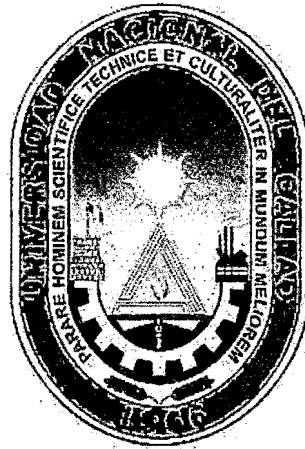


T/6202/N ++

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN PLAN DE RECUBRIMIENTO CON PINTURA
INDUSTRIAL Y MANTENIMIENTO PARA DISMINUIR LA
CORROSION EN TANQUES DE COMBUSTIBLE DIÉSEL PARA
CENTRALES TERMOELÉCTRICAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO

Bach. WALTER CARLOS NOLASCO CANO

Callao – Enero, 2015

PERU

ID. E.J. = 38851
ID. P. = 15817

ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL
MODALIDAD: TESIS SIN CICLO DE TESIS

A los TRECE días del mes de MARZO del dos mil quince, siendo las 11:00 horas, se reunió el Jurado Evaluador de Tesis para su Sustentación de la Facultad de Ingeniería Mecánica - Energía, conformado por los siguientes docentes:

- PRESIDENTE : MG. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY
- SECRETARIO : ING. VICTORIANO SÁNCHEZ VALVERDE
- VOCAL : ING. GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS
- ASESOR : DR. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO

Con el fin de dar inicio a la SUSTENTACIÓN DE LA TESIS presentado por el Señor Bachiller WALTER CARLOS NOLASCO CANO quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de INGENIERO MECÁNICO, sustentará la Tesis titulada: DISEÑO DE UN PLAN DE RECUBRIMIENTO CON PINTURA INDUSTRIAL Y MANTENIMIENTO PARA DISMINUIR LA CORROSIÓN EN TANQUES DE COMBUSTIBLE DIESEL PARA CENTRALES TERMOELECTRICAS.

Con el quórum reglamentario de Ley se dio inicio a la Sustentación de Tesis de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, luego de las preguntas formuladas y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó dar por:

Aprobado..... con el calificativo de Quince..... al señor Bachiller WALTER CARLOS NOLASCO CANO

Con lo que se dio por cerrada la sesión a las 13:15..... del día 13 de Marzo del 2015


Mg. Ing. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY
PRESIDENTE


Ing. VICTORIANO SÁNCHEZ VALVERDE
SECRETARIO


Ing. GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS
VOCAL


Dr. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO
ASESOR

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional, por su cariño y comprensión, por toda una vida juntos.

A mi Padre que siempre ha sido un soporte vital en mi vida, por su sacrificado apoyo. A la memoria de mi Madre, quien me lego su perseverancia, amor hacia Dios, amor hacia la familia y respeto por las personas.

AGRADECIMIENTOS

A cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Callao. Agradecerles por los conocimientos impartidos y compartidos a lo largo de mi formación profesional.

Al Ing. Oscar Tacza Casallo, quien a pesar de las múltiples ocupaciones que desarrolla como profesor de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Energía, acepto y cumplió eficientemente con la designación como asesor de la presente investigación. Gracias por sus acertadas observaciones y la contribución para que la presente investigación llegue a buen puerto.

A todos aquellos que de manera directa o indirecta contribuyeron a que la planificación y ejecución de la presente investigación, pudiera ser desarrollada y culminada.

A mi querida esposa, que desde donde estuvo me alentó a no desmayar, me dio fuerzas para seguir en la consecución de un sueño tan anhelado.

Bach. Walter Carlos Nolasco Cano.

INDICE

	Pág.
Índice	1
Tablas de Contenido y Figuras	11
Resumen	14
Abstrac	15
Introducción	16
Capítulo I: Planteamiento del Problema	
1.1. Identificación y Análisis del Problema	21
1.2. Formulación del problema de investigación	22
1.3. Objetivos de la Investigación	23
1.3.1. Objetivo general.	23
1.3.2. Objetivos específicos.	23
1.4. Justificación	24
1.5. Importancia	25
Capítulo II: Marco Teórico	
2.1. Tanques de almacenamiento para Combustible.	27
2.1.1. Tipos de tanque.	27
2.1.2. Fabricación de un tanque.	28
2.1.3. Tanques para combustible de centrales termoeléctricas.	29
2.1.3.1. Estructura.	29
2.1.3.2. Dimensiones.	31
2.2. Corrosión.	32
2.2.1. Clasificación de la corrosión.	33
2.2.2. Métodos de Control de la Corrosión.	35
2.2.2.1. Método de Selección de Materiales.	35
2.2.2.2. Uso de Inhibidores.	35
2.2.2.3. Uso de Recubrimientos barrera.	35

2.2.2.4. Método de Protección Catódica.	36
2.2.3 Corrosión en Tanques para Combustibles Diesel.	36
2.3. Protección Catódica.	37
2.3.1. Tipos de protección catódica.	38
2.3.1.1. Protección catódica por ánodo de sacrificio.	38
2.3.1.2. Protección catódica por circuito impreso.	40
2.3.2. Protección catódica por corriente impresa en Tanques.	42
2.3.3. Elementos básicos de PC por corriente impresa.	43
2.3.3.1. Ánodos y Tipos de ánodos.	43
2.3.3.2. Rectificadores.	45
2.3.3.3. Cables conductores de corriente.	46
2.3.3.4. Electrodo de referencia.	47
2.3.4. Metodología para el diseño de un sistema de PC por C.I.	48
2.3.4.1. Requerimientos y/o consideraciones generales de diseño.	49
2.3.4.2. Separación entre la estructura a proteger y los ánodos.	50
2.3.4.3. Medición de la resistividad del suelo.	50
2.3.4.4. Medición del pH del suelo	53
2.3.4.5. Selección de la densidad de la corriente.	54
2.3.4.6. Selección de la vida útil.	55
2.3.5. Sistemas de protección catódica por corriente impresa para fondos Externos de tanques de combustible.	56
2.3.5.1. Tipo cinta.	56
2.3.5.2. Tipo alambre.	57
2.3.5.3. Tipos de ánodos perimetrales.	58
2.3.5.4. Tipos de ánodos profundos.	58
2.3.6. Selección del sistema de sistema de PC por corriente.	60
2.3.7. Diseño del sistema de P.C. por corriente impresa.	61
2.3.7.1. Calculo del área del fondo del tanque a proteger.	61
2.3.7.2. Elección de la densidad de corriente.	61
2.3.7.3 Calculo de la corriente total de protección.	62
2.3.7.4. Calculo del número de ánodos.	62

2.3.7.5. Calculo de la corriente por cada lecho de ánodos.	63
2.3.7.6. Calculo del Área superficial externa.	63
2.3.7.7. Calculo del espacio entre centro de ánodos.	64
2.3.7.8. Calculo de la resistencia eléctrica.	64
2.3.7.9. Calculo del voltaje para selección del rectificador.	66
2.4. Preparación de superficie.	66
2.4.1. Chorreo abrasivo.	67
2.4.1.1. Chorreo abrasivo seco.	67
2.4.1.1.1. Chorro abrasivo seco a succión.	67
2.4.1.1.2. Chorreo abrasivo seco a presión.	68
2.4.1.2. Chorro abrasivo en medio húmedo.	70
2.4.2. Componentes básicos de instalación de chorreo abrasivo en obra.	71
2.4.2.1. Compresor de aire.	71
2.4.2.2. Filtro separador de aire y humedad.	73
2.4.2.3. Manguera de aire.	73
2.4.2.4. Tolva de arenado.	74
2.4.2.5. Sistema Dead Man “Hombre muerto”.	74
2.4.2.6. Filtro para línea de aire operador de arenado.	75
2.4.2.7. Manguera de arenado.	77
2.4.2.8. Boquilla de arenado.	77
2.4.2.9. Traje y casco de arenado.	78
2.4.3. Normas de preparación de superficie.	79
2.4.3.1. Descripción Normas de preparación de superficie según SSPC.	81
2.4.3.1.1. SP1 Limpieza con solvente.	81
2.4.3.1.2. SP2 Limpieza con herramientas manuales.	81
2.4.3.1.3. SP3 Limpieza con herramientas de fuerza mecánica.	81
2.4.3.1.4. SP5 Limpieza a metal blanco.	81
2.4.3.1.5. SP6 Limpieza comercial.	82
2.4.3.1.6. SP7 Limpieza Brush Off	82
2.4.3.1.7. SP10 Limpieza a metal cercano al blanco.	83
2.4.3.2. Grados de oxidación norma SSPC y SIS.	83

2.4.4. Abrasivos.	85
2.4.4.1. Tipos de abrasivos.	87
2.4.4.1.1. Arena silica.	87
2.4.4.1.2. Oxido de aluminio.	88
2.4.4.1.3. Carburo de silicio.	88
2.4.4.1.4. Micro esferas de vidrio.	89
2.4.4.1.5. Escoria de cobre.	89
2.4.4.1.6. Granalla de acero.	90
2.4.4.1.7. Media plástica.	91
2.4.4.1.8. Bicarbonato de sodio (soda blast).	91
2.4.4.1.9. Abrasivos agrícolas.	92
2.5. Recubrimientos Industriales.	92
2.5.1. Recubrimientos tipo barrera.	92
2.5.2. Características del desarrollo de los recubrimientos barrera.	93
2.5.3. Tipos de recubrimiento.	94
2.5.3.1. Uso decorativo.	94
2.5.3.2. Uso como protector.	94
2.5.3.3. Uso mixto.	95
2.5.4. Clasificación de los recubrimientos.	95
2.5.4.1. Recubrimientos metálicos.	95
2.5.4.2. Recubrimientos cerámicos.	95
2.5.4.3. Recubrimientos sintéticos.	96
2.5.4.4. Recubrimientos Pintura.	96
2.5.5. Pinturas.	96
2.5.5.1. Clasificación genérica de las pinturas.	99
2.5.5.1.1. Por color.	99
2.5.5.1.2. Por uso.	99
2.5.5.1.3. Por acabado.	99
2.5.5.1.4. Por precio.	99
2.5.5.1.5. Por composición genérica del formador de película.	99
2.5.5.2. Composición de las pinturas.	99

2.5.5.2.1. Vehículos.	101
2.5.5.2.2. Pigmentos.	102
2.5.5.2.3. Los aditivos.	103
2.5.5.3. Clasificación de las pinturas industriales en base a la resina.	105
2.5.5.3.1. Grupo secamiento evaporativo.	107
2.5.5.3.1. Grupo secamiento evaporativo mas oxidación	108
2.5.5.3.2. Grupo secamiento evaporativo mas reacción química.	109
2.5.5.3.3. Grupo secamiento evaporativo mas coalescencia.	113
2.5.5.3.5. Pinturas en polvo.	113
2.5.5.3.6. Pinturas especiales.	114
2.5.5.4. Los solventes.	116
2.5.5.5. Propiedades de la película de pintura.	117
Capitulo III: Variables e Hipótesis.	
3.7. Variables e indicadores	119
3.7.1. Variables.	119
3.7.2. Operacionalizacion de las variables.	119
3.8. Hipótesis.	121
CAPITULO IV: Metodología de la Investigación.	
4.1. Tipo de Investigación.	122
4.2. Diseño de la Investigación.	122
4.3. Población y Muestra.	123
4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.	123
4.5. Plan de análisis estadísticos de datos.	123
CAPITULO V: Diseño de un Plan de Recubrimiento con Pintura Industrial Para Tanques de Combustible Diesel de Centrales Termoeléctricas	
5.1. Criterios para definir la corrosividad del medio.	125
5.2. Selección del Grado de preparación de superficie.	127
5.3. Selección de los equipos de preparación de superficie.	129
5.3.1. Selección de la Potencia del compresor.	129
5.3.2. Selección de la boquilla de arenado.	133

5.3.2.1. Características que identifican a las boquillas de arenado.	133
5.3.3. Selección de la manguera de aire comprimido.	137
5.3.4. Selección de la manguera de arenado.	142
5.3.5. Selección de la tolva de arenado.	142
5.3.5.1. Criterios de selección de la tolva de arenado.	143
5.3.6. Selección del equipo de pintura.	144
5.3.6.1. Selección de equipo airless.	144
5.3.6.2. Especificaciones técnicas de equipos airless.	145
5.3.6.3. Criterios para la selección de la boquilla de arenado.	146
5.3.7. Selección de equipo de protección del operario.	147
5.4. Selección del abrasivo.	147
5.4.1. Arena sílica.	149
5.4.2. Escoria de cobre.	149
5.4.2.1. Beneficios de la escoria de cobre.	150
5.5. Sistema de pintura.	151
5.5.1. Capa primaria.	151
5.5.2. Capa secundaria o de enlace.	152
5.5.3. Capa de acabado.	152
5.5.4. Selección del sistema de pintura.	153
5.5.4.1. Factores a considerar en la elección del sistema de pintura.	153
5.5.4.2. Sistemas recomendados según las Categorías de corrosividad	
Del ambiente.	156
5.5.6. Listado de Centrales Termoeléctricas del SEIN y su ubicación.	161
5.5.7. Códigos y Normas aplicables.	163
CAPITULO VI: Controles de Calidad de la Preparación de Superficie y de la Aplicación de Pintura.	
6.1. Controles en la Preparación de Superficie.	165
6.1.1. Control de contaminantes no visibles en el sustrato del tanque.	165
6.1.3. Verificación del tamaño de grano del abrasivo.	167
6.1.4. Control de la presión de limpieza del chorro abrasivo.	168
6.1.5. Control de la altura del perfil de anclaje.	169

6.2. Controles de calidad en la aplicación de pintura.	170
6.2.1. Control de condiciones ambientales.	170
6.2.2. Control de espesor de película húmeda.	171
6.2.3. Control de espesor de película seca.	173
6.2.4. Control de dureza de la película de pintura.	176
6.2.5. Prueba de continuidad a la película “Holiday Detector”.	177
6.2.6. Prueba de adherencia.	179
6.2.7. Control visual de la apariencia del recubrimiento.	181
6.2.8. Tiempos máximos para aplicar el recubrimiento.	183
6.3. Consideraciones de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.	184
6.3.1. Almacenamiento de la pintura.	184
6.3.2. Seguridad en el área de pintado.	185
6.3.3. Seguridad en la preparación de pintura.	185
6.3.4. Seguridad en la aplicación de la pintura.	185
6.3.5. Seguridad en la preparación de superficie.	186
6.3.6. Consideraciones de seguridad en espacios confinados.	188
CAPITULO VII: Proyecto Recubrimiento Industrial de Tanques de Almacenamiento Diesel.	
7.1. Alcance.	189
7.2. Categoría de corrosividad de la atmosfera. (ISO 12944-2/ISO 9223	189
7.3. Consideraciones de diseño y selección para preparación de superficie Y recubrimiento.	190
7.3.1. Condiciones de exposición.	190
7.3.2. Condiciones de la superficie o sustrato de los tanques.	191
7.3.2.1. Condiciones del sustrato externo de los tanques.	191
7.3.2.2. Condiciones del sustrato interno de los tanques.	191
7.4. Preparación de superficies metálicas.	191
7.4.1. Preparación de superficie externa de los tanques.	191
7.4.2. Preparación de la superficie interior de los tanques.	192
7.5. Selección del abrasivo.	193
7.6. Selección del sistema de pintura.	193

7.6.1. Sistema de pintura para el exterior de los tanques.	193
7.6.1.1. Sustento técnico.	193
7.6.2. Sistema de pintura para el interior de los tanques.	195
7.6.2.1. Sustento Técnico.	196
7.7. Normas aplicables al proyecto.	197
7.8. Reunión preliminar entre interesados del proyecto (kick off).	199
7.9. Preliminares de la preparación superficial.	199
7.10. Preliminares de la aplicación de pintura.	199
7.11. Condiciones ambientales.	200
7.12. Preparación y aplicación de la pintura.	201
7.13. Inspección.	204
7.13.1. Equipos de inspección y Normas Técnicas de referencia.	204
7.14. Calculo del rendimiento de pintura exterior del tanque.	205
7.14.1. Rendimiento teórico ZINC CLAD 465.	205
7.14.2. Rendimiento teórico Macropoxy 850.	206
7.14.3. Rendimiento teórico SUMATANE HS.	207
7.15. Calculo del rendimiento de la pintura interior.	207
7.15.1. Rendimiento teórico DURAPLATE UHS TS.	207
7.15.2. Rendimiento teórico DURAPLATE UHS OAP Opticheck.	209
7.16. Equipos de Inspección.	209
CAPITULO VIII: Plan de Mantenimiento para Tanques de almacenamiento Diesel de Centrales Termoeléctricas.	
8.1. Marco procedimental.	210
8.2. Mantenimiento.	210
8.2.1. Conceptos.	210
8.2.2. Tipos de mantenimiento.	211
8.2.2.1. Mantenimiento reactivo.	212
8.2.2.2. Mantenimiento predictivo.	212
8.2.2.3. Mantenimiento correctivo.	212
8.2.2.4. Mantenimiento preventivo.	212
8.3. Plan de mantenimiento.	213

8.3.1. Actividades del plan de mantenimiento.	214
8.3.2. Tareas del Plan de mantenimiento.	214
8.4. Consideraciones preliminares.	218
8.4.1. Instrucciones del fabricante.	218
8.4.2. Aportes para el mantenimiento de tanques.	219
8.4.3. Aportes para la limpieza externa de los tanques.	219
8.4.4. Aportes para la limpieza interior de los tanques.	220
8.5. Plan de Mantenimiento de tanques diesel.	220
8.5.1. Consideraciones generales.	220
8.5.2. Necesidad del mantenimiento anticorrosivo de tanques diesel.	221
8.5.3. Averías más comunes en tanques.	222
8.5.3.1. Avería en el fondo del tanque.	222
8.5.3.2. Averías en las paredes del tanque.	223
8.5.3.3. Averías en los techos.	224
8.5.3.4. Averías en los accesorios.	224
8.5.4. Mantenimiento preventivo.	225
8.5.5. Mantenimiento correctivo.	226
8.5.6. Estructura del plan de mantenimiento anticorrosivo.	226
8.5.6.1. Estructura.	226
8.6. Desarrollo del Plan de Mantenimiento de Tanques Diesel.	228
CAPITULO IX: Discusión de Resultados.	
9.1. Discusión de resultados.	237
CAPITULO X: Conclusiones y Recomendaciones	
10.1. Conclusiones.	240
10.2. Recomendaciones.	242
CAPITULO XI: Bibliografía.	
11.1. Bibliografía.	244
ANEXOS.	249
A.1. Glosario de Términos Básicos.	249
A.2 Matriz de consistencia.	251
A.3 Esquema estructural tanque combustible	254

A.3.1. Esquema estructural de las paredes de los tanques.	254
A.3.2. Esquema estructural de la base de los tanques	255
A.3.3. Esquema estructural del techo de los tanques	256

TABLAS DE CONTENIDO Y FIGURAS

Tabla N° 2.1: Factor de acuerdo al espesor.	40
Tabla N° 2.2: Ventajas y Limitaciones de la Protección Catódica	42
Tabla N° 2.3: Potencial mínimo estructura-suelo para no ocurra corrosión	47
Tabla N° 2.4: Clasificación de la corrosividad de los diferentes electrolitos dependiendo de sus valores de resistividad	51
Tabla N° 2.5: Densidad de corriente necesaria para protección.	55
Tabla N° 2.6: Parámetros de aire, presión, potencia y abrasivo por boquilla.	72
Tabla N° 2.7: Equivalencias de preparación de superficie entre Normas.	80
Tabla N° 2.8: Composición de las pinturas industriales.	100
Tabla N° 2.9: Clasificación de las pinturas en base a la resina.	105
Tabla N° 2.10: Clasificación de los solventes.	117
Tabla N° 5.1: Categoría de corrosión atmosférica.	125
Tabla N° 5.2: Condiciones para seleccionar la categoría de corrosividad.	126
Tabla N° 5.3: Requerimientos de abrasivos, presión y potencia de compresor para boquillas.	132
Tabla N° 5.4: Dimensiones de boquillas utilizadas, Venturi larga y corta	134
Tabla N° 5.5: Rendimientos esperados en (m ² /hora) por Grado de preparación, Grado de oxidación y diámetro de boquilla.	135
Tabla N° 5.6: Selección de manguera de aire comprimido.	139
Tabla N° 5.7: Diámetro de manguera de aire comprimido y caudales Máximos de aire.	140
Tabla N° 5.8: Perdidas de presión por fricción del abrasivo en Mangueras de 30 m.	141
Tabla N° 5.9: Características Técnicas de la escoria de cobre.	150
Tabla N° 5.10: Temperaturas máximas de servicio de las pinturas.	155
Tabla N° 5.11: Sistemas recomendados para ambientes Tipo C1 y C2.	157
Tabla N° 5.12: Sistemas recomendados para Categoría C3.	158
Tabla N° 5.13: Sistemas de pintura recomendados para Categoría C5-M.	160
Tabla N° 5.14: Pruebas de Laboratorio del fabricante al sistema elegido.	161
Tabla N° 5.15: Listado de Centrales Termoeléctricas del SEIN, ubicación.	163

Tabla N° 6.1: Defectos de pintura en el sustrato.	183
Tabla N° 7.1: Categoría de Atmosfera para el proyecto.	189
Tabla N° 7.2: Condiciones de exposición de Tanques del Proyecto.	190
Tabla N° 7.3: Grado de preparación de superficie exterior de Tanques.	192
Tabla N° 7.4: Grado de Limpieza para interior de Tanques.	192
Tabla N° 7.5: Sistema de pintura exterior de Tanques.	193
Tabla N° 7.6: Sistema de pintura interior y espesores secos.	196
Tabla N° 7.7: Normas aplicables al proyecto.	198
Tabla N° 7.8: Características del primario.	202
Tabla N° 7.9: Aplicación de la pintura primaria.	202
Tabla N° 7.10: Características de la pintura secundaria.	202
Tabla N° 7.11: Propiedades de dilución en la aplicación.	203
Tabla N° 7.12: Características de la pintura de acabado.	203
Tabla N° 7.13: Condiciones de aplicación pintura de acabado.	203
Tabla N° 8.1: Estructura de la frecuencia de mantenimiento.	227
Tabla N° 8.2: Plan de Mantenimiento.	228

TABLA DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Elementos principales del tanque de combustible.	31
Figura N° 2.2: Diferencia entre corrosión y protección catódica.	38
Figura N° 2.3: Protección catódica por ánodos de sacrificio.	39
Figura N° 2.4: Calculo de P.C. por método de ánodos galvánicos.	40
Figura N° 2.5: Protección catódica por circuito impreso.	41
Figura N° 2.6: Diagrama de Pourbaix.	48
Figura N° 2.7: Medidor de resistividad marca Nilsson Serie 400.	52
Figura N° 2.8: Método de Wenner o de los 4 pines, para medir resistividad del suelo en campo.	53
Figura N° 2.9: Electrodo de antimonio.	53
Figura N° 2.10: Esquema para la medición del pH del suelo.	54
Figura N° 2.11: Esquema de Protección catódica, Tipo Cinta.	57
Figura N° 2.12: Esquema de protección catódica. Tipo alambre.	57

Figura N° 2.13: Esquema de protección catódica por ánodos perimetrales.	58
Figura N° 2.14: Esquema de protección catódica por ánodos profundos.	59
Figura N° 2.15: grafico comparativo: sistemas de P.C. vs. Costos.	60
Figura N° 2.16: Esquema de instalación de chorreo seco por succión.	68
Figura N° 2.17: Sistema de chorreo abrasivo seco por presión.	70
Figura N° 2.18: Chorreo abrasivo en medio húmedo.	71
Figura N° 2.19: Prueba de contaminantes en línea de aire del compresor.	73
Figura N° 2.20: Patrón fotográfico de Limpieza a Metal Blanco.	82
Figura N° 2.21: Patrón fotográfico de Limpieza Comercial.	82
Figura N° 2.22: Patrón fotográfico limpieza Brush Off.	83
Figura N° 2.23: Patrón fotográfico limpieza Cercana a Metal Blanco.	83
Figura N° 2.24: Patrón de comparación de oxidación Grado A.	84
Figura N° 2.25: Patrón de comparación de oxidación Grado B.	84
Figura N° 2.26: Patrón de comparación de oxidación Grado C.	84
Figura N° 2.27: Patrón de comparación de oxidación Grado D.	85
Figura N° 4.1: Relación entre las variables de estudio.	122
Figura N° 5.1: Superficie arenada por hora en función de la boquilla.	136
Figura N° 5.2: Identificación de la boquilla de pintura.	146
Figura N° 6.1: Equipamiento para prueba de cloruros en superficie.	166
Figura N° 6.2: Prueba de presión en la boquilla de arenado.	169
Figura N° 6.3: Equipos para medición de perfil de anclaje.	170
Figura N° 6.4: Psicrómetro para control de condiciones ambientales.	171
Figura N° 6.5: “Galleta” para medir espesor de película húmeda.	172
Figura N° 6.6: Equipo Elcometer para medición de película seca.	174
Figura N° 6.7: Medición de espesores de acuerdo a la Norma SSPC-PA2.	175
Figura N° 6.8: Equipos para medición de dureza al lápiz.	177
Figura N° 6.9: Medición de discontinuidad “Holiday Detector”.	178
Figura N° 6.10: Equipo de tracción neumática para prueba de adherencia.	181
Figura N° 8.1: Tipos de Mantenimiento.	212

RESUMEN

Los tanques ubicados en las centrales termoeléctricas del Perú, específicamente las ubicadas en la zona costera de nuestro país, presentan condiciones muy similares en cuanto a las variables del diseño de este plan de recubrimiento y su consecuente plan de mantenimiento.

La construcción de los tanques de almacenamiento de diesel para centrales termoeléctricas sigue generalmente normas internacionales como The British Standards Institution (BS 2645) y The American Petroleum Institutes (API 650). Estos estándares de construcción no consideran la naturaleza corrosiva del producto a contener, el grado de corrosividad del medio ambiente, erosión, etc.

Por este motivo el propósito del presente trabajo es el de clarificar a los ingenieros especificadores para realizar una correcta selección de los sistemas protectores, los que deben incluir variables de campo y de servicio como, (producto para almacenar, pH, temperatura, resistividad de la tierra, velocidad media del viento del lugar, instalaciones adyacentes, etc.)

Bajo esta premisa y teniendo en cuenta la poca información, poca importancia que se le da a la protección anticorrosiva, desconocimiento de nuevas tecnologías, profesionales improvisados, desconocimiento de las técnicas de selección de sistemas, operarios y técnicos no capacitados, etc., lo que redundaba en ingentes cantidades de dinero desperdiciado, paradas del proceso de importantes plantas de generación, que ocasiona costos directos e indirectos elevados. Por esto nació el interés de realizar esta investigación. Lo cual nos llevó a investigar normas internacionales, juicio de expertos, recomendaciones de fabricantes, y con experiencia profesional en el ramo, que permitirá lograr la duración esperada de la protección de acuerdo al plan de recubrimientos seleccionado que en su mayoría de casos son de 20 a 25 años.

ABSTRACT

The tanks on power plants of Peru, specifically in the coastal zone of our country, have very similar conditions in terms of design variables of this plan and its subsequent coating maintenance plan.

The construction of storage tanks for diesel thermoelectric plants generally follows international standards such as The British Standards Institution (BS 2645) and The American Petroleum Institutes (API 650). Building these standards do not consider the corrosive nature of the product to be contained, the corrosivity of the environment, erosion, etc.

Therefore the purpose of this paper is to clarify specifiers engineers to make a correct selection of protective systems, which should include variables and field service as, (product to store, pH, temperature, resistivity land, average wind speed of the site, adjacent facilities, etc.)

Under this premise and considering the little information, little importance is given to the corrosion protection, lack of new technologies, improvised professionals, lack of technical systems selection, and unskilled workers, technicians etc., which resulting in huge amounts of wasted money, stops the process of major power plants, which causes high direct and indirect costs. Thus was born the interest of this research. Which led us to investigate international standards, expert judgment, manufacturers recommendations, and professional experience in the field, which will achieve the expected duration of protection according to plan selected coatings that most cases are between 20 and 25 years.

INTRODUCCIÓN

Los tanques de combustible diésel para las centrales termoeléctricas ya sea de ciclo abierto o ciclo combinado son usados en todo el mundo para almacenar el combustible que requiere estas plantas para su operación. Por su forma estos son: de techo plano, domo, cónico, techo fijo, techo flotante y de techo flotante interno. Y su capacidad de almacenaje puede variar desde pocos metros cúbicos, hasta capacidades de más de 160,000 metros cúbicos.

Existe en nuestro país un gran desconocimiento de la importancia de los temas de protección anticorrosiva, se estima que en nuestro país las pérdidas monetarias por efecto de la corrosión esta alrededor del 8% del Producto Nacional Bruto lo que represento en el año 2014 alrededor de 7,800 millones de dólares.

Pero esta cifra impresionante podría ser fácilmente revertida en un 30% si solo aplicáramos nuestros pocos conocimientos existentes en nuestro país sobre este gran enemigo que esta presente en todo lo que nos rodea.

También podemos corroborar que en nuestro país no existe la profesión de ingeniería de corrosión, tampoco maestrías y solo por ahí algún curso referente a la corrosión, esto explica la falta de profesionales y personal técnico con las competencias necesarias para emprender proyectos exitosos que redunden en beneficios económicos para la industria nacional.

Estos datos de la situación actual e indicadores de costos son los motivos principales para el emprendimiento de la presente investigación. Por lo que el objetivo es el de concientizar a todos los involucrados en el mantenimiento de los tanques de combustible presentes en las instalaciones termoeléctricas en nuestro país, ya que las consecuencias de la corrosión pueden ser catastróficas no sólo en las estructuras metálicas, edificaciones, puentes, embarcaciones, aviones etc., sino en vidas humanas.

Dar a conocer y aplicar los conceptos básicos de corrosión en la selección de materiales, el diseño y su cuidado o prevención es objetivo fundamental del

presente trabajo que pretende demostrar que aplicando normas internacionales, (NACE, SSPC, SIS) recomendaciones de fabricantes, la propia experiencia profesional y los juicios de expertos se llega a implementar planes de recubrimientos industriales y planes de mantenimiento que conlleven técnicas de selección y sistemas que permitan la conservación de los activos e infraestructura de las centrales termoeléctricas tan importante para el sector de generación eléctrica y para el desarrollo del país.

Podemos resumir que aplicando técnicas mencionadas en el recubrimiento de los tanques se puede generar un ahorro importante en los porcentajes de costo que ocasiona la corrosión, y pasar de un 8% a un 4% que es el estándar de los Estados Unidos.

Por lo tanto la presente tesis “Diseño de un Plan de Recubrimiento con Pintura Industrial y Mantenimiento para disminuir la Corrosión en Tanques de Combustible Diesel para Centrales Termoeléctricas”, permitirá contar con una guía específica para la protección anticorrosiva en Tanques de combustible nuevos y asimismo una guía para la realización de actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, y predictivo; coadyuvando con ello a la mejora de esta importante infraestructura de las centrales térmicas que son fundamentales para el desarrollo económico del país.

En el Capítulo I, Planteamiento del Problema: identificamos el problema materia de la investigación, realizamos la formulación del problema, explicamos los objetivos generales y específicos, explicamos la justificación e importancia de desarrollar la presente investigación.

En el Capítulo II, Marco Teórico: detallamos los antecedentes del estudio, realizamos el marco teórico que fundamenta la investigación y la definición de términos. Se incluye tipos de tanques, clasificación, se conceptualiza la corrosión, preparación de superficie, recubrimiento con pinturas industriales, protección catódica, tipos de mantenimiento.

En el Capítulo III, Variables e Hipótesis: se describen las variables de la investigación, la operacionalización de estas variables y se formula la hipótesis.

En el Capítulo IV, Diseño de la Investigación: se explica cómo se ha desarrollado la investigación, los aspectos fundamentales que han guiado a la investigación, describe la población a la que está dirigida la investigación, analizamos la información y generalizamos las conclusiones a las que se ha llegado con la investigación.

En el Capítulo V, se realiza el Plan de Mantenimiento de Tanques de almacenamiento Diesel de Centrales Termoeléctricas.

Capítulo VI, Conclusiones

Capitulo VII Recomendaciones

Capitulo VIII Referencias Bibliográficas

Capitulo IX Anexos: glosario de términos, Matriz de Consistencia, Gráficos.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema.

En el Perú, las centrales termoeléctricas son proyectos desarrollados que se fundamentan teniendo como objetivo inyectar energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Las centrales termoeléctricas, suelen usarse como plantas de emergencia que permitan atender la demanda eléctrica sobre todo en horas punta (Plantas de Reserva Fría de Generación), pero también constituyen la principal planta generadora, sobretodo en sistemas aislados. Las centrales termoeléctricas pueden utilizar como fuente de energía al petróleo, el gas o la combinación de ambos tipos de energía en los denominados sistemas duales.

En el caso de las centrales termoeléctricas que utilizan como combustible el petróleo (Diésel B5), requieren un depósito que haga las veces de manantial de combustible (Tanques de Combustible). Dichos tanques una vez instalados y en operación experimentan desgaste y corrosión externa e interna. La degradación externa de los tanques se debe a que están expuestos al agua de las lluvias, a la humedad del entorno, a la radiación solar, a diversos fenómenos meteorológicos, a las partículas desplazadas por el viento que se adhieren en la superficie del tanque, etc.; por otro lado, la degradación de la superficie interna del tanque se da por diversos factores tales como: la interacción entre el combustible y el tanque, las reacciones químicas producto de dicha interacción (por ejemplo: formación de iones de cloruros), contacto con el suelo debido a los sistemas de aterramiento eléctrico, etc.

Problemas detectados *in situ* durante las actividades de pintado de los tanques de combustible recién fabricados, daban cuenta que:

- En la preparación de superficie (Sandblasting) no se cumplía con las normas fundamentales: remover los contaminantes no visibles de la superficie que puedan inducir una falla prematura del recubrimiento. Y proporcionar una

superficie de acuerdo a la norma indicada en el procedimiento con un perfil de anclaje adecuado para lograr una buena adherencia del recubrimiento. También hay desconocimiento de las normas indicada en el alcance de preparación de superficies - SSPC¹, ni con la norma de la Asociación Nacional de Ingenieros en Corrosión (NACE: *National Association of Corrosion Engineers*).

- En algunos casos, el espesor de pintura seca no cumplía con lo especificado en el alcance del proyecto, esto se origina debido a que la aplicación no es controlada de acuerdo a las especificaciones contenidas en los alcances de aseguramiento y control de calidad, o el trabajo se realizaba por un operario no certificado, poco preparado o que desconoce las técnicas de aplicación de pintura, el método para medir EPS (Espesor de película seca) esta descrito en la norma SSPC – PA2. Medición del espesor de recubrimiento seco con calibradores magnéticos».
- En algunos casos, se detectaron defectos de continuidad en la capa de pintura aplicada en el interior de los tanques, especialmente en estructuras que están en inmersión. El defecto de continuidad consiste en un agujero o algún corte en la película que permite el paso de la humedad al sustrato, el cual inicia el proceso de corrosión. Los vacíos no pueden ser detectados fácilmente por lo que se usa detectores de bajo y alto voltaje indicado en ASTM D 5162.
- En algunos casos, las pinturas industriales que son mezclas de dos componentes (solvente, aglutinante y pigmento), los cuales deben ser mezclados en proporciones indicadas en el manual de producto para obtener una mezcla homogénea, no se hace de la manera correcta; luego, la pintura no secaba totalmente y por lo que se producían desprendimientos de la pintura.

¹ La norma de mayor utilización en toda América Latina es la SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh USA), que define seis grados de corrosión o herrumbre (A, B, C, D, E, F), los que son determinados mediante comparaciones con fotografías equivalentes.



2160

- Se suele pintar sobre una superficie contaminada, obviando la recomendación de que la tarea de pintado se debe realizar previo a una correcta preparación de superficie que cumpla con la norma requerida. La norma indica que se debe pintar sobre superficies libres de polvo, cloruros, grasas, contaminantes visibles y no visibles, etc.
- Debido a la falta de control de las condiciones ambientales por parte del inspector de Calidad, se suele pintar con temperatura de punto de rocío altos, altas temperaturas, etc, las normas de las dos instituciones a las que nos referiremos en esta investigación (SSPC y NACE) indican que la temperatura de la superficie del sustrato debe estar por lo menos a 3 °C por encima del punto de rocío y no caer, a fin de evitar la condensación de la humedad. El aparato para medir el porcentaje de humedad y el punto de rocío son los llamados psicrómetros.
- En algunos casos, se realizaba la preparación de superficie con una compresora que expulsa humedad o restos de aceite (dicha acción contamina la superficie y contribuye a que la preparación que se está realizando se contamine, dando lugar a fallos del recubrimiento).
- En algunos casos, se detectó que se había olvidado añadir o se había añadido en la proporción no correcta el catalizador a la pintura (debido a esto, la pintura no curaba).
- Se detectaron errores humanos en la aplicación de pintura (por ejemplo, traslapes no adecuados). La norma indica que el traslape debe ser del 50% del área y al no cumplirse quedan zonas de bajo espesor lo que ocasiona que esa zona sea propensa a la corrosión.

Por otro lado, problemas directa e indirectamente relacionados con las actividades de mantenimiento de los tanques de combustible, que fueron detectados *in situ*, estuvieron referidos a los siguientes:

- Se detectó que habían zonas de nulo acceso, para realizar el mantenimiento, lo que demostraba un problema en el diseño constructivo del tanque.

- El alcance de las especificaciones de trabajo no eran claros.
- Desconocimiento de almacenamiento y del pot life de las pinturas industriales.
- En algunos casos, la elección del sistema de pintura aplicado para el mantenimiento no era el adecuado para la zona donde estaba instalado el tanque, debido al desconocimiento de los parámetros de selección del sistema de pintura.
- Profesionales supervisores del cliente sin las competencias requeridas. Desconocimiento de Normas.
- En algunos casos, se requiere mejorar los procedimientos relacionados con temas de seguridad, los planes de manejo ambiental, el plan de seguridad y salud ocupacional, etc.

1.2. Formulación del Problema de Investigación.

Desde una perspectiva general, el problema objeto de estudio fue sintetizada a través de la siguiente pregunta:

¿De qué manera, basado en las Normas NACE, SSPC, experiencia profesional del autor, juicio de expertos y los aportes de los responsables de mantenimiento, se puede diseñar un plan de Recubrimiento con Pintura Industrial y Mantenimiento para disminuir la corrosión en tanques de combustible diésel de las centrales termoeléctricas?

La respuesta a la pregunta general formulada, se consiguió por sistematización de las siguientes interrogantes específicas:

PE₁: ¿Cuáles son las actividades, tareas, consideraciones ambientales, selección de sistema y grado de preparación de superficie debe tenerse en cuenta en el Recubrimiento interno de los tanques de combustible diésel, para disminuir la corrosión en los tanques de las centrales termoeléctricas?

PE₂: ¿Cuáles son las actividades, tareas, consideraciones ambientales, selección de sistema y grado de preparación de superficie debe tenerse en

cuenta en el Recubrimiento externo de los tanques de combustible diésel, para disminuir la corrosión en los tanques de las centrales termoeléctricas?

PE₃: ¿Cuáles son las actividades, tareas y órdenes de trabajo a tenerse en cuenta en el mantenimiento de los tanques de combustible diésel de las centrales termoeléctricas?

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar un plan de recubrimiento con pintura industrial y un plan de mantenimiento para disminuir la corrosión en tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas, basado en las Normas NACE y SSPC, experiencia práctica en el ramo del autor de la tesis, Juicio de Expertos y los aportes de los responsables de mantenimiento. Y mediante estos planes alcanzar ciclos de operación más prolongados y que se acerquen más a la duración en años de los recubrimientos con pintura industrial, hasta su próximo mantenimiento.

1.3.2. Objetivos específicos.

OE₁: Establecer las actividades, tareas, consideraciones ambientales, selección de sistema y grado de preparación de superficie en el Recubrimiento con pintura Industrial interior de los tanques de combustible diésel de las centrales termoeléctricas, para disminuir la corrosión de dichos tanques.

OE₂: Establecer las actividades, tareas, consideraciones ambientales, selección de sistema, grado de preparación de superficie y protección catódica en el Recubrimiento con Pintura Industrial externo de los tanques de combustible diésel de las centrales termoeléctricas para disminuir la corrosión de dichos tanques.

OE₃: Establecer las actividades, tareas y ordenes de trabajo a tenerse en cuenta en el mantenimiento de los tanques de combustible diésel de las centrales

termoeléctricas, para disminuir la corrosión de los tanques y alargar el tiempo de vida de los accesorios y sistemas adicionales.

1.4. Justificación

Todas las estructuras e instalaciones expuestas a la atmosfera en inmersión o enterradas, pueden sufrir corrosión y por lo tanto requieren protección contra los daños de dicha corrosión durante su vida útil de servicio.

Las actividades que se planean y los costos en que se incurren para llevar a cabo la ejecución de un Plan de Recubrimiento con Pintura Industrial para disminuir la corrosión en Tanques de Diesel de las Centrales Termoeléctricas y su respectivo Plan de Mantenimiento se justifican debido a que estos tanques al estar sumergidos en diesel en su interior están sujetos a la presencia de agua en su interior (en el fondo), a agentes químicos del producto almacenado en este caso petróleo, a la corrosión bacteriana y a cambios de temperatura que producen una corrosión acelerada lo que disminuye la vida útil de servicio.

La protección del interior de tanques metálicos es fundamental. En efecto, junto con el proceso natural de corrosión del acero, los productos almacenados en su interior potencian, en muchos casos, una degradación todavía más rápida. En caso de que no se realice una protección adecuada, puede haber perforación de las paredes o del fondo, con el consecuente derrame de su interior, con costes directos e indirectos (costes medioambientales, de inactividad de la producción u otros). Además de la degradación del tanque, la falta de un revestimiento adecuado origina, en muchos casos, la contaminación del producto almacenado, haciéndolo inadecuado para el fin al que se destina.

En su exterior se da la corrosión por las condiciones atmosféricas que dependiendo del medio en que está localizado la instalación puede ser más o menos agresivo por lo que los costos en que incurren las empresas para aplicar un recubrimiento con pintura industrial, es más que justificado si comparamos los

costos elevadísimos que implica la reparación y la puesta fuera de servicio del tanque.

Recordemos que los problemas de corrosión generan en el país un 8% del PBN.

1.5. Importancia

La corrosión representa un grave problema que afecta a todos los sectores de la actividad industrial. Ella es la causa del deterioro de bienes y de un alto costo operacional de los mismos. Su acción resulta en gastar elevados montos de dinero para el mantenimiento de equipos y estructuras.

En resumen, la corrosión es responsable por pérdidas económicas substanciales en forma directa, del orden del 3,5% del PBI de los Estados Unidos y del orden del 8% del PBI en Perú.

Desde que se inicia la planificación de una obra con estructuras ferrosas, tanques, o cualquier otra superficie del mismo material, debemos considerar dentro de los costos un recubrimiento que proteja nuestra inversión de la corrosión.

¿Qué es la corrosión? “Corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente” o bien “Es un proceso electroquímico en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto”

Entendiendo que la corrosión es un hecho inevitable en el medio ambiente, el objetivo será buscar un recubrimiento adecuado que la proteja para no perder el material en el proceso de oxidación. Los metales como el hierro se obtiene a partir de sus minerales presentes en la naturaleza (óxidos), en su uso normal tienden a volver a su estado natural, estable, en el que se encontraban. Igualmente su

tendencia natural es oxidarse deteriorándose las propiedades metálicas, a este proceso lo llamamos CORROSIÓN. Los problemas de corrosión ocurren en los más variados sectores de nuestra economía, tales como industrias siderúrgicas, químicas, petroquímicas, petrolíferas, navales y portuarias, de la celulosa y el papel, del azúcar y el alcohol, minería, fertilizantes, alimentación, medicamentos, etc.

La corrosión produce pérdidas económicas directas e indirectas. Pérdidas económicas directas son las provocadas por la sustitución de equipos afectados por la acción de la corrosión y las relacionadas con el mantenimiento de los procesos de protección anticorrosiva.

Las pérdidas económicas indirectas son las más difíciles de evaluar debido a su complejidad e incluyen paralizaciones accidentales que causan la interrupción de los procesos productivos en la industria, pérdidas de producto como consecuencia de derrames de material en recipientes, contaminación del producto debido a un subproducto de la corrosión y finalmente pueden causar desastres envolviendo la pérdida de vidas humanas.

La creación de barreras de protección, reduciendo y eliminando el contacto de los productos químicos, humedad y oxígeno con las superficies básicas, constituye un cuidado de mantenimiento indispensable, que se revierte en beneficios económicos.

Las barreras protectoras varían en sus espesores, desde una fina capa de pintura de algunos micrones, hasta la aplicación de revestimientos de aproximadamente 6 mm. Estas barreras protectoras también varían considerablemente en cuanto a su composición, desempeño y costo. Las pinturas anticorrosivas, que son las barreras más económicas en el combate contra la corrosión, son aplicadas como películas líquidas que por evaporación de solventes y/o por reacción química forman una película de protección continua. Bajo condiciones ideales, una pintura anticorrosiva, debidamente aplicada, resistirá la penetración de productos agresivos para el sustrato, reduciendo el efecto de la acción corrosiva.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Tanques de almacenamiento para Combustible.

Los Tanques para Combustible son depósitos de almacenamiento para combustibles líquidos que conforman formas definidas de estructuras de diversos materiales metálicos, por lo general de forma cilíndrica. Cuando los Tanques para Combustible son usados para guardar y/o preservar los combustibles a presión ambiente, adoptan el calificativo de Tanques de Almacenamiento Atmosféricos. En el campo de la generación de energía eléctrica, los tanques de combustible suelen ser usados para almacenar el combustible primario para la generación de energía térmica que será transformado en energía eléctrica; y de esa manera, hacer las veces de manantial o fuente de combustible para el proceso de generación de energía eléctrica.

2.1.1. Tipos de tanques.

Los tipos de tanques para combustible responden al parámetro de tipificación asumido que entre otros pueden ser:

- Según el tipo de combustible que almacena:
 - * Tanques para combustible diésel (gasóleo).
 - * Tanques para querosene (querosén, keroseno, kerosene).
 - * Tanques para gasolina (nafta).
 - * Tanques de combustible residual (fueloil).
- Según la ubicación del tanque con respecto al sistema del cual forma parte:
 - * Tanques de almacenamiento atmosférico.
 - * Tanques de almacenamiento subterráneo.
 - * Tanques de almacenamiento en cabina.
- Según el tipo de instalación del tanque:
 - * Tanques de posición vertical.

* Tanques de posición horizontal.

2.1.2. Fabricación de un tanque.

El proceso general de fabricación de los tanques para almacenar combustibles del tipo gasóleo y fuelóleo siguen la Norma API 650, considera las siguientes etapas y recomendaciones de fabricación²:

- El proceso de fabricación comienza con el corte de las planchas; las medidas a las cuales deberán ser cortadas dichas planchas será de acuerdo a la función del tanque.
- La estructura cilíndrica del tanque está formada por anillos, la formación de los anillos se hace a través del rolado de las planchas. En la fabricación de un tanque se considera el número de anillos como algo primordial.
- El proceso de rolado debe ser realizado de tal manera que se garantice que los anillos formados vayan a tener el diámetro deseado. Con el objetivo de obtener la longitud deseada del diseño de fabricación se procede a unir los anillos para obtener dicha longitud.
- El acoplamiento de los anillos debe realizarse de acuerdo como se especifica en el diseño de fabricación por medio de soldadura por puntos para retener los bordes en una posición alineada.
- Posteriormente se colocan las tapas que son las dos circunferencias que se juntan en la estructura cilíndrica del tanque. La tapa inferior es llamada fondo del tanque y la tapa superior es la tapa propiamente dicho (en una instalación vertical), en un tanque de instalación horizontal, suele ser indiferente.

² ABAD CARVAJAL, Pablo Antonio. Estudio del proceso de fabricación de tanques de doble pared para almacenamiento de combustible.

- Seguidamente se realizan los agujeros donde van a ser colocados el manhole (entrada de hombre) y se sueldan tuberías para descarga y carga, accesorios para controles, etc.
- Una vez que están acoplados debidamente, se procede a soldar radial interior y exteriormente.
- El siguiente paso del proceso constituye el realizar la soldadura final a lo largo de la longitud del tanque. En esta etapa, antes de iniciarse la soldadura, se deben limpiar completamente las superficies del tanque, removiéndose las escamas y la herrumbre por medio mecánico adecuado. La soldadura longitudinal se realiza de manera manual y debe ser interior y exterior.
- Si el diseño de fabricación lo especifica, serán incorporados a los tanques unos rigidizadores, los cuales deben ser soldados a los mismos con un Ángulo exacto de 90° en relación al eje del tanque.

2.1.3. Tanques para combustible de centrales termoeléctricas.

Los tanques para combustible de centrales termoeléctricas son aquellos tanques atmosféricos destinados con fines específicos al almacenamiento del combustible para la generación de energía eléctrica en una central termoeléctrica; vale decir, en la instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, mediante la combustión de combustibles fósiles, por ejemplo el combustible diésel.

