

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONOMICA DE SISTEMAS DE
PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN BASE A NUEVAS
TECNOLOGÍAS EN RECUBRIMIENTOS PARA EL
MANTENIMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE
DERIVADOS DE PETRÓLEO EN REFINERÍA LA PAMPILLA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

DORIS VICTORIA PÉREZ BALLÓN

LIMA – PERÚ

2011

INDICE

I. INTRODUCCION

II. DESARROLLO DE CONCEPTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS

2.1. Situación Actual en Refinería la Pampilla.

2.2. Capacidad de Almacenamiento en Tanques y Sistemas de recubrimiento

2.2.1. Productos de Almacenamiento.

2.2.2. Sistema de Pintura Actual en Interior de Tanques.

2.2.3. Sistema de Pintura Actual en Exterior de Tanques.

2.3. Pliego de Condiciones Particulares (PCP) de RELAPA

2.4. Generalidades de la corrosión.

2.5. Tecnología de los Recubrimientos Industriales.

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Evaluación del medio ambiente y condiciones de Operación Actuales.

3.2. Inspecciones realizadas por el Fabricante de Pintura.

3.2.1. Sistemas de pintura con una antigüedad mayor a 15 años.

3.2.2. Sistemas de pintura con una antigüedad de 10 a 15 años.

3.2.3. Sistemas de pintura con una antigüedad menor a 10 años.

3.3. Planteamiento de Nuevos sistemas para el Mantenimiento de Tanques

3.3.1. Tipos de recubrimiento por el tipo de resina.

3.3.2. Sistemas de Pintura Alternativos

IV. Análisis de Costo Total de Pintado del Sistema antiguo Vs Sistema Nuevo.

V. Conclusiones

VI. Bibliografía.

I. INTRODUCCIÓN:

Refinería la Pampilla S.A., es una empresa del rubro petrolero encargada de la refinación de crudo de petróleo, producción, almacenamiento, comercialización, transporte y distribución de productos hidrocarburos derivados del petróleo.

Dichos hidrocarburos se encuentran depositados en tanques de almacenamiento los cuales dependiendo de grado de volatilidad se encuentran como tanques de techo fijo, techo fijo con sabana flotante o tanques de techo flotante. A través de un cronograma de mantenimiento ya establecido por el área de Inspección, se realiza en conjunto con el fabricante de pintura inspecciones anuales con la finalidad de evaluar el estado del recubrimiento en el Interior y Exterior de los Tanques existentes.

El presente trabajo incluye un panorama actual sobre los sistemas de pinturas que se vienen empleando para el recubrimiento de los tanques de almacenamiento, así mismo la evaluación del sistema de pintura antigua y planteamiento de nuevos sistemas de recubrimiento que signifiquen ahorro en costo de aplicación y productividad evaluado en un mantenimiento por periodos prolongados proporcionando un costo significativamente menor.

II. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS

2.1. Situación Actual en Refinería la Pampilla

Actualmente Refinería la Pampilla tiene 160 Tanques de almacenamiento los cuales se encuentran dentro de un programa de mantenimiento anual elaborado por el área de Inspección, el mismo que incluye trabajos de reparación metal-mecánica y aplicación de recubrimientos con pintura.

Para ello se contrata a especialistas en preparación de superficie y aplicación de recubrimientos industriales.

2.2. Capacidad de Almacenamiento en Tanques y Sistemas de recubrimientos.

2.2.1 Productos de Almacenamiento

Los productos que actualmente comercializa Refinería La Pampilla son los siguientes:

Productos Livianos:

- Diesel B2
- Biodiesel
- Gasolina de 84, 90, 95 y 97 Octanos
- Turbo A1
- Kerosene
- Gas Licuado de Petróleo

Productos Pesados:

- Petróleo Industrial 6
- Petróleo Industrial 500
- Cemento Asfáltico
- Asfalto Líquido

2.2.2. Sistema de Pintura actual en Interior de Tanques.

Para Tanques que contienen productos livianos Refinería la Pampilla establece el siguiente sistema:

- 1ra Capa General de Zinc Inorgánico a 4 mils
- 2da Capa General de resina epoxi-fenólica a 5 mils.
- 3ra Capa General de resina epóxi- fenólica a 5 mils.

Para Tanques que contienen productos pesados Refinería la Pampilla establece el siguiente sistema:

- 1ra Capa General de Zinc Inorgánico a 4 mils.
- 2da Capa General de resina epoxi- multipropósito a 5 mils.
- 3ra Capa General de resina epóxi- multipropósito a 5 mils.

2.2.3. Sistema de Pintura actual en Exterior de Tanques.

Para exteriores el sistema especificado es el siguiente:

- 1ra Capa General de Zinc Inorgánico a 4 mils.
- 2da Capa General de Epoxi-Poliamida a 4 mils.
- 3ra Capa General de Poliuretano a 2 mils.

2.3. Pliego de Condiciones Particulares (PCP) de RELAPA.

El pliego de Condiciones Particulares establece las bases de contratación de una empresa de servicios de mantenimiento para efectuar los trabajos de preparación de superficie y aplicación de pintura en los equipos de Refinería la Pampilla.

2.3.1. Sobre las partes de los Tanques de almacenamiento

Las partes de los tanques y accesorios que cubren los servicios son:

- Cilindro en sus áreas interior y exterior.
- Techo fijo y flotante en su exterior e interior.
- Fondo.
- Tuberías de proceso en su área exterior.-Tuberías de contra incendio en su área exterior.

-Soportes metálicos de tuberías de proceso.

-Escaleras y pasarelas del tanque en su área exterior.

Respecto a los trabajos de preparación de superficie y aplicación de pintura estos deberán señirse bajo Normas y Estándares establecidos por RELAPA.

2.3.2. Preparación de Superficie mediante Arenado al Metal Blanco:

Arenado al metal blanco según Norma NACE 1 /SSPC SP5, chorreo en seco con escoria de cobre, con equipos de chorreo de alta calidad y capacidad. La superficie debe quedar libre de todo óxido, costra de laminación, pintura antigua, grasas, contaminantes, etc. en el 100% del área a ser pintada. No se aceptan manchas sobre la superficie a pintar. Se debe utilizar equipos seguros para el personal arenador (sistema de respiración, sistema de accionamiento remoto). Al finalizar el arenado se efectuará limpieza con trapo seco y solvente para el retiro de residuos de polvo.

