta 12 | 8.0 | |
| Steel shot No. S-170±± | | A través de malta 20 | 1.8 - 2.8 | |
| Iron shot No. S-230 | | A través de malta 18 | 3.0 | |
| Iron shot No. S-330 | | A través de malta 16 | 3.3 | |
| Iron Shot No. S-390 | | A través de malta 14 | 3.6 | |

A.5 El espesor de la película seca de pintura sobre los picos del perfil, deberá ser igual al espesor conocido que se necesita sobre una superficie uniforme para la deseada protección. Si no es posible usar una abrasivo de la partículas pequeñas, suficiente para producir la deseable altura de perfil, el espesor de la película seca de pintura deberá aumentarse para permitir un espesor adecuado en los picos.

A.6 Un aconsejable tratamiento inhibido para superficies limpiadas con chorro, es agua que contiene 0.320/o de Nitrato de Sodio 1.280/o en peso de Fosfato de Amonio (dibásico,) o también agua que contenga cerca de (a) 0.2% en peso de Ácido crómico, o (b) Dicromato de sodio, o (c) Cromato de sodio, o (d) Dicromato de potasio.

Nota Si se usan soluciones que contengan cromatos o dicromatos, se deben tomar precauciones para proteger al personal de los peligros que resultan al respirar los vapores o en contacto con las soluciones.

A.7 La superficie limpiada con chorro debe ser tratada o imprimada antes de que se herrumbre, de otra manera los beneficios de la limpieza con chorro, "Brush-off" se perderían. El metal desnudo recientemente expuesto se oxidará rápidamente bajo condiciones de alta humedad, rocío o atmósfera corrosiva, bajo condiciones atmosféricas normales o suaves, es la mejor práctica imprimir o tratar

químicamente dentro de las 24 horas después de la limpieza. bajo ninguna circunstancia debe permitirse que el acero se oxide antes de pintado, tenga cuidado con el tiempo que transcurre.

la humedad se condensa en cualquier temperatura que esté más fría que el punto de rocío de aire alrededor. Por consiguiente no se recomienda usar el chorro seco cuando la temperatura de la superficie de acero sea menor de 5°F del punto de rocío.

El intervalo de tiempo permisible entre la limpieza con chorro y el imprimante puede variar mucho (de minutos a semana) de un ambiente a otros, de manera que la superficie permanezca libre de corrosión, aceite, etc. como se requiere en las secciones 3.6, 3.7 y 3.10. Si se desea un intervalo máximo se deberá especificar en el contrato que cubre el trabajo.

A.8 Standards fotográficos de comparación pueden ser usados para definir las condiciones finales de una superficie, bajo esta especificación. para superficies con cascarilla de laminado, parcialmente corroída o completamente corroída, y picada, la superficie tiene una apariencia después de la "limpieza con chorro Brush-off, que debe corresponder con los grabados Standards B Sa 1, C Sa 1, o D Sa 1 de SSPC- Vis 1-63T.

El color de la superficie limpiada puede ser afectado por la naturaleza del abrasivo usado.

Esta correlación con standards visuales que fue desarrollada por la Swedis IVA y ha sido aceptada por la Asociación de Standards suecos, la ASTM y SSPC. Como standard adicionales resultan valiosos particularmente para condiciones iniciales de superficie de manera que antes de pintado el acero éstas pueden ser incluidas como referencia en el contrato.

A.9 Otros standard visuales de preparación de superficies pueden ser usados si son requeridos por el cliente, cuando ellos están especificados en el contrato para ilustrar el grado de limpieza requerido. El cliente proporcionará las muestras especificadas o standard de tal manera y condición que pueden ser comprobados durante todo el contrato Si se usan muestras para limpieza con chorro en el acero, deberá estar completamente protegidas de corrosión durante el período del contrato.

A.10 Donde se desea un referee rate of cleaning test", el contrato debe especificar que la superficie debe estar limpiada al menos tan bien como una que fue hecha con Arena Silícea seca en Ottawa, American Foundrymans Association Standard Grade No. 27* a través de una tobera nueva con 1/4 de pulgada de diámetro, usando una presión de aire de 90 libras/pulgada cuadrada a la entrada de la tobera. Durante esta prueba la tobera debió permanecer a un ángulo y distancia óptima de la superficie limpiada. En esta prueba una superficie plana o ligeramente curva puede ser limpiada a una rata de 3 pies cuadrados por minuto.

Este test establece un Standard para preparación de superficie y no debe ser considerado como una rata de producción de limpieza.