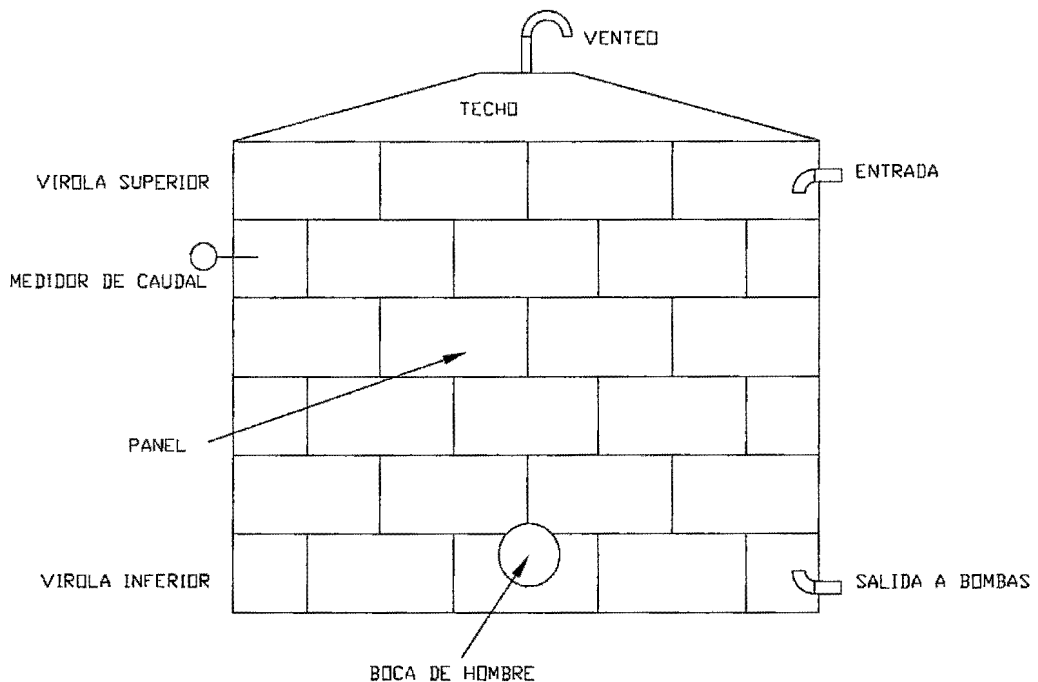
2.1.3.1. Estructura.

En forma general la estructura de los tanques de combustible para centrales termoeléctricas, están compuesto de los siguientes elementos:

- Pared lateral: El tanque está constituido por paneles de acero soldados entre sí. Los paneles situados en el cuerpo del tanque se denominan virolas.
- Fondo: Parte del tanque sujeto a anclaje y cimentación. Para el drenaje, es necesario una tubería situada cerca del fondo que permite evacuar el combustible almacenado.
- Tapa: Parte superior del tanque; es necesario un acceso en el techo del tanque, a la que se puede acceder mediante una escalera alrededor del tanque y otra en el cuerpo, próxima al fondo a la que se accede sin ayuda de ningún accesorio.
- Elementos para el acceso de personas: Boca de hombre (manhole) acceso para el personal, necesario para la inspección en servicio de la superficie interna del tanque; escaleras; agarraderas, etc.
- Elementos para el acceso o salida de combustible: Elemento para el llenado del tanque, el llenado contribuye a un aumento de presión interior si no se consigue evacuar aire suficiente (si esto se produce, las consecuencias pueden ser más graves, el tanque puede romperse); elemento para el vaciado del tanque, al vaciar el tanque se crea un vacío interior que se ha de compensar con la entrada de aire del exterior evitando el problema de inestabilidad en las paredes y techo (El tanque puede deformarse si no se admite el suficiente volumen de aire para compensar el vaciado); elemento de succión de combustible hacia las bombas; una tubería que se sitúa cerca del fondo del tanque se encarga de conectar el mismo con las bombas de inyección y las bombas de combustible; elementos de recirculación de bombas compuesta por dos tuberías que se encargan de recircular el flujo de las bombas de inyección y de las bombas de combustible en la parte superior del tanque.
- Elementos para el control: Sensores de presión diferencial, un elemento situada cerca del techo que permite la evacuación del combustible si supera el nivel máximo establecido en las condiciones de diseño (tubería de rebose).

- Elementos para el sostenimiento del tanque: Elementos para la cimentación, rigidizadores, elementos de anclaje, etc.
- Venteo atmosférico: elemento fundamental, pues las variaciones de presión que sufre el tanque en el vaciado y el llenado pueden afectar a la estructura del tanque y pueden convertirse en un factor de riesgo para el personal de la central.

Figura N° 2.1. Elementos principales del tanque de combustible.



Fuente: Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de combustible para una central térmica de ciclo combinado.

2.1.3.2. Dimensiones.

Las dimensiones de los tanques para combustible de centrales termoeléctricas están en función del volumen o capacidad de almacenamiento y este responde a la potencia instalada y el número de unidades de generación de la central térmica. El dimensionamiento de los tanques contempla tres elementos principales:

- Dimensionamiento de la pared del tanque: Las dimensiones de la pared del tanque es una función directa de los paneles de acero (virolas) usados en la estructuración de la pared, los cuales tienen forma rectangular con ancho, largo y espesor definido; y, de los espacios de soldadura entre paneles. La pared del tanque desarrollado conforma un paralelepípedo de espesor comparativamente despreciable. Para mayor detalle, ver en anexos: «A.3.1. Esquema estructural de las paredes».
- Dimensionamiento del fondo del tanque: Las dimensiones del fondo del tanque es una función directa de los paneles de acero y las planchas recortadas de los paneles siguiendo el desarrollo de una circunferencia. La base del tanque conforma un cilindro de espesor comparativamente despreciable. Para mayor detalle, ver en anexos: «A.3.2. Esquema estructural de la base ».
- Dimensionamiento del techo del tanque: Las dimensiones del techo del tanque es una función directa de los paneles trapezoidales de acero moldeados en forma de trapecios isósceles curvados. El techo del tanque desarrollado conforma un casquete esférico. Para mayor detalle, ver en anexos: «A.3.3. Esquema estructural del techo».

2.2. Corrosión.

La corrosión es la reacción química o electroquímica entre un metal y su medio ambiente que resulta en la pérdida de material y sus propiedades. La corrosión puede ser general o localizada. La corrosión es un proceso de destrucción o deterioro electroquímico de un metal por acción y reacción de este con el medio que lo rodea; en ese sentido, la corrosión puede definirse como el deterioro paulatino y permanente de los elementos metálicos por la acción del medio que los rodea³.

³ ABARCA GARCÍA, Juan. Manual para el Mantenimiento Industrial: Pinturas y revestimientos; pág. 3.

“Se entiende por corrosión, todo proceso electro-químico de degradación por oxidación-reducción de los materiales de construcción de tanques, tuberías y estructuras enterradas, sumergidas o en contacto con un medio conductor. La corrosión está pues, relacionada con una reacción de transferencia de electrones, y por tanto, con el paso de una corriente eléctrica de corrosión entre un ánodo y un cátodo. a través de un medio conductor (agua, suelo).”⁴

La corrosión es una manifestación del deterioro que sufren los metales cuando interactúan con el medio en el que trabajan; es decir, es la disolución o deterioro de un metal en un medio determinado; luego: su estudio es importante ya que a través de dicho acto se puede predecir el comportamiento a largo plazo de los metales que conforman las estructuras de los equipos y maquinarias.

2.2.1. Clasificación de la Corrosión.

La corrosión puede ser clasificado en dos grupos: la corrosión galvánica que se produce cuando dos metales de distinta actividad química están en contacto; y la corrosión bajo tensión (CBT), que es un fenómeno por el cual un sólido, por acción de cierto tipo de medio ambiente, se fractura a valores de tensión muy inferiores a los esperados. Por otro lado, existen varios criterios para distinguir los tipos de corrosión más frecuente, los cuales son⁵:

Corrosión Uniforme: descrita como una reacción de corrosión que ocurre por igual en toda la superficie del material, causando una pérdida general del metal.

Corrosión Metálica: la cual consiste básicamente en dos procesos de transferencia de electrones en lugares físicamente diferentes de la estructura metálica (procesos anódicos y catódicos). El proceso de corrosión implica:

- Generación y transferencia del catión metálico a la solución.
- Transferencia del oxígeno al cátodo metálico.

⁴ HIDALGO, Manuel. Protección catódica. Caracas: Universidad Simón Bolívar; pág. 2.

⁵ AGAMA MOSQUERA, Alejandro David. Construcción de Electrodo de Plata/Cloruro de Plata para Medición de Potenciales Eléctricos en Estructuras Sumergidas; págs. 7 – 12.

- Transferencia electrónica del metal al oxígeno.
- Paso de los electrones del ánodo al cátodo.
- Difusión de los iones Fe^{+2} y OH^- en el electrolito.

Corrosión Química: cuando el metal reacciona con un medio no iónico, por ejemplo la oxidación de un metal en aire a altas temperaturas.

Corrosión por picadura (Pitting): Las picaduras ocurren como un proceso de disolución local anódica donde la pérdida del metal es aumentada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo grande, las picaduras suelen ser de pequeño diámetro (decimas de milímetro).

Corrosión por fisuras (Crevice): cuando se produce alrededor del hueco formado por contacto con otra pieza de metal igual o diferente a la primera o con un elemento no metálico.

Corrosión Intergranular: La cual ocurre preferentemente a lo largo de los límites de grano de algunas aleaciones en ambientes específicos y, como consecuencia, la muestra se desintegra a lo largo de los límites de grano. Este tipo de corrosión predomina en algunos aceros inoxidable que, cuando se calientan a temperaturas entre los 500 y 800 °C durante periodos de tiempo suficientemente largos, se sensibilizan para el ataque intergranular. En la soldadura del acero inoxidable, la corrosión intergranular se convierte en un problema grave, denominado sensibilización por soldadura.

Corrosión por erosión: este tipo de corrosión se suele presentar en tuberías, especialmente en codos ángulos y cambios bruscos de diámetro: Posiciones donde el fluido cambia de dirección y suele convertirse en turbulento.

Corrosión bajo tensiones: cuando la acción combinada de un esfuerzo de tracción aplicado y de un ambiente corrosivo produce corrosión bajo tensiones. Se forman pequeñas grietas que luego se propagan en dirección perpendicular al esfuerzo y, como consecuencia puede aparecer el fallo.

2.2.2. Métodos de Control de la Corrosión.

En cualquier rubro industrial, los costos que ocasiona la corrosión en la infraestructura alcanzan valores considerables, por lo que se ha hecho necesario establecer métodos de control de la corrosión, para minimizar los costos en que se incurre en mantenimiento de la infraestructura afectada. Entre estos métodos tenemos:

2.2.2.1. Método de Selección de Materiales

De acuerdo a las diversas aplicaciones se elige materiales aleados que ofrecen unas prestaciones más elevadas contra la corrosión, además de evaluar otras propiedades tales como la soldabilidad, propiedades mecánicas, compatibilidad, etc.

2.2.2.2. Uso de Inhibidores

Este método utiliza sustancias que disminuyen la velocidad del proceso de corrosión, son productos que actúan ya sea formando películas sobre la superficie metálica o bien entregando sus electrones al medio. Es un material que fija o cubre la superficie metálica, proporcionando una película protectora que detiene la acción corrosiva.

2.2.2.3. Uso de Recubrimientos Barrera

Tratamiento que consiste en la aplicación de una capa aislante sobre toda la superficie del metal en contacto directo con el medio electrolítico, estableciendo así una barrera protectora contra los ataques corrosivos del medio y mejorando además su comportamiento frente a la fricción, erosión y desgaste.

El más usado en cuanto a recubrimientos en la industria son las pinturas industriales, que es tema principal de esta tesis, la cual desarrollaremos con amplitud más adelante.

2.2.2.4. Método de Protección Catódica

Es el método más efectivo para el control del fenómeno de corrosión y el único capaz de detener el proceso de oxidación. Cabe destacar, que a pesar de estas características, el método está limitado a la aplicación en metales que se encuentren en contacto o inmersos en algún electrolito.

2.2.3. Corrosión en tanques de combustible diésel.

La corrosión en tanques para combustible diésel, que en el caso de las centrales térmicas suelen ser tanques de almacenamiento atmosférico y construido con láminas de acero, está expuesto a los siguientes tipos de corrosión:

- La corrosión metálica debido a que la base metálica del tanque suele estar en contacto con el concreto y la humedad del cimiento.
- La corrosión química por reacción con el medio no iónico, por ejemplo la oxidación de la pared y techo del tanque por contacto con el aire.
- La corrosión por fisuras, sobretodo alrededor del hueco formado por contacto con otra pieza de metal igual o diferente a la primera o con un elemento no metálico; principalmente alrededor de los accesorios del tanque.
- La corrosión bajo tensiones, en los elementos que se soportan en el tanque y los que buscan dar sostenimiento al mismo (escaleras, rigidizadores, elementos de anclaje, etc.).

- La corrosión debido a factores de diseño del tanque, zonas de difícil acceso para realizar una correcta preparación de superficie y posterior aplicación de pintura. (básicamente en el interior del tanque se presenta este problema).
- La corrosión por la acción del combustible en contacto con las paredes, fondo y techo, también en el fondo se da la corrosión debido a la humedad que se asienta en el fondo.
- La corrosión bacteriana.

2.3. Protección Catódica.

La protección catódica es un método para inhibir la corrosión electroquímica externa en tubos y estructuras metálicas sumergidas o enterradas, y para la protección interna de depósitos que contengan agua u otros líquidos. La protección catódica se define como “el método de reducir o eliminar la corrosión de un metal, haciendo que, la superficie de este, funcione completamente como cátodo cuando se encuentra sumergido o enterrado en un electrólito”⁶. La protección catódica se logra haciendo que el potencial eléctrico del metal a proteger se vuelva más electronegativo mediante la aplicación de una corriente directa o la unión de un material de sacrificio (comúnmente magnesio, aluminio o zinc).

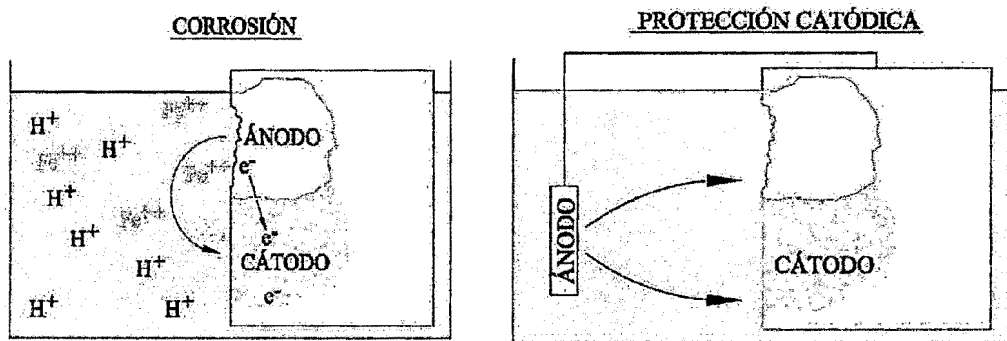
La protección catódica (PC) es una técnica para controlar la corrosión del tipo galvánica, es decir, para controlar el proceso electroquímico en el que un metal se corroe preferentemente cuando está en contacto eléctrico con un tipo diferente de metal (más noble) y ambos metales se encuentran inmersos en un electrolito o medio húmedo. La protección catódica busca controlar la corrosión galvánica de una superficie de metal convirtiéndola en el cátodo de una celda electroquímica. El método más sencillo de aplicar la protección catódica es mediante la conexión del metal a proteger con otro metal de más fácil corrosión al actuar como ánodo de una celda electroquímica. Normalmente, el método es aplicable a estructuras de

⁶ HIDALGO, Manuel. Protección catódica. Caracas: Universidad Simón Bolívar; pág. 11.

hierro y acero pero, también, se usa en grado limitado en plomo, aluminio y otros metales.

La protección catódica no elimina la corrosión, lo que hace es que evita el progreso o acción de la misma, reduciendo virtualmente su velocidad a cero. De esta manera se puede mantener la superficie metálica a ser protegida, en un medio corrosivo sin sufrir deterioro durante un largo periodo de tiempo. Esta técnica está siendo empleada cada día con mayor éxito en el mundo entero. Su campo clásico de aplicación es la protección externa de estructuras metálicas sumergidas o enterradas como: conductos para transportar diferentes tipos de productos, en protección externa de tanques de almacenamiento, etc.

Figura No 2. Diferencia entre corrosión y protección catódica.



Fuente: Protección catódica; pág. 11.

2.3.1. Tipos de protección catódica.

Existen dos sistemas:

- Protección catódica por Ánodos de Sacrificio
- Protección Catódica por Circuito Impreso

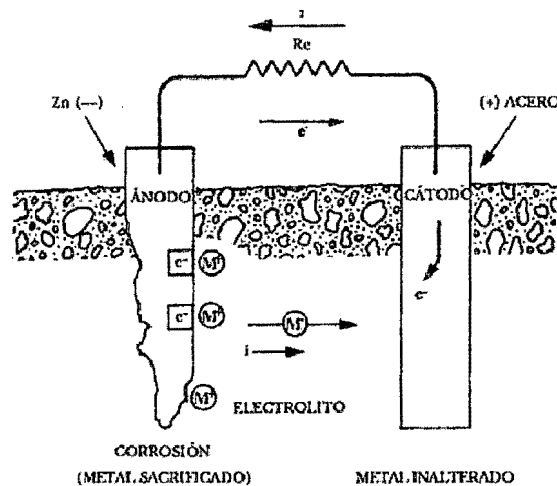
2.3.1.1. Protección catódica por ánodos de sacrificio.

La protección catódica por ánodos de sacrificio o galvánicos, se basa en el acoplamiento galvánico de dos metales en el mismo medio; luego, cuando se

produce la conexión eléctrica, la corriente fluye desde el metal de potencia más negativo (Ánodo) a el de potencial más positivo (Cátodo) con una intensidad que depende de la diferencia de potencial entre ambos metales, de la resistividad del medio y de la dimensión, forma y disposición de los ánodos y la estructura.

Este sistema se utiliza normalmente cuando se requiere de poca cantidad de corriente para lograr una efectiva protección, ya sea para proteger una estructura que tiene un revestimiento de buena calidad, para proteger superficies poco extensas, o cuando la resistividad del electrolito es bastante elevada. Se emplean normalmente ánodos de magnesio para estructuras enterradas y ánodos de aleaciones de aluminio y cinc para estructuras inmersas en agua.

Figura No 2.3. Protección catódica por ánodos de sacrificio.



Fuente: Protección catódica; pág. 12.

El proceso de cálculo de la protección catódica por ánodos de sacrificio, sigue el siguiente procedimiento⁷:

- Calcular el área en metros cuadrados de la masa metálica del tanque o estructura a proteger.

⁷ MALDONADO LÓPEZ, Fernando (Dir.). Cálculo de protección catódica Faragaus.

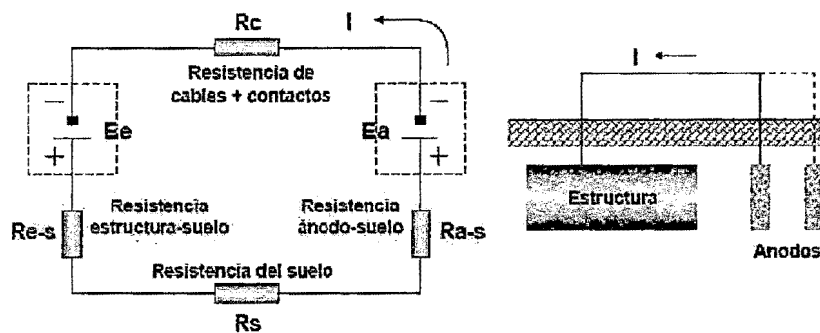
- Multiplicar el resultado en metros cuadrados por los siguientes factores de acuerdo al espesor promedio especificados en la Tabla N° 2. En caso de que el espesor no esté indicado en la tabla anterior, se deberá considerar el espesor inmediato superior.

Tabla N° 2.1. Factor de acuerdo al espesor.

Espesor promedio (pulgadas)	Factor
1/8	0.875
1/4	1.475
1/2	2.500
1	4.500

Fuente: Cálculo de protección catódica Faragauss; pág. 2.

CALCULO DE LA CORRIENTE EQUIVALENTE



Plantéando el balance eléctrico del circuito obtenemos la corriente en función de la diferencia de potencial y de las resistencias:

$$I = \frac{Ee - Ea}{R_{a-s} + R_{e-s} + R_s + R_c}$$

En general R_s y R_c son muy pequeñas. Conservativamente podemos considerar $Ee = Ep$ (protección).

$$I \cong \frac{Ep - Ea}{R_{a-s} + R_{e-s}}$$

Figura N° 2.4. Cálculo de P.C. por método ánodos galvánicos

2.3.1.2. Protección catódica por circuito impreso.

La protección catódica por circuito impreso o protección por corriente impresa, es el que se realiza mediante el suministro de energía eléctrica al sistema mediante una fuente generadora de energía eléctrica externa, se basa en el acoplamiento eléctrico de dos metales a través de una fuente de tensión (rectificador). Para que

la corriente de protección fluya desde los ánodos dispersores a la estructura, esta última debe polarizarse a un potencial más negativo que el de los ánodos.

En los sistemas de protección catódica por corriente impresa, se crea una pila electrolítica en la cual por medio de la corriente continua (DC) suministrada a los electrodos auxiliares (ánodos inertes), se hace que la estructura a ser protegida actúe como un cátodo y en la cama de ánodos (conjunto de ánodos instalados para suministrar la corriente de protección) actúe el intercambio iónico entre ellos y el electrolito, trasladando así las zonas anódicas de la estructura metálica a proteger hacia el lugar donde se descarga la corriente: los ánodos.

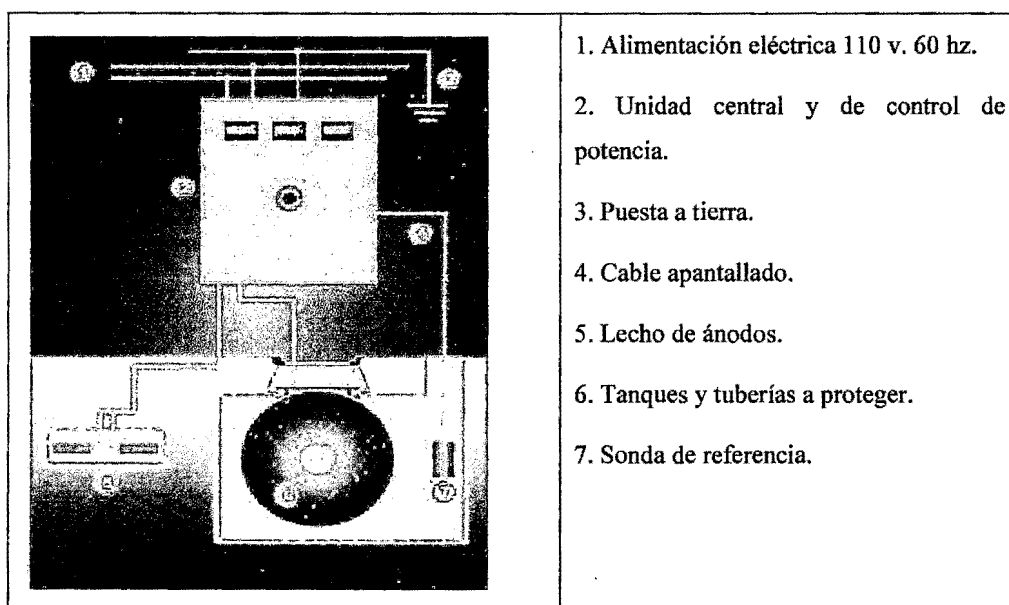


Figura № 2.5. Protección catódica por circuito impreso.

Fuente: Protección catódica circuito impreso; pág. 12.

La protección catódica por circuito impreso se aplica a la protección tanto interior como exterior en los fondos de tanques y para todo tipo de aplicaciones industriales. La protección catódica por circuito impreso se fundamenta en la utilización de materiales metálicos como ánodo dispersor de la corriente, debido a que dichos materiales se consumen con el paso de la corriente resultante de unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger (tanque de combustible diésel)

con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito.

Este sistema de protección catódica tiene la característica de que utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) materiales metálicos que en mayor o menor grado se consumen con el paso de la corriente. Sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas, las cuales dependen tanto del material anódico, como del ambiente que rodea al mismo e incluso de la densidad de corriente que éste suministra.”⁸

Ventajas	Limitaciones
Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente.	Puede causar problemas de interferencia.
Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente.	Está sujeta a roturas de fuente de corriente.
Con una sola instalación se pueden proteger superficies muy grandes.	Requiere inspección periódica y mantenimiento
Se utiliza en ambiente de resistividad elevada	Requiere fuente de corriente continua.
Potencial y corriente variable.	Conexiones y cables sujeto a rotura.

Tabla 2.2. Ventajas y limitaciones de la protección catódica con corriente impresa.

2.3.2. Protección Catódica por Corriente Impresa en Tanques

En el caso del presente trabajo nos referiremos específicamente al estudio de los diversos factores involucrados en la instalación del sistema de protección catódica por corriente impresa, por ser este sistema el más indicado para trabajar con superficies extensas como las que se observan en los fondos externos de tanques, ya que mientras los sistemas de sacrificio pueden ser usados, los sistemas de corriente impresa han probado ser más efectivos y fácil de instalar para los nuevos tanques de almacenamiento con o sin forros contenedores y viejos tanques mejorados con un fondo de tanque adicional.

⁸ HIDALGO, Manuel. Protección catódica; pág. 20.

2.3.3. Elementos básicos de PC por Corriente Impresa

- Ánodos
- Rectificador
- Cable conductor de corriente.
- Electrodo de referencia

2.3.3.1. Ánodos, Tipos de Ánodos

Los ánodos son empleados como materiales que aportan o distribuyen la corriente eléctrica hacia la estructura a proteger, por esta razón son los elementos más importantes dentro de un sistema de protección catódica.

Los ánodos utilizados con mayor frecuencia en la implementación de sistemas de protección catódica son generalmente los de Fe-Si-Cr pero en los últimos años se han desarrollado otros tipos de ánodos con innovadora tecnología que los han ido desplazando del mercado. Estos ánodos son: ánodos cerámicos fabricados de titanio, ánodos de óxidos férricos, ánodos de metales nobles (platino), etc.

Tipos

Ánodo de Hierro Silicio

Este ánodo es fabricado de altas aleaciones de silicio con hierro fundido, siendo uno de los más efectivos materiales adaptables a varios ambientes. Puede ser instalado profundamente bajo tierra, en agua de mar o agua salobre.

Ánodo de MMO (Mixto de Oxido Metalico)

Los ánodos MMO están hechos de titanio revestidos de otros materiales mixtos de óxido metálico. Este recubrimiento cristalino es eléctricamente conductivo activando el titanio que ejerce la función de protección catódica. Los ánodos MMO tienen una muy baja tasa de consumo eléctrico, tienen usos muy variados para suelos, mar, lodo, alcantarillas y ambientes de agua potable, son muy usados en la protección de Tanques de almacenamiento.

Ventajas:

- Este ánodo de corriente impresa es liviano.
- La cubierta de los ánodos MMO, han demostrado alta estabilidad química en ambientes de bajos valores de pH.
- El recubrimiento no se ve afectado por la generación de cloro.
- La tasa de desgaste es muy baja y uniforme, alrededor de 1 y 6 miligramos amperio por año.
- Las dimensiones del ánodo se mantienen estables durante su periodo de servicio.
- Operan con una densidad de corriente de 2000A/m^2 . Su conductividad eléctrica es del $10^{-7}\Omega\cdot\text{m}$

Ánodo de Grafito

El grafito es un buen conductor de la electricidad con un bajo costo de inversión y químicamente resistente. El grafito es utilizado comúnmente en sistemas de protección catódica (CP). Este ánodo de corriente impresa también se utiliza para proteger la integridad estructural de los edificios y los metales, especialmente aquellas que están bajo el agua o bajo tierra. Pueden ser instalados en suelos secos o en entornos húmedos, agua de mar, lodo y otras condiciones.

Ánodo Flexible MMO/Ti

Esta nueva generación de ánodos flexibles tiene más larga vida útil. Integra las ventajas del sistema de la corriente MMO con una excelente conductividad del cable con núcleo de cobre. Debido al mínimo tamaño de la puesta a tierra, el ánodo flexible de MMO/Ti, puede ser enterrado en profundidades lejos de la estructura del ánodo. Es especialmente adecuado para regiones de alta resistencia o cuando el revestimiento de la tubería está dañado y también en otros espacios como el fondo de los tanques grandes.

El ánodo contiene polvo de coque, de esta forma no necesita más rellenos siendo fácil y conveniente la instalación. La vida útil de este ánodo es más larga comparada con otros sistemas de protección catódica.

Ánodo Flexible Polímero Conductor

El ánodo flexible polímero conductor, es una línea larga de ánodos secundarios con conductividad polimétrica en su material. Soluciona los problemas de protección catódica en las líneas viejas de tubería, para regiones de alta resistencia o cuando el revestimiento de la tubería está dañado y también en otros espacios como el fondo de los tanques grandes. Entre sus ventajas se cuenta con la buena distribución de la corriente, bajo consumo de energía y larga vida útil haciéndolo pieza importante en la protección catódica en tecnologías nacionales y extranjeras.

2.3.3.2. Rectificador

Son los equipos más utilizados en el empleo de los sistemas de protección catódica por corriente impresa. Es un dispositivo diseñado para proveer las necesidades de potencial y corriente requeridas en el sistema.

Consiste fundamentalmente de un mecanismo de transformación de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC). Tienen como componentes: un transformador de reducción del voltaje de alimentación en la línea de corriente alterna, un puente rectificador construido por diodos de rectificación, comúnmente de selenio o silicio, y sistemas de control manual o automático como voltímetros y amperímetros, a fin de regular el voltaje y la corriente según las necesidades del sistema a proteger

Los rectificadores pueden dividirse según el número de fases en monofásicos o trifásicos y pueden ser utilizados para su construcción elementos como el silicio o el selenio, presentando una eficiencia de 90% y 60% respectivamente, la decisión de elegir uno u otro, se toma en función de la eficiencia y costo.

Según su forma de refrigeración se dividen en: sistemas de enfriamiento por aire (uso general) o sistemas de enfriamiento en el cual son sumergidos en aceite (los más empleados en atmósferas corrosivas).

La selección del rectificador estará en función de los parámetros requeridos en cuanto al voltaje y corriente de salida en corriente directa (DC), que serán definidos por variables de cálculo como la resistencia total del circuito eléctrico.

2.3.3.3. Cables conductores de Corriente

La función de los cables conductores dentro de un sistema de protección catódica, es la de transmitir o conducir la corriente por todo el circuito eléctrico, que es suministrada por el rectificador para energizar a los ánodos, formando de esta manera el circuito positivo, y por otra parte, conectar el fondo y/o pared del tanque al punto negativo del rectificador, para garantizar un retorno adecuado de corriente.

Generalmente se emplean cables de cobre, con doble cubierta protectora, fabricados para enterramiento directo y con calibre que varía de acuerdo a la intensidad de corriente que puedan conducir, los que serán instalados directamente en el suelo por medio de zanjas hechas para tal fin y posteriormente enterrados en medio de una capa de arena de 12 cm de espesor desde el tanque hasta las cajas de distribución.

Hay que resaltar que, como todos los cables conectados al terminal positivo del rectificador representan un potencial positivo con respecto a la tierra (suelo), el aislamiento del cable tiene que estar en buenas condiciones, debido a que si éste tiene alguna parte descubierta, puede descargar corriente hacia la tierra (actúa como un ánodo), factor que conduciría a la corrosión del propio cable y a una rápida falla del sistema de protección catódica.

2.3.3.4. Electrodo de Referencia

Cuando se aplica protección catódica a una estructura, es extremadamente importante saber si esta se encontrará realmente protegida contra la corrosión en toda su plenitud. Varios criterios pueden ser adoptados para comprobar que la estructura en mención está exenta de riesgo de corrosión, basados unos, en función de la densidad de corriente de protección aplicada y otros en función de los potenciales de protección obtenidos.

No obstante, el criterio más apto y universalmente aceptado es el de potencial mínimo que debe existir entre la estructura y terreno, medición que se realiza con un electrodo o celda de referencia. El criterio de potencial mínimo se basa en los estudios realizados por el profesor Marcel Pourbaix, en 1939, quién estableció a través de un diagrama de potencial de electrodo vs. pH del medio, un potencial mínimo estructura-suelo medidos con las diferentes celdas según los siguientes valores:

ELECTRODO DE REFERENCIA	LECTURA
Plata-Cloruro de Plata (Ag-AgCl)	-800 mv
Cobre-Sulfato de Cobre (Cu-SO ₄ Cu)	-850 mv
Hidrogeno (H ⁺ -H ₂)	-770 mv
Zn puro (Zn-Zn ⁺⁺)	+250 mv

Tabla N° 2.3. Potencial mínimo estructura- suelo para que no ocurra corrosión.

Más comúnmente utilizados en los análisis de eficiencia de la protección catódica son los electrodos de Cobre-Sulfato de Cobre (Cu-SO₄Cu) debido a su estabilidad y su facilidad de mantenimiento, donde el criterio de potencial mínimo de protección que se utiliza es de -850 mv como mínimo y permitiendo recomendar así mismo, un máximo potencial de protección que pueda estar entre los -1200 mv a -1300 mv, sin permitir valores más negativos, puesto que se corre

el riesgo de sobre protección, que puede afectar al recubrimiento o capa de pintura, ya que hay riesgos de reacción catódica de reducción de hidrógeno gaseoso que se manifiesta como un ampollamiento en la pintura.

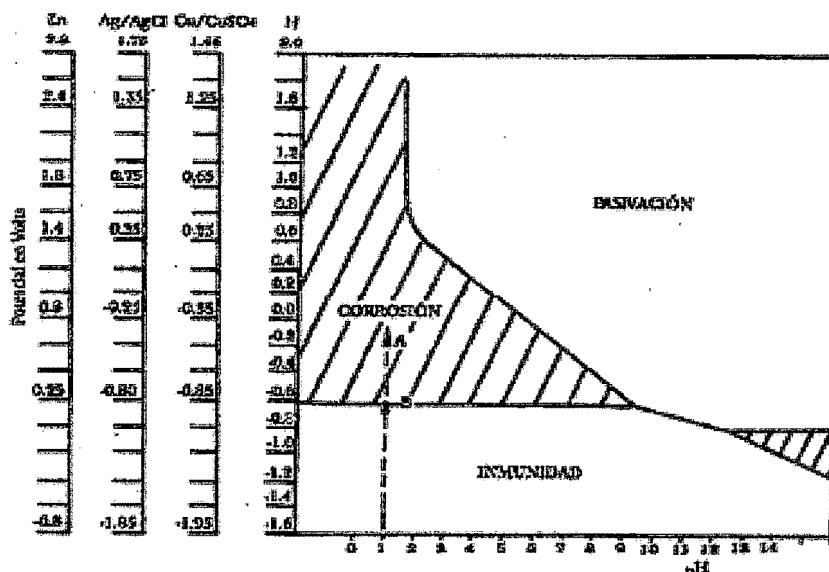


Figura N° 2.6. Diagrama de Pourbaix

2.3.4. Metodología para el Diseño de un Sistema de PC por Corriente Impresa

En la elaboración del diseño de un sistema de protección catódica por Corriente Impresa para tanques de combustible diesel, se deben establecer un conjunto de pasos a seguir, para llevar a cabo de forma satisfactoria todas las etapas de instalación y puesta en marcha del sistema, y así obtener los resultados esperados de protección y minimizar también los costos. Entre los pasos más importantes tenemos:

- Requerimientos y/o condiciones generales de diseño.
- Separación entre la estructura a proteger y los ánodos.
- Medición de la resistividad del suelo

- Medición del PH del electrolito.
- Selección de la densidad de corriente
- Vida útil del sistema

2.3.4.1 Requerimientos y/o Consideraciones Generales de Diseño

Primeramente es necesario recopilar información general de las características intrínsecas de la estructura a proteger y del medio corrosivo, entre las cuales tenemos:

- Servicio que presta o prestará la estructura a proteger (tanque)
- Localización y características de otras estructuras metálicas, enterradas y/o conectadas o no al tanque de interés, localizadas en sus adyacencias (planos, materiales, dimensiones, etc.)
- Información sobre todas las fuentes de corriente continua en las proximidades que pueden originar interferencias al sistema
- Sondeo de las fuentes de corriente alterna, que podrían alimentar al rectificador
- Revisar los planos de ubicación y especificaciones detalladas que contengan información suficiente de la estructura a proteger, para la adecuada ubicación y disposición de todos los elementos del sistema
- Se debe elegir la utilización de un sistema de protección con los más bajos costos (diseño, instalación, alimentación y mantenimiento), que cumplan a cabalidad los cálculos ya nombrados y asegurar la protección adecuada
- Todos los materiales a ser utilizados en la instalación del sistema de protección catódica deberán estar en perfecto estado, sin defectos que puedan interferir en su buen funcionamiento.

2.3.4.2. Separación entre la estructura por proteger y los ánodos

La separación de los ánodos a la estructura por proteger, debe ser una distancia eléctricamente remota o tierra remota. Esta distancia puede determinarse con una serie de lecturas entre la estructura por proteger y una media celda de Cu/CuSO₄ tomadas a intervalos conocidos alejándose de la estructura. En el punto donde ya no se tengan cambios significativos en el potencial, se considera como tierra remota. A menos de que existan causas de fuerza mayor, esta distancia no debe ser menor de 50 m.

2.3.4.3. Medición de la Resistividad del Suelo

Cuando se diseña un sistema de protección catódica es necesario investigar las características del medio, y entre las que se relaciona más directamente con el fenómeno corrosivo se encuentra la resistividad eléctrica del electrolito, que determina de forma sencilla las condiciones de corrosión a que estará sometida la estructura.

La resistividad no es una propiedad del electrolito, sino un indicador de sus propiedades, las cuales dependen del contenido químico, de humedad, temperatura, etc. La manera de calcular la resistividad del suelo está dada por la fórmula:

$$\rho = 2 * \pi * a * R$$

Dónde:

ρ : resistividad ($\Omega \cdot \text{cm}$)

a: Separación entre los pines (cm)

R: Resistencia eléctrica (Ω)

La resistividad es la recíproca de la conductividad o capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, y las áreas cuyo valor de resistividad es bajo, son las que tienden a acelerar el proceso de corrosión.

El nivel de corrosividad de los electrolitos se clasifican según su resistividad. La siguiente tabla de la “American Water Works Association” muestra las actividades de corrosión de los electrolitos vs. los rangos de resistividad:

RESISTIVIDAD (Ω . cm)	CORROSIVIDAD
Menor a 250	Extremadamente corrosivo
250-1.000	Muy corrosivo
1.000 a 2.500	Corrosivo
2.500 a 7.500	Moderadamente corrosivo
7.500 a 15.000	Medio corrosivo

Tabla N° 2.4. Clasificación de la corrosividad de los diferentes electrolitos dependiendo de sus valores de resistividad.

Método de 4 Pines de Wenner: Para las mediciones de resistividad de suelo se utiliza lo estipulado en las normativas ASTM G57 o también IEEE Standard 81, mas comúnmente conocido en la industria de la corrosión como el “Método de 4 Pines de Wenner”. Este procedimiento utiliza cuatro pines clavados en el suelo, en línea recta, separados a una misma distancia entre ellos, esta distancia es igual a la profundidad a la cual se desea conocer la resistividad. La medición de la resistividad se basa en la caída de voltaje entre el par de pines ubicados en la parte central con la corriente que fluye entre los pines de los extremos. La resistencia en ohmios es leída en el dial multiplicado por el rango donde se encuentra posicionado el switch. En la Figura 2.6 se muestra un medidor de resistividad marca Nilsson 400, uno de los equipos más utilizados para este propósito.



Figura N° 2.7. Medidor de resistividad Marca Nilsson Serie 400

En este procedimiento, se introducen directamente en el suelo cuatro barras a aproximadamente a 10 cm de profundidad, separadas entre sí por espaciamentos iguales sobre una línea recta en el suelo que se va a medir, las cuales se conectan a un instrumento medidor de resistencias del suelo, que introducirá una corriente eléctrica en el suelo entre las dos barras externas. La separación entre las barras “a” representa la profundidad hasta lo que se desea conocer la resistividad, que se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\rho = 2 * \pi * a * R$$

Dónde:

ρ : resistividad ($\Omega \cdot \text{cm}$)

a: Separación entre los pines (cm)

R: Resistencia eléctrica (Ω)

La resistencia del suelo se obtiene midiendo la caída de potencial entre los dos pines centrales y aplicando la ley de Ohm ($V = I * R$), (ver Figura N° 8).



Figura N° 2.8 Método de Wenner o de los 4 Pines para Medir Resistividad del Suelo en campo.

2.3.4.4. Medición de pH del suelo

Para esta medición además del electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre y el voltímetro, agregamos el electrodo de antimonio. El electrodo de antimonio tiene la ventaja de proporcionar una lectura directa del pH del suelo o electrolito gracias a dos escalas denotadas en su cuerpo. Una de las escalas corresponde a la diferencia de potencial medido entre el electrodo de referencia y el electrodo de antimonio en milivoltios (mV); mientras que la otra indica el número pH que corresponde a dicha diferencia de potencial. El número pH indica el grado ácido-básico de una sustancia, en nuestro caso del suelo o electrolito. En la Figura 2.4 se presenta un modelo típico de un electrodo de referencia.

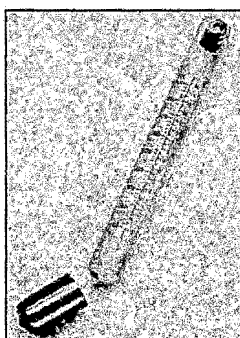


Figura N° 2.9. Electrodo de Antimonio

El esquema de la Figura 2.10 muestra de la medición del pH del suelo realizada en los alrededores de los tanques que contemplan el estudio para la protección catódica. El Terminal positivo del voltímetro se conecta al electrodo de referencia catódica. El Terminal negativo al de antimonio.

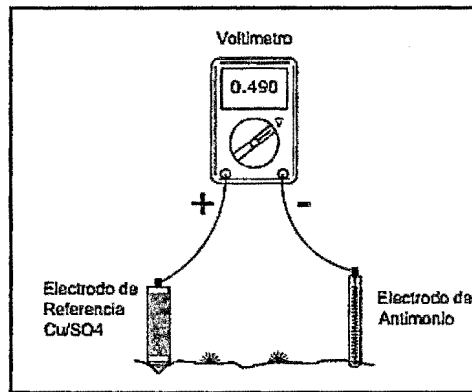


Figura N° 2.10. Esquema para la medición del pH del suelo.

2.3.4.5. Selección de la Densidad de la Corriente

Es la magnitud de la corriente eléctrica requerida dividida entre el área total de la superficie metálica desnuda a proteger, que debe aplicarse al metal para llevarlo al potencial de protección.

Depende entre otros factores de las condiciones del medio, tales como: temperatura, humedad, agitación, aireación, composición, etc., de la capacidad de la fuente de corriente continua empleada, así como también, de la presencia de recubrimientos en la estructura, su estado de conservación, existencia de capas calcáreas, etc.

Es quizás el parámetro más importante a considerar al momento de aplicar protección catódica a una estructura, no solamente por que con ella se consiguen los niveles de protección apropiados, sino que su magnitud incide directamente en la economía del sistema. La determinación de la densidad de corriente se hace de

manera empírica, basándose en experiencias previas y en una serie de parámetros tabulados en la bibliografía especializada en corrosión.

En la tabla N° 2.4 (pag. 51), se recogen los valores correspondientes a los requerimientos de densidad de corriente observados durante la realización de diversos diseños de control de corrosión, en varias condiciones del medio. Estos valores pueden tomarse como una primera indicación sobre la densidad de corriente mínima previsible. Naturalmente, cada caso requiere un estudio particular para la determinación de la densidad de corriente adecuada.

Condición	Densidad de corriente necesaria (mA/m ²)
Acero desnudo en agua salada en movimiento	110 – 200
Acero desnudo en agua salada estancada	50 – 90
Acero desnudo enterrado	10 – 30
Acero con revestimiento pobre enterrado en zonas poco corrosivas	1,0
Acero con revestimiento bueno enterrado en zonas poco corrosivas	0,1
Acero con revestimiento muy bueno enterrado en zonas no corrosivas	< 0,03

Tabla N° 2.5: Densidades de corriente necesarias para protección

2.3.4.6. Selección de la Vida Útil

La vida útil de un sistema de protección catódica por corriente impresa la limita el elemento que se desgasta o se deteriora más rápidamente. Este elemento es el conjunto de ánodos, que aunque se denominen “inertes” tienen cierto desgaste a pesar de que no es visualmente apreciable. Por ello cada fabricante

determina para cada tipo de ánodo sus propios parámetros de consumo y especificaciones. Los ánodos seleccionados deberán garantizar el suministro de la cantidad de corriente nominal, por un periodo de vida útil de diseño mínima de veinte (20) años.

2.3.5. Sistemas de Protección Catódica por Corriente Impresa para fondos externos de Tanques de Combustible.

En cuanto a los sistemas de protección, existen formas de aplicación que dependen en ciertas condiciones de la forma de la estructura, de los requerimientos de protección, tanto para estructuras existentes o nuevas. Por su forma de aplicación mencionamos las siguientes:

- Mallas (Tipo Cinta o Tipo Alambre).
- Ánodos Perimetrales.
- Ánodos Profundos.

2.3.5.1. Tipo Cinta

Uno de los métodos utilizados para fondos de tanques sobre suelos son los tipos cinta, estos sistemas ofrecen una provisión de protección más uniforme y efectiva como así también una fácil instalación. Ideal para tanques nuevos o en aplicaciones para tanques ya existentes readecuados con un fondo de tanque adicional. Este sistema está compuesto de ánodos tipo cinta espaciados entre sí a una distancia aproximada de 1,5 metros para formar parte de una configuración paralela. Generalmente este tipo de sistemas tienen una vida útil de 20 a 50 años, dependiendo el requerimiento de la estructura a proteger y necesidad del cliente.

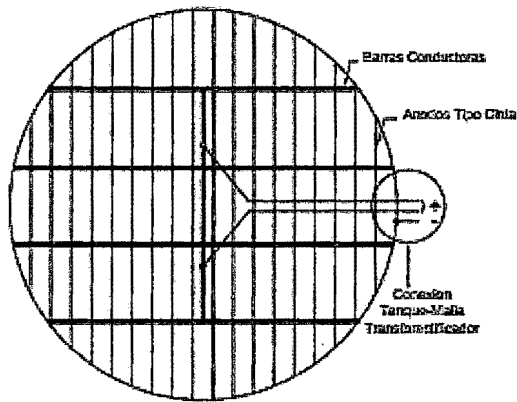


Figura N° 2.11. Esquema de protección catódica Tipo Cinta

2.3.5.2. Tipo Alambre

Este otro sistema también muy utilizado para las mallas es la configuración de forma concéntrica, para este propósito se utiliza ánodos continuos de mezcla de óxidos metálicos (MMO sus siglas en inglés) los cuales se disponen de manera circunferencial y equidistantes entre ellos, obteniendo una distribución óptima de la corriente de protección. Cada uno de estos anillos que se forman funciona independientemente y son manipulados desde el rectificador para su debida graduación dado al área que ha sido designada a proteger.

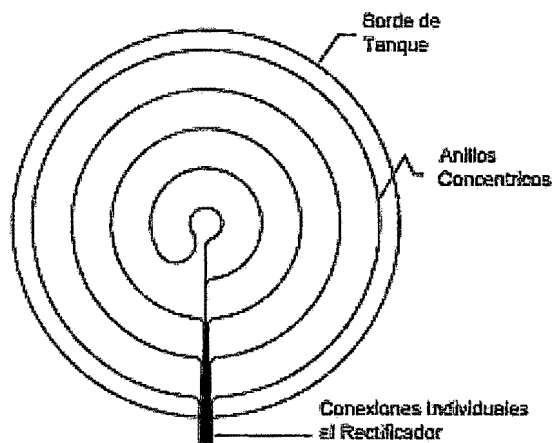


Figura N° 2.12. Esquema de protección tipo Alambre.

2.3.5.3. Tipo Ánodos perimetrales

Para los sistemas de corrientes impresas también es una práctica ubicar los ánodos en forma perimetral, con la diferencia de que estos tendrán una fuente externa de energía para su funcionamiento, además que es menor la cantidad de ánodos a instalar dado a las características que desarrollan los ánodos para sistemas de corrientes impresas.

En este mismo ámbito para bosque de tanques se realizan diseños de protección integral de tal manera que se disponen de un número determinado de ánodos a través de los alrededores de estas estructuras, de tal manera que su ubicación sea idónea para una distribución no solo para un tanque sino para todo el grupo.

Con esto se consigue una economía en lo que tiene que ver con la instalación de un sistema integral mas no individual.