2.3.3. Aplicación de Pintura Exterior de superficies en general

- Aplicación de primera capa de Pintura exterior (obras nuevas y/o arenadas). Pintura base zinc Inorgánico a 4 mils seco como mínimo.
- Aplicación de primera capa de Pintura en zona de resanes (mantenimiento de pintura). Pintura Epoxi Poliamida-Amina a 4 mils seco como mínimo.
- Aplicación de segunda capa de Pintura exterior.
Epoxi Poliamida-Amina a 4 mils seco como mínimo. El color de esta capa intermedia debe ser tal que pueda quedar totalmente cubierta por la capa de acabado.

- Aplicación de Pintura exterior capa de Acabado. Poliuretano alifático a 2 mils seco como mínimo, color de acuerdo a necesidad.

2.3.4 Aplicación de Pintura Interior de superficie de tanques de almacenamiento de crudo, de lastre, agua no potable y gasolina con plomo.

- Aplicación de primera capa de Pintura Interior Base (obras nuevas y/o arenadas). Pintura base anticorrosiva, zinc Inorgánico, 1 capa de 4 mils seco como mínimo.
- Aplicación de primera capa de Pintura en zona de resanes (mantenimiento de pintura). Pintura Epoxi Poliamida-Multipropósito, 1 capa de 4 mils seco como mínimo.
- Aplicación de segunda capa de Pintura. Pintura Epoxi Poliamida-Multipropósito, 1 capa de 4 mils seco como mínimo. El color de esta capa intermedia debe ser tal que pueda quedar totalmente cubierta por la capa de acabado.
- Aplicación de Capa de acabado de Pintura. Pintura Epoxi Poliamida-Multipropósito, 1 capa de 4 mils seco como mínimo, color blanco óptico.

2.3.5 Aplicación de Pintura Interior de superficie de tanques de almacenamiento de gasolina sin plomo, MTBE, turbo y Nafta

- Aplicación de primera capa de Pintura Interior Base (obras nuevas y/o arenadas). Pintura epóxico fenólico, 1 capa de 5 mils seco como mínimo, blanco humo.
- Aplicación de segunda capa de Pintura Interior Acabado. Pintura epóxico fenólico, 1 capa de 5 mils seco como mínimo, blanco humo.

2.4. Generalidades de la corrosión:

Según la NACE (National Association of Corrosion Engineers), organización mundial que dicta las pautas en el tema:

“Corrosión (Figura 1) es el deterioro de un material, usualmente un metal, que resulta de la reacción con su medio”.



Figura 1: Corrosión en metales

La mayor parte de los procesos de corrosión del acero estructural son de naturaleza electroquímica y suceden en etapas. El ataque inicial ocurre en las áreas anódicas sobre la superficie, donde los iones ferrosos son disueltos. De las áreas anódicas se liberan los electrones que se mueven a través de la estructura metálica, a las áreas catódicas adyacentes existentes en la superficie, aquí se combinan con el oxígeno y con el agua formando iones hidroxilos. Éstos reaccionan con los iones ferrosos generados en el ánodo, produciendo hidróxido ferroso que, a su vez se oxida al aire produciendo el óxido de hierro hidratado, conocido como herrumbre.

Todas estas reacciones pueden ser descritas mediante la ecuación:



El siguiente esquema (Figura 2) representa el mecanismo envuelto en el proceso de corrosión.

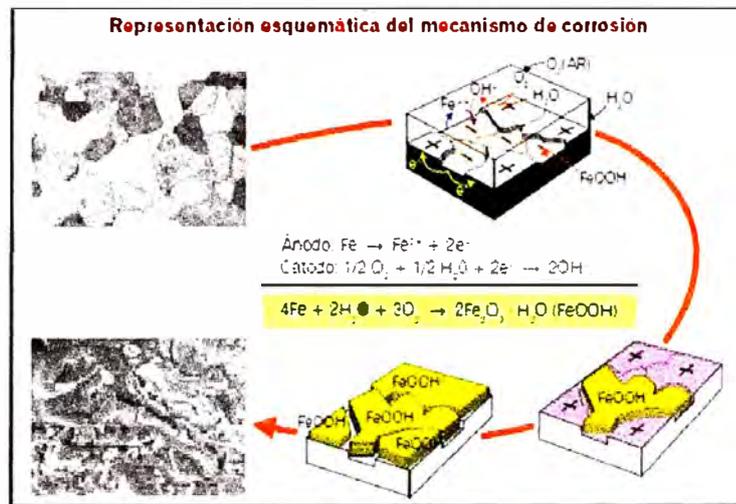


Figura 2: Mecanismo de corrosión

Dos puntos importantes son consecuencias directas de las consideraciones anteriores:

1. Para que el acero se corra, es necesario la presencia simultánea de agua y de oxígeno. En ausencia de una de estas sustancias, no se produce corrosión.
2. Toda la corrosión ocurre en el ánodo, en el cátodo no hay corrosión.
3. No proteger adecuadamente nuestros componentes en planta, asocia un valor económico de pérdida como puede ser:
 - Reemplazo de estructuras y componentes deteriorados antes de tiempo.
 - Mantenimiento para conservar operativas las instalaciones con mayor frecuencia.

- Costos por cierre de instalaciones.
- Pérdida del producto.
- Contaminación ambiental.
- Daños y lesiones por accidentes.

2.4.1. Tipos de corrosión:

- a. Corrosión uniforme: Donde la corrosión química o electroquímica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal.
- b. Corrosión galvánica: Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material mas activo será el ánodo.
- c. Corrosión por picaduras: Aquí se producen hoyos o agujeros por agentes químicos.
- d. Corrosión Intergranular: Es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.
- e. Corrosión por esfuerzo: Se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frío.

2.4.2 Corrosión en tanques de almacenamiento de combustible y fallas más comunes.

Para el control de la corrosión es fundamental la identificación de los tipos y factores de corrosión, ver Figura 3.

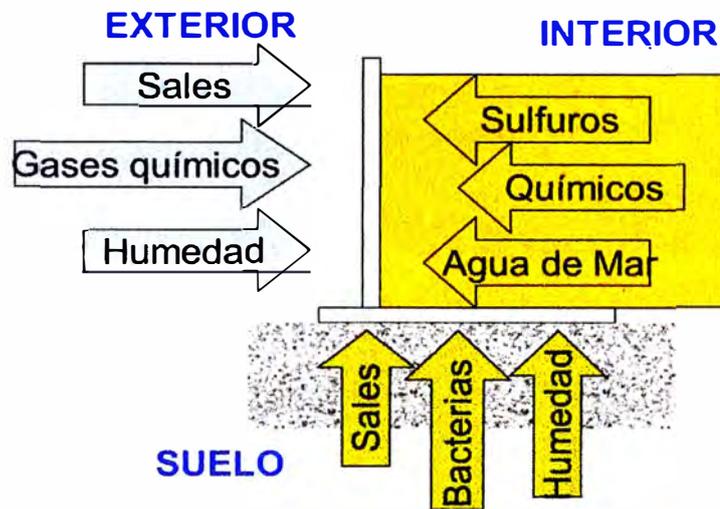


Figura 3: Áreas propensas a la corrosión en tanques.