Si esta rata de limpieza no resulta en una condición final satisfactoria, entonces una rata diferente de limpieza debe acordarse para establecer un standard; un standard sobre condiciones finales puede ser preparado en el sitio o sobre una pieza de prueba como se indica en A.9.

| | | | |
|---------|-----|------|---------|
| * Malla | 20 | 30 | 40 |
| %(Cum) | 1.5 | 38.0 | 93 – 95 |

LIMPIEZA CON SOLVENTES

SSPC-SP1

1. OBJETIVO

1.1 Esta especificación da los procedimientos requeridos para limpieza de superficies de acero estructural antes de pintar o revestir o antes de remover cascarilla de lámina, herrumbre o pintura.

2. DEFINICIÓN

2.1 Limpieza con solventes es un procedimiento para remover materiales extraños perjudiciales tales como: aceite, grasa, manchas y cutting compounds y otras contaminaciones de la superficie del acero mediante el uso de solventes, emulsiones, compuestos limpiadores, limpieza con vapor o materiales y métodos similares, los cuales determinan una acción solvente o limpiadora-

2.2 Se entiende que los solventes para la limpieza, si son especificados deben ser usados ante de aplicar la pintura y con otros métodos especificados para preparación de superficies, para remover el herrumbre, cascarilla de laminado o pintura..

3. PROCEDIMIENTO

3.1 La limpieza con solventes consiste en las siguientes secuencias de operación:

3.1.1 Manchas, salpicaduras de cemento, 'drawing compounds', sales u otras materias extrañas (distintas de grasa o aceite) pueden ser removidos cepillando con fibras duras o cepillos de alambre o por raspado, o lavado con soluciones alcalinas seguido de un enjuague con agua fresca, o por combinación de estos métodos. Cuando se especifica el enjuague con agua fresca debe ser seguido de un lavado de pasivación con Dicromato o de ácido Crómico diluido.

3.1.2 La grasa y el aceite pueden ser removidos por alguno de los métodos siguientes:

3.1.2.1 Fregando o cepillando las superficies con raspadores o cepillos humedecidos con un solvente. El fregado final debe darse con solventes limpio y cepillo o raspador limpio. De otra manera el aceite y las otras contaminaciones son únicamente esparcidas sobre la superficie.

3.1.2.2 Rociando la superficie con solvente El rociado final debe darse con solvente limpio

3.1.2.3 Vapor desengrasado usando estabilizador hidrocarburos clarinados como solventes.

3.1.2.4 Inmersión completa en uno o varios tanques con solventes. El solvente de la última inmersión no debe contener sustancias contaminantes.

3.1.3 Emulsiones para limpieza pueden ser usados en lugar de los métodos 3.1.1 y 3.1.2. Después del tratamiento las superficies deberán ser lavadas con agua caliente o vapor para remover cualquier residuo perjudicial.

3.1.4 Lavado con vapor usando detergentes o limpiadores si se especifican pueden ser usados en lugar de los métodos 3.1.1 y 3.1.2. la superficie deberá ser finalmente lavada con vapor o agua caliente para remover los residuos.

3.1.5 Si son usados removedores de pintura para quitar la pintura, alguna cera del removedor

que permanece en la superficie puede ser laminada con el uso de un solvente conveniente.

Algún residuo alcalino del removedor puede ser eliminado lavando la superficie con agua fresca.

El residuo de pintura o del removedor debe ser eliminado.

3.1.6 Algunos electrodos para soldar (ejemplo:(E6010, E6011) dejan depósitos

daños sobre la soldadura o cerca de ella. A menos que el área de soldadura sea limpiada con chorro o una conveniente herramienta eléctrica de limpieza (SSPC-SP3-63), los depósitos perjudiciales de este tipo deben ser removidos de la soldadura y sus áreas cercanas, frotando con agua limpia o con agua a la que se le ha agregado el inhibido de corrosión en pequeña cantidad o con una solución al 50/o de ácido fosfórico o con fosfato frio pretratado SSPS- Petreatment No. 2. La superficie debe ser convenientemente enjuagada con agua y secada antes de pintarse.

Las soldaduras hechas con otros electrodos o por arco sumergido, pueden ser convenientemente limpiadas con una herramienta normal de limpieza o con un cepillo eléctrico de alambre, a no ser que la superficie se vaya a pulir posteriormente con chorro.

3.2 En relación con los métodos usados para limpiar superficies de aceites, grasas o contaminantes, no deben quedar residuos perjudiciales en la superficie.

3.3 Las superficies limpiadas con solventes pueden ser imprimadas o preparadas como se especifica antes de que ocurra una corrosión

4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

4.1 Incendios u explosiones son inherentes a las operaciones de limpieza con solventes. No debe procederse a ningún trabajo hasta que se hayan establecido

las condiciones de seguridad.

4.2 Solventes de seguridad deben ser usados para limpieza. El solvente de seguridad aconsejado para ser usado debe tener un “ flash point “ mínimo de 100⁰F. En tiempo cálido deben usarse materiales con un “flash point” más alto como se prevee en el apéndice A.2.2.