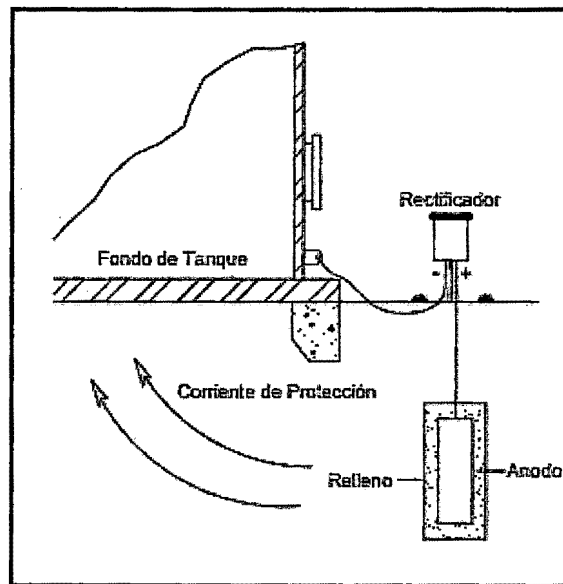


Figura N° 2.13. Esquema de protección catódica por Ánodos Perimetrales

2.3.5.4. Tipo Ánodos Profundos

El sistema de ánodos profundos se define como la instalación de ánodos de manera vertical a una profundidad nominal de 40 metros o más con referencia al

nivel de suelo, esta disposición se logra gracias a una perforación donde se alojan los ánodos, con el propósito de proporcionar una protección catódica más uniforme.

Entre sus ventajas se pueden mencionar la buena distribución de la corriente de protección que se desarrolla gracias a que la corriente de protección tiene su descarga a una profundidad adecuada con respecto a la superficie a proteger. En áreas congestionadas con estructuras de toda índole, este tipo de sistemas tiene la fortaleza que para su instalación no se necesita de espacio físico considerable en relación a los otros tipos de sistemas de protección ya sean galvánicos o por corrientes impresas. Otra de las ventajas es que gracias a que la zona de descarga de corriente de protección se encuentra a una profundidad considerable, la instalación de un sistema de ánodos profundos se puede realizar a una distancia remota con referencia a la estructura a proteger.

Este tipo de sistemas son beneficiosos dado que ha considerables profundidades encontramos estratos de baja resistividad, además que esta resistencia permanece más estable en el tiempo a causa de que los factores que controlan la resistencia (contenido de humedad y temperatura) son mas constantes en niveles profundos.

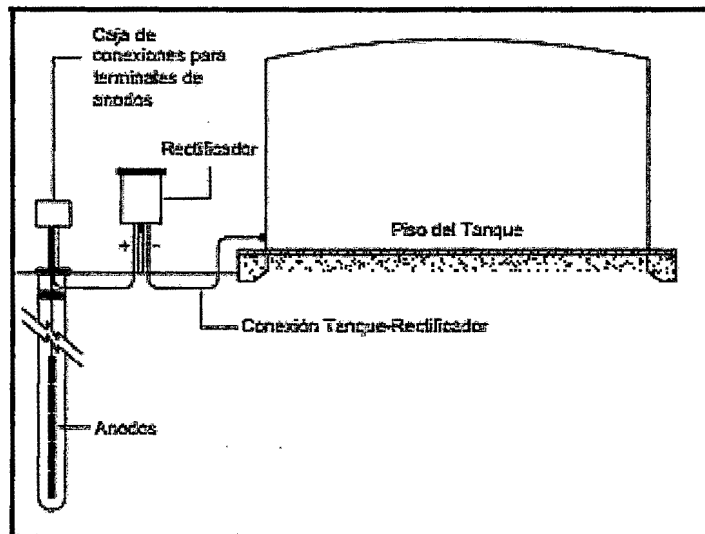


Figura N° 2.14. Esquema de Protección catódica por ánodos profundos

2.3.6. Selección de Sistema de PC por Corriente Impresa

La selección del sistema de protección catódica por corriente impresa implica realizar un estudio exhaustivo de parámetros económicos, calidad, afectación del medio ambiente, mantenimiento, disponibilidad de recursos, requerimientos técnicos que deben ser analizados en una matriz de evaluación técnica económica, que permitirá elegir el mejor sistema de protección catódica por corriente impresa.

Para lo cual debemos evaluar las diferentes opciones en cuanto a sistemas que se ofrecen en el mercado y que han sido expuestas anteriormente.

Adicionalmente a la matriz técnica económica que se debe realizar es de mucha ayuda el siguiente grafico para analizar tema de costos vs. Diámetro de tanque.

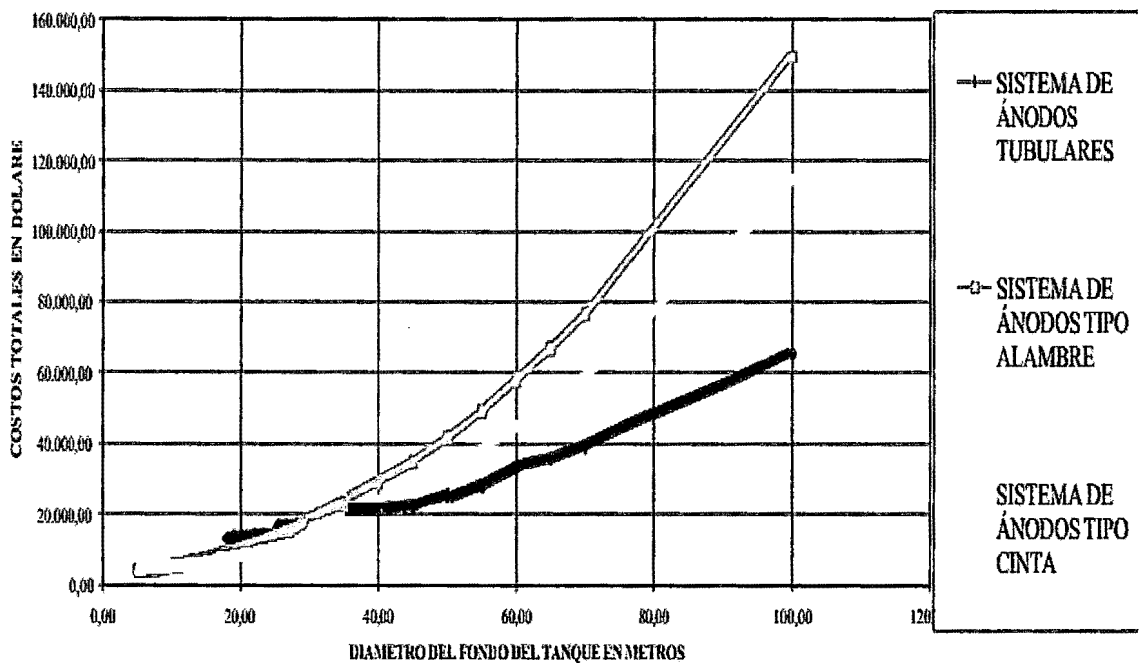


Figura N° 2.15. Grafico comparativo entre sistemas P.C. Vs Costo

Este análisis de costo de los sistemas vs diámetro del tanque es muy importante para analizar a grosso modo la elección del sistema, que debe ir complementado con la matriz técnica – económica. Ninguna por si sola es totalmente valida, sino que son complementarias.

2.3.7. Diseño del sistema de Protección Catódica por corriente impresa.

Una vez seleccionado el sistema y realizados las pruebas de campo necesarias, se procede al diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa.

2.3.7.1. Calculo de Área del fondo exterior del tanque a Proteger

En este punto, es muy importante recalcar la diferencia entre el área de toda la estructura y el área que se requiere proteger. En algunos fondos exteriores de tanques, estos han sido instalados con algún tipo de recubrimiento, de ahí la diferencia entre el área total del fondo y del área desnuda, en el caso de fondos externos de tanques, ambas áreas son iguales, independientemente del tipo de tanque, es decir, que el área desnuda a ser considerada para los cálculos de requerimiento de corriente será el 100 % del área del fondo del tanque. Para el cálculo del área del fondo del tanque se utilizará la siguiente formula:

$$A = \pi * r^2$$

Dónde:

A : Área del fondo del tanque

r : Radio del fondo del tanque

2.3.7.2. Elección de la Densidad de Corriente

Para este tipo de estructuras, fondos externos de tanques sin ningún recubrimiento de protección contra la corrosión, la densidad de corriente recomendada de acuerdo a la Tabla 2.4 (pag. 51) para un acero desnudo enterrado, está en el rango de 10 a 30 mA/m², en este caso elegimos el valor más alto del rango para tener una mayor seguridad en el diseño.

2.3.7.3. Calculo de la Corriente Total de Protección

Sabemos que parte de la energía o corriente se pierde debido a alguna otra estructura metálica cercana, por lo que siguiendo una buena práctica de ingeniería, debemos aplicar un factor de seguridad que permita asegurar la corriente requerida necesaria para el sistema y adicionalmente se tenga una reserva de contingencia.

Entonces teniendo en consideración el factor de seguridad, calcularemos la corriente total requerida para la protección de Tanques utilizando la siguiente formula:

$$I_{requerida} = A_{Total} * \delta * F_s$$

Dónde:

$I_{Requerida}$ = Cantidad Total de Corriente Requerida

δ = Densidad de Corriente

A_{Total} = Area total del fondo del tanque

F_s = Factor de seguridad

2.3.7.4. Calculo del Número de Ánodos

Para la determinación de la cantidad de Ánodos a utilizar en el sistema de protección catódica, es necesario primero elegir el tipo de ánodo para corriente impresa, la elección de estos ánodos está basada en las experiencias en campo y mediciones de rendimiento para aplicaciones particulares.

Una vez elegido el tipo de ánodo a utilizar se procede a calcular el número de ánodos, para ello utilizaremos el dato de la capacidad del ánodo para drenar corriente desde su superficie.

El número de ánodos será establecido mediante la división entre la cantidad de corriente requerida y la corriente drenada por ánodo mediante la siguiente fórmula:

$$N_{\text{Anodos}} = \frac{I_{\text{Requerida}}}{I_{\text{drenada/anodo}}}$$

Dónde:

N_{anodos} = Número total de ánodos tubulares requeridos

$I_{\text{requerida}}$ = Intensidad de corriente requerida

I_{renada} = Intensidad de corriente drenada por cada ánodo (tabla fabricante)

2.3.7.5. Calculo de corriente por cada lecho de ánodos

$$I_{\text{sistema}} = \frac{I_{\text{requerida}}}{N_{\text{lechos}}}$$

Dónde:

I_{sistema} = requerimiento parcial de corriente del sistema

$I_{\text{requerida}}$ = Corriente requerida

N_{lechos} = Numero de lechos

2.3.7.6. Calculo del Área Superficial externa

$$A_{\text{SB}} = \frac{I_{\text{sistema}}}{D_{\text{backfill}}}$$

Siendo:

A_{SB} = Área superficial externa de la zona activa

I_{sistema} = requerimiento por sistema de corriente.

$D_{\text{zona activa}}$ = densidad máxima de descarga de corriente entre la interface tierra – zona activa (1.6 A/m²).

2.3.7.7. Calculo del espacio entre centro de ánodos

$$S = \frac{L_{CA}}{N_{\text{anodos/sistema}}}$$

Dónde:

$N_{\text{anodos/sistema}}$ = *numero de anodos por sistema*

S = *espacio entre centro de anodos*

2.3.7.8. Calculo de la Resistencia Eléctrica

Para el cálculo de la resistencia eléctrica total del sistema de protección catódica, primeramente se debe definir el valor de la resistividad del electrolito donde actuara el sistema de ánodos profundos.

Para esta elección se debe tomar en cuenta estudios realizados en terrenos similares que nos proporcionen datos válidos para esta elección, con esta elección podemos ya calcular la resistencia total.

$$R_{\text{total}} = R_A + R_W + R_D$$

Donde:

R_{total} = *Resistencia total del sistema*

R_A = *Resistencia anodica a distancia remota respecto a estructura*

R_W = *Resistencia del cable*

R_D = *Resistencia de los empalmes*

La resistencia anódica a distancia remota se define como la resistencia eléctrica que ofrece la zona activa hacia la estructura, esta resistencia se calcula a partir de la fórmula de Dwight.

$$R_A = \frac{0.005\rho}{\pi L_{CA}} \left(\ln \left(\frac{8L_{CA}}{d} \right) - 1 \right)$$

Dónde:

ρ = resistividad eléctrica del electrolito

L_{CA} = Longitud de la zona activa

d = diámetro de la perforación

Resistencia ofrecida por los cables

$$R_W = R_I + R_{II} + R_{III}$$

Dónde:

R_I = Resistencia equivalente de cables paralelos que corresponden a cada uno de los ánodos a ser instalados en cada lecho de ánodos profundos.

R_{II} = Resistencia del cable entre el lecho de ánodos profundos y el rectificador.

R_{III} = Resistencia del cable entre el rectificador y la estructura.

Siendo

$$R = R_{CABLE} * L_{CABLE}$$

Resistencia de los Empalmes, el valor de R_D , resulta de un valor asumido donde se toma en cuenta la resistencia que presentan las conexiones y empalmes dentro del sistema, se recomienda usar un valor de R_D igual a 0,30.

Con esto tendríamos ya la Resistencia total del sistema de protección catódica por corriente impresa.

2.3.7.9. Calculo de voltaje para Selección del Rectificador

Previamente determinaremos la capacidad del rectificador con el cálculo del voltaje requerido por la unidad rectificadora, por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{rectificador}} = I_{\text{sistema}} * R_{\text{total}}$$

Una vez terminado los cálculos se tendría ya el diseño completo del sistema de protección catódica por corriente impresa.

2.4. Preparación de Superficie

El primer antecedente del chorreo abrasivo o como antiguamente se le denominaba “Sand Blast”, nace en Inglaterra, Reino Unido, en donde en agosto de 1870, Benjamín Chew Tilghman, inventó la primer máquina para sopleteo con chorro de abrasivos que fue patentada en Estados Unidos, esta misma máquina ha sido modificada a través del tiempo para cumplir con diferentes objetivos, pero aun en estos tiempos el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo.

La máquina que patentara Benjamín Chew Tilghman, utiliza la fuerza que se genera por la energía mecánica que lleva el aire y la utiliza como una herramienta en la labor de eliminar del sustrato restos de pintura, laminilla, contaminantes y el óxido de la superficie, para dejar a la vista el material original con el perfil de anclaje requerido.

La preparación de superficie en sustratos metálicos o chorreo de partículas abrasivas a presión es la parte del proceso de recubrimiento industrial con pinturas más importante y la que implica el mayor costo por metro cuadrado.

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 preparación de superficie. Sin

embargo, a pesar de lo mucho que se insiste sobre su importancia, es frecuente que se descuide su planeación y ejecución.

El método de chorreo abrasivo se considera el mejor método de limpieza de superficies de acero porque elimina todo rastro de contaminantes, además que permite darle al sustrato el perfil de anclaje necesario que es fundamental para que la pintura a ser aplicada posteriormente tenga una buena adherencia.

2.4.1. Chorreo abrasivo

El chorro abrasivo es la operación de propulsar la fuerza a una corriente de material abrasivo contra una superficie a alta presión para alisar una superficie rugosa, áspera una superficie lisa, dar forma a una superficie, o eliminar contaminantes de la superficie. Un fluido presurizado, típicamente aire, o una rueda centrífuga se utiliza para propulsar el material de limpieza. Hay dos tipos de chorreo abrasivo:

- Chorreo abrasivo seco.
- Chorreo abrasivo húmedo.

2.4.1.1. Chorreo Abrasivo Seco

El chorreo abrasivo seco se divide en dos grupos:

- Chorreo abrasivo seco a succión.
- Chorreo abrasivo seco a presión.

2.4.1.1.1 Chorreo abrasivo seco a succión

Un equipo a succión recibe este nombre gracias a la pistola de proyección, ya que su funcionamiento se basa en el efecto venturi. El aire al atravesar la pistola a gran velocidad genera una “succión” en la obertura inclinada donde va conectada una manguera de la pistola a la tolva. El abrasivo de la tolva se ve succionado y

una vez llega a la pistola, se mezcla y es proyectado junto con el aire a gran velocidad.

Una pistola de succión se distingue por tener dos mangueras, una para el paso del aire del compresor y otra para comunicar la pistola con la tolva que acumula el abrasivo. El diámetro del inyector es el que define la cantidad de aire que sale de la pistola y la boquilla establece la superficie que se cubre al chorrear.

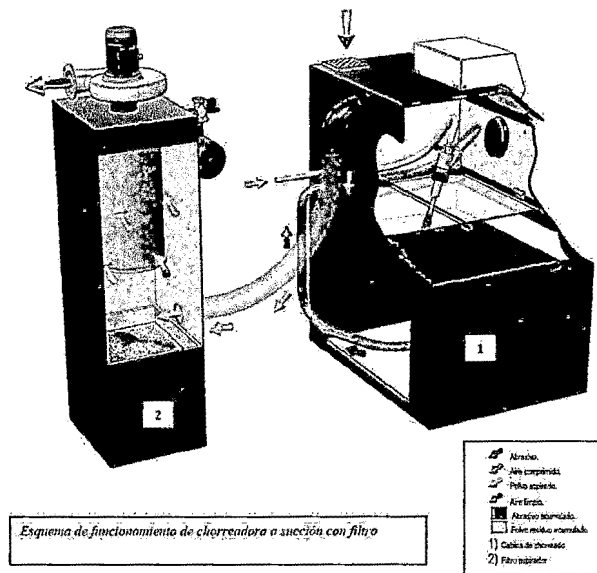


Fig. 2.16: Esquema de instalación de chorreo seco por succión

2.4.1.1.2. Chorreo abrasivo seco a Presión

Este sistema es el más utilizado en proyectos de recubrimiento industrial, debido a su movilidad, facilidad de uso, y porque se adecua para realizar trabajos de gran envergadura. En este sistema nos detendremos y nos explayaremos con más detalle, ya que como se menciona líneas arriba es el sistema más utilizado para la preparación de superficie de tanques ya construidos. Asimismo también son muy usados en los talleres de preparación de superficie ya que en las cabinas de arenado o granallado se rigen por el mismo principio de sistema por presión. Este tipo de sistema de arenado por presión se clasifican en:

Sistema por Presión funcionamiento Continuo (cabinas): Estas cabinas son la elección adecuada cuando el volumen de trabajo es muy alto ya que se incrementa la producción sin necesidad de instalar más cabinas lo cual presenta frecuentemente problemas de espacio.

Las cabinas para chorro de abrasivo son circuitos cerrados en los cuales la generación y recuperación del polvo y abrasivo están controladas, es por esto, que dichas cabinas son la mejor alternativa cuando las piezas que estarán sujetas al chorro de abrasivo puedan manejarse bien dentro de las dimensiones de la cabina.

Las ventajas de usar estas cabinas son:

1. Se recupera el abrasivo en un 99% al tener la tolva recuperadora del abrasivo.
2. El colector extrae el polvo generado durante la operación y permite recuperar una parte del abrasivo.
3. El operador no requiere equipo de seguridad ya que trabaja por el exterior.

Sistema por Presión funcionamiento intermitente: Está constituida por un sistema de cámara única y requiere que el proceso se detenga para proceder a la recarga del abrasivo. Estos equipos tienen la ventaja de utilizar todo tipo de abrasivos y se pueden asimismo utilizar para una diversidad de trabajos, incluso se pueden operar a distancias grandes al acoplar varios tramos de mangueras de arenado.

La operación de los equipos presurizados es muy sencilla, Se vierte el abrasivo en la parte superior del tanque y una vez cargado éste, se inyecta aire a presión dentro del mismo. El abrasivo fluirá a través de una válvula dosificadora hacia la parte baja en donde se combina con el flujo de aire a presión que acelera la velocidad del abrasivo para expulsarlo por medio de la boquilla y así limpiar el sustrato.

Para elegir el equipo presurizado acorde a las necesidades de la persona o industria que requiera este servicio, deberá tomarse en cuenta:

- El volumen de trabajo que va a realizar.

- Número de operadores que requiere.
- El uso que le va a dar al equipo ya sea ocasional o cotidiano.
- El tiempo de uso continuo que requiera del equipo a tratar.
- El tamaño del compresor con que cuenta.

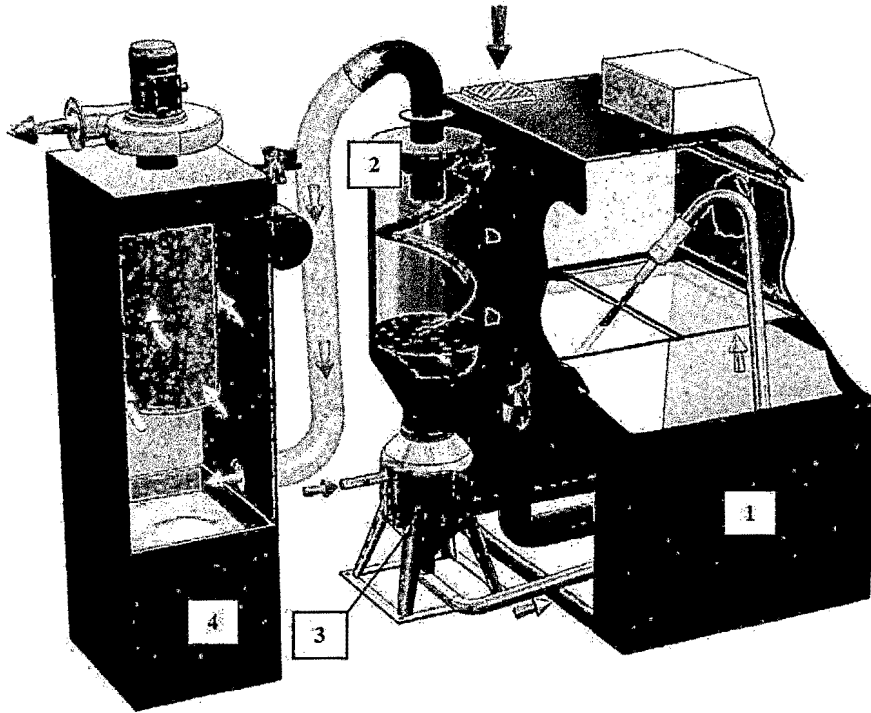


Fig. 2.17: Sistema de chorreo abrasivo seco por presión

2.4.1.2. Chorreo Abrasivo en Medio Húmedo

Esta técnica consiste en crear un flujo líquido que transporta las partículas abrasivas, normalmente microesferas de vidrio, siendo esta mezcla acelerada por aire comprimido.

La preparación de superficie consiste en combinar la acción de granallar o arenar de las partículas abrasivas con la acción amortiguadora de la película líquida en el sustrato.

Esta amortiguación permite la abrasión mínima del sustrato, así se logra remover óxidos, revestimientos, cascarillas, etc., mediante este sistema no se

malogra la superficie trabajada ya que las partículas no actúan directamente en el sustrato, evitándose riesgos de fractura e incrustaciones.

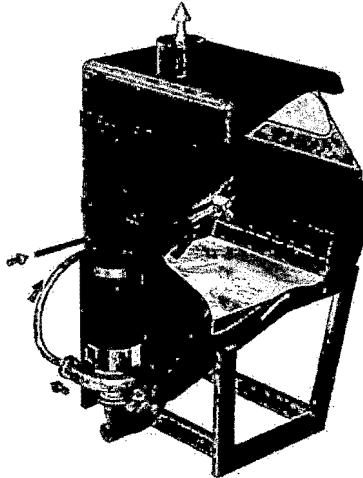


Fig. 2.18: chorreo abrasivo en medio húmedo

2.4.2. Componentes básicos de una instalación de Chorreo Abrasivo en Obra

Los componentes básicos de una instalación de arenado o granallado en Obra, está constituido de los siguientes equipos:

- Compresor de aire
- Filtro separador de aire y humedad de compresor.
- Mangueras de aire.
- Tolva de arenado.
- Sistema Dead Man (Hombre muerto).
- Filtro para línea de aire del operador.
- Manguera de arenado.
- Boquilla.
- Traje y casco de arenador.

2.4.2.1. Compresor de aire

Parte del equipo necesario para la limpieza con chorro abrasivo es un buen compresor de aire, los compresores utilizados regularmente son portátiles sin

tanque de almacenamiento, usualmente son a base de motores de diesel y con tiro para ser remolcados por vehículos de trabajo.

Uno de los requisitos principales para un correcto trabajo de Preparación de superficie es el suministro de presión continua con no menos de 100 PSI, y un flujo de aire entre los 80 y 300 Pies Cúbicos por Minuto (PCM), esto en caso de usar boquilla de 8 mm.

Se debe de tomar en cuenta que la presión de salida del equipo es diferente en el compresor que en la boquilla, si la presión en la boquilla llega a bajar 60 PSI nos genera un mayor gasto de arena y de aire por lo tanto no se tendrá un buen rendimiento de trabajo.

Diámetro de la boquilla (mm)	Presión en boquilla (PSI)							Requisitos de Aire y potencia de compresor
	50	60	70	80	90	100	125	
No. 2	11	13	15	17	19.5	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	25	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	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	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	108	1236	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	147	170	194	217	240	254	314	Aire (cfm)
	898	1032	1176	1312	1448	1584	1931	Abrasivo (lb/hr)
	33	38	44	49	54	57	69	Compresor (hp)
No. 8	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)

Tabla N° 2.6.: Tabla de parámetros de aire, presión, potencia y abrasivo por boquilla

2.4.2.2. Filtro Separador de Aire y Humedad

Este elemento se instala en la línea de aire comprimido, seleccionándose de tal manera que sea adecuada a la presión y caudal requerido. Los más usados en obra son los de separación ciclónica y filtrado.

Estos filtros deben ser chequeados y purgados constantemente cuando se realiza la actividad de preparación de superficie para evitar que el aire contamine de humedad al abrasivo y este a su vez contamine el sustrato.



Figura N° 2.19. Prueba de contaminantes en línea aire de compresor

2.4.2.3. Mangueras de Aire

La manguera para aire es la que conecta el compresor de aire con la Tolva, por lo general su longitud no es muy grande y deberá soportar las presiones de trabajo a que se somete. El principal punto a tomar en cuenta es mantener una distancia adecuada entre el compresor y el área de trabajo para evitar que los residuos del área de trabajo lleguen al compresor y esté pueda afectar los filtros de aire del motor.

El diámetro de la mangueras por lo general está entre $\frac{3}{4}$ " – 1", en los extremos de las mangueras son usadas conexiones de bronce tipo "garra" para una mayor facilidad y rapidez a la hora de ensamblar y desensamblar el equipo.

Es una manguera flexible, ligera y económica para el manejo del aire en equipos y cabinas. Tanto el tubo interior como la cubierta exterior de estas mangueras deben ser resistentes a la abrasión y a la intemperie.

2.4.2.4. Tolva de Arenado

Estas son máquinas neumáticas de funcionamiento muy simple, son normalizadas de acuerdo a código ASME para recipientes a presión, para dar seguridad a los operadores debido a las presiones altas con las que se trabajan, vienen fabricadas para distintos volúmenes de almacenamiento del abrasivo lo que permite un menor o mayor autonomía de trabajo, luego del cual hay que recargar abrasivo.

Todas las tolvas de arenado tienen la misma función esencial, que es la de proporcionar una cantidad de abrasivo a una corriente de alta presión. La diferencia entre un equipo u otro es la capacidad de almacenamiento de abrasivo y la cantidad de cámaras que contengan.

Los depósitos van desde 50 hasta los 400 litros de almacenamiento, en algunos casos se especifican por kilos de almacenamiento de abrasivo, pero es relativo debido a los diferentes pesos volumétricos entre la arena sílice, la granalla, las esferas de vidrio, etc.

Son equipos que permiten una gran movilidad en la obra, donde se sabe que la movilización de equipos implica bastantes complicaciones. Sabemos que las máquinas que se usan en los talleres (cabinas de arenado son para producción continua y de piezas de tamaños pequeños) no son rentables ni posibles debido a su poca movilidad cuando se trata de arenar el interior o exterior de un tanque por ejemplo.

2.4.2.5. Sistema Dead Man “Hombre Muerto”

Este es un sistema de control remoto mediante el cual el operador puede iniciar o parar el chorro de abrasivo desde la boquilla y obtener el control sobre el trabajo

de chorreo de abrasivos. Este mayor control sobre el chorro se traduce en un ahorro del 20 a 40% en el consumo de abrasivo ya que en el momento que el operador desea parar, solamente tiene que liberar el switch del control remoto para que instantáneamente se cierre el paso del aire y del abrasivo.

Pero la mayor prestación de este sistema es la de proporcionar seguridad a las personas que trabajan directamente en la preparación de superficie, ya que el arenador puede sufrir por ejemplo un desmayo o tropezar, escapársele la manguera de arenado o percibir personas no autorizadas en las cercanías, y si no tuviera la posibilidad de controlar el chorro de arena, lo más posible es que sufra el latiguo de la manguera de arenado, impactar directamente chorro de arena a otras personas, lo que ocasionaría fatalidades. Obviamente este sistema trabaja con un switch presionado por el operario arenador y al dejarlo libre el sistema de chorro de abrasivo se corta inmediatamente.

2.4.2.6. Filtro para línea de aire del operador de Arenado

En el proceso de la preparación de superficie la protección contra la polución es la más crítica, debido a que nunca es conveniente respirar ningún polvo, pero en el caso del arenado se puede respirar sílice libre responsable de una enfermedad de trámite irreversible: la silicosis.

También se debe pensar en que aunque se use un abrasivo diferente a la arena sílice, el polvo producido por la pintura, óxidos y otros contaminantes removidos por el chorreo abrasivo son muy nocivos o directamente tan o más tóxicos y peligrosos como la arena misma.

Porque se considera la salud de la persona como lo más importante del proceso, es que el aire que llega a la escafandra del operario a través de su línea de aire de respiración debe ser convenientemente filtrada, apta para la respiración humana y con un máximo de 10 ppm de monóxido de carbono en un caudal de aproximadamente 0,5 m³/min. Caudales menores pueden permitir entrada de partículas de polvo y caudales mayores causan irritación en los ojos. Para ello se utilizan dos sistemas. El más difundido es un filtro especialmente diseñado para

respiración humana, que recibe aire del equipo compresor y la hace llegar hasta el equipo de protección de presión positiva. El filtrado del aire requiere retener partículas mayores a $0,5 \mu$, aerosoles de aceite y agua. Además desodorizan el aire para hacerlo agradable para la respiración.

Es preferible disponer de un pequeño compresor de aire libre de aceite para alimentar este tipo de filtros.

Sin embargo, lo más usual es utilizar el mismo compresor tanto para la impulsión del abrasivo como para el aire de respiración. Aquí hay un riesgo potencial muy elevado debido a que estos compresores son lubricados y es muy factible la emisión de CO por exceso de lubricación o por sobrecalentamiento. En estos casos siempre se debe utilizar una alarma de CO en la línea de aire que llega al operador.

Nunca es suficiente la precaución y los cuidados con esta línea de aire que respira el operador, ya que ha sido causa de accidentes con fatalidad.

Un requerimiento aceptado para el aire de respiración humana es el siguiente:

- Oxígeno de 19,5 % a 23,5 %.
- Aceite condensado MAX $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$
- Monóxido de carbono MAX 10 ppm
- Dióxido de carbono MAX 1000 ppm

Debido a las consideraciones arriba mencionadas, se usan filtros en modelos para 04 y 06 operadores, ambos tienen cuerpo en acero soldado, rosca para adaptar la entrada de aire, regulador de presión, manómetro, válvula de seguridad, válvula de drenado, espiga de salida para operador, tapón en las demás salidas y un elemento filtrante fácilmente sustituible que tiene distintas etapas de filtrado, entre las cuales destacamos las fibras de poliéster, carbón activado y alúmina activada. Gracias a estas distintas etapas de filtrado, este filtro elimina las partículas sólidas existentes en el aire comprimido, así como el aceite, agua y el olor, suministrando al operador un aire de buena calidad.

2.4.2.7. Mangueras de Arenado

Las mangueras de arenado, son mangueras reforzadas de varias capas de hule natural sin alambres o refuerzos por lo general tienen la capacidad de no generar cargas electrostáticas que puedan crear chispas en lugares peligrosos por ambientes de explosividad.

También estas mangueras están diseñadas para soportar la abrasión en el interior de ellas.

Por lo general se manejan tramos de 15 m de longitud y con diámetros de interiores de 1" o 1 1/4" para boquillas de 3/8". El diámetro interior de la manguera deberá ser 3 o 4 veces mayor del diámetro interior de la boquilla.

En las extremidades de la manguera se usan conexiones de bronce de tipo "garra" y en el extremo final de la manguera una conexión con porta boquilla roscada. Estas mangueras tienen gran resistencia externa al maltrato y el tubo interno le proporciona gran duración, adicionalmente le brinda seguridad en la conducción de las cargas estáticas producto de su operación normal.

Por tema de seguridad contra el latiguo de las mangueras al soltarse o deteriorarse un empalme se colocan seguros antilatiguo como uniones entre las mangueras.

2.4.2.8. Boquillas de Arenado

La función de las boquillas es reducir el área de salida para así provocar un aumento de presión en la salida y hacer eficiente el sopleteo. Las boquillas para sopleteo se fabrican en varios materiales, de los cuales los más comunes son cerámica, hierro vaciado y carburo de tungsteno. Las dos primeras son más económicas pero con una vida útil de 2 a 4 horas de servicio continuo, en cambio las boquillas de tungsteno son más caras pero con una vida útil aproximada de 300 hasta 800 horas de servicio continuo. Normalmente una sola boquilla no puede ser la solución para todos los requerimientos de aplicación, pues se requiere

seleccionar la boquilla adecuada para cada trabajo ya que esta es la mejor forma de asegurar una buena velocidad de trabajo, calidad y eficiencia.

Las boquillas se escogen dependiendo del tipo y área a limpiar:

La eficiencia de las boquillas se puede comparar en base a un mismo volumen de aire suministrado, entonces tenemos que:

- Boquilla de 1/4" = 100%
- Boquilla de 5/16" = 157% más que la boquilla de 1/4 "
- Boquilla de 3/8" = 220% más que la boquilla de 1/4 "
- Boquilla de 7/16" = 320% más que la boquilla de 1/4 "
- Boquilla de 1/2" = 400% más que la boquilla de 1/4 "

Las boquillas de tipo Venturi se diferencian de las de tipo recto en que las primeras presentan un "acinturamiento" al centro de la boquilla que provoca un aumento en la presión en esa área y una mayor velocidad a la salida, por lo que proporcionan un mayor rendimiento con el mismo suministro de aire.

Boquillas de Carburo de Tungsteno

Diseñadas para lograr un volumen de producción mayor al de las boquillas de diámetro recto en un 40% aproximadamente. Su diseño acelera y distribuye de manera uniforme el abrasivo.

Esta boquilla es una de las más conocidas por su gran eficiencia en trabajos de gran demanda de chorro abrasivo.

2.4.2.9. Traje y Casco de Arenador

El traje protector para arenado protege al usuario del impacto de las partículas abrasivas que rebotan. El traje protector para arenado es la mejor alternativa para el trabajo de arenado, ya que combina una excelente relación costo-beneficio con la seguridad y el confort, incluso durante un uso prolongado. Cuenta con una

conexión de aire en la parte trasera para mayor flexibilidad y adaptabilidad a diferentes entornos y condiciones extremas de trabajo.

Características del protector para arenado: Casco realizado en fibra de vidrio, en su interior posee un gorro acolchado. Visor de vidrio con un policarbonato en la parte interna para protección en el caso de rotura del vidrio. Un cuello elastizado para evitar el ingreso de partículas de arena y un delantal de cuerina protege el tórax. Válvula de bronce en la parte posterior del casco, para la entrada de aire.

2.4.3. Normas de Preparación de Superficie

En la aplicación de pinturas anticorrosivas sobre superficies de acero al carbono, es de suma importancia el grado de preparación de superficie de la misma antes de la aplicación del sistema de pintura elegido.

Este grado de preparación depende de la exigencia a la cual será sometido el material y el sistema de pintura elegido, generalmente el fabricante de pintura indica en la ficha técnica de cada producto el grado de preparación de superficie necesario y la vida útil a obtener si se cumple el procedimiento establecido para el sistema de pintura, pero no considera las condiciones ambientales, de temperatura, de erosividad del medio, etc. Los cuales obviamente son parte esencial para una correcta selección del sistema de pintura a aplicar.

Los trabajos de preparación de superficies están normalizados por varias asociaciones internacionales. Las normas definen la terminación deseada o sea el grado de preparación de superficie a alcanzar.

Algunas normas son de comparación visual utilizando probetas de acero, discos comparadores o fotografías y otras normas solo son escritas. Todas ellas están sujetas a un vasto grado de interpretación y aplicación de las especificaciones dadas por los usuarios, inspectores, aplicadores y otros.

Los grados de preparación de superficie están normalizados por muchos institutos internacionales, mencionaremos los 03 más reconocidos internacionalmente: el Steel Structures Painting Council (SSPC), Instituto Sueco de Corrosion (SIS 055900), National Association Corrosion Engineers (NACE), de estos tres organismos que rigen el tema de preparación de superficie los dos más reconocidos y utilizados como estándar son el SSPC y la NACE.

Descripción	SSPC	NACE	SIS
Limpieza con Solventes	SP-1	—	—
Limpieza Manual	SP-2	—	Si2
Limpieza Mecánica	SP-3	—	Si3
Limpieza con Flama	SP-4	—	—
Limpieza a Metal Blanco	SP-5	No. 1	Sa3
Limpieza Comercial	SP-6	No. 3	Sa2
Limpieza a Ráfaga	SP-7	No. 4	Sa1
Limpieza con Acido (Decapado-Pickling)	SP-8	—	—
Limpieza cercana a Metal Blanco	SP-10	No. 2	Sa2 1/2

Tabla N° 2.7. Equivalencias en preparación de superficie entre normas

La metodología utilizada se basa en la comparación de la superficie tratada con el patrón de la norma, fotografías en el caso de la norma SSPC y transparencias en el caso de la norma SIS.

2.4.3.1. Descripción de Normas de Preparación de Superficie utilizadas en el recubrimiento industrial. Según la Norma SSPC

2.4.3.1.1. SP-1 Limpieza con Solventes:

Este método es usado para remover aceites, grasas y otros contaminantes usando solventes, emulsiones o compuestos limpiadores. No es un método satisfactorio de preparación de superficie, debido a que no remueve óxido, escama de laminación o residuos de recubrimientos.

2.4.3.1.2. SP-2 Limpieza con Herramienta Manual:

Esta se lleva a cabo generalmente para remover y eliminar pintura, óxido y escama de laminación que no estén firmemente adheridos.

2.4.3.1.3. SP-3 Limpieza con Herramienta de Fuerza Mecánica:

La ventaja de usar herramienta de fuerza impulsada con energía eléctrica o neumática, es el avance, comparativamente más rápido que con en la limpieza con herramienta manual.

2.4.3.1.4. SP-5 Limpieza a Metal Blanco

El 100% de la superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido, escama de laminación, recubrimiento viejo o cualquier otro contaminante. El acabado presenta un color gris claro uniforme y variará según el abrasivo usado.

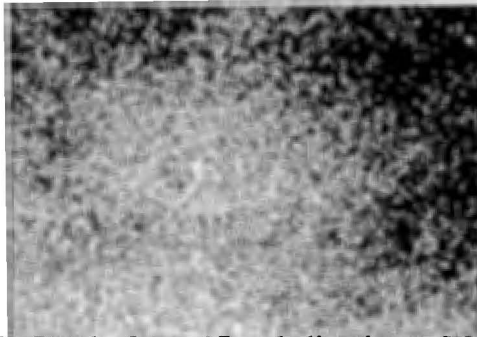


Figura N° 2.20: Patrón fotográfico de limpieza a Metal Blanco

2.4.3.1.5. SP-6 Limpieza Comercial

La superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido, escama de laminación, recubrimiento viejo o cualquier otro contaminante. El acabado presenta ligeras manchas, vetas y decoloraciones en no más del 33%. si la superficie está picada pueden presentarse residuos de óxido y recubrimiento viejo.

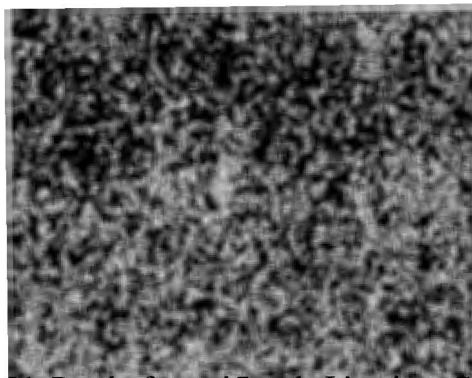


Figura N° 2.21. Patrón fotográfico de Limpieza Comercial

2.4.3.1.6. SP-7 Limpieza Brush Off

La superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido flojo, escama de laminación floja, recubrimiento flojo, excepto que el óxido, escama de laminación y recubrimientos adheridos pueden permanecer en la superficie.

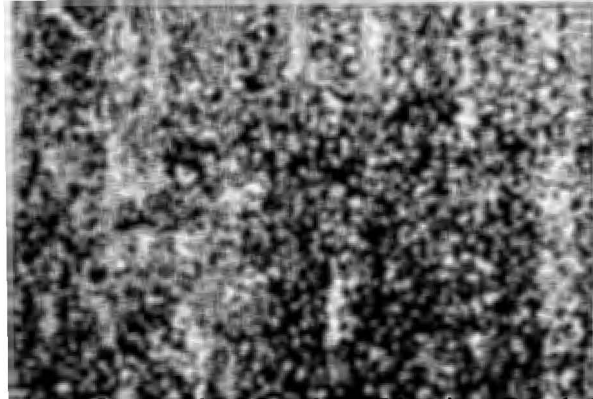


Figura N° 2.22.: Patrón fotográfico Limpieza Brush-Off

2.4.3.1.7. SP-10 Limpieza cerca Metal Blanco

La superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido, escama de laminación, recubrimiento viejo o cualquier otro contaminante. El acabado presenta ligeras manchas, vetas y decoloraciones en no más del 5%.

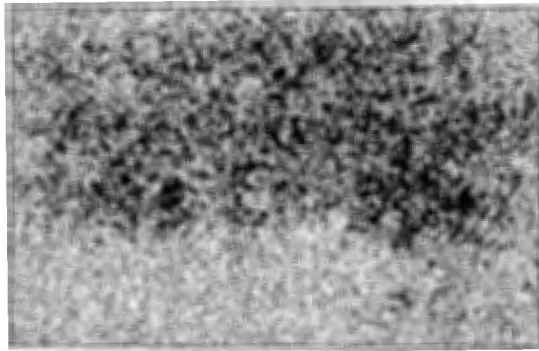


Figura N° 2.23:.. Patrón fotográfico Limpieza cerca Metal Blanco

2.4.3.2. Grados de Oxidación de acuerdo a Norma SSPC y SIS

Grado A Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.

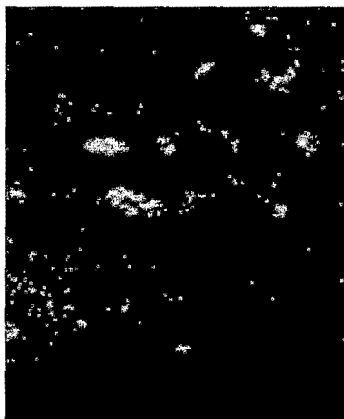


Figura N° 2.24. Patrón de comparación de Oxidación Grado A

Grado B Superficie de acero con principio de corrosión y en la cual la capa de laminación comienza a despegarse.

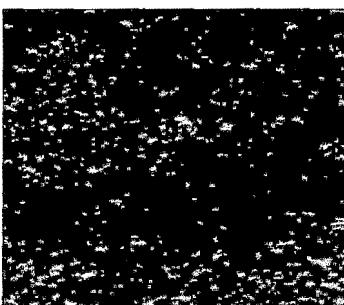


Figura N° 2.25. Patrón de comparación grado de oxidación B

Grado C Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o la capa de laminación puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles.

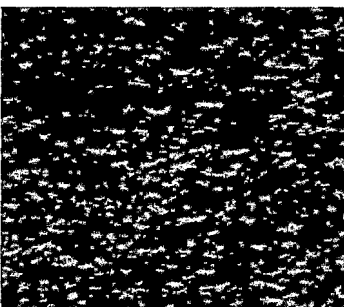


Figura N° 2.26: Patrón de comparación oxidación Grado C

Grado D Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y se han formado en gran escala cavidades visibles.

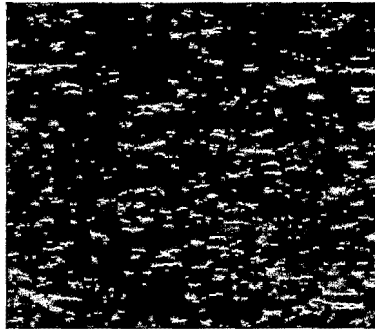


Figura N° 2.27: patrón de comparación oxidación Grado D

2.4.4. Abrasivos

Un abrasivo es el material del cual están conformadas las partículas abrasivas, llamadas “medios”, que tiene como finalidad de actuar en la remoción de material. Los abrasivos, se clasifican en función de su mayor o menor dureza. Para ello se valoran según diversas escalas, la más utilizada de las cuales es la escala de Mohs, establecida en 1820 por el mineralogista alemán Friedrich Mohs.

Normalmente se llama a los diferentes abrasivos como "arena" lo cual en ocasiones complica el suministro e identificación del material. La selección del tipo y tamaño de abrasivo determinará la eficiencia, rapidez y costo del trabajo que se realice.

Para poder elegir mejor el tipo de abrasivo es importante conocer y considerar los siguientes elementos:

- **Tamaño:** El tamaño de las partículas de abrasivo es sumamente importante para lograr un patrón de textura consistente al aplicar el chorro de abrasivo en la superficie. Los fabricantes de abrasivo utilizan varias nomenclaturas y numeraciones para definir el tamaño de sus productos. La medida uniforme entre todas las partículas de abrasivo se convierte en un parámetro de mucha

importancia cuando el fabricante de recubrimientos especifica un perfil determinado para la superficie. Partículas más grandes cortarán demasiado profundo, dejando puntas muy marcadas que probablemente sobresaldrán del recubrimiento, esto favorecería a la oxidación. Para compensar dicha diferencia entre las cavidades más profundas y las puntas más altas, se tendría que aplicar varias capas de recubrimiento, lo que incrementaría el tiempo de trabajo y el costo total.

Las partículas grandes dejan perfiles profundos en las superficies.

Los abrasivos tamaño mediano remueven óxido ligero, pintura floja, y escamas de acero delgadas. Las partículas pequeñas dejan perfiles superficiales y son ideales para el chorreado de abrasivo de metales de poco calibre, madera, plástico, cerámica y otras superficies semi-delicadas, además son muy recomendables para marcar las superficies con algún logotipo que requiere de precisión en el corte del abrasivo.

- **Forma:** Las diferentes formas en los abrasivos ofrecerán diferentes perfiles en la superficie siendo las dos principales configuraciones de los abrasivos la angular y la esférica. Los abrasivos angulares trabajan mejor cuando se trata de desprender capas pesadas de pintura y corrosión. El abrasivo esférico en cambio, es mejor para remover escamas de fabricación y contaminación ligera., también es utilizado para realizar el martilleo (shotpeening) para el relevado de esfuerzos.

- **Densidad:** Es la masa del abrasivo por volumen. Esta es la característica menos determinante que se tiene que tomar en cuenta para realizar un trabajo de “Sand Blast”, a menos que la diferencia de densidades sea muy amplia entre los distintos materiales. En la medida en que el material sea más denso, será mayor la energía con que se impacte contra la superficie.

- **Dureza:** La dureza del abrasivo determinará su efecto sobre la superficie que va a ser tratada. Si el abrasivo es más duro que el sustrato, dejará un perfil sobre la superficie. Si es más suave que la superficie, pero más dura que el recubrimiento, solamente removerá el recubrimiento. Si es más suave que el recubrimiento, solamente limpiará la contaminación de la superficie sin remover el recubrimiento. La dureza del abrasivo está medida en la escala de Mohs siendo 1

tan suave como talco y 15 materiales tan duros como el diamante. Los abrasivos del tipo de carburo de boro, carburo de silicio y óxido de aluminio, estarán dentro del rango 10 al 13.

- **Fragilidad:** Con fragilidad nos referimos a la tendencia del abrasivo a fragmentarse en partículas más pequeñas como consecuencia del impacto, mientras más frágil sea el abrasivo, menos veces puede ser reutilizado y más polvo generará. La arena sílice es extremadamente frágil debido a su composición de cuarzo y nunca debe ser reutilizada. En el primer uso, más del 70% de la arena se convierte en polvo desprendiendo peligrosas partículas de sílice, la gente expuesta al polvo de sílice, puede contraer una enfermedad llamada silicosis. La mayoría de los abrasivos fabricados y derivados de un producto, pueden ser reciclados varias veces, al igual que algunos abrasivos naturales como el granate y el pedernal. La escoria de cobre y níquel se fractura en partículas más pequeñas que pueden ser reutilizadas. La granalla de acero puede ser efectivamente reciclada unas 200 veces o más.

Muchas variables afectan el rehusó que se dé al abrasivo, dentro de éstas están: la presión de aire, dureza de la superficie y la eficiencia del equipo para sopleteo con chorro abrasivo.