A continuación los siguientes esquemas mostrarán los tipos de corrosión más comunes en tanques de almacenamiento.

Cilindro exterior: Corrosión en planchas de tanque exterior (Figura 4, 5, 6, 7)



Figura 4: Corrosión Generalizada

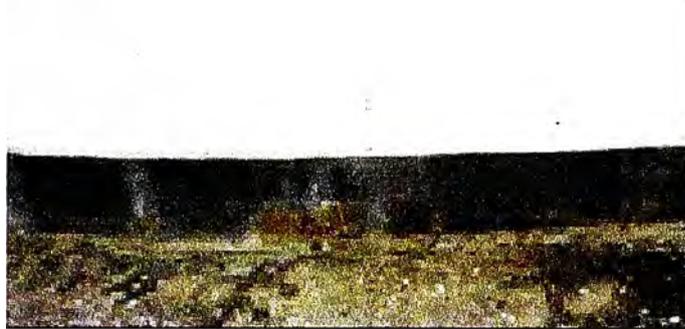


Figura 5: Corrosión galvánica por Humedad



Figura 6: Injertos

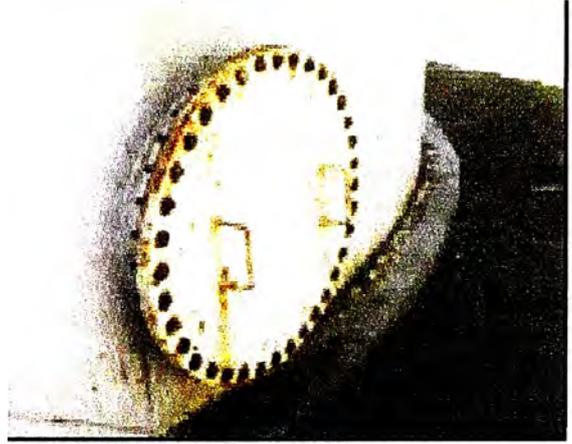


Figura 7: Intersticios

Techo exterior:

Corrosión Generalizada y por picadura: producto de la acumulación de vapores de productos químicos y/o compuestos orgánicos tales como excremento de aves sobre el techo de los tanques (Figura 8 y 9).

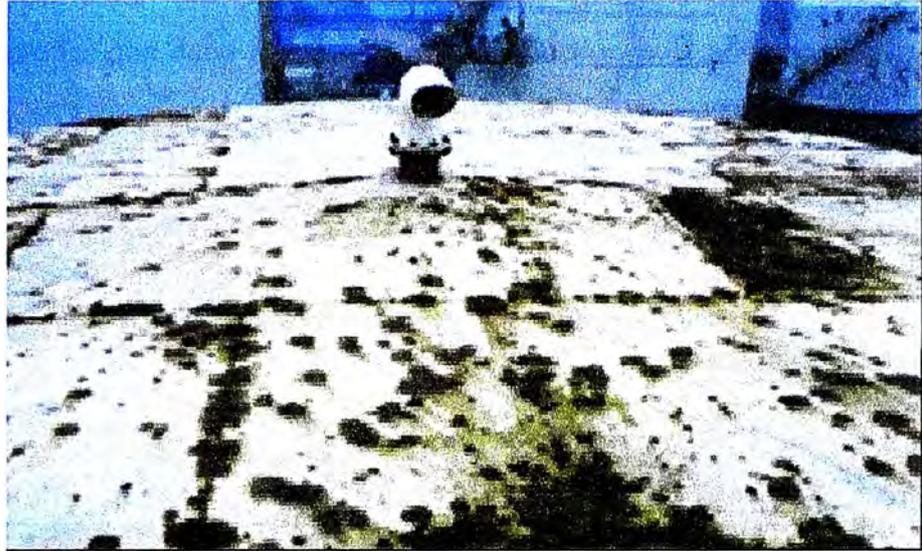


Figura 8: Depósitos inorgánicos



Figura 9: Depósitos orgánicos

Fondo exterior:

Corrosión por picadura, galvánica y generalizada: producido en zonas con daño de pintura, filos y cordones de soldadura (Ataque por atmósfera corrosiva y acumulación de agua, ver Figura 10).



Figura 10: Interticios

Fondo interior:

Corrosión por picadura y galvánica: Ataque por presencia de sales o agua generado inicialmente por una corrosión interna que posteriormente se traducirá en ampollamiento (Figura 11), este puede ser generalizado o localizado dependiendo del grado de contaminación inicial.



Figura 11: Ampollamiento bajo el recubrimiento

Techo interior:

Corrosion por picadura: debido a la condensación de agua y vapores corrosivos (Figura 12).



Figura 12: Humedad y producto

2.4.3 Tipos de protección por recubrimiento

Básicamente cuatro son los mecanismos de protección por recubrimientos:

- Protección por Capa Barrera
- Protección por Pigmentos Inhibidores.
- Protección Galvánica (Catódica).
- Resistencia Iónica

PROTECCIÓN POR CAPA BARRERA

Mecanismo: Bloquear el paso de los contaminantes mediante la formación de una barrera aislante de muy baja permeabilidad, que impide que el oxígeno y la humedad alcancen el metal, impidiendo la interacción. Por ejemplo pinturas epóxicas con alto contenido de sólidos (Figura 13).



Figura 13: Pintura epoxi-poliamida amina

PROTECCIÓN POR PIGMENTOS INHIBIDORES

Mecanismo: Según el tipo de pigmento inhibidor, protegen la superficie de la corrosión. Por ejemplo el minio de plomo y el fosfato de zinc, estos pigmentos reaccionan con la humedad absorbida por el recubrimiento y luego reaccionan con el acero para pasivarlo y así disminuir sus características corrosivas. Por ejemplo pinturas anticorrosivas como el Amercoat 71 con alto contenido de cromatos de zinc (Figura 14).