Si se especifican, solventes aromáticos como Xilol,, Tolual, o un hidrocarburo clarinado: deben usarse con una ventilación adecuada para mantener el contenido de vapores en el aire por debajo de la mínima concentración de toxicidad e inflamabilidad. No debe usarse gasolina por el peligro de fuego o explosión. Gasolina que contenga plomo no debe usarse por el peligro adicional del veneno del plomo. benzeno (Benzol) no debe usarse por su toxicidad e inflamabilidad.

4.3 Deben tomarse adecuadas precauciones para prevenir quemaduras con alcalis o limpiadores ácidos o para prevenir dermatitis de cromatos o ácido crómico. deben usarse anteojos y vestidos de seguridad.

4.4 Los procedimientos recomendados para el manejo y almacenamiento de químicos peligrosos, deben ser seguidos incluyendo conexiones metálicas a tierra cuando se usa tolueno u otro solvente de bajo “flash point

4.5 Las cuerdas deben ser protegidas de manchas de ácidos o alcalis, ya que

pueden ocurrir peligrosos debilitamientos.

5. INSPECCION

5.1 Todo trabajo bajo estas especificaciones debe ser sujeto a inspección por el propietario o su representante. Todas las partes del trabajo deben ser accesibles al Inspector. El contratista debe corregir tales trabajos que encuentre defectuosos bajo las especificaciones. Si el contratista no concuerda con el inspector, el arbitramento o procedimiento establecido en el contrato, si hay, deberán ser seguidos. Si no hay arbitramento o procedimiento establecido, el procedimiento especificado por la Asociación Colombiana de Ingenieros deberá ser usado.

APÉNDICE

A.1 OBJETO

A.1.1 Las recomendaciones contenidas en este apéndice se cree, representan una corriente y buena práctica, pero no son para ser consideradas como requerimientos a estas especificaciones.

A.2 SOLVENTES DE PETRÓLEO Y ALQUITRAN DE HULLA Y TERPENTINA.

A.2.1 Estos tipos de solventes limpian el metal disolviendo los aceites y grasas que contaminan la superficie del metal. Algunos solventes especialmente solventes de alquitrán de hulla (aromáticos), pueden también disolver el “vehículo” de la pintura, así estos pueden ser removidos. es importante que el último lavado o enjuague sea hecho con solvente limpio en todos los casos o sino una película de aceite o grasa de la última lavada quedará en la superficie cuando se evapore el solvente, esta película puede interferir con la unión de la pintura al metal.

A.2.3 Solventes aromáticos o de alquitrán de hulla pueden ser usados cuando se necesite un fuerte disolvente, pero son más tóxicos y los más aconsejables tiene “ flash point “ bajísimo. Bencol (benzeno) es el más tóxico y no debe usarse particularmente en vista de su bajo “flash point “ y teniendo en cuenta el peligro de

explosión. Xilol, Toluol y nafta de alto "flash point pueden usarse cuando su concentración en el aire que se está respirando no excede el limite de seguridad (ver A.6). Si la concentración es grande se deben usar máscaras de aire fresco. debido al bajo "flash point" de estos solventes, el peligro de incendio o explosión es inherente a su uso y se deben tomar grandes precauciones para tener condiciones de trabajos seguras.

A.2.4 Hidrocarburos clorinados pueden usarse: pero debido a su gran toxicidad, muchos de ellos no serán recomendados para uso general excepto con equipo especial y operadores entrenados.

A.2.5 Solventes de seguridad son satisfactorios para usarse si ellos llenan los requerimientos de "flash point" en A.2.2 sin ser tan bajo el "flash point" que se evaporen durante su uso y permiten ser usados en tales condiciones que la concentración de hidrocarburos clorinados en el aire no constituya un peligro serio (ver A 6)

A.3 LIMPIADORES ALCALINOS

A.3.1 estos limpiadores saponifican algunos aceites y grasas, su superficie activa lava otro tipo de contaminantes, tales como manchas. Ellos pueden ser particularmente efectivos en quitar pinturas porque los alcalis saponifican el vehículo de la pintura seca. Siendo los jabones formados solubles en agua, los contaminantes son más fácilmente removidos lavando con agua después de la saponificación y la adhesión natural de la pintura vieja se reduce por acción química, sobre la pintura.

El más común limpiador alcalino usado es el fosfato trisódico, pero hay otros alcalis también usados. Algunos de ellos usados en mezclas con agentes humedecedores y detergentes. estos productos deben ser usados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Una película de jabón queda en la superficie como degradación de las pinturas así como los aceites y grasas; entonces la superficie debe ser completamente lavada (preferiblemente con agua caliente y a presión) para quitar este jabón y otros residuos.. Todos los álcalis deben ser completamente removidos de la superficie o de lo contrario la pintura nueva será saponificada y dañada por ellos.