2.4.4.1. Tipos de abrasivos.

2.4.4.1.1. Arena Silica

Este abrasivo de bajo costo, se utiliza principalmente cuando se realizan trabajos en exteriores, ya que su precio es más económico y su uso no puede ser mayor a dos veces; en el primer uso, más del 70% de la arena se convierte en polvo desprendiendo peligrosas partículas de sílice, su avance es mediano y le proporciona un acabado mate, es importante considerar que su fragilidad es muy alta por lo que es uno de los abrasivos que más polvo genera. Este abrasivo tiene un alto contenido de sílice por lo que puede presentar riesgos a la salud de los trabajadores y debe de utilizarse bajo estrictas medidas de seguridad y siempre

con el equipo de protección para el operador ya que puede producirle daños tan severos como la muerte.

2.4.4.1.2. Óxido de Aluminio.

Este abrasivo angular es uno de los más populares en el mercado debido a su rapidez en la limpieza, además de la profundidad en su corte y aceptable tasa de reutilización.

Su principal característica es la velocidad de limpieza y/o preparación de superficies para aplicar recubrimientos, además, proporciona un excelente anclaje en las superficies lo cual es un requisito en la aplicación de recubrimientos. Con una adecuada regulación de la presión y elección del tamaño de grano se pueden obtener diferentes resultados, que van desde la limpieza de materiales fuertemente adheridos a las superficies, hasta el grabado en vidrio, cerámica, resinas y otros materiales.

La generación de polvo del óxido de aluminio es baja y es ampliamente recomendable para cabinas y sistemas presurizados en cuarto ya que puede llegar a tener una reutilización de 10 hasta 25 ocasiones.

2.4.4.1.3 Carburo de Silicio.

Es el abrasivo más duro, afilado y costoso en el mercado. Está clasificado como 13 en la escala de Mohs', haciéndolo ideal cuando se requiere un corte fino, pero profundo, al igual que para remover residuos tratados con calor de partes endurecidas. Este abrasivo tiene también un buen número de re-usos, ya que cuando las partículas se estrellan sobre la superficie y se fragmentan en partículas más pequeñas no pierden su filo, por lo que siguen teniendo una buena acción de corte a pesar de reducir su tamaño.

El carburo de silicio es principalmente preferido por aquellos usuarios del chorreado de abrasivos que requieren una limpieza rápida con un buen anclaje y sin contaminación ferrosa, ya que debido a su alta dureza, el carburo de silicio limpia mucho más rápido que cualquier otro abrasivo del mercado, esta rapidez en el trabajo es de gran ayuda cuando se realizan grabados sobre cerámica, vidrio y madera, ya que permite un corte más profundo con menos tiempo de exposición del chorro sobre la mascarilla.

2.4.4.1.4. Micro esferas de vidrio.

Este abrasivo esférico también conocido como micro esfera de vidrio es particularmente útil para proporcionar acabado sobre superficies metálicas como aluminio y acero inoxidable dejando un acabado satinado. Cuando los requerimientos de mantenimiento exijan la limpieza de las piezas sin atacar violentamente la superficie, se recomienda emplear perla de vidrio ya que el impacto de la micro esfera sobre la superficie no desgasta significativamente el material, cualidad que la hace inadecuada si se va a pintar la pieza posteriormente. La generación de polvo es baja, al igual que su velocidad de limpieza y puede reciclarse de 10 a 15 veces. La duración promedio de una boquilla con inserto de carburo de tungsteno es de 320 – 640 horas de trabajo.

2.4.4.1.5. Escoria de Cobre.

Este abrasivo también conocido como "abrasivo negro" o "abrasivo ecológico" se obtiene principalmente de 2 fuentes: la fundición de metal (cobre y níquel) y de las calderas para generar poder eléctrico (carbón). La escoria de cobre ha aumentado su demanda debido a su capacidad de limpieza, disponibilidad, bajo contenido de sílice (menos del 1%), gran rango de medidas y su relativo bajo costo. Sus partículas duras y angulares le otorgan gran velocidad y capacidad de corte, haciéndola perfecta para una gran cantidad de usos. En algunas aplicaciones, quizá sea necesario reducir la presión del aire para evitar que las

partículas de la escoria de cobre se inserten en el acero. La principal desventaja al usar escoria de cobre es su alta fragilidad, debido a la cual genera gran cantidad de polvo y limita su rehusó, además de que la escoria debe ser revisada de estar libre de contaminantes antes de comenzar a usarla. Este abrasivo es hoy por hoy el más utilizado en las obras de preparación de superficie en campo, debido a que es posible reutilizarlo y por su bajo costo, además que no es un abrasivo tan peligroso como la arena para el operador.

2.4.4.1.6. Granalla de Acero.

Este abrasivo se encuentra en dos presentaciones: angular y esférica. La esférica se usa regularmente en las máquinas granalladoras y tiene un ataque menos violento sobre la superficie, la aplicación de la granalla esférica sobre estructuras metálicas, ayuda a mejorar la resistencia a la fatiga de las piezas, este proceso es conocido como shotpeening o martilleo. La granalla angular la encontramos más frecuentemente en los equipos de “Sand Blast” y debido a su peso y dureza. Pues es considerado el abrasivo más pesado, es magnífico para realizar preparación de superficies en aplicación de recubrimientos ya que deja un anclaje muy profundo.

Es importante contemplar que si se trabaja con granalla de acero angular sobre materiales que no vayan a ser recubiertos, algunas partículas pueden incrustarse sobre la superficie lo cual generará brotes de oxidación en el futuro. La granalla de acero es el abrasivo que más se utiliza para hacer limpiezas para preparación de superficie ya que otra ventaja del gran peso de su partícula es la baja generación de polvo y como ya se ha mencionado su anclaje profundo es ideal para la aplicación de recubrimientos de alta tecnología. Puede ser reutilizada 40 y en algunos casos hasta 200 veces. La duración de una boquilla con inserto de carburo de tungsteno con granalla, varía de entre 500 – 800 horas de trabajo.

2.4.4.1.7. Media plástica.

Este abrasivo de bajo impacto está fabricado de resinas plásticas que pueden ser de plástico reciclado o manufacturado específicamente para el chorreo de abrasivos, tiene una dureza entre 3 y 4 en la escala de Mohs.

Fue hecho originalmente para la remoción de recubrimientos en armazones de aviones y componentes de naves espaciales tiene la particularidad de remover cualquier recubrimiento de casi cualquier producto ya que la partícula de plástico es más dura que el recubrimiento pero más suave que las superficies y puede limpiar sin dañar superficies delicadas como aluminio, latón, cobre, magnesio, acero delgado y titanio.

Sus principales aplicaciones son en la limpieza de maquinaria industrial, troqueles, moldes exteriores de aluminio, acero, fibra de vidrio, equipo de apoyo especial, sistemas de armas, paneles plásticos, cascos de embarcaciones marinas, etc.

2.4.4.1.8. Bicarbonato de Sodio (soda blast).

El bicarbonato de sodio se convierte en una excelente opción cuando se requiere limpiar recubrimientos, pinturas, contaminación, grasa, oxidación, grafiti, etc. en superficies de ladrillo, concreto, mármol, cantera, madera, polímeros, fibra de vidrio, aluminio, acero, etc.

Este abrasivo es sumamente útil para las empresas dedicadas al mantenimiento de edificios históricos, monumentos, esculturas de mármol ya que el daño sobre la superficie es casi inexistente y el desecho es soluble al agua. Su uso se recomienda básicamente en equipos especialmente diseñados para manejo de bicarbonato de sodio ya que se requieren condiciones especiales para el correcto flujo del abrasivo.

2.4.4.1.9. Abrasivos Agrícolas.

Existe una gran variedad de abrasivos agrícolas. La “cáscara de nuez” y el “olote de maíz” se encuentran dentro los más populares. Estos abrasivos agrícolas son ligeros y suaves, y si son utilizados con el equipo, la técnica y la atención adecuada pueden remover pintura de la madera, plástico, metales de calibre ligero y otras superficies duras. Este tipo de abrasivo es utilizado para limpiar motores eléctricos sin dañar la lámina y los cables aislados.

Sin embargo su uso no es muy común y frecuentemente existen problemas para tener un suministro adecuado.

2.5. Recubrimientos Industriales.

Recubrimiento o revestimiento (o por su designación en inglés: coating) es un material que es depositado sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar alguna(s) propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como aspecto, adhesión, características de mojado, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, y resistencia a las rayaduras entre muchas otras.

2.5.1. Recubrimientos Tipo Barrera

La tendencia de los metales y en general de los materiales usados por la ingeniería a corroerse debemos reconocerla como un hecho natural y como tal inevitable. La labor del ingeniero de mantenimiento es controlar este efecto destructivo con la mayor economía posible. Dentro de los métodos que existen para controlar el proceso corrosión, hemos concluido que el procedimiento de la barrera, en el cual también se encuentran incluidas las pinturas, es el método más económico, versátil y generalizado que podemos utilizar.

El procedimiento de barrera consiste, en términos generales, en aislar la superficie del Ambiente y de los agentes corrosivos mediante una barrera

impermeable. Específicamente significa revestirla con una pintura o con algún recubrimiento. Estos materiales son responsables de la protección de la vasta mayoría de superficies metálicas, de madera, de concreto, en prácticamente todas las plantas industriales. Como tales son las principales armas de que se dispone para combatir el proceso corrosivo y son, por consiguiente, un ítem importante dentro del mantenimiento general de una industria.

2.5.2. Características del desarrollo de los Recubrimientos Barrera.

Desde una perspectiva histórica, cinco aspectos son fundamentales desde el punto de vista de la investigación y desarrollo, en la evolución de los revestimientos barrera:

- Concretar el desarrollo de nuevos productos con el fin de obtener materiales poliméricos solubles en agua que proporcionen películas de alta resistencia, es uno de los fines de las investigaciones relacionadas con la pintura.
- Determinar los pigmentos más convenientes a fin de lograr el máximo poder cubritivo y resistencia de la película a agentes de deterioro (ambiental y/o biológico).
- Determinar los aditivos más convenientes a fin de lograr la optimización del empleo de espesantes, antisedimentantes, protectores contra la coagulación, influencia sobre el nivelado y/o brillo de la película, etc.
- Lograr la máxima resistencia a la acción de micro organismos tanto en el envase como en la película, en este último caso cuando la misma esté sometida a la acción de elevada humedad y temperatura en forma conjunta.
- Implementar y poner a punto ensayos de laboratorio que emplean técnicas electroquímicas y electro analíticas reproducibles, destructivas o no, mediante la comparación y complementación de sus resultados con los obtenidos en ensayos de campaña, mecánicos, ópticos, etc.; con el objeto de alcanzar los fines propuestos.

Cada uno de ellas tiene una propiedad básica en común con las demás, es decir que se aplican como líquidos que luego se transforman en películas sólidas y continuas. Existen recubrimientos de varios grados de viscosidad, varios grados de contenido sólidos de varias maneras para transformar estos fluidos en sólidos: Estos procedimientos pueden ser oxidativos, evaporativos, catalizados, secados a alta temperatura, por radiación, etc. Unos secan rápido, otros secan más lento, otros no endurecen nunca, permaneciendo adherentes y plásticos. A pesar de todas estas diferencias, no obstante todos los revestimientos protectores y pinturas tienen algo en común que es el formador de película. En la mayoría de los casos se trata de un material de carácter resinoso, capaz de aglutinar partículas minerales y materiales colorantes. Esta película debe ser suficientemente coherente y poseer una excelente adherencia a la base. El formador de película (aglutinante, binder o resina) debe necesariamente encontrarse en estado de líquido al aplicar el revestimiento y ello se logra agregando un elemento solvente. El conjunto se denomina vehículo que se subdivide de acuerdo con lo expuesto, en vehículo sólido o no volátil, también llamado resina, y el vehículo volátil, también llamado solvente. El vehículo se transforma en sólido por varios mecanismos, la primera posibilidad es la evaporación del solvente, quedando como residuo el vehículo sólido seco.

2.5.3. Tipos de Recubrimiento

Los distintos tipos de recubrimientos utilizados para la protección de superficies podemos clasificarlos como sigue:

2.5.3.1. Uso Decorativo:

Utilizado sólo para lograr un efecto estético.

2.5.3.2. Uso como Protector: El material cumple el objetivo de proteger las superficies del ataque del ambiente sin importar el efecto estético.

2.5.3.3. Uso Mixto:

Cuando se requiere primeramente un efecto protector pero también es necesario un efecto estético.

2.5.4. Clasificación de los Recubrimientos.

Por otra parte, pueden clasificarse también conforme con su naturaleza en:

2.5.4.1. Recubrimientos Metálicos

Un metal atacable por el medio ambiente es recubierto por un metal resistente. El objetivo es generalmente mixto como decorativo y agente protector. Los recubrimientos metálicos más utilizados son dorado - plateado - cromado, principalmente como decorativo (ej.: Joyería de fantasía, menaje o decoración en automóviles) y estañado, niquelado, cadmiado y forrado con acero inoxidable, con un objetivo netamente protector (ej.: estañado de hojalata, niquelado de piezas de máquina, cadmiado de pernos, forros de silos, etc). La aplicación de estos metales puede ser por inmersión o por vía electrolítica en la mayoría de los casos, a excepción de forros de acero inoxidable que deben aplicarse por procedimientos de calderería.

2.5.4.2. Recubrimientos Cerámicos

Recubrimientos de naturaleza cerámica se utilizan por lo general con un objetivo claramente protector aunque puede en algunos casos cumplir un efecto también decorativo. Entre los recubrimientos cerámicos podemos destacar: Sobre hormigón o concreto en general, los embaldosados y azulejos y los recubrimientos con ladrillos, ya sea antiácidos o refractarios. Las aplicaciones más típicas son los pisos industriales y los interiores de estanques de hormigón.

Todos estos recubrimientos tienen su punto débil en la gran cantidad de uniones entre los distintos elementos y que son la mayor causa de fallas.

Sobre metales los recubrimientos de tipo cerámicos más utilizados son el vitrificado, el esmaltado y el enlozado. Estos recubrimientos se aplican sobre el metal precalentado y deben luego fundirse en un horno a alta temperatura.

Ejemplos características son: tinas de baño (esmaltado), menaje de casa, ollas, jarros, etc. (enlozado) y estanques o reactores para la industria química (vitrificado).

2.5.4.3. Recubrimientos Sintéticos

Con el progreso de la química se han desarrollado una variedad de productos químicos que tienen su aplicación en la protección de elementos, ya sea solos o también con elementos reforzantes, tales como fibra de vidrio o tramas sintéticas, p. Ej. Nylon. Dentro de los materiales más conocidos en este aspecto pueden citarse: forros de PVC (Cloruro de polivinilo), Poliester, Polietileno, Teflón, Siliconas o forros con gomas y Elastómeros como Caucho, Ebonita, Neopreno, Poliuretano, etc. La variedad de productos disponibles es muy grande.

2.5.4.4. Recubrimientos Pintura

Dentro del grupo de los recubrimientos barrera se encuentran también las pinturas y que es precisamente el tema en estudio.

2.5.5. Pinturas

Podemos definir una pintura como una composición líquida coloreada, que al ser aplicada sobre una superficie forma al cabo de un tiempo una película continua, de cualidades protectoras.

Con el nombre genérico de pintura se engloban una serie de productos de distinta naturaleza, y cada uno de ellos con objetivos muy particulares, cuya misión principal es la de proteger un substrato de los agentes agresivos que la rodean y al mismo tiempo decorar.

Las pinturas y en general los recubrimientos protectores modernos son producto de un desarrollo paulatino a través de los años. Desde siempre el hombre ha estado en alguna medida relacionado con la pintura. Inicialmente para satisfacer inquietudes artísticas, y más adelante para proteger las obras creadas por la acción del medio ambiente. Al comienzo las pinturas fueron fabricadas por artistas y por ello su fabricación fue por muchos años un arte. De hecho las recetas pasaban de padre a hijo o de maestro a discípulo dentro del mayor secreto. Con el desarrollo industrial entre los siglos XVIII y XIX la pintura comenzó a tener importancia comercial. Todos los ingredientes seguían siendo los mismos y las recetas iguales a las que usaban los artistas. Ellos poseían una cierta cualidad protectora pero su efectividad era limitada en el tiempo.

Al venir el siglo XX el desarrollo industrial empezó a tornarse más vertiginoso y empezó a exigir mejores productos y establecer mayores demandas hacia la calidad de los revestimientos. Comenzó entonces la investigación por parte de la ciencia, de modo de conseguir un mejoramiento de los materiales tradicionales.

Durante los últimos 30 ó 40 años el desarrollo científico virtualmente ha revolucionado la fabricación de pinturas. Hoy se consiguen productos extremadamente resistentes contra prácticamente cualquier agente químico y bajo cualquier condición de corrosión. Estos recubrimientos protectores se distinguen de las pinturas tradicionales cuyo objetivo era eminentemente decorativo, en que se han convertido en valiosas herramientas de la ingeniería moderna. El uso de estos recubrimientos protectores, de alta resistencia y más eficientes, ha hecho posible emplear estructuras de acero más económicas en ambientes químicos, las cuales antiguamente no habrían tenido ninguna posibilidad de vida prolongada. Por otra parte ahorran en la actualidad miles de millones de dólares en pérdidas de materiales por corrosión.

Al mismo tiempo se empiezan a utilizar pigmentos naturales y algunos artificiales. Vehículos como colas, vegetales, animales, etc., hasta llegar al aceite

de linaza, con cuya cocción se consigue el primer vehículo con características de resistencia, cubrición y decoración.

Sin la participación de la pintura no se explicaría hoy el vertiginoso desarrollo de industrias tales como el transporte, la petroquímica, la cibernética, la astronáutica, maquinaria, armamento, envasado y otras muchas de mayor o menor importancia ; pero de cualquier modo, fundamentales en nuestra sociedad. En todos estos campos la pintura ha jugado un papel indiscutible y de suma importancia.

Desde comienzos de la Revolución Industrial, a mediados del siglo XIX, y con la aparición del hierro y el acero en la vida del hombre, empieza un desarrollo importante de la pintura, donde no se sabe muy bien si es la siderurgia la que obliga a descubrir nuevas técnicas en recubrimientos y protección, o son éstas las que hacen posible el desarrollo de aquélla. Y todo esto ocurre porque es necesario frenar a la naturaleza, al menos durante un cierto tiempo. De todos es sabido que la naturaleza es una fuente de energía donde se aplican principios fundamentales de las matemáticas, la física y la química, como son los principios de la conservación de la materia y la energía, las leyes dinámicas de Newton, los principios de la termodinámica, los del equilibrio químico, etc. De tal forma que todos los elementos están dispuestos para que al final del proceso se encuentren en su estado menos energético. Más estable. Este es un proceso inexorable que hay que vencer para alargar la vida de los elementos que utilizamos a diario.

Para lograr esto, unos de los medios utilizados es interponer una barrera protectora, la pintura, entre el elemento y el medio que le rodea, ya que de lo contrario se va destruyendo aquél.

Se puede concluir que, la pintura contribuye muy decisivamente a prolongar la vida del elemento pintado, al mismo tiempo que lo embellece.

2.5.5.1. Clasificación Genérica de las Pintura

Para poder entrar a estudiar las pinturas es necesario encontrar una forma para clasificarlas.

Se ofrecen las siguientes posibilidades de clasificación:

2.5.5.1.1. Por color:

Podemos hablar de pinturas rojas, amarillas, verdes, blancas, negras, etc.

2.5.5.1.2 Por uso:

Podemos hablar de pinturas industriales, pinturas de uso doméstico, pinturas para hierro, pinturas para madera , etc.

2.5.5.1.3 Por acabado:

Podemos definir pinturas brillantes, semibrillantes, mates (sin brillo) texturadas, etc.

2.5.5.1.4. Por precio:

Pinturas, caras, baratas, de costo mediano.

2.5.5.1.5. Por Composición genérica del Formador de Película:

A nuestro modo de ver la clasificación por la composición genérica del formador de película , es la forma más adecuada para entrar a estudiar las pinturas, ya que conociendo el formador de película, se conoce lo que podría llamarse “el apellido de la pintura” y con ello sus características, en cambio las otras definiciones nombradas constituyen solamente “cualidades” y no dan mayores indicaciones sobre su composición y/o características.

2.5.5.2. Composición de las Pinturas

Existen en la actualidad cientos de tipos de revestimientos protectores y pinturas y muchas variedades en cada tipo.

Cada uno de ellas tiene una propiedad básica en común con las demás, es decir que se aplican como líquidos que luego se transforman en películas sólidas y continuas. Existen recubrimientos de varios grados de viscosidad, varios grados de contenido sólidos de varias maneras para transformar estos fluidos en sólidos: Estos procedimientos pueden ser oxidativos, evaporativos, catalizados, secados a alta temperatura, por radiación, etc.

Unos secan rápido, otros secan más lento, otros no endurecen nunca, permaneciendo adherentes y plásticos.

A pesar de todas estas diferencias, no obstante todos los revestimientos protectores y pinturas tienen algo en común que es el formador de película. En la mayoría de los casos se trata de un material de carácter resinoso, capaz de aglutinar partículas minerales y materiales colorantes.

<i>PINTURA</i>	PIGMENTOS	COLORANTES REFORZANTES QUÍMICOS
	VEHÍCULOS	NO VOLÁTIL (FORMADOR DE PELÍCULA) VOLÁTIL (SOLVENTES)
	ADITIVOS	PLASTIFICANTES SECANTES HUMECTANTES DISPERSANTES TIXOTROIZANTES ACELERANTES ABRILLANTADORES ANTIFLUOCULANTES ANTINATA ANTIESTÁTICOS ANTIOXIDANTES ETC.

Tabla N° 2.8: Composición de las Pinturas Industriales

Se distinguen en la tabla 12 tres grupos de productos, cuales son los PIGMENTOS, subdivididos en pigmentos colorantes y pigmentos reforzantes, también llamado extendedores y rellenos. Existen pigmentos con actividad química, p. ej.: los tóxicos.

Después tenemos el VEHÍCULO que está formado por el vehículo no volátil o formador de película y el vehículo volátil que son los solventes o diluyentes.

El tercer grupo está constituido por los ADITIVOS, y son aquellos productos que modifican en cierta medida las propiedades del formador de película, con el propósito de lograr ciertas cualidades específicas o ajustar sus características a los requerimientos.

2.5.5.2.1. Vehículos

El vehículo está formado por una parte volátil (solventes) y una parte no volátil (formador de película). Esta película formada por el vehículo debe ser suficientemente coherente y poseer una excelente adherencia a la base. El formador de película (aglutinante, binder o resina) debe necesariamente encontrarse en estado de líquido al aplicar el revestimiento y ello se logra agregando un elemento solvente. El conjunto se denomina VEHÍCULO, que se subdivide de acuerdo con lo expuesto, en vehículo sólido o no volátil, también llamado resina, y el vehículo volátil, también llamado solvente. El vehículo se transforma en sólido por varios mecanismos, la primera posibilidad es la evaporación del solvente, quedando como residuo el vehículo sólido seco.

Otras posibilidades se basan en reacción química, en que el secado o el endurecimiento se produce sin pérdida de material volátil, otros se producen por sobre posición de ambos sistemas, otros materiales requieren de alta temperatura en un horno para endurecer y desarrollar sus propiedades.

2.5.5.2.2. Pigmentos

Los pigmentos son productos químicos que pueden ser de origen natural o sintético que presentan las siguientes propiedades:

- Poder cubriente
- Color
- Retención de color
- Tamaño y forma de partícula
- Capacidad de humectación
- Absorción de aceite
- Reactividad química
- Estabilidad a la luz
- Resistencia al calor
- Fluorescencia
- Índice de reflexión

Los pigmentos se dividen en pigmentos básicos o colorantes que otorgan el color y la capacidad de obliteración a una pintura y los pigmentos llamados reforzantes. También se llaman extendedores o rellenos. Estos son generalmente minerales del tipo de Caolin, Talco, Barita, Carbonato de Calcio, Feldespatos, etc., que se agregan a la película con el doble propósito de reforzar la capa (en forma similar a la grava en un hormigón) y también para rebajar en cierta medida los costos.

El efecto reforzante de un pigmento adecuado puede verse claramente, por ejemplo, en el caso de la mica. La mica con su estructura laminar aumenta notoriamente la impermeabilidad de la capa de pintura aumentando con ello la vida de la protección anticorrosiva.

2.5.5.2.3. Los Aditivos

Son productos químicos que se agregan en pequeña proporción a la pintura, con el objeto de modificar sus propiedades y ajustarla a los requerimientos. Dentro de los aditivos más importantes se encuentran los siguientes:

a) Plastificantes:

Son aquellos que modifican la elasticidad y la plasticidad de la película, quitándole su rigidez. Generalmente son aceites o materiales similares.

b) Secantes:

Son catalizadores del proceso oxidativo en las pinturas alquídicas o alquídica modificada. El secante facilita la absorción del oxígeno y acelera con ello el proceso de secado. Hay algunos secantes que actúan en la superficie y otros que actúan en la masa de la pintura.

c) Humectantes y Dispersantes:

Son productos de la familia de los tensoactivos, es decir materiales que introducen pequeñas cargas eléctricas al sistema y facilitan con ello el proceso de humectación y en consecuencia la dispersión del pigmento en la resina.

Cabe señalar que este proceso constituye una etapa difícil dentro del proceso de fabricación de la pintura porque es necesario “mojar” una partícula que por naturaleza es de característica hidrófila y por lo tanto el dispersante actúa como agente de enlace.

d) Tixotropizantes:

Se define la tixotropía de una pintura como la propiedad de formar una viscosidad falsa, es decir, formar un cuerpo gelificado que se destruye fácilmente al agitarlo. Con ello se puede aplicar la pintura en capas gruesas sin temor a que ésta se descuelgue en superficies verticales.

Los tixotropizantes tienen su importancia además en el hecho que impiden la sedimentación de los pigmentos durante un almacenamiento prolongado de la pintura.

e) Acelerantes:

Son aditivos que catalizan una reacción química dándole mayor rapidez

f) Abrillantadores:

Estos mejoran el brillo de la superficie.

g) Antifloculantes o Antiaglomerantes:

Son aditivos cuya importancia está en que las partículas pigmentarias que se han dispersado en la resina durante el proceso de fabricación, no vuelvan a reaglomerarse, lo cual causaría manchas en el acabado.

h) Antipiel:

Son solventes de evaporación muy lenta, cuyo objetivo es evitar que se produzca la formación de piel dentro del tarro durante el período de almacenamiento.

i) Antiestáticos:

Evitan la acumulación de electricidad estática y con ello que por ejemplo se pegue al polvo de la superficie pintada.

j) Antioxidantes:

Aditivos antioxidantes hay de dos tipos:

- Unos cuyo objetivo es prevenir que se oxide el envase de hojalata utilizado para almacenar la pintura.
- El otro tipo de antioxidante evita que la pintura misma sufra un proceso de oxidación por efecto de la intemperie y pierda sus propiedades protectoras.

2.5.5.3. Clasificación de las Pinturas Industriales en base a la resina utilizada

Clasificando las pinturas con base en el concepto de la Composición básica del formador de película o resina”, se tiene la siguiente tabla:

SECAMIENTO EVAPORATIVO PURO	ACRÍLICOS MIOXOLINAS (BOCCOS) CALCHO CICLIZADO CALCHO CLORADO VINÍLICOS GOMA LACA BITUMENES
SECAMIENTO EVAPORATIVO MÁS OXIDACIÓN	ÓLEOS ALQUÍDICOS PUROS ALQUÍDICOS MODIFICADOS CON: FENOLCO SILICONAS EXPOXY-ESTERES
SECAMIENTO EVAPORATIVO MÁS REACCIÓN QUÍMICA	EPÓXICOS POLIURETANOS POLIESTERES SILICONAS HÓRNOS FENOL-FORMALDEHÍDO MELAMINA-FORMALDE- HÍDO-UREA FORMALDEHÍDO ACRÍLICOS EPOXY FENOLOLIS INORGÁNICOS
SECAMIENTO EVAPORATIVO	EMULSIONES (LATEX) ACRÍLICA VINÍLICAS BUTADIENO- ESTIRENO EMULSIONES ASPÁLTICAS
PINTA BASA POLVO	EPÓXICOS POLIESTERES

Tabla N° 2.9: clasificación de las pinturas en base a la resina

Esta tabla nos lleva a analizar más detenidamente el formador de película.

El formador de película o más propiamente llamado resina, es un producto químico que puede ser de origen natural o sintético, que es capaz de aglutinar o ligar las partículas de pigmento y es capaz de transformarse por alguno de los mecanismos indicados en una película (film) continua.

La resina constituye en sí misma el elemento más importante dentro de la pintura por cuanto las características propias de ella se reflejan fielmente en la pintura que con ellas se fabrique. En la práctica le da el “apellido” a la pintura.

Las cualidades y características que identifican a cada una de las innumerables resinas que se encuentran en la actualidad son los siguientes:

Cualidades Primarias

1. Naturaleza química
2. Solubilidad
3. Mecanismos de formación de película
4. Polaridad (adherencia a la superficie)
5. Resistencia química
6. Dureza y elasticidad

Cualidades Secundarias

7. Resistencia a temperatura
8. Resistencia a radiación UV
9. Resistencia a la luz
10. Combustibilidad
11. Retención de brillo
12. Resistencia a los solventes

13. Compatibilidad

Cada resina tiene sus cualidades que le son propias y características que la identifican.

2.5.5.3.1. Grupo secamiento evaporativo

Son pinturas en que la película se forma por evaporación del solvente y no hay procesos químicos involucrados.

La principal característica de este grupo es que las pinturas son de tipo reversible, es decir, se redisuelven con facilidad en presencia de solventes y habitualmente presentan una notoria retención de solventes, demorándose por este motivo el producto aplicado un tiempo prolongado en adquirir sus características finales. El secamiento es esencialmente dependiente de la temperatura.

Los productos de este grupo y sus aplicaciones principales son:

- **Acrílicos:** Pintado de automóviles, excelente resistencia a la intemperie.
- **Nitrocelulosa:** (Piroxilina o Ducos) Pintado de automóviles y lacado de muebles.
- **Caucho Ciclizado:** Esmaltes de gran brillo para baños y cocinas.
- **Caucho Clorado:** Esmaltes de uso industrial amplio por su excelente resistencia química y baja permeabilidad al agua.
- **Vinílicos:** Esmaltes de uso industrial amplio por su excelente resistencia química. Especialmente adecuados para interiores de estanques de agua potable y ambientes de gran agresividad.
- **Goma Laca – Resina Copal:** Dos productos de origen natural utilizado principalmente para barnices y lacado de muebles económicos.
- **Bitúmenes Brea-Asfalto:** Protección de elementos contra la acción del agua en todas aquellas áreas en que el aspecto estético no tiene importancia (color negro).

2.5.5.3.2. Grupos Secamiento Evaporativo más Oxidación

Son pinturas de amplio uso cuya característica principal es la necesidad de absorber oxígeno del aire para que se forme la película.

Esta absorción de oxígeno se regula mediante los aditivos secantes. Son en general películas de excelente adherencia, irreversibles, aunque en alguna medida sensible a los solventes fuertes. Su resistencia química es baja.

Todo este grupo tiene su origen en aceites naturales que pueden ser de tipo secante como p.ej.: linaza, soya, maravilla, atún, pescado, o de tipo no secante como p.ej.: aceite de resina, aceite de coco y otros.

a) Óleos:

Son pinturas de amplio uso a nivel doméstico en baños y cocinas, puertas, ventanas, etc. Fundamentalmente están constituidas de aceite secante, pigmento y solvente.

b) Alquídicos:

Los esmaltes alquídicos se fabrican con las llamadas resinas alquídicas o alquidales, que son cuerpos resinosos obtenidos en la base a un proceso químico de aceites naturales. Su nombre deriva del aceite que le dio origen (alquídicos de soya, maravilla, linaza, pescado, etc.)

Las resinas alquídicas fueron las primeras en desarrollarse y constituyen la base de los “elementos sintéticos” que se venden en el comercio. En el transcurso de los últimos 40 años ellos en la práctica han desplazado a los óleos en el mantenimiento industrial, debido a su secamiento más acelerado, mayor dureza, mejor retención de brillo y mejor resistencia al agua.

Los alquídicos tienen en general buena resistencia a la humedad y al contacto intermitente con agua p.ej. lluvia y dan suficiente protección en ambientes químicos moderados.

Su resistencia a solventes es regular.

b. 1) Alquidico Reforzado:

Teniendo presente que los alquídicos puros tienen algunas limitaciones, se ha ensayado con buenos resultados el reforzamiento de la película con otras resinas. Con ello se han obtenido pinturas de muchas mejores características y valores de resistencia.

b. 2) Alquidico Fenólico:

De alto brillo y apto para ambientes de mucha humedad.

b. 3) Alquidico Vinílico:

De buena resistencia a la intemperie. Uso en exteriores de estanques de almacenamiento.

b.4) Alquidico Uretano:

Producto duro de excelente brillo y resistencia a la abrasión. Apto para determinaciones de gran estética.

b. 5) Alquidico Caucho Clorado:

Pintura de buena impermeabilidad. Apta para inmersión permanente en agua de baja agresividad.

b. 6) Alquidico Silicona:

Pintura impermeable de larga duración a la intemperie y gran resistencia a la radiación. Por ejemplo apto para superestructuras de barcos.

2.5.5.3.3. Grupo Secamiento Evaporativo más Reacción Química

Los productos de este grupo se caracterizan porque una vez que se han evaporado los solventes, tiene lugar una reacción química entre los componentes (Cross-Linking) que conforman entonces la película. Las características propias

de la pintura no se consolidan mientras esta reacción química no haya tenido lugar o respectivamente no se ha completado.

Dentro de este grupo deben distinguirse dos subgrupos:

i). Reacción a Temperatura Ambiente

En este caso el producto debe suministrarse en dos componentes separados que deben unirse y mezclarse íntimamente antes de aplicarlos.

Una vez mezclados, se inicia la reacción química que es irreversible. Por ello se habla de un período de vida útil o “pot life” pasado el cual los productos pierden sus propiedades y deben descartarse. Típicos ejemplos para este grupo son las pinturas epóxicas los poliuretanos y los poliésteres no saturados.

ii). Reacción a Temperatura Alta

Aquí los componentes requieren de alta temperatura (agregado de energía) para reaccionar (80 hasta 220 °C) siendo estables a temperatura ambiente. Por ello es posible entregar los componentes mezclados y no es aplicable el concepto de POT LIFE.

Una vez aplicados y evaporados los solventes, las piezas pintadas se someten a alta temperatura en un horno por un tiempo preestablecido, produciéndose la reacción química o “fraguado” y adquiriendo recién en esos momentos la capada de pintura todas sus cualidades.

Ejemplos típicos de este subgrupo son las pinturas en base a fenol-formaldehído, melamina y urea-formaldehído, el acrílico horneable y los barnices y esmaltes epoxy-fenólicos y epoxy-urea.

a. Pinturas Epoxicas

Las pinturas epóxicas son probablemente los recubrimientos protectores más utilizados a nivel industrial. Son productos de dos componentes que deben mezclarse antes de su uso.

Dentro de este contexto puede establecerse que existen no más de 10 tipos de resina epóxica y una variedad muy grande de agentes curantes y endurecedores.

Las propiedades del producto final varían enormemente y dependen principalmente del agente curante.

Según el curante que se use, la película de pintura puede ser más o menos resistente al agua, a la temperatura, a los álcalis y ácido, a los solventes, a la abrasión, etc.

El agente curante más ampliamente usado es la poliamida, que le otorga propiedades de resistencia razonables para todas las aplicaciones generales.

Para casos más específicos y puntuales es necesario seleccionar el curante más adecuado.

Según la formulación que se emplee pueden obtenerse pinturas epóxicas tipo Highbuild posibles de aplicar en capa gruesa y también productos 100% sin solvente.

Una variedad particular en el grupo de las pinturas epóxicas la constituyen los epoxy-breas o coal-tar epoxy.

La breca junto con la resina epóxica y sus curantes forman un conjunto de cualidades sinérgicas de muy alta resistencia al agua y en una variedad de productos químicos.

b. Poliuretanos

La familia de los poliuretanos o isocianatos está constituida por 3 grupos de productos de excelentes cualidades de resistencia cuya principal cualidad es el alto brillo y su resistencia a la abrasión, aparte de buenas cualidades químicas. Se usa en todas aquellas partes donde se requiere resistencia y estética.

El primer grupo está constituido por aceite secante más isocianato, utilizados principalmente como barnices marinos y vitrificados de pisos (ej.: Barniz para canchas de palitroque o basquetbol).

El segundo grupo son productos de 2 componentes. Uno contiene el isocianato y el otro la resina reactiva que deben mezclarse antes de su aplicación. Variando la resina reactiva se obtiene una amplia variación de sus propiedades específicas.

Ejemplos: Pinturas de aviones comerciales, estanques, estructuras industriales en ambiente químico agresivo, etc.

El tercer grupo está conformado por barnices y esmaltes en que se tienen un isocianato activo que reacciona con la humedad del aire, rindiendo revestimientos excepcionalmente duros, brillantes y tenaces. Especialmente aptos para protección de pisos de hormigón entre otros.

Existe un cuarto grupo que está constituido en forma similar al segundo por resinas reactivas. Éstas, según la formulación pueden rendir revestimientos en capa gruesa desde duros y resistentes, hasta recubrimientos elásticos de carácter elastomérico.

c. Inorgánicos

Un tercer grupo de los revestimientos de reacción química son los inorgánicos y las siliconas. En el caso de las siliconas, se produce una reacción de descomposición de la resina por efecto de la temperatura, dando lugar a una capa de sílice inorgánica.

Esta sílice une las partículas pigmentarias, generalmente aluminio en laminillas, y tiene resistencia a temperaturas altas. Se usa por ello preferentemente en el pintado de chimeneas y ductos de gases calientes. Los inorgánicos por otra parte, están constituidos por un silicato alcalino (amonio, litio o potasio) o por un silicato orgánico (etilo), el que se mezcla con zinc metálico en polvo. La reacción química que tiene lugar forma una trama de Silicato de zinc, tenazmente adherida al acero que soporta a su vez el exceso de zinc metálico que se adiciona.

Con ello virtualmente se logra formar una capa de zinc metálico continuo y en contacto eléctrico entre las partículas, obteniéndose en esa forma lo que se conoce como el galvanizado en frío.

2.5.5.3.4. Grupo Secamiento Evaporativo más Coalescencia

a) Emulsiones

En este grupo de resina se encuentra emulsionada en agua, es decir, la resina está finamente dividida en forma de gotitas. En la medida que se va evaporando el agua, estas gotitas de resina se van uniendo por un fenómeno denominado coalescencia, en que 2 gotas se unen para formar una más grande y así sucesivamente hasta que la emulsión se quiebra y se forma la película. La misma resina, a medida que se va formando la película, va ligando las partículas pigmentarias. Una característica fundamental en las emulsiones es que mientras aún se encuentre el estado líquido, la pintura es fácilmente soluble y diluible con agua, pero una vez seca ella se torna insoluble.

Ejemplos típicos de este grupo son las llamadas pinturas al LATEX, ya sea acrílico, vinílico o butadieno estireno usadas a nivel doméstico.

Además las emulsiones asfálticas que se utilizan para fines de impermeabilización.

2.5.5.3.5. Pinturas en Polvo

La investigación actual en vista de toda la conciencia anti polución que se está creando está orientada a buscar revestimientos emulsionados para aplicación industrial.

Las pinturas en polvo están constituidas por resinas reactivas entre sí ya mezcladas con los pigmentos. Este cuerpo resinoso se muele a polvo y permite ser aplicado a la superficie. El procedimiento es generalmente electrostático o por lecho fluidizado.

Una vez aplicado el polvo a la pieza, ésta se introduce en un horno donde se completa la reacción.

Las pinturas en polvo pueden ser de base epóxica o en base a poliéster.

2.5.5.3.6. Pinturas Especiales

Dentro del campo de las pinturas y revestimientos protectores existen un grupo de pinturas que se consideran especiales, por cuanto cumplen un objetivo muy particular en una aplicación específica y normalmente no tienen otros usos más que ese.

Dentro de ese contexto se distinguen las siguientes:

a) Pinturas Conductoras

Estas pinturas tienen una pigmentación especial, aparte de su composición de resina que le imparte características de conductores o semiconductores de electricidad. Ello significa p. ej.: disipar y/o descargar a tierra corrientes parásitas y electricidad estática o controlar la impermeabilidad y ausencia de poros en recubrimientos al ser verificados con detectores de alta tensión.

b) Pinturas Anticondensantes

Estas pinturas habitualmente son utilizadas en la cara interior de planchas de acero galvanizado para techos o en general en todos aquellos lugares en que es necesario evitar el goteo de humedad condensada. La pintura evita eficazmente el goteo mientras no se satura. Absorbe el orden del libro de agua pro metro cuadrado de superficie.

c) Pinturas Tráfico

Son utilizadas para demarcar vías de circulación en calles y carreteras, generalmente en color blanco y en amarillo para cruces peatonales. Se trata de pinturas de buena resistencia a la abrasión de los neumáticos y que en algunos tipos contienen microesferas de vidrio para mejorar la visibilidad nocturna.

d) Pinturas Lubricantes

Basadas en Teflón o silicona con un contenido de pigmento lubricante (p.ej.: Molibdeno) tienen su aplicación en descansos de fricción como complemento y mejoramiento de la lubricación tradicional.

e) Pinturas Antifuego

Son pinturas no combustibles que poseen además una cualidad de retardar la combustión de la pieza pintada, basándose en el principio de la absorción y bloqueo del oxígeno, no dejando disponible para el proceso de combustión.

Otro tipo de pintura antifuego se basa en el principio de intumescencia, es decir, el pigmento en presencia del calor se hincha, formando una capa de escoria aislante que retarda la combustión.

f) Pinturas Tipo Pexior

Son pinturas resistentes a vapor de agua a alta temperatura. Se emplean principalmente para interiores de calderas, estanques de agua caliente, domos, estanques de expansión etc.

g) Pinturas Corrugadas

Estas pinturas están formuladas en tal forma que deben curarse al horno y al enfriarse toman un corrugado uniforme por efecto de la contracción del metal.

Se usan en muebles metálicos principalmente.

h) Pinturas Amartilladas

El amartillado es otro efecto decorativo especial que se logra agregando algunos aditivos a pinturas de aluminio. El acabado que se produce crea el efecto como que la superficie hubiera sido martillada en forma uniforme con un martillo de peña.

i) Pinturas Sanitizantes

Para Hospitales, Quirófanos, Áreas estériles, Laboratorios, Industrias alimenticias, etc. Son pinturas que llevan incorporado en su resina un poderoso bacteriostático, inocuo para el ser humano, pero de gran efectividad contra microorganismos patógenos tan insidiosos y resistentes como el *Staphilococcus aureus*, la *Pseudomona aeuruginosa*, la *Salmonella* y la *Candida Albicans*.

j) Pinturas Anti Incrustantes

Se trata de pinturas a las que se les ha incorporado una fuente tóxica que permite evitar el crecimiento de algas y molusco en la parte sumergida del casco de embarcaciones. Con ello se evitan las turbulencias y con ello pérdida de velocidad, o sea inciden en menor gasto de combustible.

k) Barnices Aislantes

Estos barnices tienen su aplicación en maquinaria eléctrica, tanto para la aislación de los cables mismos como para la impregnación de los devanados. Poseen una rigidez dieléctrica elevada.

l) Barnices Sanitarios

Estos barnices cumplen un objetivo de aislamiento entre el metal del envase y el contenido. Con ello se asegura una buena conservación del contenido. Por ejemplo latas de conservas, tarros de cerveza, etc.

2.5.5.4. Los Solventes

Los solventes, a pesar de su presencia temporal y efímera dentro de la pintura, son elementos de extraordinaria importancia.

Son productos químicos que pueden ser de origen natural o químico, cuyo objetivo es disolver el formador de película para permitir la aplicación de la pintura.

Una vez que la pintura ha sido aplicada, los solventes se evaporan y desaparecen en forma irrecuperable.

	ALIFÁTICO	BENCINA, AGUIARRAS MINERAL, KEROSENE
ORIGEN QUÍMICO	AROMÁTICOS	TOLUENO, BENZOL, XILOL
	ALCOHOLES	ETILICO, BUTILICO, PROPILO
	GLICÓLES	CELLOSOLVE
	KETONAS	METIL ETIL KETONA, METIL ISOBUTIL KETONA, DIISOBUTIL KETONA, DIISOBAMIL KETONA
	ETERES	NO SE USAN
	ESTERES (ACETATOS)	ACETATO DE BUTILO, ACETATO DE ETILO, ACETATO DE AMILO, ACETATO DE PROPILO

Tabla N° 2.10: clasificación de los solventes

2.5.5.5. Propiedades de la Película de Pintura

Deben distinguirse dos grupos de propiedades que caracterizan a una pintura:

- **Aspecto decorativo**

- Color
- Cubrimiento
- Brillo
- Uniformidad del acabado
- Textura

- **Aspecto protector**

- Dureza
- Flexibilidad
- Adherencia
- Coherencia
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia al calor
- Resistencia química (ácidos-alcalis-agua)
- Resistencia a solventes
- Resistencia a la intemperie
- Resistencia al ataque biológico (hongos, fouling)
- Resistencia a la combustión

Dado a que no existe una pintura tipo panacea que cumpla con todas las propiedades y requisitos, deberá dentro del proceso de selección, identificarse primero las solicitaciones más significativas y luego ubicar el material que más se ajuste a los requerimientos.

CAPITULO III

VARIABLES E HIPOTESIS

3.7. Variables e Indicadores.

3.7.1. Variables.

Variables independientes: En la presente investigación se consideraron dos variables independientes:

- **Primera Variable independiente:** Recubrimiento Industrial para los tanques de combustible diésel de centrales termoeléctricas.
- **Segunda Variable independiente:** Mantenimiento de los tanques de combustible diésel de centrales termoeléctricas.

Variable dependiente: «Plan de Recubrimiento Industrial y Mantenimiento, para disminuir la corrosión en Tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas».

3.7.2. Operacionalización de las Variables.

Con fines didácticos denominamos a la primera variable independiente «Recubrimiento Industrial para los tanques de combustible diésel», como «Variable X». En ese sentido, los indicadores considerados para dicha «Variable X», fueron representados como:

Indicadores de la Variable X:

Normas para el Recubrimiento Industrial:

X₁: Normas NACE, SSPC para el pintado interno de los tanques.

X₂: Normas NACE, SSPC para el pintado externo de los tanques.

Juicio de Expertos, recomendación de fabricantes para el Recubrimiento Industrial:

X₃: Recomendaciones de expertos e instrucciones de fabricantes para el pintado interno de los tanques.

X₄: Recomendaciones de expertos y instrucciones de fabricantes para el pintado externo de los tanques.

Aportes de la experiencia profesional en el ramo:

X₅: Aporte para el Recubrimiento Industrial interno de los tanques.

X₆: Aporte para el Recubrimiento Industrial externo de los tanques.

De igual forma que para la primera variable, se denominó a la segunda variable independiente «Mantenimiento de los accesorios de los tanques de combustible diésel», como «Variable Y». En ese sentido, los indicadores considerados para dicha «Variable Y», fueron:

Indicadores de la Variable Y:

Y₁: Instrucciones del fabricante para el mantenimiento de los tanques.

Y₂: Aporte de los encargados para el mantenimiento de los tanques.

Asimismo, la variable dependiente «Plan de Recubrimiento Industrial y Mantenimiento para disminuir la corrosión en tanques de combustible diésel para centrales termoelectricas», asumió la denominación de «Variable Z»; en ese sentido, los indicadores considerados para dicha variable fueron:

Indicadores de la Variable Z:

Actividades de mantenimiento:

Z₁: Correctivo.

Z₂: Predictivo.

Z₃: Preventivo.

Ejecución de Tareas de:

Z₅: Mantenimiento correctivo.

Z₆: Mantenimiento predictivo.

Z₇: Mantenimiento preventivo.

Ordenes de trabajo para:

Z₉: Mantenimiento correctivo.

Z₁₀: Mantenimiento predictivo.

Z₁₁: Mantenimiento preventivo.

3.8. Hipótesis.

El desconocimiento de las técnicas de selección y de ejecución de los sistemas de recubrimientos en los tanques diesel de estas centrales implican un alto costo tanto directo como indirecto del orden de los USD 500,000.00 dólares anuales por mantenimiento anticorrosivo en cada una de las grandes centrales termoeléctricas.

El diseño de un Plan de Recubrimiento con Pintura Industrial y Mantenimiento para Disminuir la corrosión en Tanques de Combustible Diésel para Centrales Termoeléctricas, permitirá contar con una guía específica para la protección anticorrosiva en Tanques de combustible nuevos y asimismo una guía para la realización de actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, y predictivo; coadyuvando con ello a la mejora del mantenimiento y protección de dichos tanques, lo que redundaría en un ciclo de vida más prolongado.

Este ciclo de vida más prolongado tendrá como correlación que los costos de mantenimiento presenten una curva decreciente a través del tiempo. Esto deberá ser corroborado con un control de costos de mantenimiento anticorrosivo.