Figura 14: Protección por Pigmento inhibidor

PROTECCIÓN GALVÁNICA POR ÁNODO DE SACRIFICIO

Mecanismo: El Zinc (u otro material de potencial menor al material a proteger) se sacrifica a sí mismo por el material base (aleación ferrosa).

Tipos:

- Zinc Inorgánico
- Metal Galvanizado.

El zinc reacciona con el oxígeno del ambiente más rápido que el acero de la superficie metálica (Figura 15). De esta manera se corroe antes, sacrificándose por ella.

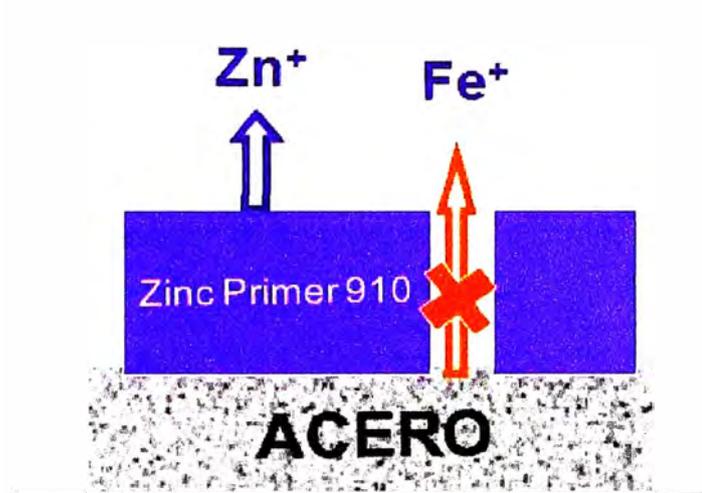


Figura 15: Protección Galvánica

RESISTENCIA IÓNICA

Actualmente como parte de la protección anticorrosiva que ofrecen los revestimientos es su resistencia iónica, la corriente de las pilas de corrosión puede reducirse en niveles muy bajos por el impedimento que la película de pintura ofrece al movimiento de los iones del electrolito que se formarán en la interface metal-pintura. Este efecto actúa suprimiendo o al menos mitigando el elemento de la pila de corrosión.

La resistencia iónica estará afectada por diversos factores:

- a) Presencia de electrolitos en o debajo de la película de pintura
- b) Penetración de agua u otros electrolitos a través del recubrimiento
- c) Espesor de película

Estos factores influirán en la capacidad protectora del revestimiento.

2.5 Tecnología de los Recubrimientos Industriales [11]

Actualmente la tecnología de los recubrimientos viene desarrollando una amplia variedad de posibilidades de protección que utilizadas de forma apropiada permiten extender indefinidamente la vida útil de una estructura y prolongar los periodos entre las intervenciones periódicas necesarias.

Un óptimo tratamiento de protección es aquel que combina la apropiada preparación de superficie, la aplicación de revestimientos adecuados y la duración requerida, obtenida naturalmente al menor costo posible.

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Evaluación del medio ambiente y condiciones de operación actuales.

Para la selección de los sistemas de pinturas y esquemas de pintado según los factores técnicos de: condiciones de operación, condiciones de servicio y corrosividad atmosférica y de acuerdo a la categoría de corrosividad atmosférica según Norma ISO 9223:1992, Refinería la Pampilla se encuentra clasificada como tipo C5-I “Muy alta industrial”, debido ser un área industrial con alta humedad y atmósfera agresiva. (Ver Tabla 1)

TABLA 1: Clasificación de Corrosividad en el medio ambiente

Categoría de Corrosividad	Agresividad	Velocidad de Corrosión (gr. X m ² /año)			
		Acero	Zinc	Cobre	Aluminio
C1	Muy baja (Rural)	≤ 10	≤ 0,7	≤ 0,9	Despreciable
C2	Baja (Rural)	10 – 200	0,7 – 5	0,9 - 5	≤ 0,6
C3	Media (Urbanas e Industriales)	200 – 400	5 – 15	5 - 12	0,6 – 2
C4	Alta (Industrial Costero)	300 – 550	10 – 20	8 - 15	1 – 3
C5 – I	Muy Alta Industrial	400 – 650	15 – 30	12 - 25	2 -5
C5 – M	Muy Alta Marina	650 – 1500	30 – 60	25 - 50	5 – 10

Fuente: Norma ISO 9223:1992-03

3.2 Inspecciones realizadas por el Fabricante de Pintura [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]

-CPPQ S.A, como fabricante de pintura y proveedor de la marca AMERON en Perú, a la fecha viene realizando inspecciones anuales de los tanques de almacenamiento interior y exterior en Refinería la Pampilla.

Las inspecciones fueron realizadas en función a:

- Información proporcionada por el área de Inspección-Relapa para todo tipo de tanques desde construcciones recientes hasta tanques con una antigüedad mayor a 20 años.
- Ubicación del área.
- Ambiente de servicio en el área.
- Tipo de recubrimiento existente.
- Factores que influyen en método de preparación de superficie y aplicación de la pintura

Pruebas físicas de la integridad del recubrimiento en función a Normas y Estándares establecidos por la SSPC, NACE y ASTM.

3.2.1. Sistemas de pintura con una antigüedad mayor a 15 años: la descripción resumida en la tabla 2 muestra el resultado de pruebas realizadas bajo Normas ASTM.

3.2.2. Sistemas de pintura con una antigüedad mayor a 10 años y menor a 15 años: la descripción resumida en la tabla3 muestra el resultado de pruebas realizadas bajo Normas ASTM.

3.2.3. Sistemas de pintura con una antigüedad menor a 10 años: la descripción resumida en la tabla 4 muestra el resultado de pruebas realizadas bajo Normas ASTM.

Tabla 2: Inspección de Tanques con antigüedad mayor a 15 años.