Debido a la acción de muchos limpiadores alcalinos de remover la pintura, los limpiadores para ser usados actualmente se escogen después de considerar el grado hasta el cual la pintura debe ser dañada.

A.3.2 Si no se dispone de limpiadores alcalinos manufacturados, se pueden obtener buenos resultados usando 2 onzas más o menos de fosfato de sodio por galón de agua, a la cual se agrega 1 o 2 onzas de jabón o una cantidad determinada de otro detergente. Esta solución es mejor usarla caliente; si se usa fría es conveniente aumentar la concentración. esta concentración es aconsejable para aspersion y fregadura, para inmersión la concentración debe.-ser triple. Sino se aya la superficie esta mezcla ablandará y eventualmente saltará más pintura Donde el principal objeto es remover completamente la pintura, soda cáustica (hidróxido de sodio) puede ser el sustituto para el fosfato trisódico

A.3 3 Las superficies limpiadas con componentes alcalinos deben ser completamente lavadas con agua para remover los residuos de álcalis, esta debe estar caliente o a presión o preferiblemente ambas cosas. para chequear la efectividad del lavado, se coloca un papel medidor universal de P.H. contra la superficie húmeda, no debe ser mayor que el del agua de lavado.

A.3.4 Siguiendo el procedimiento de enjuague, la superficie del acero debe ser pasivada enjuagándola con una solución ácida al 0.1% en peso de ácido crómico o dicrómico de sodio o potasio para evitar el efecto dañino de las trazas de álcalis sobre la adhesión de la pintura. Este enjuague pasivador puede ser aplicado por aspersion, fregado o inmersión. El enjuague con cromatos no debe ser usado cuando se sigue la operación fosfatización libre de cromatos.

A.3.5 Los limpiadores deben usarse con cuidado ya que pueden resultar quemaduras peligrosas del contacto con algunas soluciones, particularmente debe tenerse cuidado en proteger los ojos del trabajador; anteojos de seguridad o protector de ojos deben usarse. Guantes de caucho deben usarse si la solución estará en contacto con las manos de los trabajadores. El ácido crómico y los cromatos pueden causar dermatitis y se deben tomar precauciones para proteger la piel y las manos de los trabajadores. Donde se han dispersado compuestos alcalinos, ácido crómico, o cromatos se deben usar respiradores.

A.4 EMULSIONES LIMPIADORAS

A.4.1 Emulsiones limpiadoras que usualmente contienen jabones solubles en aceite o agentes emulsificantes junto con kerosene o mineral spirits. Ellos generalmente son suministrados como concentrados que pueden ser diluidos en kerosene o alifáticos o dispersados sobre la superficie que se van a limpiar. Ellos son emulsificados por la acción del agua a presión y remueven el aceite, la grada y otros contaminantes. Ellos pueden ser diluidos con agua, emulsificandos y sudados en tales condiciones,. En ningún caso, deben ser seguidas las instrucciones de los manufacturadores.

Casi siempre queda el residuo de la emulsión sobre la superficie. este residuo dejará una película delgada de aceite sobre la superficie. si la pintura que se va a aplicar no puede tolerar.-pequeñas cantidades de aceite, el residuo deberá ser

lavado con vapor, agua caliente, detergentes, solventes o limpiadores alcalinos. Emulsiones alcalinas limpiadoras, que combinan las ventajas de limpiadores alcalinos y las emulsiones limpiadoras son aconsejables. deben llenarse los requisitos bajo A 3 y A.4 para su uso.

A.5 LIMPIADO CON VAPOR

A.5.1 Actualmente se utiliza el limpiado con vapor o con agua caliente a presión o ambos

El vapor y el agua caliente cuando se usan para limpiar superficies, se usan generalmente con un detergente o con un limpiador alcalino El vapor y el agua caliente por si mismos tienden a remover los aceites, grasas y jabones adelgazándolos con calor, emulsificándolos y diluéríndolos en agua. Si se usa para remover la pintura vieja, el vapor cocina el vehículo de la vieja pintura hasta que esta pierde su fuerza y su ligazón al metal, de manera que será más fácil removerla con un posterior lavado. El detergente teniendo una más alta afinidad por el metal promueve el desprendimiento de aceite, grasa y pintura, la acción de los álcalis ya ha sido descrita en los limpiadores alcalinos. En ningún caso, la pintura nueva no se adhiere al metal, si se ha quedado en la superficie algún aceite, grasa, jabón, detergente o álcalis. Un lavado final con agua limpia y caliente es por consiguiente siempre necesario.