CAPITULO IV

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

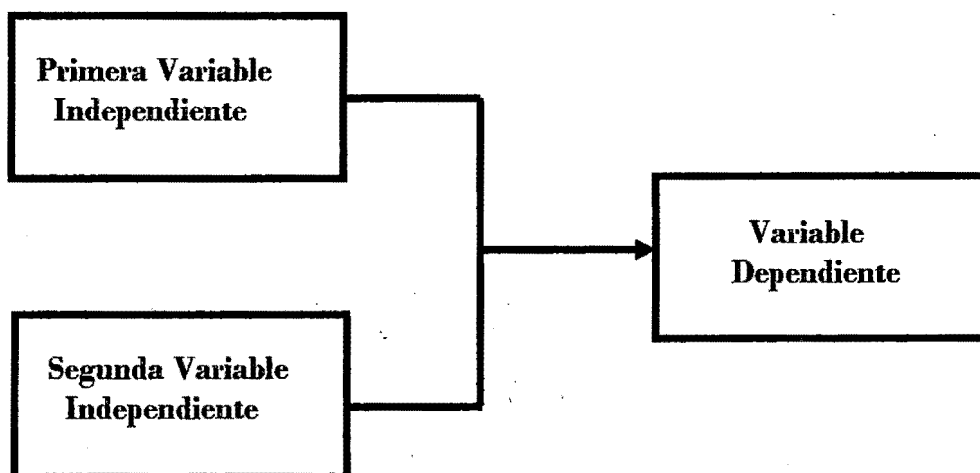
4.1. Tipo de Investigación

Si tenemos en cuenta el carácter de la hipótesis y los alcances de la investigación, la presente investigación puede tipificarse como descriptiva con valor de ubicación de variables, ya que busca la justificación de incorporar un Plan de Preparación de Superficie, pintado y mantenimiento de tanques de combustible diesel, basado en las normas NACE Y SSPC, Juicio de expertos, recomendaciones de fabricantes, experiencia en el ramo del autor de la tesis y aportaciones de responsables de mantenimiento de tanques diesel.

4.1. Diseño de la Investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista, el diseño apropiado para la presente investigación es el no experimental cuyo diseño transaccional es del tipo descriptivo. La presente investigación relaciona tres variables (dos independientes y una dependiente), de la siguiente manera:

Figura 4.1: Relación entre las variables de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Población y Muestra.

La población para la presente investigación lo conforman la totalidad de tanques de combustibles de las centrales térmicas del Perú, la cual según el Ministerio de Energía y Minas, al año 2001 ascendía a 455 centrales térmicas de las cuales 383 son de los sistemas aislados y 72 termoeléctricas que están interconectadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. La muestra referencial se tomara de forma no probabilística y estará constituido por los 07 Tanques de Almacenamiento del Proyecto de Reserva fría para la Generación Ilo-ENERSUR.

4.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Se utilizará como técnica el análisis de contenido de las guías de los fabricantes, las normas, el juicio de expertos, la experiencia en el ramo del autor de la tesis y guías de mantenimiento de tanques de combustible y los reportes de pintado de los 07 Tanques de Almacenamiento del Proyecto de Reserva fría para la Generación Ilo- ENERSUR. Los instrumentos a usarse son las guías para el análisis de contenido y las fichas elaboradas con propósitos específicos de registrar aspectos específicos de la actividad de preparación de superficie, pintado y mantenimiento.

4.5. Plan de análisis estadísticos de datos.

Las técnicas estadísticas a usarse en la presente investigación se circunscribirán a la estadística descriptiva, la cual será utilizada principalmente para realizar el análisis situacional (Diagnóstico de la situación actual de los tanques de combustible) y como herramienta de análisis previo a la justificación de la propuesta del plan de mantenimiento, se realizará un análisis comparativo de las bondades que ofrecería, desde la perspectiva del encargado de mantenimiento, la implementación del plan de mantenimiento propuesto; esto se llevará a cabo mediante el análisis de riesgos, seguridad y el cumplimiento de normativas aplicables al mantenimiento y pintado de los tanques en cuestión.

CAPITULO V

“DISEÑO DE UN PLAN DE RECUBRIMIENTO CON PINTURA INDUSTRIAL PARA TANQUES DE COMBUSTIBLE DIESEL DE CENTRALES TERMOELECTRICAS”

Hay muchas consideraciones que se deben tener en cuenta para acometer un plan de recubrimiento con pintura industrial en tanques de almacenamiento de diesel en las Centrales Termoeléctricas, la población de estas centrales existentes en nuestro país da cuenta de 455 centrales, de las cuales 383 son Sistemas Aislados y 72 pertenecen al SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional).

Esta tesis acomete principalmente este universo de centrales que pertenecen al SEIN, ya que cuentan con una infraestructura en tanques de almacenamiento considerables en relación a los sistemas aislados, además de su importancia por proveer energía al sistema interconectado nacional, esto no quita que la presente investigación sea aplicable a las centrales del sistema aislado.

Como podemos ver estas centrales térmicas están dispersas en el territorio nacional, pero las que están ubicadas en la zona costera de nuestro país suman alrededor del 45%, esta población está sometida a diferentes condiciones atmosféricas del 20% de las de la sierra, 18% de la selva y 17% que están en la costa pero alejadas del mar. La diversidad de condiciones atmosféricas de nuestro país no permite estandarizar criterios para la selección de sistemas de protección anticorrosiva, pero si, la investigación permitirá al ingeniero de corrosión, a las empresas dueñas de las instalaciones, a las empresas especialistas, a los ingenieros de mantenimiento y a todos los involucrados tener claros los conceptos para acometer proyectos anticorrosivos de una manera técnica y profesional que asegure la inversión y consiga obtener los ciclos de vida esperados de acuerdo al sistema seleccionado.

Toda investigación industrial tiene como uno de sus objetivos reducir costos, y esta tesis pretende que por medio de análisis de la atmosfera y las condiciones

existentes se seleccionen sistemas adecuados, ni faltos de rigurosidad que hagan que el sistema falle prematuramente, ni muy sobredimensionados que haga que los costos se eleven desproporcionadamente.

5.1. Criterios para definir la corrosividad del medio.

La parte 2 de la Norma ISO 12944 da las clasificaciones de la corrosión para las condiciones atmosféricas, del suelo y el agua. Esta norma es una evaluación muy general basada en la velocidad de corrosión del acero al carbono, no refleja exposiciones a la temperatura, humedad, ni exposiciones químicas, pero es un buen indicador aceptado para la elección del sistema de pintura.

Categorías de corrosión atmosférica de acuerdo con la norma ISO 12944

Categoría de corrosión	Ejemplos de ambiente	
	Exterior	Interior
C1 Muy baja		Edificios con calefacción con una atmósfera limpia, tales como oficinas, tiendas, escuelas, hoteles.
C2 baja	Atmósfera contaminada en una pequeña parte, principalmente en las regiones rurales.	Edificios sin calefacción, donde se puede producir condensación, por ejemplo almacenes, salas deportivas.
C3 media	Ambientes industriales y urbanos con un nivel medio de contaminación de dióxido de azufre. Áreas industriales y áreas costeras de baja salinidad.	Espacio de producción de alta humedad y de la contaminación del aire, por ejemplo plantas de alimentos, lavanderías, fábricas de cerveza, industrias lácteas.
C4 alta	Las zonas industriales y zonas costeras de media salinidad.	Plantas químicas, piscinas, astilleros de reparación de barcos.
C5-I Muy alta (industrial)	Áreas industriales de alta humedad y ambiente agresivo.	Edificios y áreas de condensación casi constante y alta contaminación.
C5-M Muy alta (marina)	Zonas de tierra (inshore) y marítimas (offshore) de alta salinidad.	Edificios y áreas de condensación casi constante y alta contaminación.

Tabla N° 5.1: Categoría de corrosión atmosférica

Es fundamental para emprender un proyecto de protección anticorrosiva de estos tanques de almacenamiento, empezar identificando de una manera exacta las condiciones atmosféricas del lugar donde están ubicados, una buena ayuda nos la da la Norma ISO 1294 en la tabla N° 14 donde identifica categorías de corrosividad atmosférica tomando como base ambientes generales de las instalaciones donde se ubican los tanques. Esta categoría de agresividad química está dada por los niveles de dióxido de azufre (SO₂) y el Cloruro de Sodio (NaCl) que son los compuestos más corrosivos presentes en la atmosfera.

Los cloruros básicamente están presentes en el mar o también pueden estar presentes en el entorno, emitido por algunas empresas cercanas, el dióxido de azufre está presente en la atmosfera por la utilización de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

Ejemplo: si las condiciones atmosféricas se ajustan a la Categoría de corrosión C5-M, se debe añadir las condiciones imperantes de la zona (Temperaturas máximas y mínimas, humedad, pH, erosividad de la zona, emisiones de contaminantes de instalaciones cercanas, presencia de lluvias, etc.). Para lo cual debemos elaborar el siguiente cuadro:

Cat.	Temp	H %	pH	Viento	SO ₂	NaCl	Cenizas	Cont.Bac
C5-M								

Tabla N° 5.2: condiciones para seleccionar la categoría de corrosividad

Estos datos deben estar lo más detallado posible contratando para ello empresas consultoras especializadas en medición de condiciones ambientales y en determinación de contaminación, este expediente elaborado técnicamente permitirá tener en cuenta todas las condiciones presentes para la selección del sistema y requerirle al fabricante que los productos que ofrezca para el proyecto presenten en su formulación los aditivos necesarios que deben tener las pinturas para que cumpla el ciclo de vida estimado en el diseño del proyecto.

5.2. Selección del Grado de Preparación de Superficie

Una vez determinada la categoría de corrosividad atmosférica del medio, se debe acometer la selección del grado de preparación de superficie para los diferentes elementos del tanque de almacenamiento (anillos, fondo, techo), incluyendo los accesorios tanto internas como externas (barandas, escaleras, manholes, venteos, soporteria, rigidizadores, etc.)

Una máxima de los expertos en aplicación de recubrimientos y por las grandes asociaciones internacionales de la corrosión como la SSPC, NACE y SIS, es que la preparación de superficie tanto en la selección de los grados de limpieza superficial como la correcta técnica aplicada, representa el 90% del éxito de un proyecto de protección anticorrosiva de un tanque de almacenamiento.

La elección del grado de preparación de superficie siempre dependerá de las condiciones del sustrato previo y de la exposición posterior o de servicio. Cuanto más agresiva sea la exposición, mayor preparación de superficie se requiere.

Condición de la superficie.

La preparación de superficie seleccionada tendrá su origen en la condición de la superficie a limpiar. Ejemplo, ¿Está recubierta, oxidada (grado oxidación), pintada (grado), viene del taller o esta imprimada?. Estas interrogantes deben ser respondidas para seleccionar el grado de preparación de superficie.

Grado inicial A: Superficie de acero con la capa de laminación totalmente intacta y prácticamente sin indicios de corrosión.

Grado inicial B: Superficie de acero con principio de corrosión y con ligero desprendimiento de la capa de laminación.

Grado inicial C: Superficie de acero en que la capa de laminación fue ya eliminada por desprendimiento debido a la formación de óxidos o bien que puede ser removida manualmente; no se observan cavidades visibles en gran escala.

Grado inicial D: Superficie de acero en que la capa de laminación fue eliminada

totalmente por desprendimiento debido a la formación de óxidos y sobre la que se detectan gran cantidad de cavidades visibles a simple vista.

- **Exposición o servicio.**

También se debe tener en cuenta el servicio al que estará destinado el tanque, si bien esta tesis dirigida a los tanques de diesel, también es necesario tener en cuenta los tipos de combustible, si es un diesel tratado, o no tratado.

También se debe tener en cuenta el requerimiento del fabricante para su producto, no debemos olvidar que los proyectos anticorrosivos son supervisados por inspectores de los fabricantes presentes in situ en los proyectos, asegurando la calidad de la preparación de superficie y de la aplicación de la pintura.

- **Consideraciones de costos**

También un aspecto fundamental a considerar son los costos del grado de preparación de superficie, limpiezas de superficie más rigurosas son más caras. En general un buen recubrimiento con pinturas industriales requerirá un grado de preparación de superficie más profundo, lo que nos lleva a concluir que si utilizamos una pintura de alta calidad que nos garantiza ciclo de vida altos, necesariamente debemos ejecutar una preparación de superficie también de alta calidad y más rigurosa según la norma elegida.

Considerando lo anteriormente mencionado, se concluye que las especificaciones para la protección de pequeñas piezas como así también de grandes estructuras industriales deben incluir sólo el empleo de sistemas protectores de alta eficiencia en servicio cuando se contempla una adecuada preparación de superficies. En resumen, resulta conveniente realizar una elevada inversión inicial con el fin de alcanzar una prolongada vida útil con mínimas tareas de mantenimiento preventivo y una amortización segura de dicha inversión.

5.3. Selección de los equipos de preparación de superficie.

Es importante realizar un adecuada selección de equipos de arenado, cada elemento proporciona una característica y propiedades específicas para el abrasivo, para el grado de preparación de superficie, para el perfil de anclaje, para la seguridad del operario participante de la actividad, para el cuidado del medio ambiente, para las condiciones de seguridad, etc.

Es debido a esto que la selección debe ser realizada por personas con conocimiento y experiencia comprobada en las labores de recubrimiento industrial con pinturas.

5.3.1. Selección de la potencia del compresor

El aire comprimido es la fuente de energía, creando un flujo y caudal para la impulsión de la partícula abrasiva.

La acción del arenado se efectúa debido al impacto de la partícula abrasiva contra la superficie, la cual será de mayor intensidad cuando adquiera mayor energía cinética, dicha energía es función directa de la presión de aire comprimido.

Por esto el rendimiento del proceso depende de la presión de trabajo a la salida de la boquilla de arenado. Que es el lugar donde se produce la máxima aceleración de la partícula abrasiva.

Por lo tanto cuando se va a realizar el proceso de arenado, aparte de requerir un compresor de X kg/cm², es necesario también considerar el caudal de aire disponible a la presión de utilización.

Calculo de la potencia del compresor (P)

Para el cálculo utilizamos la siguiente ecuación termodinámica:

$$P = \frac{K * P_i * Q}{K - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_i} \right)^{0.286} - 1 \right] \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$$K = 1,4$$

$$P_i = 1 \text{ bar}$$

$$P_2 = 7 \text{ bar (es la presión estándar de salida en la boquilla = 100 PSI)}$$

$$Q = \text{Caudal del aire en m}^3/\text{min}$$

Calculo del Caudal de aire:

Utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = A_s * V_s \quad \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

$$A_s = \text{Área de salida.}$$

$$V_s = \text{Velocidad de salida}$$

Por ecuación de continuidad:

$$\rho_i * A_i * V_i = \rho_s * A_s * V_s$$

Entonces:

$$V_s = V_i * \left(\frac{\phi_i}{\phi_s}\right)^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

V_i = velocidad de transporte neumático de la arena dentro de la manguera, esta velocidad está entre 30 a 45 m/s (Manual de Transporte Neumático de Materiales Pulverulentos – 1974).

Tomamos como velocidad promedio de la arena 38 m/s

ϕ_i = diámetro de la manguera de arenado. (magnitud conocida)

ϕ_s = diámetro de salida de la boquilla. (Estos diámetros están normalizados: 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12).

Remplazando ecuación (3) en (2) obtenemos el caudal de aire Q.

Luego remplazamos el valor de Q en la ecuación (1) y obtenemos la Potencia en HP de la compresora.

Podemos darnos cuenta que la Potencia de la compresora está en función de:

- Diámetro de la boquilla de arenado.
- Diámetro interior de la manguera de arenado.
- Presión de trabajo en la boquilla.
- La velocidad promedio del abrasivo dentro de la manguera de arenado.

Todas estas variables son conocidas al seleccionar cada elemento de la instalación de arenado. Mencionaremos que las boquillas que se usan en los proyectos de arenado de tanques son de: 4, 6 y 8 mm.

Una buena práctica de la ingeniería es añadirle al valor calculado del caudal un factor de seguridad de un 20 a 30% tal como recomiendan los manuales de aire comprimido.

También para el cálculo de la Potencia del compresor se debe añadir un margen de seguridad del 10 a 20% sobre el valor calculado mediante las formulas.

Selección de Caudal y Potencia del compresor mediante tablas

Requerimientos de Aire, Arena y Potencia de compresor para diferentes boquillas de arenado

Diámetro de la Boquilla	Consumos: de aire, arena y HP del compresor	Presiones de trabajo en la boquilla		
		5 kg/cm ²	6 kg/cm ²	7 kg/cm ²
5 mm.	Aire: m ³ /min	1.4	1.6	1.8
	Arena: kg/h	80.0	97.0	119.0
	HP Requeridos	8.6	11.0	12.3
6 mm.	Aire: m ³ /min	1.9	2.3	2.6
	Arena: kg/h	159.0	105.0	220.0
	HP Requeridos	12.4	15.8	17.5
7 mm.	Aire: m ³ /min	2.7	3.1	3.5
	Arena: kg/h	225.0	205.0	322.0
	HP Requeridos	17.0	21.5	23.9
8 mm.	Aire: m ³ /min	3.4	4.0	4.45
	Arena: kg/h	272.0	302.0	365.0
	HP Requeridos	22.0	28.0	31.0

Tabla N° 5.3: Requerimientos de abrasivo, presión y potencia de compresor para boquillas

5.3.2. Selección de la Boquilla de Arenado

Un factor muy importante y que en la mayoría de proyectos de protección anticorrosiva no es considerado como algo fundamental en la eficiencia del proceso de arenado, es la selección de la boquilla de arenado.

Pues de por si determina el consumo de aire, la cantidad de abrasivo proyectado, y la superficie arenada por unidad de tiempo.

Para esta elección se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Superficie a arenar por unidad de tiempo.
- Capacidad útil del compresor.
- Grado de oxidación de la superficie.
- Abrasivo empleado.
- Facilidad de acceso

5.3.2.1. Características que identifican a las boquillas de arenado.

- Alma de la boquilla.
- Longitud de la boquilla.
- Diámetro nominal.
- Sección longitudinal del orificio.

Alma de la boquilla. Las boquillas con alma de carburo de tungsteno son hoy por hoy las boquillas más usadas en la preparación de superficie, por su duración (300 horas con escoria de cobre y 600 horas con granalla), también porque es la boquilla que presenta la más alta resistencia a la abrasión.

Longitud de la boquilla. Existen boquillas de longitud corta que tienen una longitud entre 60 a 100 mm. Las cuales permiten unas distancias de trabajo a la pieza a arenar de 100 a 300 mm.

Cuando se requiera efectuar la limpieza de superficies con mayor grado de oxidación, se tendrá que recurrir a boquillas de mayor longitud que tienen entre

100 a 180 mm. Con estas boquillas es posible trabajar con distancias entre la boquilla y la superficie de 300 a 500 mm. Obteniéndose un mayor rendimiento. La siguiente tabla nos permite seleccionar las dimensiones de las boquillas tipo “Venturi” de acuerdo a sus diámetros.

Boquillas para mangueras de 1”		
Diámetro	longitud	Utilización
4 mm.	85 mm	Diseño Venturi corto para distancias de trabajo menores a 300 mm.
6 mm.	85 mm	
7 mm.	85 mm	
8 mm.	85 mm	
10 mm.	85 mm	
12 mm.	85 mm	
4 mm.	95 mm	Diseño Venturi largo para distancias de trabajo mayores a 300 mm.
6 mm.	105 mm	
7 mm.	120 mm	
8 mm.	140 mm	
10 mm.	160 mm	
12 mm.	180 mm	
Boquillas para mangueras de 1-1/4”		
Diámetro	longitud	Utilización
10 mm.	160 mm	Diseño Venturi largo para ampliación del cono de entrada. para muy altas producciones.
12 mm.	180 mm	
14 mm.	180 mm	

Tabla N° 5.4: Dimensiones de boquillas utilizadas, Venturi largas y cortas.

Diámetros Nominales. Es la sección del orificio de pasaje de la mezcla aire – abrasivo en su sección mínima. Y es el valor más importante de la elección, pues define, para una presión de trabajo el consumo de aire de la tolva de arenado y por añadidura la capacidad del compresor.

Este diámetro nominal debe ser controlado su desgaste periódicamente, por cuanto influye muy drásticamente en el caudal de aire requerido para realizar el proceso, esto ocasionaría que la capacidad del compresor sea excedida por la demanda de aire.

Grado de preparación de superficie.	Grado de oxidación de la superficie a ser trabajada.	Diámetros de boquilla (mm),				
		4	6	7	8	10
Preparación de superficie a Metal Blanco SSPC-SP5	Mínima oxidación sin picaduras.	2.9	5	7.5	9	12
	Cascarilla laminación, poca herrumbre.	2.4	4	6	7.5	11
	Pintura, cavidades de herrumbre.	1.4	2	3	4.5	7
	Capas de pintura, grandes cavidades herrumbre	1.1	1.8	2.7	3.6	5.5
Preparación cercana al Metal Blanco SSPC-SP10	Mínima oxidación sin picaduras.	3.1	5.5	8	9.5	14
	Cascarilla laminación, poca herrumbre.	2.5	5	7.5	8	12
	Pintura, cavidades de herrumbre.	1.5	2.5	3.5	4.8	7
	Capas de pintura, grandes cavidades herrumbre	1.2	2	3	3.8	6
Preparación Comercial Norma SSPC – SP6	Mínima oxidación sin picaduras.	7.3	12	18	22.5	33
	Cascarilla laminación, poca herrumbre.	4.9	8	12	15	22
	Pintura, cavidades de herrumbre.	3.6	6	9	11	17
	Capas de pintura, grandes cavidades herrumbre	2.4	4	6	7.6	11
Preparacion Brush – off, Norma SSPC – SP7	Mínima oxidación sin picaduras.	14	27	36	45	65
	Cascarilla laminación, poca herrumbre.	14	27	36	45	65
	Pintura, cavidades de herrumbre.	14	27	36	45	65
	Capas de pintura, grandes cavidades herrumbre	14	27	36	45	65

Tabla N° 5.5: Rendimientos esperados en (m²/hora) por Grado de Preparación, grado de oxidación y diámetro de boquilla.

Se tiene que tener presente que los rendimientos en m²/hora, mostrados en la tabla N° 6 son estimativos ya que están basados en datos experimentales y normas establecidas por la Steel Structures Painting Council SSPC. Obviamente estos datos experimentales pueden variar de acuerdo a diversas condiciones de trabajo (difícil acceso, altura de trabajo, longitud de la manguera de arenado, etc.)

Pero para el ingeniero de corrosión es una ayuda invaluable para iniciar el proceso de selección y para estimar rápidamente costos y tiempos.

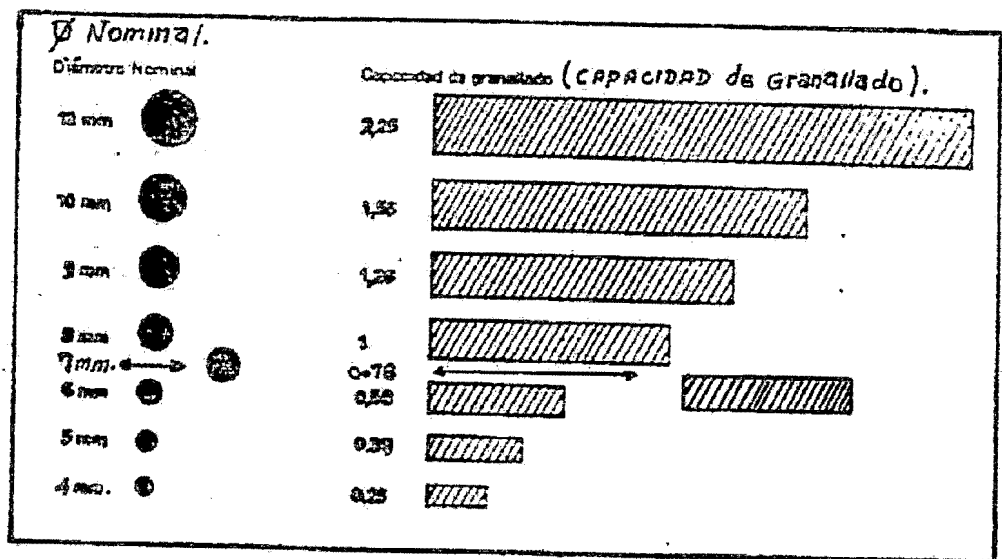


Figura N° 5.1: Superficie arenada por hora en función de la boquilla.

Sección longitudinal del orificio. La función de la boquilla es la de acelerar el abrasivo, dirigiéndolo hacia el sustrato. Para que la velocidad sea máxima se deben minimizar turbulencias y pérdidas de presión por fricción, lo cual requiere de un diseño especial del perfil interno de la boquilla.

Está extendido el uso de boquillas con diseño Venturi, que logra el efecto de acelerar el aire comprimido en el cono de entrada alcanzando velocidades supersónicas que posibilita que esta velocidad siga aumentando en el cono de salida de la boquilla, duplicando la velocidad alcanzada en la garganta.

Si bien es cierto el costo de estas boquillas es alto, se debe considerar que la eficiencia y duración de estas boquillas compensa el alto costo. Ya que una

boquilla no tan eficiente como las Venturi a la larga requieren de una mayor capacidad del compresor, que es un recurso caro en obra.

Por esto la selección de estas boquillas debe ser una norma establecida para el proceso de preparación de superficie.

5.3.3. Selección de Manguera de aire comprimido.

La caída de presión es uno de los problemas que hay que minimizar en una instalación de arenado, para esto debemos tener un control estricto de todos los elementos que componen el sistema de aire comprimido.

- Diámetros internos y longitud de las mangueras.
- Acoples utilizados.
- Circuito de aire.
- Rugosidades internas de las mangueras y accesorios del sistema de aire comprimido.

Se acepta como tolerable una caída de presión en los tramos de manguera del 2% y en el total del sistema de aire comprimido una caída máxima de 5%.

Es de conocimiento que la presión normal de trabajo es de 7 bares efectivos.

Por lo tanto la caída de presión máxima tolerable es el 5% de esta presión efectiva.

En obra muchas veces es imposible tener longitudes de manguera de 15 o 30 m. por lo que se utilizan longitudes mayores para poder llegar al punto donde se va a arenar, esto nos lleva a prever y considerar estos inconvenientes que incrementan las pérdidas de presión en la línea de aire comprimido, para mitigar estos caídas de presión hay que incrementar la capacidad del compresor y optimizar nuestra línea de aire comprimido..

En las siguientes tablas mostramos las caídas de presión por fricción del aire en las paredes de las mangueras de longitudes 15 y 30 m.

Esto es importante para ubicarnos en la zona del 5% de caída de presión tolerable en toda línea de aire comprimido.

También mostramos las tablas para la selección del diámetro de la manguera de aire comprimido en función del diámetro de la boquilla de arenado y de la longitud de manguera.

También se muestra las tablas de caudales de aire comprimido en función del diámetro de la manguera de aire y de la longitud de manguera.

Con estas consideraciones y las tablas estaremos en capacidad de seleccionar de manera correcta nuestra manguera de aire comprimido, que representa uno de los elementos de nuestra instalación de preparación de superficie más importantes ya que influye directamente en la eficiencia y productividad del proceso.

Boquilla (mm)	4		6		7		8		9		10		12	
Longitud de manguera (m)	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
Diámetro correcto de manguera (pulg)	3/4	1	1	1 ¼	1	1 ¼	1 ¼	1 ¼	1 ¼	1 ½	1 ½	2	2	2

Tabla N° 5.6: Selección de manguera de aire comprimido

Diámetros de manguera de aire comprimido y caudales máximos de aire

Longitud	15 m.				30 m.				
Diámetro (pulg.)	¾	1"	1 ¼	1 ½	1"	1 ¼	1 ½	2	2
Caudal máximo m ³ /min.	1.7	3.5	7.0	9.8	2.5	5.0	7.0	14	42

Tabla N° 2.17: . Diámetros de manguera de aire comprimido y caudales máximos de aire

Diámetro de manguera															
Caudal de aire en l/min	1"			1 1/8"			1 1/2"			2"			3"		
	Presión inicial kg/cm ²			Presión inicial kg/cm ²			Presión inicial kg/cm ²			Presión inicial kg/cm ²			Presión inicial kg/cm ²		
	4	6	7	4	6	7	4	6	7	4	6	7	4	6	7
1.70	0.09	0.07	0.06												
2.00	0.12	0.09	0.08												
2.25	0.16	0.12	0.10												
2.50	0.20	0.16	0.13												
2.90	0.24	0.19	0.15												
3.50	0.38	0.29	0.24	0.09	0.72	0.06	0.04	0.03	0.02						
4.20	0.55	0.40	0.34	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04						
5.00	0.76	0.57	0.48	0.18	0.14	0.11	0.09	0.06	0.05						
5.80	1.02	0.77	0.62	0.23	0.18	0.15	0.11	0.09	0.07						
7				0.37	0.28	0.23	0.16	0.13	0.10						
8.40				0.53	0.41	0.33	0.23	0.18	0.15	0.08	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01
9.50				0.72	0.55	0.45	0.32	0.25	0.20	0.08	0.07	0.05	0.01	0.01	0.01
11.20				0.96	0.72	0.58	0.41	0.32	0.25	0.11	0.09	0.07	0.01	0.01	0.01
12.80							0.53	0.41	0.33	0.14	0.11	0.09	0.02	0.01	0.01
14							0.65	0.50	0.41	0.17	0.13	0.11	0.02	0.02	0.01
15.8							0.86	0.73	0.59	0.25	0.18	0.16	0.03	0.02	0.02
19.80										0.33	0.26	0.21	0.04	0.03	0.03
22.50										0.45	0.34	0.28	0.05	0.04	0.04
25.50										0.57	0.44	0.35	0.07	0.05	0.04
28.36										0.70	0.54	0.44	0.08	0.06	0.05
34.00										1.06	0.80	0.64	0.12	0.09	0.08
42.50										1.69	1.29	1.07	0.19	0.15	0.12
56.60													0.34	0.26	0.21
70.80													0.55	0.47	0.34
85.00													0.78	0.60	0.49
99.00													1.12	0.84	0.68
113.00													1.50	1.17	0.88

Tabla N° 5.8: pérdidas de presión fricción del abrasivo en mangueras de 30m.

5.3.4. Selección de Manguera de Arenado

Se debe tener en cuenta que en las mangueras de abrasivo no solo se producen caídas de presión, sino también pérdidas de energía cinética de las partículas de abrasivo por fricción en las paredes de la manguera.

Es sabido que la preparación de superficie de los tanques de almacenamiento en las centrales termoeléctricas se realizan con equipos móviles llamados “tolvas”, que están provistas de ruedas para su movilización a los puntos más cercanos al lugar del proceso. Pero no siempre se consigue colocar la tolva lo suficientemente cerca, por lo que la longitud de manguera excede lo recomendado, un tanque por lo general tiene una altura de 15 a 17 m. y para realizar la preparación de superficie del techo exterior del tanque implicara tener como mínimo 30 m. de manguera de arenado,

Lo mismo se replicaría para realizar la preparación de superficie del interior del tanque.

Estas longitudes de manguera que implica una caída de presión y de velocidad de la mezcla aire – abrasivo, deberán ser consideradas en la selección de la capacidad del compresor.

Estas mangueras deberán ser acopladas con acoples de anclaje exterior y cierre rápido “tipo garra”.

Un elemento de protección para las personas que participan de la operación será que en las uniones de dos tramos de mangueras de arenado se deberá colocar un latiguillo “antichicoteo” en caso de que se suelte el acople de las dos tramos de manguera y por la presión de aire estas mangueras causen daño a las personas que están cerca y participan de la operación.

La siguiente tabla nos ayudara en la selección de la manguera de arenado, ya que esta selección está en función directa del diámetro de la boquilla de arenado.

5.3.5. Selección de la Tolva de arenado

La tolva de arenado es el equipamiento principal para el proceso de preparación de superficie, debido a que la preparación de superficie de los tanques

de diesel en las centrales térmicas se realiza en obra, es necesario que las tolvas sean muy móviles y fácil de transportar por los operarios en modo acarreo o transportándola en camioneta, por lo que es preferible que estas no sean tan pesadas que sea imposible acarrearla por 04 operarios o levantarla a una camioneta, pero tampoco que sea tan pequeña que la autonomía de trabajo entre recargas de abrasivo sea corta, se desea que mínimamente la tolva de arenado tenga una autonomía de trabajo entre 30 – 40 minutos de trabajo efectivo antes de la recarga de abrasivo.

5.3.5.1. Criterios de selección de la Tolva de arenado

1. Capacidad de carga: normalmente se indica en kg de arena y está en relación con la productividad requerida. Así de acuerdo con la boquilla de proyección a utilizar se obtiene la cantidad de abrasivo utilizado por minuto de trabajo. La capacidad de carga deberá otorgar autonomía, como mínimo de 30 a 40 minutos.
2. Equipos de funcionamiento continuo e intermitente: los equipos de funcionamiento continuo son más rentables que los de trabajo intermitente para aquellos casos donde la tarea es permanente y es necesario alta productividad. Los de funcionamiento intermitente tienen su aplicación en trabajos ocasionales y en aquellos granallados que no pueden ser continuos, debido a cuestiones inherentes a las piezas a tratar o al lugar de trabajo.
3. Portable o estacionario: prácticamente todos los equipos deben ser portables o sea montados sobre ruedas para facilitar su traslado y el desplazamiento en el área de granallado.
4. Circuito de aire comprimido: el circuito de aire comprimido en el equipo granallador dependerá de la boquilla utilizada.
5. Automatismos: la utilización del control a distancia en los equipos granalladores constituye en todos los casos una mejora, tanto en el aprovechamiento de la mano de obra como en la seguridad del trabajo.

6. Múltiples salidas: tiene aplicación en equipos de mediana capacidad (500 a 800 kg.) y de funcionamiento continuo, pues el agregado de salidas adicionales se traduce solo en un periodo más corto para efectuar la recarga de abrasivo.

Requisitos para la Operación

Debe abastecerse con aire limpio y seco, comprimido de volumen suficiente para mantener la presión deseada en la boquilla.

Mínimo de 50 psi necesario para cerrar la válvula pop-up y presurizar la máquina explosión.

La norma OSHA exige un sistema de control remoto que se interrumpa la descarga si el operador pierde el control de la boquilla cuando esta esté trabajando.

Grado D de suministro de aire respirable.

5.3.6. Selección del equipo de pintura

El sistema Airless es el sistema que se utiliza en los proyectos de recubrimiento con pintura debido a su alta productividad con relación a otros sistemas de aplicación.

La pulverización Airless consiste en pasar un producto a alta presión a través de una pequeña boquilla. La atomización se realiza únicamente gracias a esta presión hidráulica y sin añadir aire. La pistola es alimentada en producto por una única tubería. La bomba de alimentación debe proporcionar una presión que, según las aplicaciones, se sitúa entre 90-360 bar.

5.3.6.1. Selección del equipo airless.

El equipo airless es parte fundamental para aplicar la pintura industrial en tanques, es el equipo que comparativamente con los demás sistemas de aplicación

presenta una mayor productividad, por lo que es posible alcanzar espesores altos que son requeridos en estos recubrimientos.

Se tiene en el mercado tres tipos de equipos:

- Equipos airless neumáticos.
- Equipos airless gasolineras.
- Equipos airless eléctricos.

Estos equipos difieren solamente en accionamiento, el más usado en obra es el neumático, pero los equipos gasolineras son los que nos permiten llegar a áreas de difícil acceso pero con una longitud de manguera muy inferior a los neumáticos.

La ventaja de los neumáticos estriba en que se pueden usar tramos de manguera muy largos, lo que permite llegar a zonas muy alejadas del equipo.

5.3.6.2 Especificaciones Técnicas equipo airless

El equipo de pintura airless, debe ser seleccionado teniendo las características mínimas siguientes:

Para aplicación de materiales con alta presión proporcionado mayor economía de pintura, solvente y tiempo de aplicación. Debe Poseer gran variedad de configuraciones y relación entre “Presión x flujo” de material, adaptándose a cualquier aplicación.

- Salida (gpm) 2.69
- Salida (lpm) 10.1
- Tasa de ciclo (galón) 30
- Tasa de ciclo (litro) 7.9
- Orificio máximo (boquilla) hasta 2000 psi/1.38 bar .047”
- Relación de presión 60:1
- Presión máxima (psi) 6000
- Presión máxima (bar) 414
- Entrada del producto 1”NPT (F)
- Salida del producto ½ NPT (F)

- Conexión de la manguera 3/8" NPSM (M)

Exigencia aproximada del aire por galón:

- (3.8 litros) libras por pulgada cuadrada de salida 53 SCFM.
- (6.9 BAR) Presión del aire 1.50 m³/ min.
- Entrada de aire 3/4"NPT(F)

5.3.6.3. Criterios para seleccionar la boquilla de pintado.

Identificamos las boquillas airless por un número, como en el ejemplo siguiente:

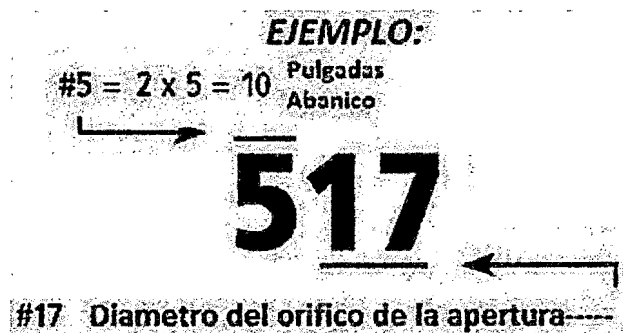


Figura N° 2.20: Identificación de la boquilla de pintura

Los números de tres dígitos usados para identificar el tamaño de la boquilla se refiere a la anchura del ventilador y el tamaño del orificio. Por ejemplo “515” la boquilla tiene un ancho de abanico de 10 pulgadas y un tamaño de orificio de 0.015 pulgadas. La primera mitad del dígito denota el tamaño del patrón. Así, el 5 equivale a 10 pulgadas de aerosol del ventilador patrón. Los dígitos segundo y tercero denota la medida del tamaño del orificio en milésimas de pulgada. Así el 15 equivale a un orificio de 0.015 pulgadas.

5.3.7. Selección de Equipo de Protección del Operario.

El alto rendimiento en los trabajos de arenado se justifica, solamente si la actividad se realiza en las más estrictas condiciones de seguridad, salubridad y comodidad.

Básicamente se debe lograr que al operario solo llegue aire limpio y fresco, el Angulo de visión sea lo más limpio y amplio posible, y el equipo que opere debe ser lo más liviano posible. Por lo que el equipo de protección debe contar con los siguientes accesorios:

- Casco integral en fibra de vidrio, ajustable con visor de acrílico y láminas intercambiables con amplia visibilidad. Distribuidor de aire diseñado para evitar empañamientos.
- Capucha protectora resistente a la abrasión que lo cubra hasta la cintura.
- Cinturón con válvula reguladora de paso de aire y acoples rápidos.
- Filtro de aire con cartucho desechable que provea aire fresco y limpio al operario.
- Manguera de aire de 3/8" para la conexión de la línea de aire que llega al casco.
- Guantes de cuero de caña larga para el trabajo de arenado.

5.4. Selección del abrasivo

TIPO I: Abrasivos minerales naturales

TIPO II: Escorias abrasivas

Clase de abrasivo y contenido de sílice

CLASE A: contiene 1% o menos de sílice cristalina

CLASE B: contiene 5% o menos de sílice cristalina

CLASE C: contiene más de 5% de sílice cristalina

Grado del abrasivo y rugosidad producida

GRADO 1: rugosidad superficial entre 0.5 y 1.5 mills (13 a 38 mic)

GRADO 2: rugosidad superficial entre 1.0 y 2.5 mills (25 a 63 mic)

GRADO 3: rugosidad superficial entre 2.0 y 3.5 mills (50 a 89 mic)

GRADO 4: rugosidad superficial entre 3.0 y 5.0 mills (75 a 127 mic)

GRADO 5: rugosidad superficial entre 4.0 y 6.0 mills (100 a 152 mic)

Según la SSPC AB-1, las granallas producidas pueden llevar la siguiente denominación ejemplificada a continuación:

GR-1: Granalla TIPO 2, CLASE A, Grado 1

GR-3: Granalla TIPO 2, CLASE A, Grado 3

GR-4: Granalla TIPO 2, CLASE A, Grado 4

Debido a que la preparación de superficie de los tanques de combustible diesel se realiza en su totalidad en campo, donde la posibilidad de automatizar el proceso de preparación de superficie usando cabinas de granallado con recuperación y reutilización del abrasivo es imposible, se debe elegir un abrasivo que pueda ser por su costo, desechado, es decir que su reutilización sea 0%.

Entre los abrasivos que puedan servir para el grado de preparación de superficie que haya sido seleccionado para un determinado proyecto tenemos los siguientes, descartando otros:

- Arena silica
- Escoria de cobre.

5.4.1. Arena Silica:

Este abrasivo es de muy bajo costo y ha sido el abrasivo más utilizado desde la invención de la preparación de superficie, hoy en día la arena silica está siendo restringida en casi la mayoría de países debido a que el material con arena de sílice al impactar con el sustrato genera un polvo fino. La respiración de este polvo puede causar daño pulmonar grave irreversible y muerte.

Algunos informes médicos señalan que la inhalación del polvo de sílice podría causar cáncer de pulmón. Los informes médicos también vinculan la respiración del polvo de sílice con artritis incapacitante e irritación en la piel y los ojos.

Debido a estas consecuencias a la salud de los trabajadores este abrasivo está casi prohibido para ser usado en el proceso de preparación de superficie.

Por estas consideraciones se está paulatinamente prohibiendo su uso en estos trabajos de preparación de superficie.

5.4.2. Escoria de Cobre:

Este abrasivo también conocido como "abrasivo negro" o "abrasivo ecológico" se obtiene principalmente de la fundición de metal (cobre y níquel). La granalla mineral ha aumentado su demanda debido a su capacidad de limpieza, disponibilidad, bajo contenido de sílice (menos del 1%), gran rango de medidas y su relativo bajo costo. Sus partículas duras y angulares le otorgan gran velocidad y capacidad de corte, haciéndola perfecta para una gran cantidad de usos. La escoria es un excelente abrasivo y supera notablemente a las tradicionales arenas en trabajos de arenado, ya que rinde entre 35 a 40% más que estas y no genera el molesto polvo de los "arenados" creando una atmósfera de trabajo más grato y seguro. La escoria cumple con las normas internacionales, pues está muy por debajo de los parámetros permitidos para metales pesados. Una vez usada, puede ser llevada a relleno sanitario, mezclarse con asfalto, agregársele cemento refractario y parchar hornos de cal o cemento entre otros.

Descripción	Valor
Abrasivo	Escoria de cobre
Color	Gris oscuro
Olor	No tiene
Densidad aparente	1.535
Densidad específica	330 – 3900
Dureza (escala Mohs)	7
Sílice libre	Menor al 0.1%
pH	6.5
Factor de uso	2 – 3
Humedad	0.3%

Tabla N° 2.19: Características técnicas de la escoria de cobre

5.4.2.1. Beneficios de la escoria de cobre

- No hay productos químicos volátiles, tóxicos o vapores
- Residuos reducido drásticamente el volumen y los costes de eliminación
- Reduce el tiempo de componente de limpieza considerablemente
- Conserva cubiertas, revestimientos anodizado, galvanizado y fosfatado
- Minimiza el mantenimiento de los equipos
- No hay peligro de silicosis
- Elimina la fragilidad del metal
- Proporciona superficies superiores de adhesión de la pintura
- Sin deformación o picaduras de metales duros
- Elimina un manejo especial y las medidas de almacenamiento
- Reduce el consumo de energía

5.5. Sistema de Pintura

Para efectos de protección anticorrosivos y debido a la permeabilidad natural de los recubrimientos, estos deberán aplicarse a un espesor tal que la película seca nunca sea inferior a los 6 mils para categorías de ambientes corrosivos grado C1 y C2, 8 mils para categoría de ambientes corrosivos grado C3, y 12 mils para categorías de ambiente corrosivo C4, C5-M.

En un principio podría pensarse en cubrir este espesor en una sola formulación de un recubrimiento que incluyese la resina adecuada y un porcentaje determinado de pigmentos inhibidores; no obstante, la eficiencia en la protección contra la corrosión no depende exclusivamente de la resina y del pigmento sino también del espesor. Esta serie de factores incluyendo como parte muy importante aspectos de tipo económico han dado lugar a la utilización de diferentes formulaciones para cubrir el espesor antes mencionado. Dependiendo de su posición estas formulaciones se denominan primario, enlace y acabado; al conjunto se le conoce como Sistema; las características más relevantes de cada uno de ellos se mencionan a continuación:

5.5.1. Capa Primaria

Son recubrimientos cuya formulación está encaminada fundamentalmente hacia la obtención de una buena adherencia con el substrato metálico, así como la de inhibir la corrosión, por lo que normalmente los contenidos de los pigmentos inhibidos son elevados (PVC inferior a 35%). Otros requisitos adicionales, en un primario consideran al presentar una superficie lo suficientemente áspera y compatible para que las siguientes capas de enlace o acabado logren una buena adherencia, además deben ser resistentes a productos de la corrosión y poseer una buena humectación. Los primarios pueden elaborarse a partir de cualquiera de las resinas mencionadas anteriormente.

5.5.2. Capa Secundaria o de Enlace

Para ciertos casos particulares no es posible tener el mismo tipo de resina en el primario y en el acabado, presentándose problemas de incompatibilidad o de adherencia, por lo que se requiere de una capa intermedia denominada enlace capaz de adherirse tanto al primario como al acabado. Normalmente, los enlaces contienen una mezcla de resinas, parte de las cuales promueven la adherencia con el primario y el resto con el acabado. Generalmente los pigmentos inhibidores están ausentes. Con fines de identificación y control de espesores, es conveniente que el primario, enlace y acabado en un sistema sean de diferente color y como se mencionó anteriormente, la suma total de los espesores de estos componentes debe ser superior a las 12 mils.", a fin de que sea efectivo en su protección contra la corrosión.

5.5.3. Capa de Acabado

Los acabados representan la capa exterior en contacto con el medio ambiente y se formulan para promover la impermeabilidad del sistema, por lo que normalmente su contenido de pigmento en volumen (PVC) es inferior al 25%. En este tipo de recubrimientos es frecuente el uso de entonadores y el contenido de pigmentos inhibidores es inferior al de un primario. Su grado de molienda es tal que su superficie ofrece un aspecto terso y/o brillante. En la elección del tipo de acabado es de capital importancia para la adherencia su compatibilidad con el tipo primario utilizado; en términos generales el uso del mismo tipo de resina en estos dos componentes del sistema asegura una buena adherencia, aun cuando hay casos como los epoxicos capaces de lograr una adherencia sino excelente cuando menos aceptable sobre otro tipo de recubrimientos.

5.5.4. Selección de sistema de Pintura.

La selección del sistema de pintura adecuado para nuestro tema de interés que son los Tanques diesel trabajando en las centrales termoeléctricas, es una tarea que los especificadores debemos realizarla considerando todos los factores intrínsecos de la instalación, es muy frecuente que una no adecuada elección del sistema de pintura genere a la larga costos altísimos de mantenimiento, paradas de producción y complicaciones para generar energía eléctrica, tan importante hoy en día que nuestro país se ve inmerso en un desarrollo económico importante que requiere de cada vez una mayor energía eléctrica para mover sus operaciones, por esto la protección contra la corrosión requiere una variedad de factores (temperatura, humedad, salinidad, resistividad, contaminación, pH, presencia de gases, etc.) que se deben tener en cuenta para garantizar que se logre la mejor y más económica solución técnica. Los factores más importantes a considerar para cada proyecto antes de seleccionar el tipo de sistema protector son:

5.5.4.1. Factores a considerar en la elección del sistema de pintura

Corrosividad del medio ambiente

Es fundamental en la elección del sistema de pintura de Tanques de diesel hacer un estudio de las condiciones en las que la estructura va a operar, para establecer los niveles de corrosión del medio ambiente se debe considerar lo siguiente:

Humedad y temperatura (temperatura de servicio y gradientes de temperatura)

- La exposición a la radiación UV
- La exposición a sustancias químicas (por ejemplo, la exposición específica en las plantas industriales)
- Daños mecánicos (impacto, abrasión etc.)

La agresividad corrosiva del medio ambiente tendrá fundamental importancia en la elección de:

- Preparación de superficie requerida.
- El tipo de pintura a utilizar.
- Espesor total del sistema de pintura.
- Tiempos de repintado mínimo y máximo.

Tipo de superficie a ser protegida

Cuando se diseña un sistema de pintado, se debe tener en cuenta los materiales de construcción, tales como el acero, acero galvanizado por inmersión en caliente, acero metalizado por spray, aluminio o acero inoxidable. La preparación de superficie, el tipo de pintura a utilizar y el espesor total dependen totalmente del tipo de sustrato sobre el cual se va a aplicar la protección anticorrosiva.

Durabilidad requerida para el sistema de pintura

La vida útil de un sistema de pintura se entiende por el tiempo en que se vuelve a pintar el tanque, luego de haber sido pintado por primera vez, la ISO 12944 ha especificado un rango de tres intervalos de tiempo para la durabilidad del sistema de pintura:

BAJA - L	2 a 5 años
MEDIA - M	5 a 15 años
ALTA - H	mas de 15 años

Planificación del pintado

El calendario y las varias fases de construcción de cualquier proyecto específico determinan cómo y cuándo debe aplicarse el sistema de pintado. Hay que tener en cuenta los materiales en la etapa de su prefabricación, tanto cuando son prefabricados, "en campo" como "en taller" y además en qué momento se completan las etapas de construcción.