TANQUE	CONTENIDO	EPS (mils)	ANTIGÜEDAD Y SISTEMA	% CORROSIÓN (ASTM D610)	% AMPOLLAMIENTO (ASTM D714)	ADHESIÓN POR TRACCION (ASTM D4541)	OBSERVACIONES
31T- 51 (Interior)	Agua Tratada	25.9-38.0	S. zinc-coaltar: 18 a ños	45% presentándose en zonas cercanas a los maholes y debajo de película en las diferentes zonas evaluadas.	40% en fondo, grado 4 y denso. El tamaño de las ampollas varían de 1 a 10 mm.	40% falla de cohesión del recubrimiento epóxico. 60% falla de pegamento	En zonas puntuales con EPS menores a 7 mils presentan corrosión debajo del recubrimiento epóxico.
31T-1Q (Interior)	Petróleo Crudo	17.4-20.3	S. epoxi - multipropósito: 20 años	25% presentándose en zonas aleatorias cercano a los manholes y en cordones de soldadura.	35% en fondo y 5% en 1er anillo. El tamaño de las ampollas varía de 3 a 5 mm	No se realizó	Embebimiento de producto debajo de ampollas

Fuente: Informes de inspección Tomo I-Área de inspección/ Refinería la Pampilla

Tabla 3: Inspección de Tanques con antigüedad mayor a 10 años y menor a 15 años

TANQUE	CONTENIDO	EPS (mils)	ANTIGÜEDAD Y SISTEMA	% CORROSIÓN (ASTM D610)	% AMPOLLAMIENTO (ASTM D714)	ADHESIÓN POR TRACCION (ASTM D4541)	OBSERVACIONES
31T- 103B (Exterior)	Gasolina	20-25	S. epóxi-poliuretano: 12 años S. Alquidico: más de 20 años	40% presentándose en el filo del anillo superior (7mo anillo), y debajo de película en las diferentes zonas evaluadas (zona NE, NO, SE).	5% filos, bordes y 0.5 cm del 6to anillo	80% falla de cohesión del recubrimiento epóxico. 20% falla de adhesión la capa de acabado	Las pruebas de adhesión por corte se realizaron en el 6to, 4to, 3er y 1er anillo con presencia de corrosión entre capas del sistema alquidico.
32T- 5 (Exterior)	Naffta Craqueada	11 - 13.9	S. Zinc-epoxi-poliuretano: 11 años	25% corrosión en subida de la escalera y anillo de rigidez. En el techo 10% en filos y pontones.	10% en techo flotante ubicado de forma aleatoria. El tamaño varía de 4 a 10 mm.	60% falla de adhesión de la capa de acabado	Se realizaron pruebas de corte obteniendo grado 6A y 4 ^a . Se observa presencia de corrosión debajo de película de pintura. El acabado es verde Nilo y no presenta brillo.

Fuente: Informes de inspección Tomo II-Área de Inspección/ Refinería la Pampilla

Tabla 4: Inspección de Tanques con antigüedad menor a 10 años

TANQUE	CONTENIDO	EPS (mils)	ANTIGÜEDAD Y SISTEMA	% CORROSIÓN (ASTM D610)	% AMPOLLAMIENTO (ASTM D714)	ADHESIÓN POR TRACCION (ASTM D4541)	OBSERVACIONES
31T- 103B (Exterior)	Gasolina	13 -14.5	S. epóxi-poliuretano: 12 años S. Alquidico: más de 20 años	40% presentándose en el filo del anillo superior (7mo anillo), y debajo de película en las diferentes zonas evaluadas (zona NE, NO, SE).	5% filos, bordes y 0.5 cm del 6to anillo	100% falla de cohesión del recubrimiento epóxico	Las pruebas de adhesión se realizaron en el 6to, 4to, 3er y 1er anillo presentan desprendimiento por cohesión del sistema alquidico
45T-101B (Interior)	Condensado	12 -16	S. epoxi fenólico-epoxi fenólico:4 años	Mayor al 50% debajo de ampollas, del 2do, 3er anillo, fondo y cordones de soldadura.	Del 2do al 7mo anillo presenta 100% ampollamiento, su tamaño varia de 3 a 5 mm y en el fondo es de tamaño 4 grado denso	No se realizó	Se realizó pruebas de adhesión por corte resultando un grado 0A con desprendimiento del epóxico. En el interior de las ampollas se nota presencia de aceite residual que proviene del vapor . El fondo presenta 5 parches en un área de 0.04 m2 aprox.

Fuente: Informes de inspección Tomo II y III-Área de Inspección/ Refinería la Pampilla

Finalmente por lo expuesto en Tablas 2, 3 y 4 el sistema empleado por Refinería la Pampilla a la fecha presenta los siguientes resultados:

En Exterior:

- El 80% de los Tanques pintados con el sistema tricapa para un periodo de 15 años no ha ofrecido una protección total y el brillo solo se ha mantenido por un espacio de 5 años luego de aplicada la capa de acabado.
- Las fallas por adherencia se presentan en su mayoría desde el sistema alquídico con presencia de corrosión debajo de la película de pintura, por lo cual se recomendó retirar todo el sistema mediante granallado hasta obtener un grado al metal blanco según SSPC-SP5.

En Interior:

- El 50% de los tanques evaluados presentaron ampollamiento en un 25% del área encontrándose producto embebido y corrosión en un 10% del área en zonas cercanas a los manholes donde se observa daño del recubrimiento hasta el sustrato.

3.3. Planteamiento de Nuevos Sistemas para el Mantenimiento de Tanques.

Los tanques de almacenamiento son usados en todo el mundo para almacenar todo tipo de productos químicos. Por su ubicación los tanques pueden ser enterrados y aéreos. Nuestro caso aplicará solo a tanques aéreos. Por su forma estos son: de techo cónico, techo flotante y de techo flotante interno. Y su capacidad de almacenaje puede variar desde pocos metros cúbicos, hasta capacidades de 141 MB.

La construcción de estos tanques generalmente están en función a normas internacionales como The American Petroleum Institut (API 650), estos estándares no consideran la naturaleza corrosiva del producto a contener y el grado de corrosividad del medio ambiente.

Por ello la Sociedad de Recubrimientos Protectores (SSPC) pone a disposición literatura sobre prácticas recomendadas y normas conjuntas que permitirán seleccionar alternativas para programas de repintado único o a largo plazo. La selección de un recubrimiento interior y exterior va depender de diferentes parámetros como:

-Producto a Almacenar.

-Exposición de Condiciones ambientales a la que será sometida el recubrimiento.

-Sustrato nuevo o en mantenimiento.

-Facilidad de preparación de superficie.

-Facilidad de Aplicación de pintura.

-Entre otros.

3.3.1 TIPOS DE RECUBRIMIENTO POR EL TIPO DE RESINA:

PINTURAS ALQUÍDICAS

Las resinas alquídicas son usualmente de aceite natural, estas han sido químicamente modificadas para mejorar su ratio de curado, resistencia química y dureza.

La característica más importante es su capacidad para oxidarse al contacto con el oxígeno (Figura 16). Son fáciles de usar y pueden ser usados como imprimantes o capas de acabado.

Proveen una buena retención de color y brillo pero tienen pobre resistencia química. Desde que sufren la saponificación, que es la interacción química de la grasa con un alcalis para formar un jabón ellos no son convenientes para aplicar en superficies alcalinas (concreto o zinc).

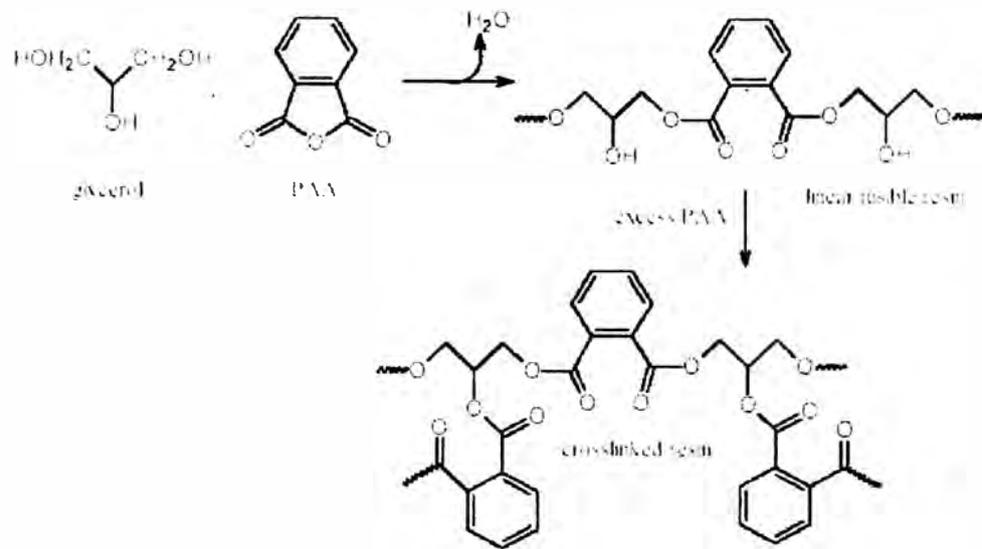


Figura 16: Reacción de Oxidación

PINTURAS EPOXI - AMINAS

Las epoxi-aminas son catalizadas o endurecidas por una amina, formando una pintura dura, resistente a la abrasión. Tiene excelente resistencia a los ácidos, álcalis y a los solventes.

Pueden ser aplicados en superficies de acero bajo una limpieza manual. Durante la aplicación son sensibles a la humedad, tiene tendencia decolorarse y tizarse en contacto directo a la luz solar.

La reacción química se produce entre la resina epoxi del componente A y el endurecedor que es poliamina, poliamida o aducto según los casos, que se entregan como componente B. La reacción comienza en el momento que se mezclan los dos componentes (Figura 17) .y es rápida en las primeras horas.

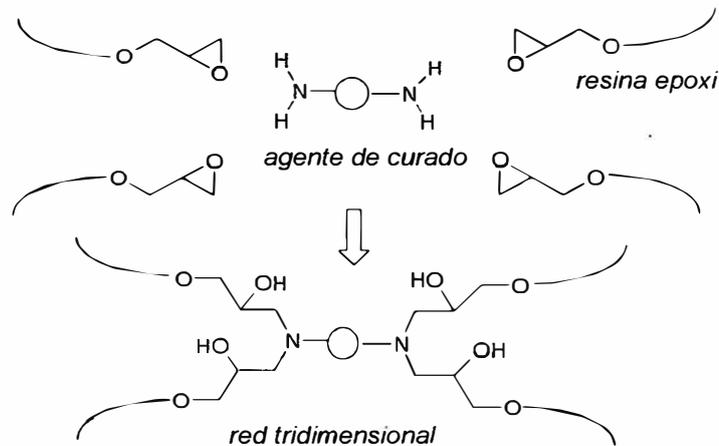


Figura 17: Reacción de curado en un sistema epoxi-amina

PINTURA EPOXI- POLIAMIDA

Las epoxi - poliamidas son catalizadas con un agente poliamida no tienen la resistencia a los álcalis, ácidos y solventes como las aminas.

Las poliamidas tienen gran flexibilidad, proveen gran resistencia al agua dulce y salada. Debido a su aromaticidad tienen tendencia a decolorarse y tizarse rápidamente en contacto directo a los rayos solares más rápidamente que los epoxi-aminas.

La resistencia química es mejor en los álcalis pero aún es pobre.

PINTURAS RICAS EN ZINC

Los recubrimientos ricos en zinc son una clase única de materiales de recubrimientos formulados con una alta carga de polvo de zinc para proporcionar protección galvánica, así como protección barrera a un sustrato. Los recubrimientos de zinc están divididos en dos tipos principales: los que contienen aglutinantes inorgánicos y los que contienen aglutinantes orgánicos.

Pueden ser usados solos o en conjunto con acabados para una exposición continua a productos químicos, servicios en inmersión y atmosférica.

Requieren un alto grado de limpieza de la superficie de acero para un buen desempeño.

PINTURAS DE POLIURETANO

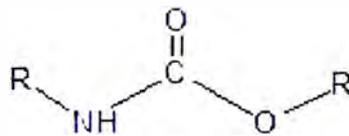
Los poliuretanos alifáticos son duros, y resisten a la abrasión. Con excelente protección al medio ambiente y buena retención al brillo.

Tienen buena resistencia al solvente solo ligeramente inferior que los epóxicos y resisten a los ácidos débiles y álcalis débiles.

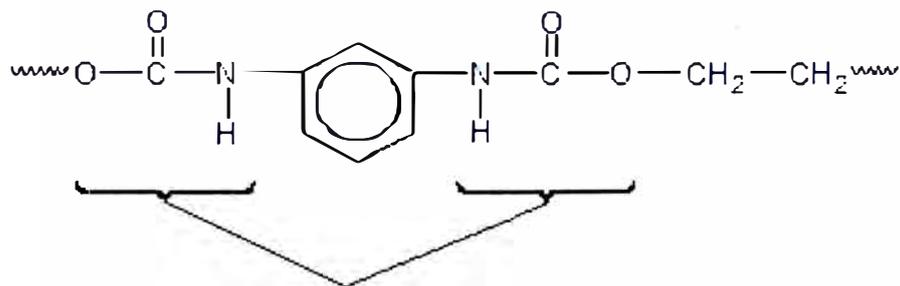
Son de excelente adhesión, sin embargo son usualmente aplicados sobre un primer epóxico.

Estas pinturas pueden ser aplicadas en temperaturas bajas, durante su aplicación son sensible a la humedad.