Esto también debe incluir las épocas del año en que es posible aplicar el recubrimiento a la estructura, debido que hay épocas del año con persistentes

lluvias, humedad altísima o a la inversa temperaturas elevadas que pudieran hacer imposible que se den las condiciones para la aplicación del sistema de pintura.

Es necesario planificar el trabajo de tal manera que la preparación de superficie y el tiempo de secado o curado de las pinturas sean adecuados en relación con la temperatura y la humedad.

Temperaturas Máximas de Servicio de Pinturas Industriales

Las pinturas tienen diferentes tipos de resistencia a la temperatura dependiendo de la resina y de los pigmentos utilizados. La resistencia a la temperatura de los tipos diferentes de pintura individuales se muestra a continuación. Como se puede ver la gran mayoría de pinturas de diversas resinas, consideran que sus productos puedan resistir altas temperaturas, debido a que en el interior de los tanques se presentan temperaturas superiores a los 80 °C.

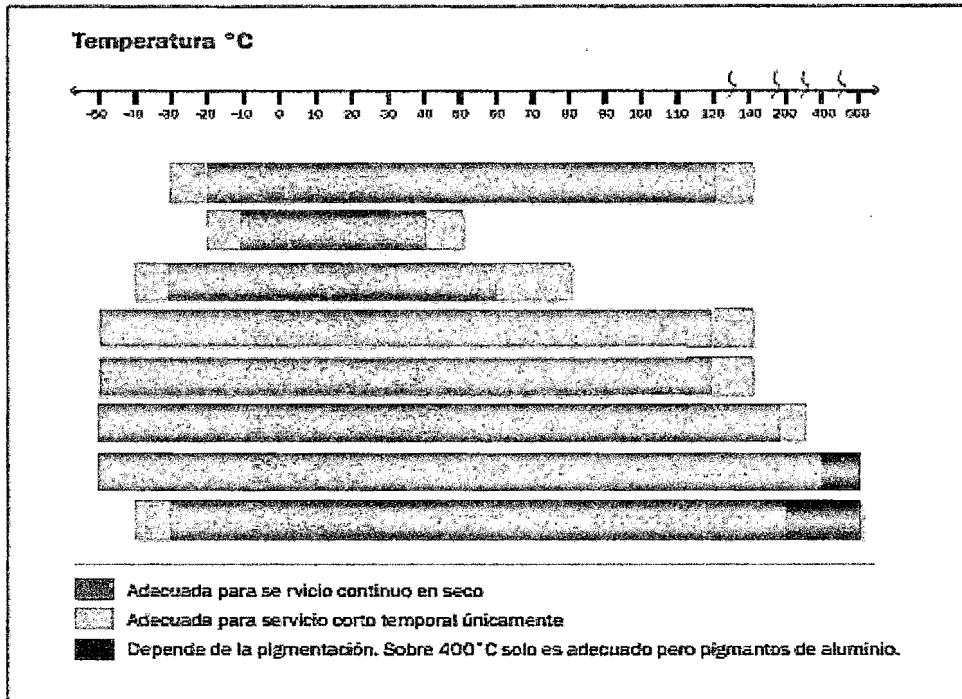


Tabla N° 5.10: temperaturas máximas de servicio de las pinturas

5.5.4.2. Sistemas Recomendados según las categorías de corrosividad del ambiente

Categoría C1/C2 para estructuras de acero en áreas cerradas

BD = Base Disolvente; BA = Base Agua.

Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)
0 – 5 años	1	BD Alquídica	1	40
		BD Alquídica	1	40
		Espesor total		
	2	BD Alquídica	1	40
		BD Alquídica	1	40
		Espesor total		
	3	BD Poliuretano	1	80
		Espesor total		
	Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Nº de capas
5 – 15 años	1	BD Alquídica	1x	80
		BD Alquídica	1x	40
		Espesor total		
	2	BD Alquídica	1x	80
		BD Alquídica	1x	40
		Espesor total		
	3	BD Poliuretano	1x	120
		Espesor total		
	4	BD Epoxy	1x	120
		Espesor total		

Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)
Más de 15 años	1	BD Alquidica	2x	120
		BD Alquidica	1x	40
		Espesor total		160
	2	BA Alquidica	2x	120
		BA Alquidica	1x	40
		Espesor total		160
	3	BD Acrílico	2x	120
		BD Acrílico	1x	40
		Espesor total		160
	4	BD Epoxy	1x	160
		Espesor total		160
	5	BD Epoxy	1x	100
		BD Poliuretano	1x	60
		Espesor total		160
	6	BA Epoxy	1x	100
		BA Poliuretano	1x	60
		Espesor total		160

Tablas N° 5.11: Sistemas recomendados para ambientes tipos C1 y C2

Categoría C3 para estructuras de acero en áreas abiertas

Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)
0 – 5 años	1	BD Alquidica	1x	80
		BD Alquidica	1x	40
		Espesor total		120
	2	BA Alquidica	1x	80
		BA Alquidica	1x	40
		Espesor total		120
	3	BD Epoxy	1x	120

		Espesor total		120
	4	BD Poliuretano	1x	120
		Espesor total		120
Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)
5 – 15 años	1	BA Acrilico	1x	100
		BA Acrilico	1x	60
		Espesor total		160
	2	BD Epoxy	1x	100
		BD Poliuretano	1x	60
		Espesor total		160
	3	BA Epoxy	1x	100
		BA Poliuretano	1x	60
		Espesor total		160
Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)
15 a mas	1	BA Acrilico	2x	140
		BA Acrilico	1x	60
		Espesor total		200
	2	BD Epoxy	1x	140
		BD Poliuretano	1x	60
		Espesor total		200
	3	BA Epoxy	2x	140
		BA Poliuretano	1x	60
		Espesor total		200
	4	BD Epoxy Zinc	1x	40
		BD Epoxy	1x	70
		BD Poliuretano	1x	50
		Espesor total		160

Tabla N° 5.12: Sistemas recomendados para Categorías C3

Categoría C5 - M

Para estructuras de acero en áreas abiertas (corrosividad marina).

Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)	
5 – 15 años	1	BD Epoxy	2x	300	
		Espesor total			300
	2	BA Epoxy	3x	240	
		BA Poliuretano	1x	40	
		Espesor total			280
	3	BD Epoxy Zinc	1x	40	
		BD Epoxy	1x	120	
		BA Poliuretano	1x	80	
		Espesor total			240
	4	BA Epoxy Zinc	1x	60	
		BA Epoxy	2x	120	
		BA Poliuretano	1x	60	
		Espesor total			240
	Vida estimada	Numero de Sistema	Tipo de Pintura	Numero de capas	Espesor (micras)
	5 – 15 años	1	BD Epoxy	2x	260
			BD Poliuretano	1x	60
Espesor total			320		
2		BD Epoxy Zinc	1x	60	
		BD Epoxy	2x	200	
		BD Poliuretano	1x	60	
		Espesor total			320
3		BA Epoxy Zinc	1x	60	
		BA Epoxy	2x	200	
		BA Poliuretano	1x	60	
		Espesor total			320
4		BD Silicato Zinc	1x	60	

		BD Epoxy	2x	200
		BD Poliuretano	1x	60
		Espesor total		320

Tablas N° 5.13: Sistemas de pintura recomendado para Categoría C5-M

5.5.5. Pruebas de Laboratorio al Sistema seleccionado.

El buen comportamiento de los recubrimientos de las pinturas en el tiempo (DURABILIDAD), depende del ataque o agresividad del medio que la rodea: tiempos de humectación, oxidantes, contaminantes, etc.

En consecuencia debe conocerse la capacidad de resistencia en el tiempo de los diferentes tipos de recubrimientos a la acción agresiva atmosférica, del medio y sus contaminantes y a la acción de los productos industriales en contacto permanente o por salpicaduras.

La evaluación y predicción del comportamiento (DURABILIDAD) de los sistemas de pintura se efectúan mediante una variedad de técnicas de experimentación, por lo que el sistema de protección anticorrosiva (Tabla 8) debe ser acompañado de un informe de resultados de pruebas de Resistencia y Performance (DURABILIDAD) frente al medio.

Tabla de pruebas que se le debe hacer al sistema de pintura elegido, estas pruebas son realizadas por el fabricante de pinturas seleccionado, es una prueba que garantiza que el sistema correctamente aplicado tendrá el ciclo de vida estimado en el diseño.

Pruebas	Método	Criterio de aceptación
Sustrato acero		
Adherencia	ASTM D 4541	58 kg/cm ² (tracción)
Flexibilidad	ASTM D 522	180° - 3/4"

Niebla Salina	ASTM B 117	2000 horas (evaluación ASTM D610 Grado 10 ASTM D1654 Grado 9)
Abrasión	ASTM D 4060	84 mgr Perdida (1000 cc)
Impacto	ASTM D 2794	30 pulg x libra
Rayos Ultravioleta (tiempos de exposición)	ASTM G 154 o equivalente	1500 horas
Dureza al lápiz	ASTM D 3363	3H
Humedad	ASTM D 2247	1500 horas

Tabla N° 5.14: Pruebas de laboratorio del fabricante al sistema elegido

5.5.6. Listado de Centrales termoelectricas del SEIN y su ubicacion.

En la siguiente tabla se muestra el listado de Centrales Termoelectricas que son parte del Sistema Elctrico Interconectado Nacional en la cual podemos identificar datos importantes para el mantenimiento de estas centrales trmicas, ya que podemos ver su ubicacion dentro del territorio nacional y tambien el dato del combustible que les permiten realizar la funcion de generar energia elctrica. Tambien es posible identificar la empresa concesionaria.

Esta tabla, de inicio sirven a los especificadores para tener las condiciones atmosfericas, la categoria de corrosividad o agresividad del lugar donde esta ubicada la central, lo que les permitira de una manera tecnica disenar un plan de mantenimiento anticorrosivo para cualquiera de estas centrales.

Debemos considerar que el ciclo de vida esperado de acuerdo al disenio del plan esta directamente relacionado con la identificacion del grado de corrosividad del medio y por ende del grado de preparacion de superficie aplicado al sustrato del tanque.

Sugerimos nunca considerar una categoría de corrosividad menor a C4, nuestra experiencia nos lleva a recomendar trabajar los sistemas de pintura con las categorías de corrosión de C4 hacia arriba. Obviamente el especificador debe tener en mente siempre el tema de costos, la norma es proteger de manera rigurosa, pero sin sobredimensionar ya que elevaría los costos.

CENTRALES TÉRMICAS EXISTENTES DEL SEIN

CENTRAL	Tensión (kV)	Potencia Instalada (MVA)	Potencia Efectiva (MW)	Potencia Reactiva (MVAR)	Nº De Grupos	Empresa
TUMBES	10,0	18,3	19,2	11,3	DIESEL	ELECTROPERU
YARINACOGCHA	10,0	32,0	23,8	19,2	DIESEL	ELECTROPERU
VENTANILLA (TG-3)	16,0	192,0	164,1	99,0	TG	ETEVENSA
VENTANILLA (TG-4)	16,0	192,0	160,5	99,0	TG	ETEVENSA
MALACAS (G-1)	13,8	18,0	14,8	5,0	TG	EEPSA
MALACAS (G-2)	13,8	18,0	15,0	5,0	TG	EEPSA
MALACAS (G-3)	13,8	18,0	15,1	5,0	TG	EEPSA
MALACAS (G-4)	13,8	101,3	97,4	54,0	TG	EEPSA
WESTINGHOUSE (TG-7)	13,8	150,0	121,3	36,0	TG	EDEGEL
SANTA ROSA (UT-5)	13,8	70,1	52,0	18,0	TG	EDEGEL
SANTA ROSA (UT-6)	13,8	70,1	53,8	18,0	TG	EDEGEL
SAN NICOLAS (TV-1)	13,8	22,1	19,5	11,6	TV	EDEGEL
SAN NICOLAS (TV-2)	13,8	22,1	19,5	11,6	TV	SHOUGESA
SAN NICOLAS (TV-3)	13,8	22,1	26,5	18,0	TV	SHOUGESA
SAN NICOLAS (CUMMINS)	13,8	23,4	1,2	0,8	DIESEL	SHOUGESA
PACASMAYO (SUL)	6,3	1,3	23,0	5,9	DIESEL	SHOUGESA
PACASMAYO (MAN)	2,3	23,0	1,8	1,0	DIESEL	ENERGIA PACASMAYO
PIURA-CT-(GMT-2)	10,0	1,6	4,7	3,8	DIESEL	ENERGIA PACASMAYO
PIURA-CT-(MIRRL-1)	10,0	6,3	4,8	3,8	DIESEL	EGENOR
PIURA-CT-(MIRRL-4)	4,8	6,3	1,2	0,9	DIESEL	EGENOR
PIURA-CT-(MIRRL-5)	4,8	1,7	2,0	1,3	DIESEL	EGENOR
PIURA-CT-(SWD)	4,8	2,9	1,9	1,4	DIESEL	EGENOR
PIURA-CT-(MAN)	10,0	3,0	5,6	3,8	DIESEL	EGENOR
PIURA-TG-(MS-5000)	10,0	7,1	7,7	4,6	DIESEL	EGENOR
PIURA-CT-(GMT-2)	10,0	11,0	21,1	13,7	TG	EGENOR
CHICLAYO O. (GMT-1)	10,5	26,3	4,3	3,1	DIESEL	EGENOR
CHICLAYO O. (GMT-2)	10,5	6,4	4,5	3,1	DIESEL	EGENOR
CHICLAYO O. (GMT-3)	10,5	6,4	4,5	3,0	DIESEL	EGENOR
CHICLAYO O. (SUL-1)	10,5	6,3	5,9	3,1	DIESEL	EGENOR
CHICLAYO O. (SUL-2)	10,5	7,1	6,8	3,1	DIESEL	EGENOR
SULLANA (ALCO-1)	4,2	7,1	2,3	1,7	DIESEL	EGENOR
SULLANA (ALCO-2)	4,2	3,1	2,5	1,7	DIESEL	EGENOR
SULLANA (ALCO-3)	4,2	3,1	2,2	1,7	DIESEL	EGENOR
SULLANA (ALCO-4)	4,2	3,1	2,1	1,7	DIESEL	EGENOR
SULLANA (ALCO-5)	4,2	3,1	2,0	1,7	DIESEL	EGENOR
PAITA (SKODA-1)	2,4	1,4	0,9	0,7	DIESEL	EGENOR
PAITA (SKODA-2)	2,4	1,4	0,9	0,7	DIESEL	EGENOR
PAITA (SKODA-3)	2,4	1,4	0,9	0,7	DIESEL	EGENOR
PAITA (EMD-1)	4,2	3,3	2,1	1,7	DIESEL	EGENOR
PAITA (EMD-2)	4,2	3,3	2,1	1,7	DIESEL	EGENOR
PAITA (EMD-3)	4,2	3,3	2,2	1,7	DIESEL	EGENOR
CHIMBOTE (TG-1)	13,2	27,4	22,4	17,1	TG	EGENOR
CHIMBOTE (TG-2)	13,2	27,4	22,8	17,1	TG	EGENOR
CHIMBOTE (TG-3)	13,2	26,2	22,2	17,1	TG	EGENOR
TRUJILLO (TG-4)	10,0	27,4	21,7	17,1	TG	EGENOR
TRUPAL	4,2	16,0	13,5	8,4	TV	EGENOR

CENTRAL	Tensión (kV)	Potencia Instalada (MVA)	Potencia Efectiva (MW)	Potencia Reactiva (MVAR)	Nº De Grupos	Empresa
AGUAYTIA TG1	13,8	119,2	78,2	77,5	TG	TERMOSELVA
AGUAYTIA TG2	13,8	119,2	78,1	77,5	TG	TERMOSELVA
CHILINA - ZULSER1	10,4	5,2	5,1	3,1	DIESEL	EGASA
CHILINA - ZULSER2	10,4	5,2	5,2	3,2	DIESEL	EGASA
CHILINA - VAPOR 2	10,4	5,4	6,9	5,1	TV	EGASA
CHILINA - VAPOR 3	10,5	11,8	10,1	8,7	TV	EGASA
CHILINA - CICLO COMBINADO	13,8	23,5	18,7	11,4	TG	EGASA
MOLLENDÓ - MIRAFLESS1	13,8	10,6	10,5	6,4	DIESEL	EGASA
MOLLENDÓ - MIRAFLESS2	13,8	10,6	10,6	6,6	DIESEL	EGASA
MOLLENDÓ - MIRAFLESS3	13,8	10,6	10,4	6,4	DIESEL	EGASA
MOLLENDÓ - TGM1	13,8	45,0	35,2	26,6	TG	EGASA
MOLLENDÓ - TGM2	13,8	45,0	35,8	27,0	TG	EGASA
DOLORESPATA - SULZER	11,0	3,1	2,5	2,1	DIESEL	EGEMSA
DOLORESPATA - ALCO	4,2	5,0	3,4	2,9	DIESEL	EGEMSA
DOLORESPATA - GM	4,2	7,5	5,4	4,6	DIESEL	EGEMSA
CALANA	10,5	25,6	25,3	19,2	DIESEL	EGESUR
MOCUEGUA	4,2	1,0	0,8	0,7	DIESEL	EGESUR
ILO1 TV	13,8	154,0	145,1	52,8	TV	ENERSUR
ILO1 - CATKATO	4,2	3,3	3,2	2,9	DIESEL	ENERSUR
ILO1 TG	13,8	21,7	70,3	50,8	TG	ENERSUR
ILO2	17,0	145,0	141,1	87,4	CARBON	ENERSUR
TINTAYA	4,2	18,0	16,7	10,6	DIESEL	SAN GABAN
BELLAVISTA - MAN	10,0	5,4	3,6	3,3	DIESEL	SAN GABAN
BELLAVISTA - ALCO y DEUTZ	2,4	3,2	2,1	2,0	DIESEL	SAN GABAN
TAPARACHI - SKODA y MAN	2,4	5,7	3,8	7,4	DIESEL	SAN GABAN
TAPARACHI - MAN 4	10,5	3,1	1,9	0,9	DIESEL	SAN GABAN

Tabla N° 2.25: Listado de Centrales Termoeléctricas del SEIN y su ubicación

5.5.7. Códigos y Normas Aplicables

Los requerimientos contenidos en la más reciente edición de las siguientes normas serán parte integral de esta especificación:

- SSPC Steel Structures Painting Council
- NACE National Association of Corrosion Engineers
- ASTM American Society for Testing and Materials

- ASTM D 3363-5 Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test.
- ASTM D 2794 Test Method for Resistance of Organic Coatings to effects of Rapid Deformation (Impact).
- ASTM D 523 Test Method for specular Gloss.
- ASTM D 0522 Test Method for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings.
- ASTM A 123 Zinc Coatings on Iron and Steel Products.
- ASTM A 153 Zinc Coatings On Iron and Steel Products.
- ASTM A 385 Providing High – Quality Zinc Coatings.
- ASTM B 117 Standard Practice for Operating Salt Spray Apparatus.
- ASTM D 2247 Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity.
- ISO International Standard Organization.
- ISO 12944-1-8 Paints and Varnishes – Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paints systems.
- Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products – Surface Preparation Methods – Part 1 General Principles Second Edition.
- ISO 8501 – 1 Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products.

CAPITULO VI

CONTROLES DE CALIDAD DE LA PREPARACION DE LA SUPERFICIE Y APLICACIÓN DE PINTURA

Previamente antes de empezar los trabajos de preparación de superficie, es necesario que se planifique una reunión entre todos los interesados del proyecto, tales como: la empresa contratista, el asesor técnico del fabricante de las pinturas, representante del propietario del proyecto, supervisor del proyecto, para unificar conceptos, criterios de aceptación y normas con las cuales se determinara los parámetros para la ejecución del proyecto.

6.1. Controles en la Preparación de Superficie

6.1.1. Control de contaminantes no visibles en el sustrato de tanques.

Uno de los fallos más corrientes en la aplicación de un sistema de pinturas como protección anti corrosiva, es el ampollamiento del sistema aplicado debido a una deficiente limpieza del sustrato de contaminantes no visibles como los cloruros.

Las sales de cloruro depositadas en la superficie antes de la primera aplicación del revestimiento pueden provocar el desprendimiento del sistema de revestimientos a causa de la corrosión y las ampollas antes de que éste haya alcanzado la duración prevista. Para saber con seguridad que no hay restos de cloruro, es fundamental realizar una prueba a la superficie antes de aplicar el revestimiento. Esta prueba está dada por la Norma ISO 8502-6.

La prueba de contaminación por cloruros permisibles sobre la superficie metálica antes de realizar la preparación de superficie es irrelevante ya que debido a que los tanques están ubicados en la zona costera es necesario que se haga previamente una limpieza con chorro de agua a presión (3000 psi) para eliminar contaminantes no visibles, especificado en la Norma SSPC – SP1.

Contaminantes no visibles permitidos en superficie de tanques:

- Iones Cloruros (Cl⁻): Siete (7) microgramos/ cm² de superficie
- Iones Sulfato (SO₄⁻²): Diecisiete microgramos/ cm² de superficie
- Hierro soluble: diez (10) microgramos/ cm² de superficie

Según se ha demostrado, la contaminación de las superficies causada por sales como cloruros, sulfatos y nitratos provoca la aparición de ampollas en revestimientos orgánicos, especialmente en condiciones de inmersión.

Método de prueba Elcometer 134S: se llena una funda de látex con una solución de extracto de Chlor*Rid y se adhiere a la superficie de prueba donde se frota la solución contra la superficie para extraer las sales. Se inserta el tubo de valoración tras lo cual pueden registrarse los resultados.



Figura N° 6.1: Equipamiento para prueba de cloruros en superficie

Corrección:

Una buena práctica en la preparación de superficie, es el hidrolavado de todo el sustrato a ser trabajado (todo el tanque, tanto interior como exteriormente) con agua dulce a una presión mínima de 3000 psi.

Lavado de la superficie con detergente industrial bio-degradable diluido en agua (1 de Detergente por 20 de agua) para la remoción de suciedad, grasa y sales según norma SSPC-SP1.

Esta es una práctica obligatoria ya que los cloruros presentes en la atmosfera se impregnan en los tanques, por lo que es obligatorio hidrolavar el tanque previamente y luego hacer la prueba de cloruros en superficie.

6.1.2. Limpieza del aire del compresor

Para asegurar que no existe aceite ni humedad que pueda contaminar la superficie del sustrato a ser pintado, se debe controlar periódicamente en cada punto de uso, la prueba es descrita en la Norma ASTM D4285 “Prueba Standard para indicar agua o aceite en el Compresor de aire”, la cual consiste en el uso de un colector absorbente, colocado en la línea de aire, provocando que descargue sobre este, una mancha o cambio de coloración implica la presencia de humedad o aceite.

Corrección:

De encontrarse presencia de aceite o humedad, la medida correctiva es el remplazo del filtro, purga de las trampas de humedad, limpieza interior de las mangueras, enfriamiento del aire del compresor, si aun así no se soluciona el problema se procederá al cambio del compresor.

6.1.3. Verificación del tamaño de grano del abrasivo

Se debe seleccionar el tamaño de grano del abrasivo, fundamentado en la altura del perfil de anclaje especificado, cambios en el tamaño del abrasivo, resulta en

cambios en la altura del perfil de anclaje. Un perfil bajo reduce la adhesión y un perfil alto implica que la pintura borde los picos, resultando en puntos de oxidación. Antes de suministrar el abrasivo es una buena práctica proceder a un análisis de tamiz del abrasivo en obra.

6.1.4. Control de la Presión de Limpieza del chorro abrasivo

En especificaciones a nivel industrial es común que la limpieza con chorro abrasivo requiera una presión en la boquilla de la manguera, mínimo de 100 lb/pulg², por debajo de este valor, se reduce la productividad y disminuye el perfil de anclaje.

Para asegurar que la presión en la boquilla sea la adecuada se realiza la prueba utilizando el manómetro de aguja que está diseñado para medir la presión de aire en la manguera de chorro de granallado y la manguera de aire. El uso apropiado de este medidor medirá las caídas de presión que son responsables de la reducción de las tasas de producción, del consumo de abrasivo y perfil de anclaje.

Procedimiento de control de presión:

1. Desenrosque el protector de la aguja.
2. El número de lecturas depende del instrumento.
3. Lubricar la aguja y el área de la manguera donde se insertará la aguja.
4. Insertar el indicador de presión de la aguja dentro de la manguera en un ángulo de 45 grados lejos de la corriente de aire.

Nota: la aguja está sellado por la fricción con el cuerpo del medidor.

5. Registrar las lecturas del manómetro.

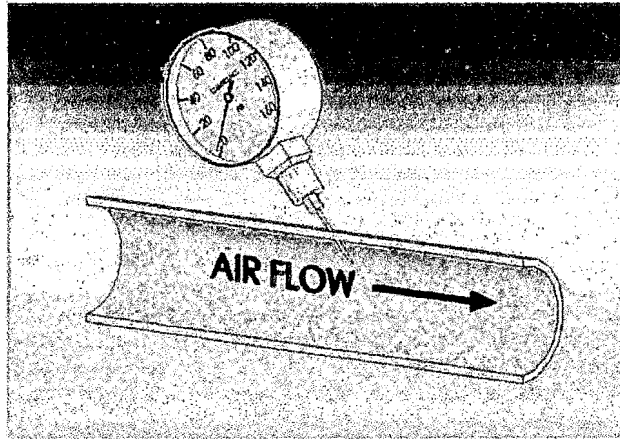
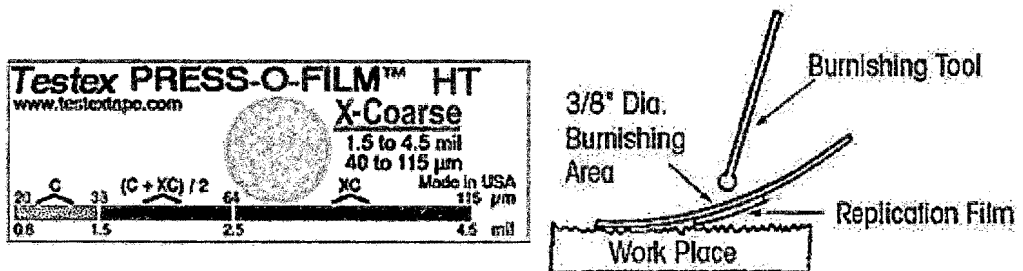


Figura N° 6.2: Prueba de presión en la boquilla de arenado

6.1.5. Control de Altura del perfil de anclaje

Estas pruebas son descritas en la Norma ASTM D4417 “Métodos de prueba Standard para la medida del perfil de anclaje en superficies de acero limpiadas con chorro abrasivo”. Dos instrumentos comunes están disponibles para medir la altura del perfil de anclaje; el comparador de superficie y el método de la prueba de la cinta replica “press o film”.

Valores cuantitativos pueden ser obtenidos por el uso de cinta de réplica y un micrómetro, de acuerdo a la Norma ASTM D 4417, Método C ó a la Norma NACE RP 0287.



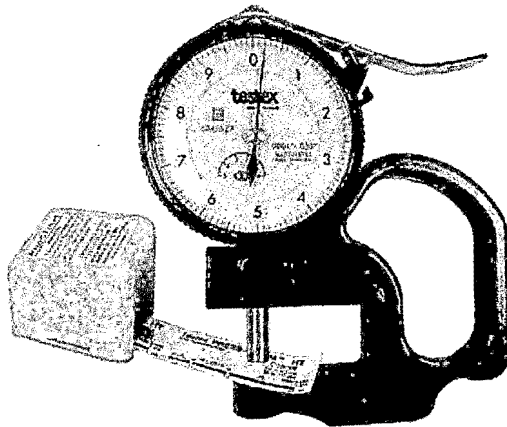


Figura N° 6.3: Equipo para medición de perfil de anclaje

6.2. Controles de Calidad en la Aplicación de Pintura

6.2.1. Control de Condiciones Ambientales

Humedad relativa (ASTM E337 Método de Prueba para medir Humedad con un Psicrómetro), temperatura ambiente, temperatura de chapa. El instrumento comúnmente utilizado es el Psicrómetro, mediante el cual se puede medir las temperaturas de bulbo húmedo, de bulbo seco y con base en estos dos valores, y con el uso de las Tablas Psicrométricas del sistema aire-agua nos permitirá calcular la humedad relativa y el punto de rocío. También existen otros instrumentos como los denominados Higrómetros los que nos permiten determinar directamente la humedad relativa y el punto de rocío. El método que cubre estas determinaciones se encuentra en la Norma ASTM 337- 84: "Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (The Measurement of Wet and Dry- Bulb Temperatures)".

La temperatura de la superficie metálica puede determinarse con un termómetro de disco o reloj con la base imantada que contiene un sensor bimetalico; los modelos disponibles dependen de los rangos de temperatura que se

desea medir. Uno de los más comunes es el PTC Surface Temperature Thermometers, con escalas en grados centígrados (°C) o en grados Fahrenheit (°F).

Sin embargo, y para mayor rapidez y precisión de datos, los inspectores de campo pueden contar hoy en día con un único instrumento digital, tal como el Elcometer 319 Dewpoint Meter – Dewmeter en concordancia a la norma ISO 8502-4, que les permite medir: Temperatura del aire, humedad relativa, temperatura de superficie, temperatura de rocío y además la diferencia (D T) entre el punto de rocío y la temperatura de la superficie.

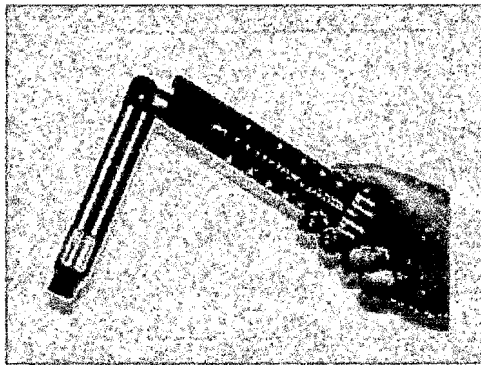


Figura N° 6.4: Psicrómetro para control de condiciones ambientales

6.2.2. Control del Espesor de Película húmeda

Toda especificación requiere un mínimo y un máximo espesor de película seca para cada capa, para llevar a cabo este objetivo, se debe medir el espesor de película húmeda, el cual resulta al medir el espesor de la capa recién aplicada, existen instrumentos para medir este parámetro, pero el más utilizado en campo es el llamado “galleta”, llamada así por su gran parecido a una galleta comestible.

Ya se ha explicado anteriormente que toda pintura contiene sólidos, los cuales son los que forman la película cuando seca o cura. Para poder controlar este

parámetro se debe conocer el valor de volumen de sólidos por volumen del producto, normalmente expresado como porcentaje, por ejemplo si un producto epoxy poliamida tiene un porcentaje de sólidos por volumen de 75%, al aplicar se depositara en la superficie: $0.75 \times (3.785 \text{ lt}) = 2.85 \text{ lt.}$, si se aplica a un espesor de 4 mils, cuando cure la película tendrá $0.75 \times (4 \text{ mils}) = 3 \text{ mils.}$

Pero como normalmente se agrega solvente al producto catalizado, el contenido de sólidos por volumen disminuirá. Si se asume que el producto epoxy poliamida se diluye al 10%, los sólidos por volumen se reducen de 75 a 68%, lo cual hará variar el espesor de película seca.

La medición de la película húmeda esta descrito en ASTM D4414 “Practica Standard para la medición del espesor de película húmeda por Regla de corte”. El método consiste en aplicar perpendicularmente sobre la superficie la denominada “galleta”, cuyo perímetro está rodeado de dientes de diferente tamaño, posteriormente se lee el valor marcado en el diente. Es importante que el espesor de película húmeda sea un parámetro medido permanentemente durante la aplicación, ya que determinara el espesor de película seca del sistema y además el consumo real de la pintura.

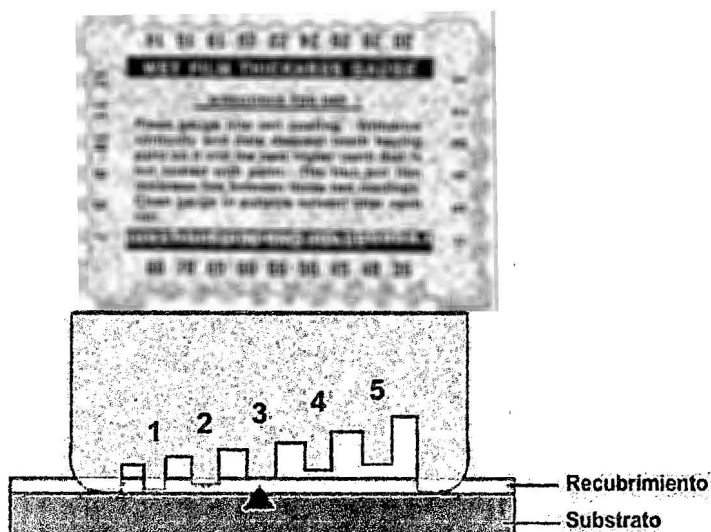


Figura N° 6.5: “Galleta” para medir espesor de película húmeda

6.2.3. Control del espesor de Película seca

Este parámetro es muy importante porque está ligado íntimamente con la protección en años esperada del recubrimiento, además se relaciona con el rendimiento del producto.

El espesor de película seca es el parámetro más íntimamente relacionado con el efecto barrera que tienen los recubrimientos de pintura, con relación al ambiente en que están expuestas. Para estimar el espesor de película seca en mils, se puede recurrir a la siguiente expresión:

$$DFT = \%SV \times WFT$$

Donde.

DFT = Espesor de película seca

%SV = % de sólidos por volumen del producto

WFT = Espesor de película húmeda.

Para determinar el espesor de película húmeda de una pintura ya diluida con solventes para obtener el espesor de película seca especificada, podemos usar la siguiente fórmula:

$$WFT = \frac{DFT(1 + \%FC)}{\%SV}$$

Donde.

%FC = Porcentaje de dilución.

Existen métodos destructivos y no destructivos para medir el espesor seco de película y varios tipos de instrumentos pueden ser usados para cada método. Para la medición destructiva de espesores, se puede usar una celda Tooke, un

micrómetro de profundidad o un micrómetro estándar. Obviamente, los métodos destructivos causan daños en la película que necesitan ser resanados; por ende, los métodos no destructivos son preferibles, dentro de los cuales los más comunes son: celdas magnéticas, si se está midiendo una pintura sobre acero; o instrumentos basados en la corriente de Eddy (corriente parásita) si se está midiendo sobre metales no ferrosos. Ambos, las celdas de corriente de Eddy y los medidores magnéticos deben calibrarse antes de usarse. Los métodos de calibración están contemplados en la norma SSPC PA2 Medición de espesor seco de película con instrumentos magnéticos.

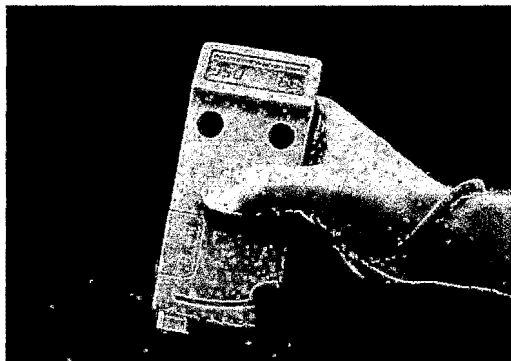


Figura N° 6.6: Equipo Elcometer para medición de película seca

Procedimiento de medición del espesor de película seca

Para asegurarnos que el espesor de la pintura satisface los requerimientos de la especificación en una superficie de gran área, debemos realizar múltiples mediciones, pero no es necesario medir cada pulgada cuadrada, puesto que tomaría mucho tiempo y no sería práctico.

La norma SSPC PA2 describe un procedimiento para asegurar un adecuado chequeo en grandes áreas, a decir: Por cada 10 m² de área tome el promedio de 5 datos o spots, donde cada spot es el promedio de tres mediciones realizadas en un área cuyo diámetro no excede los 4 cm². Si se está midiendo un área de 30 m² o menor, según la norma SSPC PA2, se debe medir cada 10 m² de área de acuerdo a

lo expuesto. Para áreas mayores a 30 m^2 , pero menores a 100 m^2 , se debe medir al menos tres zonas distintas de 10 m^2 cada una escogidas al azar. Para áreas mayores a 100 m^2 , se procederá igual que en el caso anterior para los primeros 100 m^2 , y con un área de 10 m^2 por cada 100 m^2 adicionales.

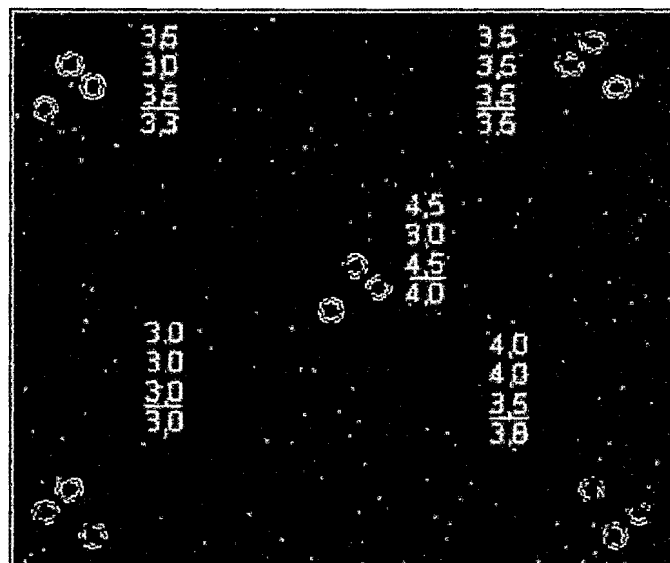


Figura N° 6.7: Medición de espesores de acuerdo a la norma SSPC PA2

Si se encuentra insuficiente espesor (menor al mínimo especificado) en alguna de las áreas de 10 m^2 escogidas al azar. Entonces, se debe realizar nuevas mediciones para determinar las áreas inconformes.

Considerando que la norma SSPC PA2 se refiere al tamaño de las estructuras, es mejor usar los requerimientos basados en la cantidad de acero pintadas diariamente. Esto prevendrá problemas en caso se presente un mal día con espesores de película fuera del rango requerido, y en todos los demás días se haya realizado bien el trabajo. Para trabajos críticos, pueden realizarse más mediciones de las establecidas en la norma SSPC PA2 en acuerdo entre las partes involucradas.

El espesor de cada zona se determina promediando primero las 3 mediciones para obtener un dato o spot; y luego promediando los 5 datos. Cada dato debe ser al menos el 80% del mínimo del espesor de película requerido. Sin embargo, una medición individual puede ser menor a este porcentaje. Asimismo, cada dato no debe exceder el 120% del espesor de película requerido. El promedio obtenido de los cinco datos debe al menos alcanzar el espesor mínimo especificado.

Estas lecturas deben corregirse del efecto de la rugosidad en cada instrumento de medición. Si se está usando un medidor magnético tipo Pull off que fue calibrado con placas estándar, tome el promedio de un número representativo de lecturas realizadas sobre la superficie arenada. Nótese que esta medición no representa la altura del patrón de anclaje, pero es la respuesta del instrumento a la rugosidad del sustrato. Este promedio debe restarse a las tres mediciones por dato antes de realizar las comparaciones descritas por la norma SSPC PA2.

La medida de espesor de película seca esta descrita en la Norma ASTM D1186.

6.2.4. Control de Dureza de la película de pintura

El grado de curado de los recubrimientos de pintura, puede ser verificado por chequeo de la dureza. La prueba se encuentra especificada en ASTM D3363 “Método de Prueba Standard para la dureza de la película de la pintura por la prueba de lápiz”.

El mecanismo de dureza del lápiz, se refiere a un juego de lápices, que van desde el blando 6B hasta el 6H duro; el primer lápiz que se rompe en lugar de penetrar en la película indica la dureza al lápiz.

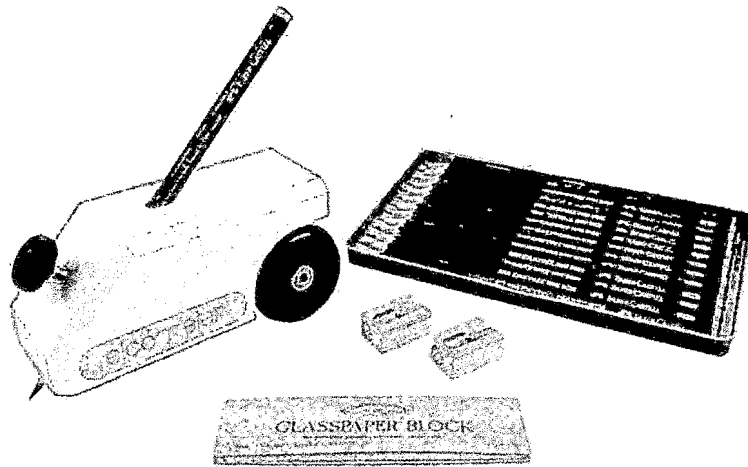


Figura N° 6.8: Equipo para medición de dureza al lápiz

6.2.5. Prueba de Continuidad “Holiday Detector”

Se realiza con la finalidad de verificar si existe alguna falla de continuidad en la película de pintura; el instrumento necesario es el detector de pinholing, el cual efectúa una prueba no destructiva, sobre el recubrimiento de pintura de 20 mils o menos, aplicando un voltaje de aproximadamente 75 voltios. El Detector de Holiday indica por medio de una señal acústica, la presencia de poros, huecos de alfiler, en recubrimientos de pintura ya curados.

El detector de discontinuidad está basado en el hecho de que el agua es un medio conductor, de esta manera cuando entra en contacto con el material base que está conectado al aparato, el agua actúa de interruptor y se emite una señal acústica.



Figura N° 6.9: Medición de discontinuidad “Holiday Detector”

Durante su empleo, se humedece la esponja en agua y mediante el cable a tierra, el aparato queda conectado al material base. Cuando el electrodo pasa sobre la capa, penetra agua de la esponja en cualquier porosidad u orificio minúsculo y hace contacto con la base, completándose de esta manera el circuito.

Después de 120 horas de aplicada la pintura, el 100% de la superficie interior revestida del tanque deberá inspeccionarse con el detector de continuidad eléctrica denominado “Holiday Detector”. El detector debe permitir regulación continua del voltaje de DC y deberá operar a 75 Voltios de DC/milésima de pulgada de espesor nominal del revestimiento y deberá ser calibrado al menos cada cuatro horas del turno de trabajo. Se deben llevar los registros correspondientes. Los Defectos encontrados deberán ser reparados, no se permitirá espesores por encima de lo especificado (overcoating). Es indispensable reparar el recubrimiento en cada lugar donde el detector de continuidad eléctrica revele fallas de continuidad. Se debe observar el tamaño del daño; cuando se trate de daños de menos de 10 cm² basta aplicar el procedimiento del ítem anterior. Cuando se trata de daños más grandes es necesario remover el material desprendido, si lo hay, limpiar y puede ser necesario aplicar nuevamente todo el procedimiento. Después de efectuadas las reparaciones, se realiza la prueba de discontinuidad eléctrica del recubrimiento

con el detector de fallas. El procedimiento de prueba y reparación debe repetirse cuantas veces sea necesario hasta que la prueba con el detector no muestre falla alguna.

6.2.6. Prueba de Adherencia

Esta prueba permite determinar si la fijación de una película de pintura, es adecuada para que permanezca adherida a la superficie del tanque de combustible, impidiendo de esta manera el paso de agentes agresivos a la superficie del sustrato, así como evaluar la fijación de las capas en un sistema de primario y acabado. Para esto hay dos métodos uno cuantitativo y otro cualitativo

Prueba de Cinta

Método con cinta adhesiva es la prueba en “rejillas”. Si la pintura tiene un espesor menor a 50 micrones (2 mils), se realizan 11 cortes paralelos separados por un espacio de 1 mm, luego se realizan 11 cortes paralelos a un ángulo de 90° con respecto a los primeros cortes. Si la pintura se encuentra entre 50 micrones (2 mils) y 125 micrones (5 mils) de espesor, se realizan 6 cortes perpendiculares con 2mm de separación entre corte y corte (Fig. 2). Es necesario contar con una regla especial para asegurarse que las incisiones tengan los espacios requeridos y sean en paralelo. Se aplica la cinta adhesiva y es jalada de la misma manera que la prueba en X. La Tabla 1. muestra las escalas para éste método también. Esta prueba de adherencia no debe realizarse a pinturas con un espesor mayor a 125 micrones (5 mils).

Prueba de Tracción (Pull Off)

Con éste método, un dispositivo comúnmente llamado “Dolly” es pegado a la superficie. Se usa entonces un dispositivo especial de tracción para aplicar una fuerza ascendente hasta que la película de pintura se desprenda o el pegamento falle. La tracción es perpendicular a la superficie, tanto así que se mide la fuerza

de tensión. Esta prueba es diferente a la prueba con cinta adhesiva en donde se mide el esfuerzo. Por lo tanto, los resultados obtenidos en los dos tipos de pruebas no tienen comparación. Para esta prueba son necesarios un dispositivo traccionador, “dollys” y pegamento. El primer paso es preparar los “dollys”. Estos dollys pueden ser de un acero suave y deben ser limpiados para que el pegamento adhiera. Este procedimiento de limpieza comprende una limpieza con solvente. Es una buena idea también lijar suavemente la superficie a pegarse con un papel de lija, esto minimizará el número de fallas del pegamento. La superficie de la pintura, también debe ser limpiada. La abrasión de la superficie puede inducir a desprendimientos; es por eso que se recomienda solo un suave lijado.

Se usan pegamentos epóxicos o acrílicos para fijar los “dollys” a la superficie. El adhesivo debe curar la cantidad de tiempo recomendada por el fabricante. Esto puede ser varias horas o un día, dependiendo del adhesivo y la temperatura. Usar otros adhesivos como cianoacrilatos que curan en pocos minutos, puede no ser recomendable, ya que los solventes que contienen el adhesivo puede atacar a la pintura. Mezclar el adhesivo y aplicar a la base del Dolly, asegurándose que una capa uniforme cubra la superficie. Un paso crítico en esta prueba es colocar el Dolly en la superficie. Evitar cualquier movimiento, especialmente giratorio, que puedan resultar en discontinuidad de tensión durante la prueba de tracción. Limpiar con un algodón cualquier exceso de adhesivo en la superficie.

Es importante que una presión de contacto constante se mantenga al adhesivo para comenzar a curar. Una grapa magnética o mecánica funcionará mejor. Para la prueba de adhesión por tracción, se requieren por lo menos 3 pruebas por área a evaluarse. Existen dos tipos de traccionadores. Uno, es del tipo “traccionador mecánico”, y el otro es del tipo “traccionador neumático”. Estos instrumentos pueden venir en diferentes rangos de fuerza, así que debe seleccionarse el adecuado instrumento.

Una vez que el Dolly es insertado al traccionador, es momento entonces de correr la prueba. Se debe revisar las instrucciones del fabricante de cómo debe

realizarse la prueba. No importa que tipo de instrumento se esté usando, la fuerza al dolly debe ser ejercida continua y suavemente tratando de no exceder 1 Mpa/s (145 psi/s). Mantener aplicando la fuerza hasta que ocurra la falla (ó hasta que se aplique la máxima fuerza).

Más información acerca de la Prueba de Tracción puede encontrarse en ASTM D4541, (Standard test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion tester).

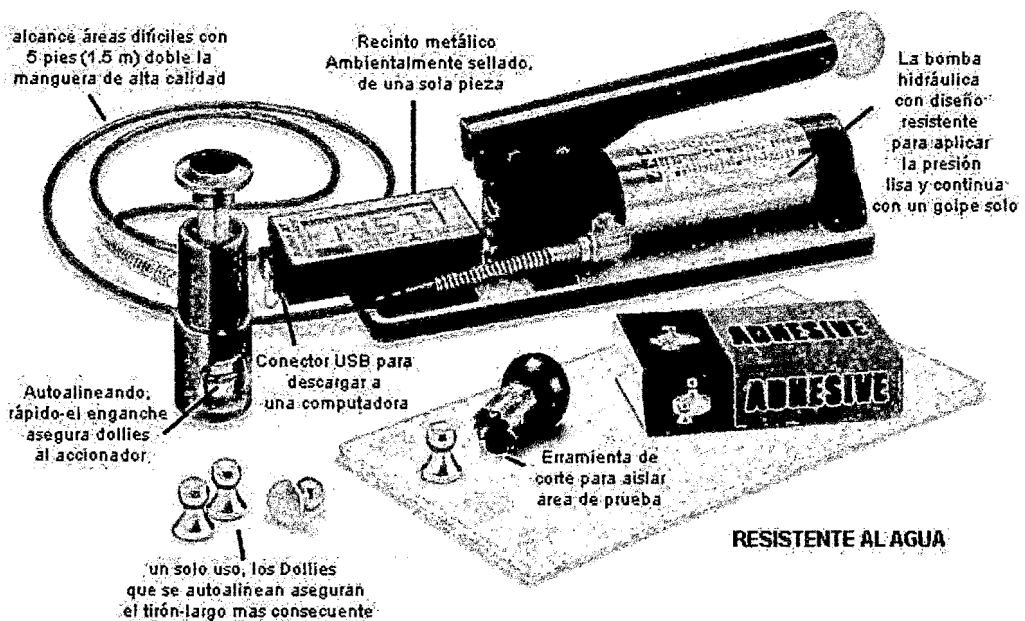

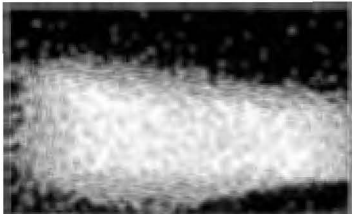



Figura N° 6.10: Equipo de tracción neumática para prueba de adherencia

6.2.7. Control de Apariencia del Recubrimiento

Después de la aplicación de un recubrimiento o del sistema de recubrimientos, éstos deben estar libres de los defectos que se establecen en la Tabla 32, entre otros, que pueden afectar directamente el desempeño del sistema.