Poliuretano de dos componentes. En estos casos la reacción química se produce entre la resina acrílica o poliéster del componente A y el endurecedor que es poli-isocianato alifático o aromático según los casos (Figura 18).



Uretano



Los uretanos se enlazan dando poliuretano

Figura 18: Resinas Poliuretánicas

PINTURAS POLIUREA

Las poliúreas son una familia de polímeros sintéticos que se obtienen de la reacción de un diisocianato con una diamina, es una reacción de polimerización por condensación similar a la del poliuretano (Figura 19), excepto que en este caso el enlace formado corresponde al enlace urea, por esto es llamada poliurea.

Estas pueden alcanzar grandes elongaciones y resistencia a la abrasión. Es empleado ampliamente en pisos de concreto, contención secundaria, espuma de poliuretanos y exterior de tanques.

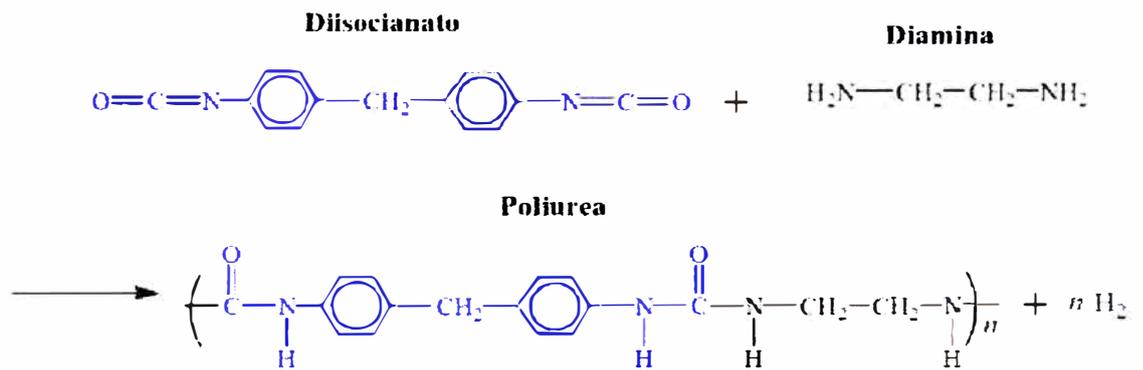


Figura 19: Reacción de Polimerización por condensación

PINTURAS EPOXI - FENÓLICO

Las pinturas epoxi -fenólicas son combinación de las resinas fenólicas. Generalmente son empleadas para revestir internamente los tanques, pero han sido muy usados en plantas nucleares. Tienen buena resistencia a la radiación.

PINTURAS EPOXY-ESTER

Son combinación de una resina epoxica y un aceite secante.

Estas pinturas curan por combinación de evaporación de solvente y oxidación. No requiere el uso de un catalizador o endurecedor.

Novolacas: Estos son recubrimientos 100% sólidos de alta resistencia química, resistencia a la abrasión e inmersión continua. De alta viscosidad por su mayor grado de funcionalidad.

Polisiloxanos: La tecnología de este tipo de aplicación es relativamente nueva. La química de estos productos esta basado en enlaces carbono-silicio (inorgánico) a diferencia de los productos epóxicos y poliuretanos de enlaces carbono-carbono (Figura 20). Esta propiedad hace que los PSX tengan una alta impermeabilidad, por lo tanto una excelente protección anticorrosiva similar a los epóxicos y una excelente estabilidad al color y brillo, mayor al de los poliuretanos.

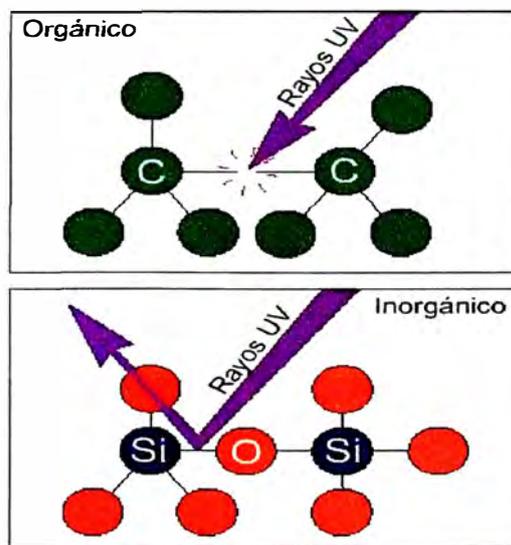


Figura 20: Reacción de Polisiloxanos

El enlace Si-O una vez oxidado hace que los polisiloxanos sean más resistentes al oxígeno atmosférico y a la mayoría de los agentes químicos oxidantes.

Estudios realizados por la Marina de Guerra EE.UU han demostrado que los polisiloxanos tienen mayor tiempo de retención de brillo a comparación de los poliuretanos.

3.3.2 SISTEMAS DE PINTURA ALTERNATIVOS

Para la selección de un sistema de recubrimiento adecuado se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1. Especificación por nombre del producto:** Adquirir todos los componentes de un sistema del mismo fabricante, el propietario debe asegurar la compatibilidad entre las distintas capas y reducir las disputas entre fabricantes, lo cual podría generar problemas en campo y distorsión de los términos de garantía.
- 2. Especificación por lista de productos calificados:** Esta surge a partir de una lista de productos calificados (LPC) tiene la ventaja de obtener sistemas de recubrimientos que han sido probados y aprobados para su uso en determinados ambientes de servicio que permiten un precio competitivo.
- 3. Datos de Producto suministrado por el fabricante:** tales como bibliografía técnica, hojas MSDS, listado de casos históricos, solicitud de pruebas en campo y laboratorio.