En caso de que se presente algún defecto, se debe sustituir el recubrimiento o el sistema de recubrimientos del área afectada.

Descripción	Causa	Foto
<p>Ecurrido. También llamado acortinado, flujo excesivo de recubrimiento.</p>	<p>Pistola muy cerca del sustrato, demasiado adelgazador, demasiado recubrimiento o superficie muy lisa o brillante.</p>	
<p>Cáscara de naranja, picos y valles en la superficie, parecidos a una cáscara de naranja.</p>	<p>Recubrimiento demasiado viscoso, pistola muy cerca de la superficie, evaporación rápida de solvente, baja presión de aire, inapropiada atomización.</p>	
<p>Ojo de pescado. Separación o estirado de la película de recubrimiento húmeda, que deja descubierta la película inferior o el sustrato.</p>	<p>Aplicación sobre aceite, polvo, silicón o recubrimiento incompatible.</p>	

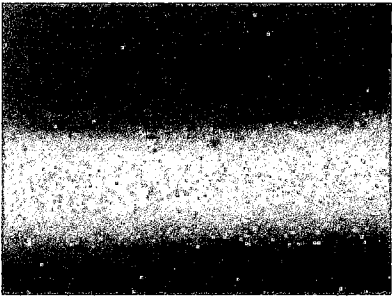
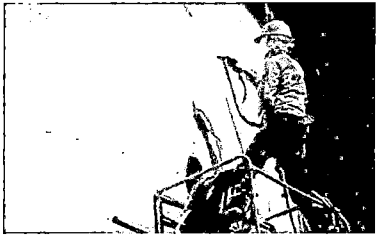
<p>Poros (Pinholes). Agujeros pequeños y profundos exponiendo el sustrato.</p>	<p>Insuficiente e inadecuada atomización del recubrimiento, pigmento mal incorporado o contaminación del recubrimiento.</p>	
<p>Sobre aspersión</p>	<p>Partículas de recubrimiento medio secas depositadas en la superficie.</p>	

Tabla N° 6.1 Defectos de pintura en el sustrato

6.2.8. Tiempo máximo para aplicar el recubrimiento.

Una vez alcanzado el grado de limpieza y el perfil de anclaje, la aplicación del recubrimiento no debe exceder más de 4 horas cuando la superficie se encuentre en ambiente seco, si el ambiente es húmedo, el recubrimiento se debe aplicar en el tiempo mínimo posible, dado a que a mayor humedad más rápido se oxida la superficie; ante una humedad relativa mayor a 85%, no se debe continuar con los trabajos de limpieza.

No se debe efectuar ningún trabajo de limpieza de superficie con chorro abrasivo seco y aplicación de recubrimientos, si la temperatura de la misma no se encuentra por lo menos 3 °C arriba del punto de rocío.

6.3. Consideraciones de Seguridad Salud Ocupacional y Medio Ambiente

El personal que realice trabajos de Preparación de superficie y pintura dentro del alcance de un Proyecto de protección anticorrosiva debe ser instruido y conocer el procedimiento en materia de seguridad y medio ambiente establecido por la respectiva área de seguridad (SSOMA), los cuales les indicaran las pautas, patrones y los requisitos mínimos aceptables que permite al trabajador laborar en condiciones seguras, preservando su salud e integridad.

Recomendaciones a seguir:

6.3.1. Almacenamiento de la pintura

- La pintura y solventes se almacenaran en lugares apropiados y solo se mantendrán en el lugar de trabajo los materiales necesarios en cantidades suficientes para un día de trabajo, no se permitirá en estos lugares el almacenamiento de recipientes que contengan residuos de pintura o solventes.
- Para un adecuado control de la pintura se deberá llevar a cabo un registro del consumo diario y del stock en el almacén.
- El equipo eléctrico en estos lugares y sus proximidades, será del tipo aprobado, con el fin de eliminar los riesgos de incendio y explosión.
- La pintura se debe almacenar bajo techo, en un ambiente con un rango de temperatura de 10 a 40 °C, y lejos de cualquier fuente de ignición.
- El almacén debe tener buena ventilación. No llamas ni chispas en esta área. Cualquier equipo deberá tener puesta a tierra.
- Se tendrá las hojas de seguridad (MSDS) de cada producto visiblemente en almacén, en estas hojas MSDS se tienen las indicaciones de seguridad y primeros auxilios.

6.3.2. Seguridad en el Área de pintado

- El área de pintado deberá ser encapsulada con tela arpillera alrededor del tanque, se deberá instalar extractores de polvo con su respectiva derivación a cilindros de agua para eliminar polvo en el ambiente.
- El andamiaje deberá ser certificado y proveer accesos a todas las zonas del tanque a aplicar la pintura. Asimismo se deberá realizar memoria de calculo.

6.3.3. Seguridad en la Preparación de Pintura

- Se seguirá el procedimiento de preparación de pintura ya establecido.
- El uso de EPP mínimo requerido: traje tivec, guantes de neopreno caña larga, mascarillas con filtro para vapores orgánicos, lentes de seguridad goggles, bota de seguridad punta acero, casco de seguridad, etc.
- Deberá tenerse en obra el presente procedimiento, IPERC, hojas de seguridad MSDS, y otros documentos.
- Para evitar derrames al suelo de pintura y solventes se tendrá en la zona de preparación de pintura bandejas anti derrames.

6.3.4. Seguridad en la Aplicación de la Pintura

- Los trabajadores deberán estar capacitados para este tipo de trabajo y usaran el equipo de protección adecuado mínimo requerido (EPP).
- Debido a que muchos de los equipos utilizados para la aplicación de pintura a pistola y la preparación de superficie mediante chorro abrasivo usan aire comprimido, los trabajadores deberán estar conscientes de que el ruido constituye es un riesgo y por lo tanto deberán usar obligatoriamente protectores auditivos cuando trabajen con herramientas operadas por aire comprimido.

- Los trabajadores deberán tomar descansos cada cierto tiempo (02 horas).
- Los trabajadores deberán estar conscientes del riesgo que involucra trabajar con pistolas de alta presión durante la aplicación de pintura. Por ello se debe contar con el personal idóneo y con experiencia en la manipulación de pistolas a presión.
- Para facilitar la disposición final de los envases utilizados, se recomienda retirar todo el contenido de la pintura durante la preparación de la misma.

6.3.5. Preparación de superficie

- Las tolvas para arenado deben estar construidas para soportar un trato de obra en terreno difícil. Aun así se debe tener precaución en su movimiento pues es básicamente un aparato sometido a presión y una caída o golpe en la descarga, desde el camión de transporte, puede provocar daños irreparables y peligrosas fallas durante su presurización.
- Los tanques de presión no deben ser golpeados, abollados, amolados, resoldados en sus componentes ni para agregar nuevas partes. Cualquier tarea de deformación o trabajo mecánico sobre el mismo anula los certificados de fabricación y testeo del mismo.
- Las tolvas de arenado deben cumplir con todos los requisitos de diseño, fabricación y testeo bajo normas ASME ó ASTM, como cualquier otro tanque sometido a presión y con la reactualización de las pruebas de control en los períodos correspondientes.
- Es extremadamente importante (obligatorio en U.S.A.) la utilización del control a distancia, sistema hombre muerto (dead man). Este sistema permite el control del equipo desde la boquilla de proyección e interrumpe la proyección de aire y abrasivo si el operario suelta la manguera o el gatillo. Confiere una alta seguridad a la operación debido a que si por algún motivo el operario suelta la manguera de proyección puede recibir ráfagas abrasivas de

más de 300 Km/h. Con el sistema “ dead man” el corte del chorro abrasivo es inmediato evitando accidentes. Este sistema funciona apropiadamente siempre que se realice el mantenimiento correspondiente. Una práctica habitual en obra es anular el control mediante un by pass en las mangueras de control. Esto es extremadamente peligroso y debe ser controlado durante todo el tiempo que dure la obra.

- Durante el funcionamiento el personal de apoyo cercano a la tolva debe poner especial precaución en el despresurizado del equipo, donde normalmente no solo se expulsa aire sino pequeñas partículas abrasivas.
- Se recomienda vestir casco de protección para personal de apoyo y protectores auditivos.
- Es común un desgaste o cuarteado de la boquilla a la altura de la rosca y salida lateral de abrasivo por la rosca de la boquilla o el acople. Deben descartarse boquillas cuarteadas o con desgastes desparejo.
- En cuanto a la manguera las pérdidas pueden producirse en la parte exterior de curvas cerradas o en marcas producidas por aplastamiento por paso de vehículos o equipos.
- También cuando se desgasta el anillo de goma o por golpes en el montaje u obra. Estos anillos deben ser recambiados en forma diaria, al terminar cada jornada de labor.
- Se debe evitar el paso de vehículos por sobre las mangueras u acoples.
- Los acoples deben ser instalados siempre con la traba de seguridad. Todas estas precauciones están destinadas a evitar posibles fallas en estos elementos que producirían proyecciones de abrasivos sumamente peligrosas en lugares de tránsito de operarios. La inspección de estos elementos debe ser diaria y deben ser reemplazados al menos síntoma de desgaste.

6.3.6. Consideración de Seguridad en Espacios confinados

Antes de comenzar diariamente las labores objeto de estas especificaciones, el Contratista debe asegurarse que se hayan efectuado todas las pruebas de gases tóxicos y químicos que ofrezcan peligro para la salud humana, o mezclas explosivas (referirse a la Publicación 2015 del API.) Deben tenerse en cuenta las condiciones de seguridad cubiertas por OSHA, así como las que el Contratista considere necesarias.

Debe tenerse especial cuidado cuando se efectúen aplicaciones en recintos cerrados, sobre todo cuando las aplicaciones se realicen por medio de atomización. El Contratista debe asegurarse de que se efectúen todas las pruebas necesarias para comprobar la existencia suficiente de oxígeno y la ausencia de gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno. No debe excederse por ninguna razón el límite recomendado por la OSHA para el valor TLV (Threshold Limit Value), para los vapores del disolvente que particularmente se esté utilizando, a menos que se utilicen máscaras de aire fresco, como las aprobadas por la entidad "National Institute of Occupational Safety and Health" - NIOSH de los Estados Unidos de Norteamérica. Cuando los disolventes volátiles sean inflamables, la concentración en el aire debe estar por debajo de un cuarto (1/4) del límite inferior de explosividad (Lower Explosive Limit - LEL.) Esta condición debe asegurarse por medio de ventilación forzada.

CAPITULO VII

PROYECTO RECUBRIMIENTO INDUSTRIAL DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DIESEL

Este proyecto se diseñó y ejecutó de acuerdo a las consideraciones de diseño basadas en la presente Tesis, por lo que demuestra su validez en lo que respecta a la durabilidad y al aseguramiento del ciclo de vida de acuerdo al diseño y selección del sistema de preparación de superficie y aplicación de pintura industrial.

7.1. Alcances.

La empresa contratista se obliga a ejecutar bajo la modalidad de precios unitarios, el trabajo de Preparación de Superficie y Pintado en el Interior y Exterior de 07 Tanques de Diesel No Tratado para el Proyecto “Reserva Fría de Generación” para la Central Termoeléctrica de reserva para abastecimiento de energía eléctrica.

Ubicada en la Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua, Km. 20 Via Costanera.

7.2. Categoría de Corrosividad de la Atmosfera (ISO 12944-2/ISO 9223)

Se seleccionó una categoría de corrosividad C5 – M, como indica la tabla. Teniendo en cuenta los estudios realizados por la empresa consultora y considerando el efecto de la severidad agresiva del medio en el comportamiento de los recubrimientos”.

Ambiente	Corrosividad	Categoría Atmosfera Termoeléctrica Ilo	Años de Servicio del Sistema
Marino	Muy Alta	C5 – M	15 años a mas

Tabla N° 7.1: Categoría de atmosfera para el Proyecto.

7.3. Consideraciones de Diseño y Selección para Preparación de superficie y Recubrimiento.

7.3.1. Condiciones de Exposición

Es el tipo de condiciones de exposición, ambiental o servicio mínimo que debe resistir el recubrimiento:

Item	Condiciones de Exposición
1	Ambiente Húmedo y atmosfera agresiva
2	Ambiente Marino (alta salinidad)
3	Presencia de Cenizas y descarga de gases de combustión de la Planta existente de Generación por quema de carbón Ilo 21.
4	Presencia de gases de combustión de industrias pesqueras y Minera cercanas a la ubicación de la planta.
5	Temperatura ambiente mínimo = 13 °C
6	Temperatura Ambiente Máximo = 28 °C
7	Humedad Relativa Mínima = 43%
8	Humedad Relativa Máxima = 97%
9	Temperatura moderada en superficies interiores desde 60 °C hasta 260 °C.

Tabla N° 7.2: Condiciones de exposición de los Tanques del proyecto

7.3.2. Condiciones de la Superficie o sustrato de los Tanques.

7.3.2.1. Condiciones del Sustrato Externo del Tanque.

El sustrato externo de los tanques de combustible diesel será de acero nuevo y estarán cubiertos por un primer de zinc inorgánico aplicado en taller de 2 a 3 mils.

7.3.2.2. Condiciones del Sustrato Interno de los Tanques

El acero es nuevo y se encuentra en una condición Grado C, sin ninguna imprimación previa.

7.4. Preparación de Superficies Metálicas

La preparación de superficie consiste esencialmente de dos componentes básicos, los cuales no pueden ser independientes a la vez; Perfil de rugosidad y Limpieza.

Dependiendo del tipo de recubrimiento a aplicar, del ambiente al cual va a ser sometido, un equipo en especial, se establece el tipo de preparación de superficie, es decir, se efectúa la limpieza de acuerdo a la Norma más recomendada.

7.4.1. Preparación de Superficie Exterior de Tanques

Las planchas roladas que llegaran a obra para la fabricación del Tanque por su lado exterior estarán imprimadas en taller con un recubrimiento primer de zinc inorgánico, que tendrá un espesor entre 2 a 3 mils.

Considerando esta condición del sustrato exterior del tanque, se ha seleccionado una preparación de superficie como se muestra en la siguiente tabla:

Elemento de Tanque	Preparación de Superficie especificada
Planchas de anillos	SSPC – SP7
Techo exterior	SSPC – SP7
Cordones de soldadura	SSPC – SP5
Barandas y escaleras	SSPC – SP5
Manhole y accesorios	SSPC – SP5
Pernos de sujeción	SSPC – SP5
Anillo de refuerzo	SSPC – SP5
Todo el tanque	SSPC – SP1

Tabla N° 7.3: Grado de preparación de superficie tanque exterior.

7.4.2. Preparación de Superficie Interior de Tanques

De acuerdo a las especificaciones establecidas para el presente proyecto.

Perfil de Rugosidad: 2.0 – 2.5 mils

Elemento del tanque	Norma
Plancha y anillos	SSPC – SP5
Techo interior	SSPC – SP5
Cordones de soldadura.	SSPC – SP5
Fondo y accesorios internos.	SSPC – SP5

Tabla N° 7.4: Grados de limpieza para el interior de los tanques

7.5. Selección del Abrasivo

Aplicando las consideraciones de perfil de anclaje, costo, grado de preparación de superficie, reutilización 0%, por su cara a utilizar. Es indispensable realizar los cálculos respectivos para estimar la cantidad de abrasivo a utilizar en el proyecto.

También hay que estimar que debemos tener un mix de escoria esférica (G40) y angular (S230) en porcentajes de 35 y 65 % respectivamente de cada uno.

7.6. Selección del Sistema de Pintura

7.6.1. Sistema de Pintura para el Exterior de los Tanques

Capa	Pintura	Tipo de Resina	EPS (Mils)
Base	Zinc Clad 465	Zinc Orgánico	3.0 – 3.5
Intermedia	Macropoxy 646	Epoxi Poliamida	6.0 – 7.0
Acabado	Sumatane HS	Poliuretano acrílico Alifático	2.0 – 2.5
EPS TOTAL (Mils)			11.0 – 13.0

Tabla N° 7.5: Sistema de pintura para exterior tanques

7.6.1.1. Sustento Técnico

Se diseña un sistema con un espesor total entre 11.0 a 13.0 mils con la finalidad de prestar una protección tota estimando un tiempo de vida de servicio de mas de 15 años.

- **Zinc Clad 465 (Zinc Orgánico)**

Es una pintura anticorrosiva epoxica rica en zinc, de tres componentes curado con poliamida. Brinda protección catódica al acero, evita el avance progresivo de la corrosión en áreas pintadas que sufren daños mecánicos.

Debe ser aplicado sobre acero, preparado mediante chorro abrasivo, también puede ser usado para retoques en sistema de pintado compuestos con pinturas inorgánicas de zinc.

El contenido de polvo de zinc en porcentaje por peso de sólidos totales cumple con la especificación de SSPC – Paint 20.

Condiciones de Aplicación: Equipo Airless

Presión: 1800 a 2000 psi

Manguera: 3/8" diámetro Interior

Boquilla: 0,017" - 0,019"

Filtro: Malla 30

Dilución: No es necesario

- **Macropoxy 646 (Epoxi Poliamida)**

Brinda una protección por capa barrera, y debido al alto volumen de sólidos (72%) tendrá un rendimiento considerable, por ende también tendrá un menor contenido de VOC siendo esto un beneficio ya que es más amigable con el medio ambiente y con los aplicadores de pintura.

Los recubrimientos epoxi poliamidas son probablemente los recubrimientos epoxi más usados, debido a su resistencia al agua y a la corrosión y buena tolerancia a la humedad.

Condiciones de Aplicación: Con equipo Airless

Dilución / limpieza Solvente: P-33

Bomba 30:1

Presión 2800 - 3000 psi

Manguera 1/4"(6.35 mm) ID

Boquilla017" - .023"(0.432 - 0.584 mm)

Filtro malla 60

- **Sumatane HS (Poliuretano acrílico Alifático)**

Los poliuretanos de reacción alifática poseen mejor resistencia a la luz ultravioleta, y de reacción acrílico su entrelazado resulta más duro y químicamente con mayor resistencia que los poliuretanos convencionales, es por ello que el producto posee resistencia al MEK (metil etil cetona).

Aplicación con Equipo Airless

Presión..... 2500 - 2800 psi

Manguera..... 3/8" ID (9.5 mm)

Boquilla..... .013" - .017" (.330 - .431 mm)

Filtro..... malla 60

Reducción..... la que se necesite hasta 15%

7.6.2. Sistema de Pintura para el Interior de los Tanques

Capa	Pintura	Tipo de Resina	EPS (Mils)
Primera	Duraplate UHS TS	Epoxi – Amina cicloalifatica 100%	7.0
Segunda	Duraplate UHS TS	Epoxi – Amina cicloalifatica 100%.	7.0

		Con tecnología OAP Opticheck	
EPS TOTAL (Mils)			14.0

Tabla N° 7.6: Sistema de pintura interior y espesores secos

7.6.2.1. Sustento Técnico

- **Duraplate UHS TS**

DURAPLATE UHS, es un epoxy amina cicloalifatica ultra alto en sólidos, diseñado especialmente para protección contra exposiciones agresivas.

El alto contenido de sólidos y baja tensión superficial permite una superior retención de pintura en vértices y ángulos. Tiene características superiores a los epóxicos convencionales.

Excelente desempeño en inmersión de petróleo crudo, hidrocarburos, agua de mar, solventes, y otros agentes químicos Gran resistencia en ambientes expuestos a ácidos y álcalis como: Plantas Químicas, Refinerías de cobre, Plantas de Ácidos y otros ambientes agresivos.

Aplicación con Equipo Airless

Bomba 68:1 (no requiere diluir).

Bomba 45:1 (con dilución 5% - 8%)

Manguera 3/8" diámetro interior

Boquilla 0.019" - 0.023"

Filtro 30 mesh

Dilución: de acuerdo al equipo a usar

- **Duraplate UHS TS con Tecnología OAP Opticheck**

La pintura Duraplate UHS OAP Opticheck, es la misma pintura pero a la cual se le ha incorporado al revestimiento la tecnología OAP que es un Pigmento Ópticamente Activo (O.A.P.) que no afecta las propiedades del producto.

Este pigmento hace que la superficie pintada se vuelva fluorescente ante la luz ultravioleta, dejando en evidencia las diferencias de espesor, poros e imperfecciones de la aplicación.

7.7. Normas aplicables al Proyecto.

- Norma NTP ISO 9001:2001, Sistemas de Gestión de Calidad.
- SSPC: Society for Protective Coatings
- ASTM: American Society for Testing and Materials

Organización	Norma	Descripción
SSPC	SP1	Solvent Cleaning
SSPC	SP2	Hand Tool Cleaning
SSPC	SP3	Power Tool Cleaning
SSPC	SP11	Power Tool Cleaning to Bare Metal
SSPC	SP5/NACE 1	White Metal Blast Cleaning
SSPC	SP10/NACE 2	Near-white Metal Blast Cleaning
SSPC	SP6/NACE 3	Commercial Blast Cleaning
SSPC	AB1	Abrasive specification/mineral and slag abrasive
SSPC	AB2	Abrasive specification/cleanliness of recycled

		Ferrous Metallic Abrasives.
SSPC	AB3	Abrasive specification/Newly Manufactured or Remanufactured Steel Abrasives.
SSPC	Vis1	Guide and reference Photographs for steel surfaces prepared by dry abrasive blast cleaning
SSPC	Guide 15	Field Methods for Retrieval and Analysis of Soluble Salts on Steel and other Nonporo.
SSPC	PA1	Shop, Field and Maintenance Painting of Steel
SSPC	PA2	Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gage.
ASTM	D 4285	Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air.
ASTM	D 4940	Standard Test Method for Conductimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contamination OF Blasting Abrasives.
ASTM	D 4417	Field Measurement of Surface Profile of Blasting Cleaned Steel.
ASTM	E 337	Measuring Humidity with a Psychrometer.
ASTM	D 4414	Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages.
ASTM	D 4541	Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Tester.
ISO	8502-3	Loose particulate present on a steel surface prepared for painting arising from blast cleaning.

Tabla N° 7.7: Normas aplicables al Proyecto

7.8. Reunión preliminar entre interesados del Proyecto (Kick off).

Antes de empezar los trabajos se reunirán los representantes del ejecutor, el propietario, asesor técnico del fabricante, Inspector del Propietario para unificar conceptos, criterios de aceptación y normas con las cuales se determinara los parámetros para la ejecución del Proyecto.

7.9. Preliminares de la preparación de Superficie

- Eliminar mediante herramientas mecánicas: escorias y rebabas de soldadura, así mismo si se encuentran filos cortantes deben ser redondeados.
- Si las superficies de acero se encuentran contaminadas con grasa o aceite, estas deben ser lavadas con agua y detergente industrial y luego enjuagado con agua potable, según Norma SSPC – SP1.
- Control de cloruros en el sustrato.
- Control de calidad de aire comprimido.
- Análisis de contaminantes a la escoria de cobre. Menor a 40 ppm en cloruros.
- Verificar diámetro de la boquilla y la presión a la salida, no debe ser menor a 60 PSI.
- Verificación de uso correcto y existencia de EPP.
- Verificación por personal especializado de andamios certificados.

7.10. Preliminares en la Aplicación de Pintura

- Los equipos de pintado deberán estar en perfectas condiciones para poder tener una aplicación sin problemas técnicos.
- Verificar cantidad de pintura a utilizar y el tiempo de aplicación.

- Los manómetros de los equipos Airless deberán estar en condiciones operativas para poder regular la presión de aplicación.
- Para los equipos Airless se deberá hacer una adecuada selección de la boquilla y regular la presión de aplicación, de esta manera se obtendrá un mejor rendimiento y un trabajo de calidad.
- Equipo convencional con aire: Es importante considerar equipos de presión con una buena selección de las boquillas y aguja en función al tipo de pintura a aplicarse.
- Brochas y rodillos: deben ser resistentes a pinturas a base de solventes y adecuados para la aplicación de capas de acabado. Estos equipos son usados para resanes en zonas puntuales y zonas de difícil acceso para los equipos a presión o airless.

7.11. Condiciones Ambientales

- Tener presente las condiciones ambientales para el pintado:
 - % Humedad Relativa < 85.0
 - Temperatura de Superficie < 45.0 °C
 - Temperatura de Superficie – Temperatura rocío > 3.0 °C
 - Velocidad del viento < 8 km/h.

Las condiciones ambientales deben ser tomadas en cuenta para toda la aplicación de recubrimientos, el aplicar bajo condiciones ambientales no aptas, puede traer consecuencias de falla por desprendimiento, ampollamiento o un acabado diferente al esperado o cualquier otro defecto que disminuya la vida útil normal del recubrimiento.

7.12. Preparación y aplicación de la Pintura

Una vez preparada la superficie, limpia y seca, se procederá a la mezcla de pintura y aplicación del sistema recomendado, bajo las siguientes recomendaciones:

- La preparación de pintura debe realizarse en recipientes totalmente limpios. Se debe homogenizar la pintura por separado tanto parte A (resina) como parte B (endurecedor).
- Adicionar la parte B hacia la parte A y homogenizar con agitador eléctrico, por un tiempo máximo de 3 minutos hasta que la mezcla tome una apariencia uniforme, agregar el diluyente solo después que la mezcla de ambos componentes haya culminado. Filtrar a otro recipiente con una malla de 30 a 60 o media nylon.
- En el caso que la pintura tenga 3 componentes 8organico de zinc9, mezclar primeramente el Componente C (Polvo de zinc), con el Componente A y finalmente agregar el Componente B.
- Realizar la aplicación con un traslape de 50% de cada pasada, si es necesario cruce la pistola en ángulo correcto. La pistola siempre debe estar perpendicular a la superficie y a una distancia de 25 cm. Para un equipo convencional y 30 cm para un equipo airless.
- Es mejor aplicar el recubrimiento con luz natural, si el caso requiere el uso de luz artificial, esta debe de tener una luminosidad mínima de 530 lumen/m² de preferencia luz blanca.
- Al exceder el tiempo de vida útil de la pintura (pot life), se genera una variación de su viscosidad perdiendo sus propiedades de humectación y nivelamiento, por lo que se deberá desecharla.
- El curado en este tipo en este tipo de recubrimientos se cumple a los 7 días a 25 °C y dependerá también de las temperaturas de la zona.

Características de aplicación de la pintura

Producto	Diluyente	% sólidos volumen	Pot Life a 25 °C	Repintado a 25 °C.	
				Min	Max
Zinc Clad 465	P-33	65 ±2	6 horas	5 horas	Sin limite

Tabla N° 7.8: Características del primario

Aplicación	% dilución en volumen	Boquilla	Presión de atomización (psi)
Equipo Airless	Hasta 10%	0.017"– 0.019"	1800 – 2000
Equipo convencional	Hasta 20%	FX	50
Brocha, rodillo	Hasta 20%	--	

Tabla N° 7.9: Aplicación de la pintura primaria

Capa Refuerzo ("Stripe Coat")

El Stripe Coat debe ser aplicada después de la primera capa y antes de la segunda capa de pintura para cualquier sistema de aplicación, con el producto de la siguiente capa.

Producto	Diluyente	% sólidos volumen	Pot Life a 25 °C	Repintado a 25 °C.	
				Min	Max
Macropoxy 850	P-33	85 ±2	4 horas	10 horas	3 meses

Tabla N° 7.10: Características de la pintura secundaria

Aplicación	% dilución en volumen	Boquilla	Presión de atomización (psi)
Equipo Airless	Hasta 15%	0.017"– 0.023"	1800 – 2000
Equipo convencional	Hasta 20%	E – 704	60 – 65
Brocha, rodillo	Hasta 20%	--	--

Tabla N° 7.11: Propiedades de dilución en la aplicación

Producto	Diluyente	% sólidos volumen	Pot Life a 25 °C	Repintado a 25 °C	
				Min	Max
Sumatane HS	P-22	65 ±2	2 horas	8 horas	3 meses

Tabla N° 7.12: características de la pintura de acabado

Aplicación	% dilución en volumen	Boquilla	Presión de atomización (psi)
Equipo Airless	Hasta 15%	0.017"– 0.023"	1800 – 2000
Equipo convencional	Hasta 20%	(FX o FF) 704	60 – 65
Brocha, rodillo	Hasta 15%	--	--

Tabla N° 7.13: Condiciones de aplicación de la pintura de acabado.

7.13. Inspección

La empresa ejecutora del Proyecto deberá contar con los equipos de inspección y control de calidad calibrados y con su respectivo certificado de calibración expedido por empresa certificada.

7.13.1. Equipos de Inspección y Normas Técnicas de Referencia

- Psicrómetro tipo Bacharach
- Termómetro de superficie.
- Medidor digital de película seca (mils y micrones).
- Medidor de perfil de rugosidad de cinta adhesiva press-o-film.
- Traccionador hidráulico para Prueba de Adherencia.

Para el control y evaluación de calidad de la etapa de Preparación de Superficie se empleara las siguientes normas:

- ASTM D 4285: Determinación de aceite o agua en el aire comprimido.
- ASTM D 4417: Grado de Perfil de Rugosidad
- ASTM E 337: Medición de Condiciones Ambientales.

Para el Control y evaluación de la calidad del sistema de pintura aplicado se emplearan las siguientes Normas:

- ASTM D 4414: Medición de espesor de Película Húmeda.
- SSPC – PA2: Medición de Espesor de Película Seca.
- ASTM D 3359: Determinación de la Prueba de adherencia por corte.
- ASTM D 4541: Medición de grado de adherencia mediante equipo de tracción.

7.14. Calculo del Rendimiento de Pintura exterior Tanques

El rendimiento practico y teórico se calcula de la siguiente manera:

- Rendimiento Teórico

$$Rt = \frac{149.02 * \%SV}{EPS} \text{ m}^2/\text{Galon}$$

- Rendimiento Práctico

$$Rp = \frac{\text{Area Pintada}}{\text{galones consumidos}} \text{ m}^2/\text{Galon}$$

7.14.1. Rendimiento Teórico Zinc Clad 465

$$Rt = \frac{149.02 * \%65}{3} = 32.28 \text{ m}^2/\text{Galon}$$

Galones de Pintura teóricos para el Proyecto:

$$= \frac{9815.81}{32.28} = 305 \text{ galones}$$

Galones de Pintura por Volumen Muerto:

$$= \frac{CVM}{SV} = \frac{4}{0.65} = 6.15 \frac{\text{lt}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ galon}}{3.48 \text{ lt}} = 0.018 \text{ galon/m}^2$$

$$\text{entonces: } 0.018 * 9815.81 = 177 \text{ galones}$$

Galones de pintura por perdida

- Velocidad del viento	
- Temperatura	
- Humedad	
- Geometría del sustrato	
Puestas y marcos	5 a 10%
Estructuras de acero pesada (1.2 m ² / ml)	5 a 10%
Estructuras de acero mediana (0.8 a 1.2 m ² / ml)	15 a 20%
Estructuras de acero ligera (0.2 a 0.7 m ² / ml)	20 a 30%
Tubería con diámetro mayor a 18"	10%
Tubería con diámetro entre 7" y 18"	15 a 20%
Tubería con diámetro menos a 7"	25 a 35%
Tanques de almacenamientos grandes	5 a 10%
Tanques pequeños de proceso	10 a 15%
Bombas y motores	10%
Paredes y pisos de concreto	5 a 10%

Para Tanques de almacenamiento grandes se estima un 10% adicional de pintura.

$$\text{Galones de Pintura Total} = (375 + 177) * 1.10 = 608 \text{ galones}$$

7.14.2. Rendimiento Teórico Macropoxy 850

$$R_t = \frac{149.02 * \%85}{7} = 18.09 \text{ m}^2/\text{Galon}$$

Galones de Pintura para el Proyecto

$$= \frac{9815.81}{18.09} = 543 \text{ galones}$$

$$\text{Galones de Pintura Total} = 543 * 1.10 = 598 \text{ galones}$$

7.14.3. Rendimiento Teórico Sumatane HS

$$Rt = \frac{149.02 * \%65}{3} = 32.28 \text{ m}^2/\text{Galon}$$

Galones de Pintura para el Proyecto

$$= \frac{9815.81}{32.28} = 305 \text{ galones}$$

Galones de Pintura Total = 305 * 1.10 = 336 galones

7.15. Calculo del Rendimiento de la Pintura interior

El rendimiento practico y teórico se calcula de la siguiente manera:

- Rendimiento Teórico

$$Rt = \frac{149.02 * \%SV}{EPS} \text{ m}^2/\text{Galon}$$

- Rendimiento Práctico

$$Rp = \frac{\text{Area Pintada}}{\text{galones consumidos}} \text{ m}^2/\text{Galon}$$

7.15.1. Rendimiento Teórico Duraplate UHS TS

$$Rt = \frac{149.02 * \%98}{3} = 20.86 \text{ m}^2/\text{Galon}$$

Galones de Pintura teóricos para el Proyecto:

$$= \frac{8354.30}{20.86} = 401 \text{ galones}$$

Galones de Pintura por Volumen Muerto:

$$= \frac{CVM}{SV} = \frac{4}{0.98} = 4.08 \frac{lt}{100 m^2} \times \frac{1 galon}{3.48 lt} = 0.011 galon/m^2$$

$$\text{entonces: } 0.011 * 8354.30 = 92 \text{ galones}$$

Galones de pintura por perdida

- Velocidad del viento
- Temperatura
- Humedad
- Geometria del substrato

Puertas y marcos	5 a 10%
Estructuras de acero pesada (1.2 m2 / ml)	5 a 10%
Estructuras de acero mediana (0.8 a 1.2 m2 / ml)	15 a 20%
Estructuras de acero ligera (0.2 a 0.7 m2 / ml)	20 a 30%
Tubería con diámetro mayor a 18"	10%
Tubería con diámetro entre 7" y 18"	15 a 20%
Tubería con diámetro menos a 7"	25 a 35%
Tanques de almacenamientos grandes	5 a 10%
Tanques pequeños de proceso	10 a 15%
Bombas y motores	10%
Paredes y pisos de concreto	5 a 10%

Para Tanques de almacenamiento grandes se estima un 10% adicional de pintura.

$$\text{Galones de Pintura Total} = (401+92)*1.10 = 543 \text{ galones}$$

7.15.2. Rendimiento Teórico Duraplate UHS TS OAP con Opticheck

$$Rt = \frac{149.02 * \%98}{7} = 20.86 \text{ m}^2/\text{Galon}$$

Galones de Pintura para el Proyecto

$$= \frac{8354.30}{20.86} = 401 \text{ galones}$$

Galones de Pintura Total = 401*1.10 = 442 galones

7.16. Equipos de Inspección

La empresa ejecutora del Proyecto deberá contar con los equipos de inspección y control de calidad calibrados y con su respectivo certificado de calibración expedido por empresa certificada.

Equipos de Inspección y Normas Técnicas de Referencia

- Psicrómetro tipo Bacharach
- Termómetro de superficie.
- Medidor digital de película seca (mils y micrones).
- Medidor de perfil de rugosidad de cinta adhesiva press-o-film.
- Traccionador hidráulico para Prueba de Adherencia.
- Medidor de gases para espacios confinados.
- Medidor de película húmeda.
- Medidor de presión en la boquilla de arenado.
- Insumos para medición de cloruros en superficie.
- Medidor de polvos en superficie.

CAPITULO VIII

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DIESEL DE CENTRALES TERMOELECTRICAS

8.1. Marco Procedimental.

En el contexto presentado en el párrafo anterior, es que nació el interés por generar un plan de mantenimiento, en ese sentido: se tuvo en cuenta que la secuencia para generar un plan de mantenimiento, por lo general, comprende dos etapas; la primera que consiste en determinar las actividades o tareas a realizar; y la segunda etapa, en la cual basado en las tareas establecidos, se formula las órdenes de trabajo, las cuales a su vez darán origen al Plan de Mantenimiento.

La experiencia demuestra que el mantenimiento periódico correctamente efectuado es el método más eficaz para obtener el máximo rendimiento y durabilidad del equipo o instalación. El mantenimiento es llamado periódico cuando este se realiza siguiendo los instructivos del fabricante o la propia experiencia, los cuales son determinados considerando que dichos equipos serán usados en condiciones normales de trabajo; pero la realidad es que las condiciones de funcionamiento de los equipos se da en condiciones distintas y muchas veces adversas, para lo cual es recomendable verificar y ejecutar los ítems del plan de mantenimiento en intervalos menores que los establecidos en los instructivos de los fabricantes; en ese contexto, es necesario diseñar un plan de mantenimiento específico para tales condiciones.

8.2. Mantenimiento

8.2.1. Concepto.

Se llama mantenimiento, al conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las

funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde. Los objetivos del mantenimiento, son:⁹

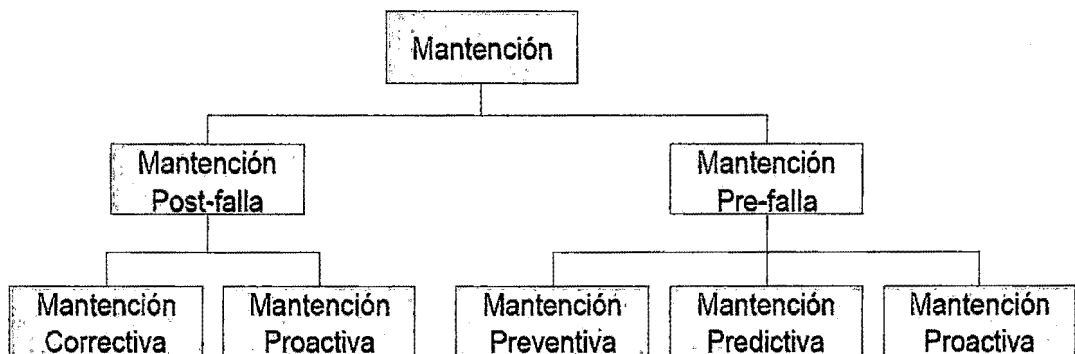
- Mejorar continuamente las instalaciones hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- Garantizar el buen funcionamiento de máquinas e instalaciones, para aumentar la producción.
 - Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
 - Maximizar el beneficio global.

8.2.2. Tipos de mantenimiento.

Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo la generalmente utilizada es aquella que se hace teniendo como parámetro diferenciador a la falla y la realización de las actividades de mantenimiento en términos temporales; es decir, si el mantenimiento es antes de falla o después de falla. Dependiendo de si el mantenimiento es antes o después de falla, se pueden distinguir cuatro tipos de mantenimiento:

En la Figura № 2.1., se muestra la relación del mantenimiento reactivo, preventivo, correctivo y proactivo; con los tipos de mantenimiento antes y después de falla.

⁹ SALAZAR PÉREZ, Carlos Manuel. Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos del gas natural (Caso: Planta de extracción de líquidos de gas natural San Joaquín. Buena vista, estado Anzoátegui); pág. 29.



Fuente: El Arte de Mantener; pág. 25.

Figura № 8.1. Tipos de mantenimiento.

8.2.2.1. Mantenimiento reactivo.

Es el tipo de mantenimiento cuya filosofía es reparar cuando falle. Se refiere a las acciones realizadas al reparar o reemplazar equipos cuando han tenido una falla.

8.2.2.2. Mantenimiento predictivo.

Consiste en el monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para determinar intervenciones, según los niveles de admisibilidad.

8.2.2.3. Mantenimiento correctivo.

Es una actividad programada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas, por medio de restauración, reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

8.2.2.4. Mantenimiento proactivo.

Este tipo de mantenimiento tiene una filosofía dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria o equipo.

8.3. Plan de mantenimiento.

Todo Plan de mantenimiento inicia con un antes, por lo que se debe recopilar información sobre el estado actual de los equipos e instalaciones a mantener, esto permitirá hacer un análisis comparativo de un antes y un después, y de esta manera analizar si el plan esta dando resultados esperados en términos de disponibilidad y costos.

Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas y ordenes de trabajos previamente programados a través de programas de mantenimiento del tipo reactivo, preventivo, predictivo y proactivo. Los diversos programas que conforman un plan de mantenimiento, responden a que existe todo un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales en mucho más económico aplicar una política puramente correctiva es decir, utilizar hasta que falle (*run to failure*); en ese contexto, se define a la Planificación y Programación del Mantenimiento, como:

“[...] el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocidas, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

El inicio de mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.”¹⁰

El Plan de Mantenimiento es un conjunto estructurado de programas que comprende las actividades o tareas; y, los procedimientos, recursos y duración contemplados en las órdenes de trabajo; es decir, el plan de mantenimiento contiene los lineamientos e instrucciones necesarias y suficientes para ejecutar el mantenimiento de un determinado sistema o todo elemento, equipo, maquinaria, proceso, etc., factible de ser considerado como sistema. El mantenimiento es

¹⁰ SALAZAR PÉREZ, Carlos Manuel. Óp. Cit.; pág. 32.

llamado periódico cuando las tareas son ejecutadas a intervalos de tiempo especificados; este tipo de mantenimiento es lo que aparece como instructivos de fabricantes; pero debemos resaltar, que los intervalos de mantenimiento estipulados en las guías que acompañan a los equipos, son determinados considerando que dichos equipos serán usados en condiciones normales de trabajo; luego, en servicios con condiciones adversas y en climas distintos, es recomendable verificar y ejecutar los ítems del plan de mantenimiento en intervalos menores que los establecidos en los instructivos de los fabricantes; consecuentemente se requiere un plan de mantenimiento más específico.

Los elementos a articularse en un plan de mantenimiento son:

- Parámetros.
- Actividades.
- Tareas.
- Ordenes de trabajo.

8.3.1. Actividades del Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de actividades:

- Las actividades rutinarias que se realizan a diario, y que normalmente las lleva a cabo el equipo de operación.
- Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año.
- Las actividades que se realizan durante las paradas programadas.

8.3.2. Tareas del Plan de Mantenimiento

Las tareas de mantenimiento son, la base de un plan de mantenimiento. Las diferentes formas de realizar un plan de mantenimiento que se puedan generar no son más que formas de determinar las tareas de mantenimiento que compondrán el plan.

Al determinar cada tarea debe determinarse además cinco informaciones referentes a ella: frecuencia, especialidad, duración, necesidad de permiso de trabajo especial y necesidad de parar la máquina para efectuarla.

Frecuencia

En cuanto a la frecuencia de una tarea, existen dos formas para fijarla:

- Siguiendo periodicidades fijas
- Determinándola a partir de las horas de funcionamiento

Cualquiera de las dos formas es perfectamente válida; incluso es posible que para unas tareas sea conveniente que se realice siguiendo periodicidades preestablecidas y que otras tareas, incluso referidas al mismo equipo, sean referidas a horas efectivas de funcionamiento. Ambas formas de determinación de la periodicidad con la que hay que realizar cada una de las tareas que componen un plan tienen ventajas e inconvenientes.

Así, realizar tareas de mantenimiento siguiendo periodicidades fijas puede suponer hacer mantenimiento a equipos que no han funcionado, y que por tanto, no se han desgastado en un periodo determinado. Y por el contrario, basar el mantenimiento en horas de funcionamiento tiene el inconveniente de que la programación de las actividades se hace mucho más complicada, al no estar fijado de antemano exactamente cuándo tendrán que llevarse a cabo. Un programa de mantenimiento que contenga tareas con periodicidades temporales fijas junto con otras basadas en horas de funcionamiento no es fácil de gestionar y siempre es necesario buscar soluciones de compromiso.

No es fácil fijar unos criterios para establecer las tareas de mantenimiento. Teóricamente, una tarea de mantenimiento debe realizarse para evitar un fallo, con lo cual habría que determinar estadísticamente el tiempo que transcurre de media hasta el momento del fallo si no se actúa de ninguna forma en el equipo. El problema es que normalmente no se dispone de datos estadísticos para hacer este estudio, ya que en muchos casos significaría llevar los equipos a rotura para

analizar cuanto aguantan; en otros, realizar complejas simulaciones del comportamiento de materiales, que no siempre están al alcance del departamento de mantenimiento de una instalación. Así que es necesario buscar criterios globales con los que fijar estas periodicidades, buscando primar el coste, la fiabilidad y la disponibilidad en esta decisión, y no tanto el agotamiento de la vida útil de las piezas o los conjuntos.

Especialidad

En la elaboración del plan de mantenimiento es conveniente diferenciar las tareas que realizan unos profesionales u otros, de forma que al generar las órdenes de trabajo correspondientes no se envíe al especialista eléctrico lo que debe realizar el especialista mecánico y viceversa.

Las especialidades más habituales de las tareas que componen un plan de mantenimiento son las siguientes:

- Operación. Las tareas de este tipo son llevadas a cabo por el personal que realiza la operación de la instalación, y normalmente se trata de inspecciones sensoriales que se realizan muy frecuentemente, lecturas de datos y en ocasiones trabajos de lubricación.
- Mecánica. Las tareas de este tipo requieren especialistas en montaje y desmontaje de equipos, en ajustes, alineaciones, comprensión de planos mecánicos, etc.
- Electricidad. Los trabajos de este tipo exigen que los profesionales que los llevan a cabo tengan una fuerte formación en electricidad, bien en baja, media o alta tensión.
- Instrumentación. Los trabajos de este tipo están relacionados con profesionales con formación en electrónica, y además, con una formación específica en verificación y calibración de instrumentos de medida.
- Predictivo. Esta especialidad incluye termografías, boroscopias, análisis de vibraciones, etc. Los profesionales que las llevan a cabo son generalmente

técnicos especialmente entrenados en estas técnicas y en las herramientas que utilizan para desarrollarlas.

- **Mantenimiento legal.** En muchas ocasiones se requiere que para llevar a cabo determinadas tareas de carácter obligatorio recogidas en normativas en vigor sea necesario tener determinadas acreditaciones. Además, es muy habitual contratar con empresas externas, poseedoras de dichas acreditaciones, estos mantenimientos.
- **Limpieza técnica.** La fuerte especialización que requiere este trabajo, junto con las herramientas que se emplean hace que se trate de conocimientos muy específicos que además normalmente se contratan con empresas externas.
- **Obra civil.** No es habitual que el personal de plantilla realice este tipo de trabajos, por lo que para facilitar su programación, realización y control puede ser conveniente crear una categoría específica.

Duración

La estimación de la duración de las tareas es una información complementaria del plan de mantenimiento. Siempre se realiza de forma aproximada, y se asume que esta estimación lleva implícito un error por exceso o por defecto.

Permiso de trabajo

Determinadas tareas requieren de un permiso especial para llevarlas a cabo. Así, las tareas de corte y soldadura, las que requieren la entrada en espacios confinados, las que suponen un riesgo eléctrico, etc., requieren normalmente de un permiso de trabajo especial. Resulta útil que en el plan de mantenimiento esté contenida esta información, de manera que estén diferenciados aquellos trabajos que requieren de un permiso, de aquellos que se realizan simplemente con un orden de trabajo.

Máquina parada o en marcha

Para llevar a cabo una tarea de terminada puede ser conveniente que el equipo, el sistema al que pertenece o incluso toda la planta estén paradas o en marcha.

Resulta útil que este extremo esté indicado en el plan de mantenimiento, ya que facilita su programación.

8.4. Consideraciones Preliminares.

Debido a la gran demanda energética en nuestro país, producto del desarrollo sostenido que ha venido ocurriendo en áreas como minería, hidrocarburos, etc. Es que se hace necesario la puesta en marcha de nuevos Proyectos de Centrales Térmicas para abastecer de energía eléctrica a través del Sistema Interconectado. Aprovechando, sobre todo en la Regiones del Sur de nuestro país, los inmensos depósitos de gas, es que estas Plantas Térmicas son ahora más factibles ya que estas están siendo diseñadas para trabajar tanto con petróleo como con gas, siendo su finalidad que trabajen solo con gas una vez haya sido puesta en operación el Gasoducto del Sur. Aun así se hace imperiosa la construcción de Nuevos Tanques de almacenamiento de Combustible para estos proyectos.

Por estas consideraciones y con la finalidad de elaborar un Plan de Protección o Mantenimiento Anticorrosivo mediante el uso y aplicación de Recubrimientos Orgánicos (Pinturas), se requiere inicialmente llevar a cabo el estudio de evaluación y diagnóstico de los efectos de la Corrosividad sobre los elementos electromecánicos que constituyen la infraestructura de servicios, posteriormente y en base al diagnóstico, estaremos en condiciones de elaborar los Estándares de Ingeniería para la Protección Anticorrosiva de los Tanques de Almacenamiento de Diesel.

8.4.1. Instrucciones de fabricantes.

Los fabricantes recomiendan que en lo que respecta al mantenimiento anticorrosivo de Tanques de almacenamiento diesel, este sea totalmente preventivo programado. Por qué una Planta Térmica no se puede parar por una falla no corregida de un tanque o estructura, es necesario corregir los problemas de corrosión antes de que estos provoquen fallas, ya que en caso de no aplicarlo

en tiempo y forma se tendría que aplicar el mantenimiento correctivo y sería en nuestro caso la sustitución de los elementos estructurales, equipos, líneas de proceso y servicios que costarían millones de soles sustituirlos por otros nuevos, además de que se tendría que poner fuera de servicio probablemente la Planta y estaría en riesgo el abastecimiento de energía eléctrica.

8.4.2. Aportes para el mantenimiento de los Tanques.

Cuando las estructuras han estado por un tiempo prolongado expuestas al medio ambiente, se dará la acumulación de contaminantes. Para realizar un mantenimiento preventivo del sistema es necesario remover toda esta contaminación, mediante lavado con agua y ayudándose con escobillas de cerdas de nylon. En los sectores donde se observe manchas visibles de aceite y/o grasa, se removerán de acuerdo a la norma SSPC-SP1 u otro método aceptable, para ello lavar dicha superficie con agua a presión, detergente y/o un compuesto biodegradable.

En el caso que el sistema presente en un determinado tiempo corrosión puntual se procederá a realizar una limpieza por abrasivos en forma puntual según norma SSPC SP5 / SSPC SP10. Realizado esto, se procederá a remover los residuos de polvo con aire a presión y/o con un paño humedecido en solvente. Luego de la preparación anterior, se aplicará el sistema recomendado a sus respectivos espesores.

La operación de mezclado de los componentes de las pinturas así como la dosificación de la dilución correspondiente se realizará de acuerdo a las indicaciones de la ficha técnica del producto.

8.4.3. Aportes para la limpieza externa de los Tanques.

En los tanques de Petróleo, la limpieza exterior se da con chorro de agua potable a presión (3000 psi), lo que permite remover tierra y contaminantes no visibles para luego realizar la inspección visual del exterior del tanque, como son

picaduras, pintura defectuosa, cordones de soldadura, los asientos de la base del tanque, los manholes, la estructura del venteo, tuberías y accesorios del sistema contraincendios, los sistemas de control del tanque, las escaleras de acceso, las barandas, etc. Toda esta inspección buscando puntos o zonas de corrosión.

8.4.4. Aportes para la limpieza interna de los Tanques.

Este trabajo es la actividad para lavar y limpiar el interior de tanques. La ejecución de este trabajo contempla, pero sin limitarse, las siguientes tareas principales:

- Lavado interno del tanque
- Limpieza interior del tanque.

El método de limpieza interior de lavado se realiza con agua a presión, trapeado y/o herramientas manuales. Generalmente el lavado del tanque se efectúa usando agua del sistema contra incendio de las instalaciones anexas. El área a la cual se le efectuó la primera limpieza, se le debe realizar un nuevo lavado con agua y “jabón biodegradable”. Como resultado de la limpieza se debe obtener una superficie sin capas de producto, óxido, calamina; en caso de ser necesario se desmontarán accesorios internos para acceder a todas las áreas de limpieza del tanque.

8.5. Plan de Mantenimiento de Tanques Diesel.

8.5.1. Consideraciones Generales.

Una gran parte de las sustancias utilizadas en la industria para la obtención de productos que permitan el desarrollo de las actividades humanas, se encuentran en estado líquido.

El principal problema que se plantea con respecto a los líquidos es el almacenamiento como paso previo o posterior a un proceso de producción.

Normalmente el almacenamiento de estos líquidos se realiza en los denominados tanques de almacenamiento, de ahí la importancia de una guía de mantenimiento que nos dé una visión general de cómo mantener estos recipientes de almacenamiento.

De ahí nace la necesidad de tener un Plan de Mantenimiento que nos sirva de protocolo para el mantenimiento de este activo fundamental en la operación de las Centrales Termoeléctricas.

8.5.2. Necesidad del Mantenimiento Anticorrosivo de Tanques Diesel

En los tiempos que corren, la consciencia medio ambiental y cuidado del planeta es motivo de muchos cambios en la sociedad y también en la industria, es por este motivo que un derrame de combustible o una explosión de un tanque de combustible es una agresión directa contaminante al planeta en el cual vivimos.

Estas consideraciones medio ambientales y los costos asociados a un evento causado por la corrosión en una instalación termoeléctrica nos lleva a considerar a la corrosión en los tanques de combustible diesel, la causa principal del deterioro y la causa de muchos accidentes destructivos en tanques que contienen combustibles diesel, otra de las causas son los riesgos de incendio. Consecuentemente, se consideran factores muy importantes que implican la necesidad de generar un Plan de Mantenimiento anticorrosivo en los Tanques alimentadores de las Centrales Termoeléctricas, los cuales se pueden enumerar en orden de importancia como: Eliminación de Peligros al personal por destrucción o Explosiones, Cuidado al Medio Ambiente y protección de la Inversión.

Estos factores nos llevan a la necesidad de implementar planes de conservación de los tanques de combustible diesel.

Otro aspecto a tener en cuenta, es lo concerniente a equipo defectuoso. Los defectos en el equipo incluyen derrames causados por la corrosión, grietas en las soldaduras, válvulas de alivio de presión o de vacío que no funcionan adecuadamente, sistemas de venteo diseñados incorrectamente, y protección inadecuada contra electricidad estática.

La pérdida de material por derrames en tanques y sus tuberías, puede traer consigo riesgos a otras propiedades y al personal a considerables distancias, y en el mejor de los casos una continua pérdida económica por el posible escape de materiales valiosos.

8.5.3. Averías más comunes en Tanques

Existen una serie de factores que bien sea actuando aisladamente o combinados provocan alteraciones en las condiciones físicas originales causando en ocasiones averías. Estos factores son:

- Asentamiento.
- Corrosiones internas por decantación de agua en el fondo.
- Corrosión interna por producto almacenado.
- Corrosión interna y externa por factores medioambientales.
- Sobretensiones en los materiales.

Las averías pueden afectar a distintas partes del tanque. Las partes en las que dividimos el tanque a efectos de determinar el tipo de avería son:

- Basamento del tanque.
- Fondo del tanque.
- Paredes del tanque.
- Techo fijo del tanque.
- Techo o pantalla flotante.
- Accesorios del tanque.

Según el lugar del tanque al que afecte las averías se clasifican en:

8.5.3.1. Avería en el fondo del tanque

Corrosión interior del fondo

El fondo del tanque puede verse afectado por la corrosión, ésta se presenta especialmente en su cara superior y de diversas formas:

- Pitting generalizado

Su origen se debe a la presencia del agua decantada en el fondo del tanque. Cuando el pitting es profundo, la corrosión es severa y puede originar un disminución de espesor del fondo del tanque de gran importancia.

- **Corrosión en uniones de chapas**

Es un tipo de corrosión que afecta a soldaduras o los roblones de unión de chapa. Provoca grietas por las que se fuga el producto.

- **Perforaciones pasantes**

Las corrosiones localizadas en ciertas áreas se convierten en perforaciones y posteriormente en agujeros pasantes. Estos agujeros provocan la pérdida del producto que existe en el interior del tanque. Este tipo de perforaciones se origina en los puntos de apoyo de las patas de los techos y pantallas flotantes. Lo mismo puede ocurrir en los puntos bajo las bocas de medición si no se dotan de una placa de refuerzo.

Corrosión exterior del fondo

Su origen está en la presencia del agua en contacto con la chapa y a la acidez del suelo.

Es una corrosión difícil de medir y controlar ya que no puede verse, la forma de evitarla es instalando un sistema de protección catódica.

8.5.3.2. Avería en paredes de tanques

Estas averías pueden presentarse debido a fenómenos de corrosión en la parte interior y exterior del tanque.

Averías en paredes internas de tanques

- **En virola inferior.**

Su origen se debe a la presencia de agua en decantación no drenada adecuadamente en el fondo del tanque.

Esta corrosión es muy intensa en la parte inferior de la primera virola del tanque y va acompañada de una considerable pérdida de espesor.

- En virola intermedia.

Su origen se debe a la oxidación originada por condensación del agua ambiental y al arrastre de óxido por la pantalla al oscilar la altura del líquido en el tanque.

En tanques con pantalla flotante y techo flotante se presenta, generalmente, una disminución de espesor en las virolas comprendidas en el tercio superior del tanque.

Averías en paredes externas de tanques

- En virola inferior.

Este tipo de avería se debe a una corrosión localizada que provoca pérdidas de espesor. Su causa se debe a una acumulación agua-tierra-arena que cubre hasta 20 cm. por encima de la unión fondo-envolvente.

- En virolas intermedias y superiores.

No son frecuentes ya que normalmente los tanques están pintados.

8.5.3.3. Averías en techos

- Asentamientos parciales del techo.

Su origen está en la cesión de parte de la estructura soporte del techo debido a sobrecargas dinámicas externas, sobretensiones en la estructura o depresiones internas del tanque.

- Corrosión externa de la chapa.

Puede presentarse en forma de corrosión localizada provocando posteriormente la perforación de la chapa o bien en forma de pitting localizado en un área determinada.

8.5.3.4. Averías en accesorios

- Corrosión exterior.

Están expuestos a la corrosión escaleras, barandillas y sistemas de ventilación.

- Averías en equipos de medida.

Pueden ocasionar averías si no suministran la información necesaria al área de operaciones.

- Averías por agentes atmosféricos.

El hielo es el mayor enemigo, afectando principalmente al Sistema de Protección contra Incendios.

8.5.4. Mantenimiento preventivo

El objetivo del control preventivo de un tanque es evitar el deterioro del mismo para que no se produzca una avería.

El principal enemigo es la corrosión por ello deben tomarse medidas especiales para impedir su formación. Se tomarán medidas en:

- Fondos de tanques
- Paredes de tanque
- Techos fijos
- Techos flotantes

*** Fondos de tanques**

Se aplicará un recubrimiento que impida la corrosión en el interior del tanque debido al agua que pueda encontrarse en el mismo.

*** Paredes de tanque**

El mantenimiento en el interior del tanque se centrará en la primera virola; de forma que se evite la corrosión por agua decantada. Para ello se aplicará un revestimiento protector.

Cuando se almacenan productos pesados, éstos ya actúan como protector anticorrosivo. Si se almacenan gasolinas en tanques de pantalla flotante se producirá una pérdida de espesor debido a las oscilaciones de las mismas por lo que es necesario aplicar un revestimiento protector.

Externamente el tanque también debe protegerse aplicando un revestimiento adecuado dependiendo de la zona en la que el tanque se ubique, mejorando así la estética de la instalación y disminuyendo las pérdidas de producto.

Es importante inspeccionar externamente el tanque cada 5 años por un inspector cualificado.

*** Techos fijos**

Las chapas del techo del tanque pueden verse afectadas por la corrosión debido a la condensación del vapor de agua presente en la atmósfera o a vapores de productos agresivos, por lo que se debe aplicar un revestimiento protector.

*** Techos flotantes**

La inspección del techo flotante presenta variaciones en lo referente a inspección mensual rutinaria ya que en estos tanques se debe controlar el sistema de drenaje, la presencia de agua o producto sobre el techo, el asentamiento del tanque y el estado de los sellos.

Para pantallas flotantes se debe aplicar un revestimiento protector, del tipo de la cara inferior del techo flotante.

8.5.5. Mantenimiento correctivo

Se llevará a cabo este tipo de control cuando se produzca una avería en una de las partes sensibles del tanque o bien si se alcanza el límite de vida esperado de alguna de las partes sensibles del tanque.

La sustitución de elementos del depósito, tanto del equipo de trasiego, como del sistema de seguridad, deberá realizarse respetando el diseño inicial o normas estándar de seguridad.

Se deberán tomar medidas de seguridad en todas las operaciones de corte y soldadura por el peligro que éstas llevan consigo.

8.5.6. Estructura del Plan de Mantenimiento Anticorrosivo

8.5.6.1. Estructura

El plan de mantenimiento de un Tanque diesel, incluido dentro del Plan General de Mantenimiento de la Central Termoeléctrica, se toma como una unidad dentro del plan general, esto para poder ser mostrado en el presente

estudio, si bien es cierto podría tomarse como un protocolo de mantenimiento, lo cierto es que el tanque de almacenamiento diesel implica un conjunto de sistemas tales como la protección anticorrosiva, el mantenimiento del sistema contraincendios, el mantenimiento de los sistemas eléctricos y electrónicos de control, el mantenimiento de la estructura metálica, etc., por eso el Tanque se podría tomar como una planta industrial pequeña o una unidad de producción dentro de otra mayor, por lo que se divide en gamas, rondas e inspecciones que se reflejan en la siguiente tabla:

Ronda diaria	Personal de operación
Inspección mensual con planta en marcha	Personal de mantenimiento
Inspección mensual con planta parada	Personal de mantenimiento habitual
Gama trimestral	Personal de mantenimiento habitual
Gama semestral	Persona de mantenimiento habitual
Gama anual	Personal habitual, reforzado con técnicos externos y subcontratas
Grandes revisiones (overhaul)	Técnicos externos especializados

Tabla N° 8.1: Estructura de frecuencia de mantenimiento

8.6. Tabla 8.2 Desarrollo del Plan de Mantenimiento de Tanques Diesel.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE DIESEL C.T.					
Sistema	Nº	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	FRECUENCIA	OBSERVACIONES
Sistema Contra Incendio	1	Inspección cámaras de espuma	• Verificar estado general.	Semestral	
			• Verificar estado general de elementos constitutivos.	Semestral	
			• Verificar tapa de inspección.	Semestral	
			• Verificar elementos extraños en la toma de aire de la cámara.	Anual	
			• Limpieza exterior e interior.	Semestral	
			• Pintura exterior e identificación.		
	2	Inspección de tuberías, bridas y soportes de la línea de espuma	• Apertura y limpieza, observación visual de las juntas, verificando su buen estado.	Anual	
			• Control de estanqueidad	Mensual	
			• Comprobar el estado de la tubería.	Mensual	
			• Medir la presión estática en carga de cada punto elegido y comparar el valor obtenido con el valor de diseño.	Anual	
				Anual	
				Anual	

			<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar el lavado de las tuberías 		
	3	Revisión de válvulas línea de espuma	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar prueba del funcionamiento de la válvula de operación. • Prueba funcionamiento válvula aspiración • Prueba funcionamiento válvula de purga • Prueba de estanqueidad del cierre de las valvulas. 	Anual Anual Anual Anual	
	4	Revisión de deflector de cámara de espuma	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de defectos. • Inspección de pernos de sujeción. • Inspeccionar para corrosión. 	Anual Anual Anual	
	5	Inspección de cámara de espuma.	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar capacidad de succión. • Limpieza exterior. • Verificar nivel de líquido. • Verificación presencia de agua. • Verificación del estado de descomposición del emulsor. • Verificación de la válvula de retención. 	Semestral Semestral Mensual Semestral Semestral Semestral	

			<ul style="list-style-type: none"> • Control del estado del recipiente. • Comprobar que los soportes se encuentran en buen estado de uso, sin daños ni corrosión. 		
Actividades Anticorrosión	1	Achique	<ul style="list-style-type: none"> • Acoplamiento de sistema de succión. • Retiro de producto del tanque. • Disposición del producto retirado del tanque. 	5 años 5 años 5 años	
	2	Armado de andamios	<ul style="list-style-type: none"> • Acarreo de andamios • Montaje de andamios móviles 		
	3	Limpieza Exterior	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrolavado con agua potable a 3000 psi con detergente industrial biodegradable 	Exterior mensual Interior 5 años	
	4	Limpieza Interior	<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de bridas ciegas y apertura de Manholes. • Instalación de luminarias anti explosión. • Toma muestras de lodos • Retiro de lodos • Lavado del Tanque con Jabón Biodegradable 	5 años 5 años 5 años 5 años interior	

	5	<p>Inspección interior y exterior del Tanque.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de corrosión en Techo • Revisión de corrosión en fondo • Revisión de corrosión en paredes • Revisión de corrosión en soporteria. • Revisión de corrosión en tuberías de carga y descarga de combustible. • Revisión de corrosión en estructura de sistema de control de volumen. • Prueba de Líquidos Penetrantes techo, fondo y casco: <ul style="list-style-type: none"> ○ Limpieza de cordones de soldadura. ○ Aplicación de tintas ○ Elaboración y entrega de protocolos. • Prueba de Líquidos Penetrantes de tuberías de carga y descarga de combustible. <ul style="list-style-type: none"> ○ Limpieza de cordones de soldadura. ○ Aplicación de tintas ○ Elaboración y entrega de protocolos. 	<p>Anual 5 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Anual para superficie exterior. • Cada 5 años para interior
--	---	---	--	---------------------------------------	--

	6	Limpieza superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrolavado con detergente industrial biodegradable. • Preparación de superficie al Grado Superficial SSPC – SP7, o SSPC – SP5 en zonas donde se requiera de acuerdo a inspección. 	5 años 5 años	
	7	Aplicación de Pintura	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de primera capa. • Aplicación de segunda capa. • Aplicación de tercera capa. 	5 años 5 años 5 años	Para interiores
	8	Controles	<ul style="list-style-type: none"> • Control de sales en sustrato. • Control de sales en abrasivo • Control de perfil de anclaje. • Control de espesores. • Control de discontinuidades. • Control de adherencia por corte. 	5 años 5 años 5 años 5 años 5 años 5 años	
Sistema de Control	1	Eléctricos y Control de variables	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de medidores de volumen • Mantenimiento instrumento control temperatura 	Mensual Mensual Mensual	

			<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento instrumento control de presión • Revisión de sistema de iluminación • Revisión de tuberías conduit. • Revisión de sistema a tierra. • Revisión de tableros eléctricos. 	Diaria Mensual Mensual Diario	
	2	Mantenimiento de agitadores	<ul style="list-style-type: none"> • Desconexión eléctrica y mecánica del agitador-motor. • Transporte del agitador-motor al taller de mantenimiento. • Limpieza de áreas de acople del agitador-motor con el tanque. • Mantenimiento de paletas agitador 	Anual Anual Anual Anual	
Sistema Estructural	1	Análisis de Asentamiento según API 653 Apéndice B	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos y levantamiento topográfico para el estudio de asentamiento del casco. • Toma de datos y levantamiento topográfico para el estudio de asentamiento del fondo. 	Anual Anual	
	2	Análisis de Redondez	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos y levantamiento topográfico. • Presentación de informe. 	Anual	

		según API 653			
	3	Verificar verticalidad según API 653	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos y levantamiento topográfico. • Presentación de informe. 	Anual	
	4	Inspección de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de cordones de soldadura. • Inspección de estanqueidad de tuberías. 	Anual Mensual	
	5	Reparación estructural de techo.	<ul style="list-style-type: none"> • Corte y desmantelamiento de láminas del techo. • Disposición de las láminas desmanteladas desde el tanque hasta el patio de chatarra. • Prefabricación de las láminas de techo • Montaje de láminas del techo. • El trazo y el corte de las láminas de acero se realizará de acuerdo a los planos aprobados. • En el montaje de las láminas se debe tener en cuenta que el traslape de una lámina a otra debe ser como mínimo de 1" y no mayor a 1 ½". 	5 años 5 años 5 años 5 años 5 años	Se realizara de acuerdo a resultados de la inspección

		Reparación estructural de fondo y casco.	<ul style="list-style-type: none"> • Corte y desmantelamiento de láminas del fondo y/o casco. • Disposición de láminas desmontadas. • Montaje de láminas del fondo y/o casco. • Realizar las pruebas de caja de vacío, soldadura con RX 	5 años 5 años 5 años 5 años	Se realizara de acuerdo a resultados de la inspección realizada cada 5 años (interior tanque)
		Reparación de sumidero según API 650	<ul style="list-style-type: none"> • Trazo, corte y rolado de la lámina para reparación del sumidero. • El trazo, corte de la lámina en el fondo y excavación para reparación del sumidero. • Prueba de tinta penetrante a las soldaduras del sumidero y a la soldadura de unión sumidero – fondo del tanque. 	5 años 5 años 5 años 5 años	Se realizara de acuerdo a resultados de la inspección realizada cada 5 años (interior tanque)
Sistema anticorrosivo fondo exterior	1	Protección catódica.	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de potenciales. • Control de efectividad de la P.C. • Control de fuentes de corriente impresa. • Control de los dispositivos de aislación, continuidad de las uniones. 	Mensual Anual Bimensual Bimensual Anual	

			<ul style="list-style-type: none"> • Control de los medios protectores de corriente impresa. 		
Pruebas	1	Prueba Hidrostática	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades de alistamiento para la prueba del tanque. • Llenado del tanque. • Toma de datos de asentamiento. • Entrega de la prueba e informe. • Desocupación del tanque. • Abrir manholes y limpiar el tanque interiormente. 	Cada 5 años 5 años 5 años 5 años 5 años	

CAPITULO IX

DISCUSION DE RESULTADOS

9.1. Discusión de Resultados.

La tesis desarrollada permitirá a los ingenieros de corrosión, a los ingeniero de mantenimiento, a los gerentes de Centrales térmicas, a las empresas contratistas y a todos los interesados que participan de la protección anticorrosiva de instalaciones en general, tener una guía que les permita ejecutar proyectos anticorrosivos y planes de mantenimiento de una manera técnica e informada de la normatividad internacional.

También es materia de la presente investigación que mediante la exposición de datos técnicos económicos, tales como los montos gastados por la industria peruana que representan gastos del orden del 8% del Producto Bruto Nacional (1,500.00 millones de dólares anuales y en aumento), poder generar conciencia en materia de protección anticorrosiva y mantenimiento de las instalaciones industriales. En USA los costos por mantenimiento anticorrosivo representa el 4% de su Producto Bruto Nacional, este porcentaje es la mitad de los que se gasta en nuestro país, pero en nuestro país es posible reducir este costo expresado en el 8% del PBN, por eso esta investigación propone que aplicando conocimiento y técnicas existentes en nuestro país se puede reducir en un 30% los gastos sin retorno de la reparación anticorrosiva, en los Estados Unidos se pudo conseguir reducciones a partir de la conciencia de los industriales y de ingenieros de corrosión. Está conciencia está presente ya hace muchos años, no es en vano que los dos grandes organismos internacionales más importantes en materia de corrosión (NACE, SSPC) sean asociaciones creadas en Norteamérica.

Está presente investigación pretende demostrar que solo utilizando los conocimientos técnicos presentes en nuestro país, seleccionando adecuadamente la preparación de superficie, seleccionando adecuadamente el sistema de pintura, seleccionando adecuadamente la protección catódica, ejecutando de una manera profesional los controles de calidad, capacitando al personal operario, capacitando a los profesionales de corrosión, ejecutando los proyectos de acuerdo a Normas y de acuerdo a Planes de Recubrimiento. Solo teniendo en cuenta estas consideraciones mencionadas, es posible reducir en 30% los gastos que ocasiona la corrosión en tanques de almacenamiento y en toda instalación industrial.

Esta investigación pretende que no ocurra más casos que se ven continuamente en tanques nuevos recién recubiertos con pintura, ya que es común ver que a los 2 o 3 meses se inicia la corrosión en zonas muy puntuales, que se va expandiendo poco a poco, generando pérdida de material y que al final debe ser retirada o nuevamente pintada, con los costos directos de mantenimiento e indirectos por las interrupciones del proceso.

Menciono un caso que puede ser el ejemplo más claro de la poca importancia que se le da a la protección anticorrosiva, la Minera Miski Mayo – Vale, de origen brasileño es propietaria de una mina de fosfatos en el norte del país, esta planta solo tiene 6 años de operación y la empresa ha tenido que realizar el año 2014 un gasto de 1'300,000.00 dólares, y tiene un presupuesto asignado de 1'500,000.00 dólares para el año 2015 para protección anticorrosiva. En los 6 años de operación de esta mina no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento anticorrosivo y al cabo de 6 años se tiene que emprender estos proyectos por obligación, ya que la planta presenta graves problemas en su estructura por corrosión.

Lo contrario podemos ver en la Central Termoeléctrica Ilo 21, de propiedad de Enersur, empresa de capitales franceses que realizó el recubrimiento de 07 tanques nuevos el año 2013 que son parte del proyecto Reserva Fría de

Generación. Estos tanques al tener una garantía por 5 años de la empresa ejecutora, ha sido revisada este año por una empresa certificadora que ha validado que no hay presencia de corrosión externa en los tanques supervisados. Si no hay al primer año, es muy complicado que la corrosión se presente al segundo año.

Esto demuestra la validez de realizar un plan de protección anticorrosiva.

CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones.

La presente investigación propone y demuestra la importancia de la protección anticorrosiva de los tanques de almacenamiento de diesel que funcionan en las centrales termoeléctricas, demuestra que los costos asociados a la corrosión son importantes y muy elevados en comparación con los Estados Unidos, en el Perú se gasta por mantenimiento anticorrosivo un 8% de nuestro PBN, y en los Estados Unidos un 4% de su PBN.

El año 2013 en nuestro país se gastó en mantenimiento anticorrosivo la suma de 1,500.00 millones de dólares, esta suma debería reducirse en un 30% con solo usar los pocos conocimientos técnicos con los que contamos en nuestra país, y para contribuir a esta reducción de gasto en este rubro es que se desarrolla la presente investigación, es de conocimiento de la experiencia en otros países y en especial en los Estados Unidos que solo con tomar como guía un trabajo como esta tesis, de manera técnica, tanto en la selección como en la ejecución de proyectos anticorrosivos, se consigue esta reducción del 30%.

Este gasto no tienen ningún retorno ya que no es inversión, sino que es gastar en reparar algo que se hizo mal.

La presente tesis pretende conseguir crear conciencia en materia anticorrosiva y ser un material que sirva a especificadores e ingenieros de mantenimiento, gerentes de planta, para que incluyan y pongan en práctica el plan de mantenimiento de tanques de combustibles diesel para centrales térmicas que se desarrolla en el presente trabajo, obviamente con las variantes propias de cada instalación.

Obviamente la reducción de gastos utilizando este trabajo como guía se verá en el tiempo, la experiencia en los Estados Unidos demostró que a los largo de los años la curva descendió hasta conseguir el estándar en que se mantiene hoy en 15 años de investigación y aplicación de técnicas anticorrosivas.

10.2. RECOMENDACIONES

- Todo proyecto debe estar justificado en función de una necesidad primordial, para emprender su ejecución y afrontar los costos asociados.
- Nunca se debe iniciar un proyecto de protección anticorrosiva sin antes haberse reunido con todos los interesados y definir criterios de aceptación y métricas de calidad a utilizarse.
- Se debe prestar gran importancia a la preparación de superficie ya que esta implica el 90% del éxito del plan de protección anticorrosiva.
- Se debe capacitar al personal directivo y operario que participa en las técnicas de preparación de superficie y aplicación de pintura. La capacitación es fundamental, sobre todo en los conceptos de calidad, se debe conseguir cero reproceso.
- El aseguramiento y control de calidad del proceso de recubrimiento industrial debe ser realizado de manera rigurosa y verificable mediante Dossiers de calidad que permita la trazabilidad del proceso.
- Se debe promover la conciencia de la importancia de la protección anticorrosiva en los empresarios, ya que permitirá mantener la durabilidad de las instalaciones industriales. Además de reducir costos.
- Si bien es cierto es más recomendable tercerizar el mantenimiento anticorrosivo de los tanques, esto no quita que el profesional de mantenimiento debe estar al tanto de las técnicas que implica la protección anticorrosiva para así poder exigir un servicio de calidad.
- Todo el personal que participa de las labores de recubrimiento industrial deben estar capacitados tanto teórico como práctico, sobre todo en temas de seguridad industrial, nada es más importante que la vida de un ser humano, por lo que nunca es mucho ser exigentes con el tema de seguridad en la ejecución de las labores de recubrimiento industrial.

- Es de exigencia absoluta el uso de los Equipos de Protección Personal en la ejecución de las labores de preparación de superficie y pintura, no se debe permitir ninguna desviación en la aplicación de los estándares internacionales de seguridad.
- También es ya de necesidad la eliminación del uso de la arena silica en las labores de preparación de superficie, ya que está demostrado que esto trae consigo una mortal enfermedad llamada silicosis.

CAPITULO XI

BIBLIOGRAFÍA

- ABAD CARVAJAL, Pablo Antonio. Estudio del proceso de fabricación de tanques de doble pared para almacenamiento de combustible (Tesis de Grado). Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1996. Recuperado el 10 de octubre de 2014 desde <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4352/1/6872.pdf>
- ABARCA GARCÍA, Juan. Manual para el Mantenimiento Industrial: Pinturas y revestimientos (4ta. ed.). San José, C.R.: EDITORAMA, 2003.
- AGAMA MOSQUERA, Alejandro David. Construcción de Electrodo de Plata/Cloruro de Plata para Medición de Potenciales Eléctricos en Estructuras Sumergidas (Tesis de Grado). Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2013. Recuperado el 12 de mayo de 2014 desde <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25527/1/TESIS%20ALEJANDRO%20AGAMA%202.pdf>
- BARRIENTOS, Eder. Procedimiento para la preparación de superficies mediante chorro abrasivo y aplicación de pintura en el exterior de 07 tanques de almacenamiento del Proyecto de Reserva Fría para la Generación Ilo-ENERSUR. Moquegua: ENERSUR, 2012.
- CASALLAS SALINAS, Quilyam. La corrosión y el mantenimiento industrial. En: Ingenio Libre, Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre de Bogotá; Núm. 10, Año 9; págs. 142 – 148.
- COMPAÑÍA PERUANA DE PINTURAS (Edit.). Fundamentos de Recubrimientos Protectores para Estructuras Industriales (Versión 13A, marzo 2005). Lima: CPPQ S.A., 2005.

- GARCÉS RODRIGUEZ, Roberto Carlos. Evaluación de la corrosión atmosférica del acero expuesto en diversas atmósferas (Tesis de Maestría). Nuevo León, Mx.: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2002. Recuperado el 24 de mayo de 2014 desde <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020147933/1020147933.PDF>

- GIUDICE, Carlos A. y PEREYRA, Andrea M. Tecnología de Pinturas y Recubrimientos: Componentes, formulación, manufactura y control de calidad. Buenos Aires: Edutecne, 2009.

- HERNÁNDEZ BÁRCENAS, Raymundo. Propuesta de Mantenimiento Preventivo Basado en la Confiabilidad del B.C.L. y del S.D.A.C. de la Flota A320 de Mexicana de Aviación (Tesis de Maestría). México: Instituto Politécnico Nacional, 2010. Recuperado el 10 de mayo de 2014 desde <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/13412>

- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la Investigación (3ra Ed.). México: McGraw - Hill, 2003.

- HIDALGO, Manuel. Protección catódica. Caracas: Universidad Simón Bolívar, s/f. Recuperado el 24 de mayo de 2014 desde http://ingenieros.es/files/proyectos/Proteccion_Catodica.pdf

- LAFORGIA NIETO, Juan Carlos. Control de procedimiento de pintado de tanques de almacenamiento de combustible (Tesis de Grado). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998. Recuperado el 20 de abril de 2014 desde <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14485>

- LEONEL PAZ, Otto. Materiales y fabricación de tanques cisterna para almacenamiento de combustibles, utilizando recubrimientos para evitar danos al medio ambiente (Tesis de Grado). Ciudad de Guatemala: Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. Recuperado el

15 de setiembre de 2014 desde

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2049_C.pdf

- LLERENA CHUQUILLANQUI, Juan Félix. Mantenimiento y Pintado de Embarcaciones Pesqueras de Acero Naval (100 – 400 Tm) de capacidad en bodega (Monografía para optar el título profesional en Jefatura de Bahía). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2007.
- MALDONADO LÓPEZ, Fernando (Dir.). Cálculo de protección catódica Faragauss. México: Faragauss System, 2007. Recuperado el 24 de mayo de 2014 desde <http://www.iscontrol.com.mx/sites/default/files/pdf/PROTECCION%20CATODICA.pdf>
- NAVARRETE VALLES, Luis Guillermo. Estudio del desprendimiento catódico de recubrimientos orgánicos aplicados en superficies de acero (Tesis de Grado). Piura: Universidad de Piura, 2008.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Atlas Minería y Energía en el Perú. Lima: Autor, 2001.
- PASCUAL J., Rodrigo. El Arte de Mantener. Santiago: Universidad de Chile, 2008.
- RODRÍGUEZ DE VICENTE, Alfredo. Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado (Tesis de Grado). Madrid: Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- SALAZAR PÉREZ, Carlos Manuel. Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos del gas natural (Caso: Planta de extracción de líquidos de gas natural San Joaquín. Buena vista, estado Anzoátegui) (Tesis de Grado). Barcelona: Universidad de Oriente, 2009. Recuperado el 10 de mayo de 2014 desde <http://hdl.handle.net/123456789/1063>.

- Medición de resistividad del suelo por la empresa Fluke
<http://www.fluke.com/fluke/pees/soluciones/resistencia-de-tierra/m%C3%A9todo-de-resistividad-de-suelos.htm>.
- Protección catódica por corriente impresa, información extraída de la web:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_8.htm
- Características de los ánodos utilizados en la industria anticorrosiva
<http://www.corrocogroup.es/conductive-polymer-flexible-anode.html>.
- De la Cruz Pérez Abel Jacobo, “Selección de Sistemas de Pintado para la Protección Anticorrosiva”. Tesis Grado Titulo, UNMSM 1990.
- Fleming Payne Henry “Tecnología de Pinturas” Tomo II Editorial Jhon Wiley Sons. Primera Edición Madrid España 1973.
- NACE “A Manual for Painting Safety” a report of NACE Technical Unit Committee Application and Use of Coatings for Atmospheric Service Prepared by Task T-6D on Painter Safety 1980.
- SSPC “System and Specifications” Volumen 2 Third Edition Pittsburg PA 1995.
- Empresa especialista en Recubrimientos, Selección de abrasivo:
http://www.blasting.com.ar/granalladoras/informacion-tecnica/informes/Seleccion_del_abrasivo.pdf
- Blog sobre fundamentos de protección catódica.
<http://proteccioncatodicafundamentos.blogspot.com/2009/05/consideraciones-de-diseno-para-la.html#seccion4>.
- Empresa de protección catódica, Características de ánodos de corriente impresa. <http://www.corrocogroup.es/conductive-polymer-flexible-anode.html>
- Control de calidad en los recubrimientos industriales: Ing. Químico. Juan Carlos Pachón; PREPARACION%20SUPERF%20TESIS/QC_Recubrimientos.pdf

- Hernandez Jimenez, Mantenimiento anticorrosivo de Plantas Industriales; Tesis Maestria Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2008.
- Empresa Blasting, Tratamiento del aire comprimido, Disponible en: <http://www.blasting.com.ar/tratamiento-del-aire.php>.
- TORRES JARAMILLO, Santiago. Diseño de Prototipo de Equipo Sandblasting utilizando granalla mineral. Tesis de grado, ESPE – Ecuador. 2013.

ANEXOS

A.1. Glosario de Términos Básicos.

Preparación de superficie: Es la acción de eliminar los contaminantes visibles y no visibles de la superficie del equipo o material a proteger mediante la aplicación de los métodos de limpieza conocidos.

Contaminación visible: Son todos aquellos contaminantes que se pueden ver a simple vista, encontrados en la superficie que se va a tratar, tales como óxido, cascarilla de laminación, pintura mal adherida, grasa, aceite o cualquier otro material extraño.

Contaminación no visible: Son todos aquellos contaminantes que no se pueden ver a simple vista, tales como sales solubles de hierro, cloruro nitratos y sulfatos.

Limpieza por chorro abrasivo seco: Método de preparación de superficie que usa un abrasivo propulsado por presión de aire para retirar escama de laminación, óxido y otros contaminantes y dar perfil de anclaje o rugosidad a una superficie metálica.

Abrasivo: Es un material generalmente sólido en forma de partícula utilizada para efectuar la limpieza de una superficie metálica o no metálica, y que produce un perfil de anclaje cuando por medio de un dispositivo se impacta a presión sobre una superficie.

Perfil de anclaje o rugosidad: Es la profundidad y la forma de la rugosidad máxima que se obtiene cuando la superficie de un material es impactado con un abrasivo a presión.

Acabado: Es la capa final de un sistema de recubrimiento. Proporciona resistencia adicional, ayudando a proteger al recubrimiento primario e intermedio del medio ambiente y de la acción de sustancias químicas.

Aplicador: Es la persona física con experiencia mínima comprobable en la aplicación de recubrimientos industriales y marinos.

Aplicación de Pintura: Es un procedimiento que por medio de equipos eléctricos, neumáticos o gasolineras se aplica un recubrimiento sobre una superficie metálica o no metálica.

Espesor de película húmeda: Es el espesor de la película de recubrimiento inmediatamente después de la aplicación

Mils: Es la medida en la cual se mide el espesor de la película seca, 1mils es igual a 25 micrones.

Punto de rocío: Temperatura en la que la humedad o agua satura el aire ambiente y se empieza a condensar sobre la superficie del acero.

Mantenimiento del tanque: Proceso mediante el cual se vuelve al tanque a su condición inicial de uso.

NACE: Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión

SSPC: Steel Stencil Painting Council.

SIS 055900: Instituto Sueco de la Corrosión.

Espesor Película seca: Medida de la película de pintura una vez curada.

Equipo airless: equipo de aplicación de pintura sin aire.

Tolva: Equipo neumático a presión que contienen el abrasivo y lo proyecta mediante la manguera de arenado al sustrato.

Protección Catódica: Sistema de protección anticorrosiva mediante corriente impresa o ánodos de sacrificio.

Dead Man: Sistema remoto que controla la salida de la mezcla aire – abrasivo.

Holiday Detector: Prueba neumática de adherencia de la pintura al sustrato.

Mantenimiento: Conjunto de actividades y tareas que permiten volver a un equipo o instalación a su estado natural.

A.2. Matriz de Consistencia.

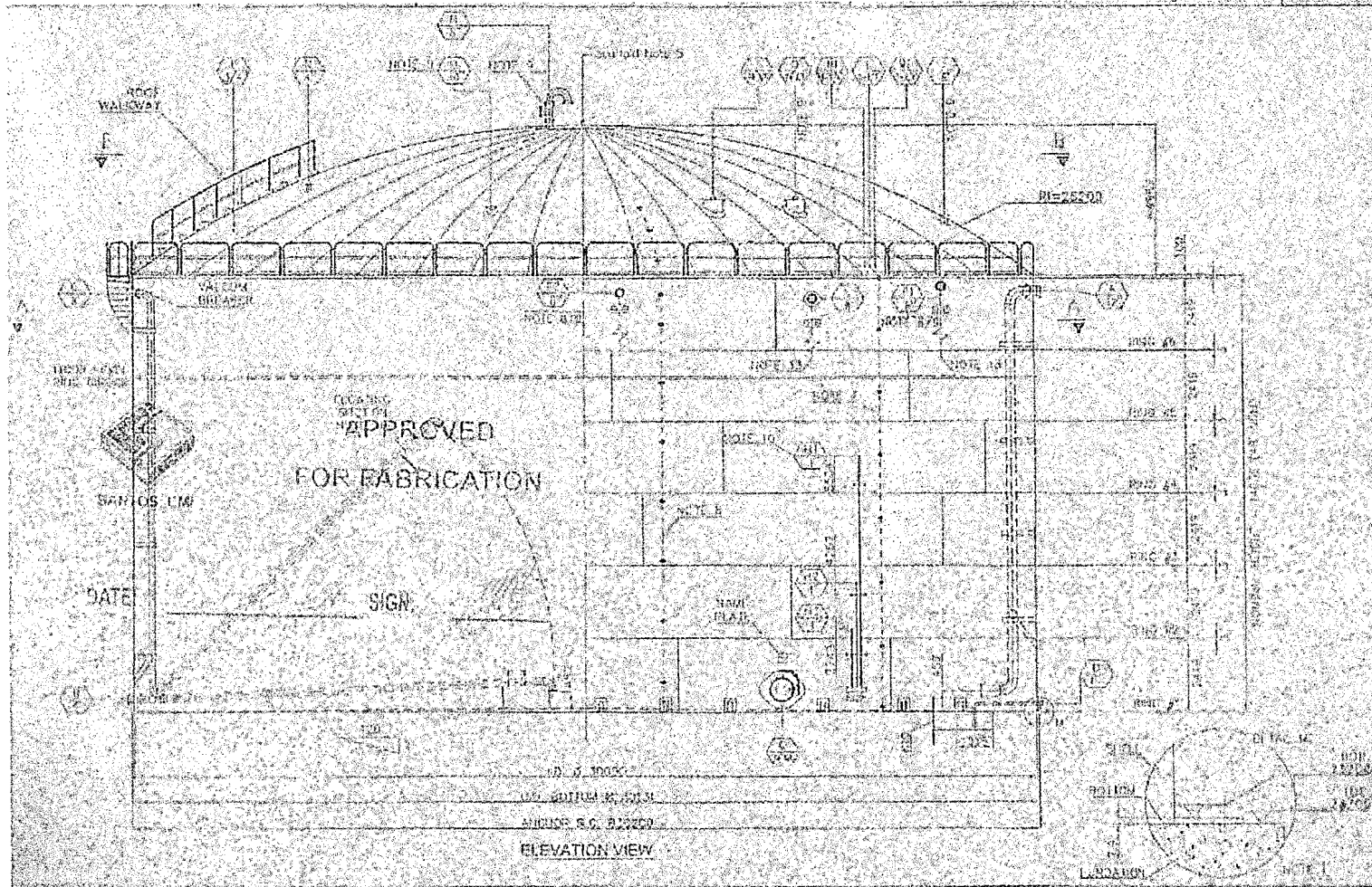
Título: Diseño de un plan de Recubrimiento Industrial y mantenimiento para disminuir la corrosión prematura de tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
<p>General: ¿De qué manera basada en la recopilación de instrucciones de los fabricantes, Normas NACE, SSPC y las aportaciones de los responsables de mantenimiento, se puede diseñar un plan de recubrimiento industrial y mantenimiento para evitar la corrosión prematura de tanques de combustible diésel de las centrales termoeléctricas?</p> <p>Específicos: PE₁. ¿Cuáles son las actividades a tenerse en cuenta en la preparación de superficie, y pintado externo de los tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas? PE₂. ¿Cuáles son las</p>	<p>General: Diseñar un plan de Recubrimiento industrial y mantenimiento para evitar la corrosión de tanques de combustible diésel de las centrales termoeléctricas, basado en la recopilación de instrucciones de los fabricantes, las normas NACE, SSPC y las aportaciones de los responsables de mantenimiento.</p> <p>Específicos: OE₁. Establecer las actividades a tenerse en cuenta en la preparación de superficie, pintado externo para evitar la corrosión de los tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas, basado en la recopilación de instrucciones de los fabricantes, normas NACE,</p>	<p>El diseño de un Plan de Recubrimiento Industrial para evitar la corrosión de Tanques de Combustible Diésel para Centrales Termoeléctricas, permitirá contar con una guía específica para la realización de actividades en tanques nuevos y guías para ejecutar actividades propias de mantenimiento, reactivas, correctivas, predictivas y proactivas; coadyuvando con ello la mejora del mantenimiento y recubrimiento industrial de dichos tanques.</p>	<p>Primera Variable Independiente (Variable X): «Plan de recubrimiento industrial de tanques de diésel para centrales termoeléctricas»</p> <p><i>Indicadores de variable X:</i> X₁:Instrucciones del fabricante, normas NACE y SSPC para la preparación de superficie, el pintado externo de los tanques. X₂:Instrucciones del fabricante, normas NACE, SSPC para la preparación de superficie y el pintado interno de los tanques. X₃:Instrucciones del fabricante, normas NACE y SSPC para el mantenimiento de los tanques.</p> <p>Segunda Variable Independiente (Variable Y): «Aportaciones de los responsables de mantenimiento de tanques».</p> <p><i>Indicadores de variable Y:</i></p>	<p>Tipo de Investigación: La presente investigación puede tipificarse como descriptiva con valor de ubicación de variables.</p> <p>Diseño de Investigación: No experimental cuyos diseño transaccional es descriptivo.</p> <p>Población y Muestra: La población para la presente investigación lo conforman las 455 centrales térmicas peruanas. La muestra referencial estará constituido por los 07 Tanques de Almacenamiento del Proyecto de Reserva fría para la Generación Ilo-ENERSUR.</p>

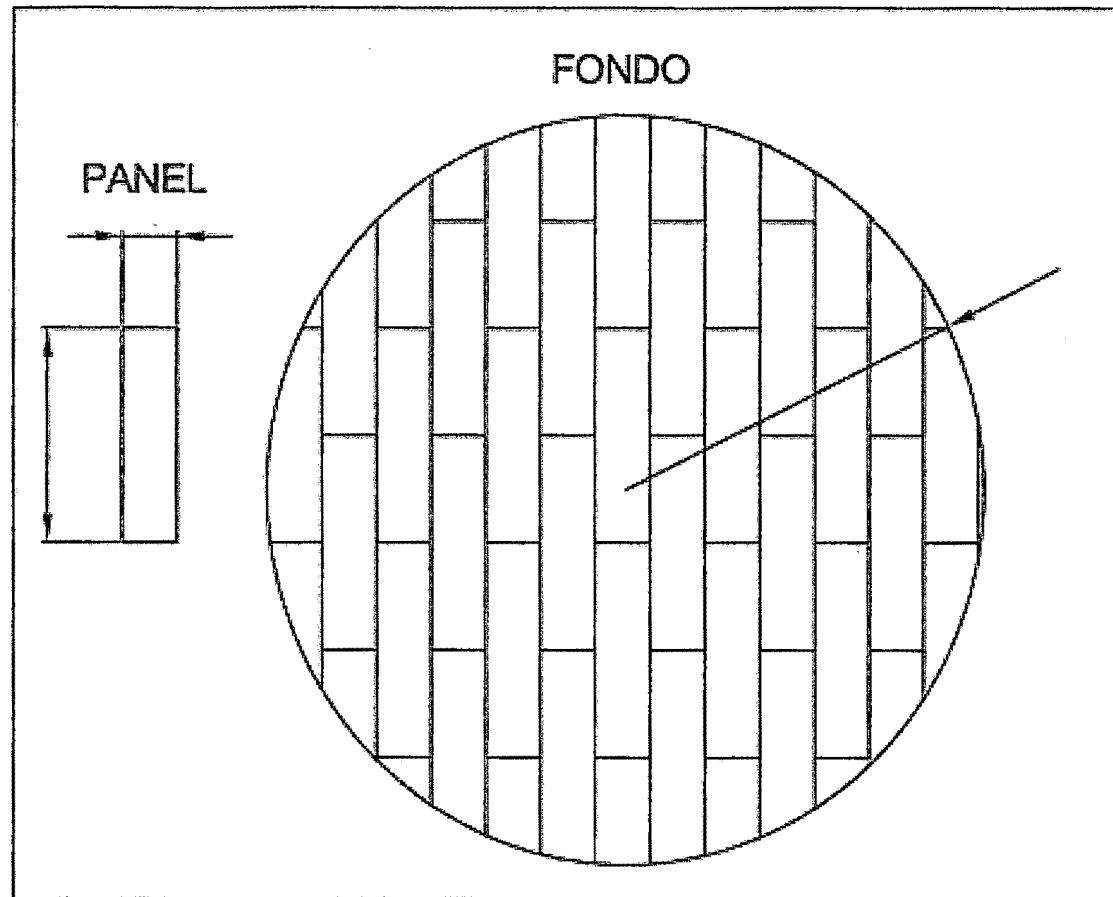
<p>actividades a tenerse en cuenta en la preparación de superficie y el pintado interno de los tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas?</p> <p>PE₃. ¿Cuáles son las actividades a tenerse en cuenta en el mantenimiento de los accesorios de los tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas?</p>	<p>SSPC y las aportaciones de los responsables de mantenimiento.</p> <p>OE₂. Establecer las actividades a tenerse en cuenta en la preparación de superficie, el pintado interno para evitar la corrosión de los tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas, basado en la recopilación de instrucciones de los fabricantes, normas NACE, SSPC y las aportaciones de los responsables de mantenimiento.</p> <p>OE₃. Establecer las actividades a tenerse en cuenta en el mantenimiento de los accesorios para evitar deterioro por corrosión de los tanques de combustible diésel para centrales termoeléctricas, basado en la recopilación de instrucciones de los fabricantes, normas NACE, SSPC y las aportaciones de los responsables de mantenimiento.</p>		<p>Y₁: Aportaciones para el pintado externo de los tanques.</p> <p>Y₂: Aportaciones para el pintado externo de los tanques.</p> <p>Y₃: Aportaciones para el mantenimiento de los accesorios de los tanques.</p> <p>Variable dependiente (Variable Z): «Plan de Mantenimiento y Pintado de Tanques de Combustible Diésel para Centrales Termoeléctricas».</p> <p><i>Indicadores de variable Y:</i></p> <p>Z₁: Actividades de mantenimiento reactivo.</p> <p>Z₂: Actividades de mantenimiento correctivo.</p> <p>Z₃: Actividades de mantenimiento predictivo.</p> <p>Z₄: Actividades de mantenimiento proactivo.</p>	
---	---	--	---	--

A.3. Esquema Estructural de los Tanques de Combustible.

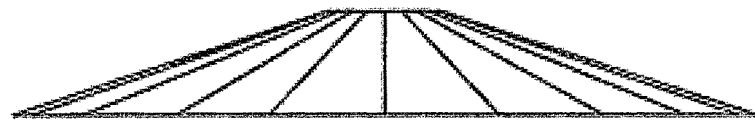
A.3.1. Esquema estructural de las paredes.



A.3.2. Esquema estructural de la base.



A.3.3. Esquema estructural del techo.



ALZADO