Finalmente la selección del sistema en función a productos recomendados por **PPG- Ameron International**, son los mostrados en Tabla 5 y 6:

TABLA 5: Guía Global de Sistemas recomendados por PPG-AMERON (Exterior)

Sistema de Referencia	Condiciones de servicio	Sistema de recubrimiento	Preparación de Superficie	EPS	
				micrones	mils
Acero al carbono					
S-1	Atmosfera Severa Ambiente a 200F/ 93°C con picos de 250F/ 121°C	Dimetcote 9 Serie Zinc inorganico	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	62.5-75	2.5-3
		PSX 700 Serie polysiloxano		125-150	5.0-6
				187.5-225	7.5-9
S-2		Dimetcote 9 Serie Zinc inorganico	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	62.5-75	2.5-3
		Amercoat 240 or 385		100.0-150	4.0-6
		Amercoat 450 HS Serie uretano alifatico		50.0-75	2.0-3
				212.5-300	8.5-12
S-3	Atmosfera moderada Ambiente a 200F/ 93°C con picos de 250F/ 121°C	Amercoat 68 IIS	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	75-100	3.0-4
		Amershield Serie Uretano alifatico		125-150	5.0-6
S-4		Amerlock 2/400 Serie epoxico de rapido secado	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	200-250	8.0-10
		Amerlock 2/400 Serie epoxico de rapido secado		125-150	5.0-6
		Amercoat 450 HS Serie uretano alifatico		125-150	5.0-6
				50-75	2.0-3
				300-375	12.0-15
S-5	Atmosfera leve Ambiente a 200F/ 93°C con picos de 250F/ 121°C	Amerlock 2 Serie epoxico de rapido secado	SSPC-SP6 (Sa 2) o SSPC -SP3 (ST 3)	100-150	4.-6
		Amercoat 450 HS Serie uretano alifatico		50-75	2.0-3
				150-225	6.0-9
S-6	Atmosfera Ambiente a 750F/ 399°C	Dimetcote 9 Serie Zinc inorganico	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	62.5-75.0	2.5-3.0
		Amercoat 878 Serie Aluminio Siliconado		25-30	1-1.2
				87.5-105.0	3.5-4.2
S-7	Atmosfera Ambiente a 201F/ 94°C a 1000F/538°C	Amercoat 878 Serie Aluminio Siliconado	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	25-30	1-1.2
		Amercoat 878 Serie Aluminio Siliconado		25-30	1-1.2
				50-60	2-2.4
S-8	Atmosfera Ambiente a 425F/ 218°C	Amerlock GF	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	400 -500	16-20

Fuente: http://ppgamercoatus.ppgpmc.com/Gas_TankLinings.pdf

Nota: Los sistemas mencionados se ofrecen como guía para la selección de productos considerando un rendimiento óptimo. Otras variaciones a los sistemas típicos consulte con representantes de PPG en su localidad.

TABLA 6: Guía Global de Sistemas recomendados por PPG-AMERON (Interior)

Sistema de Referencia	Condiciones de servicio	Sistema de recubrimiento	Preparación de Superficie	EPS	
				micrones	mils
Recubrimiento para Tanques					
T-25	Agua, Agua contarinendio Nota Aprobados localmente para servicio de agua potable	Amerlock Serie Epoxico de altos solidos	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	125-150	5.0-6
		Amerlock Serie Epoxico de altos solidos		Capa de reforzamiento	
		Amerlock Serie Epoxico de altos solidos		125-150	5.0-6
T-26	Tanques de almacenamiento			250-300	10.0-12
		Amercoat 90 Serie Epoxi-fenolicos	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	125-150	5.0-6
		Amercoat 90 Serie Epoxi-fenolicos		Capa de reforzamiento	
Amercoat 90 Serie Epoxi-fenolicos	125-150	5.0-6			
T-27				250-300	10.0-12.
		Amercoat 351 Epoxi-100% solidos	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	200-300	8.0-12
		Amercoat 351 Epoxi-100% solidos		Capa de reforzamiento	
Amercoat 351 Epoxi-100% solidos	200-300	8.0-12			
T-28				400-600	16.-24
		Amercoat 91 Epoxy Novolaca	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	125-150	5.0-6
		Amercoat 91 Epoxy Novolaca		Capa de reforzamiento	
Amercoat 91 Epoxy Novolaca	125-150	5.0-6			
T-29				250-300	10.0-12
		Amercoat 253 Epoxy Novolaca	SSPC-SP10 (Sa 2 1/2)	125-150	5.0-6
		Amercoat 253 Epoxy Novolaca		Capa de reforzamiento	
Amercoat 253 Epoxy Novolaca	125-150	5.0-6			
T-30				250-300	10.0-12
		Dimetcote 9 Serie Zinc inorganico	SSPC-SP10	75.-100	3.0-4
T-31		Amercoat 240 Serie Epoxy	SSPC-SP10	150-200	6.0-8
		Amercoat 240 Serie Epoxy	(Sa 2 1/2)	150-200	6.0-8
				300-400	12.-16

Fuente: http://ppgamercoatus.ppgpmc.com/Gas_TankLinings.pdf

Nota: Los sistemas mencionados se ofrecen como guía para la selección de productos considerando un rendimiento óptimo. Otras variaciones a los sistemas típicos consulte con representantes de PPG en su localidad.

IV. ANÁLISIS DE COSTO DEL SISTEMA ANTIGUO VS. EL SISTEMA NUEVO

El costo de una pintura es una parte muy pequeña del costo total de la obra. De manera que, generalmente vale la pena comprar un producto que ofrezca protección anticorrosiva un por mayor tiempo y a menor costo en el tiempo. Lo que cuenta no es cuánto se gasta en un principio, sino cuánto se ahorra al final.

Por ello elaboraremos en función a los sistemas propuestos un plan de costos tal como se muestra en las tablas 7 y 8, justificando finalmente un sistema de recubrimiento adecuado.

A continuación citaremos los sistemas de recubrimientos alternativos.

Para Interiores:

De los sistemas mencionados en la Tabla 6 seleccionaremos el T-26 y T-27.

Para Exteriores:

De los sistemas mencionados en la Tabla 5 seleccionaremos el S-1 y S-4.

TABLA 7: Costo por Mantenimiento TK 8B -Exterior

	EXTERIOR		
	SISTEMA I	SISTEMA II	SISTEMA III
COSTOS (US\$ / m²)	A400/A400/A450HS	D9FT/A400/A450HS	D9FT/PSX 700
	A400 a 4 mils A400 a 4 mils A450 HS a 2mils	D9FT a 4 mils A400 a 4 mils A450 HS a 2mils	D9FT a 4 mils PSX 700 a 6 mils
PINTURA	7.91	11.05	20.65
PRE SUPERFICIE SSPC-SP5	4.3	4.3	4.3
Lavado y Limpieza	1.45	1.45	1.45
APLICACIÓN Capa General	11.8	12.2	8.4
Rotulado, masillado y otros	32.02	32.02	32.02
Pintado de Rombos Ident Riesgos (4 Umd)	36.3	36.3	36.3
TOTAL SSPC SP5	25.5	29.0	34.8
TOTAL Rombos y Masillado	68.3	68.3	68.3
VALOR FUTURO POR M2	856.1	1034.7	988.1

Fuente: Costos corporativos proporcionados por Haug S.A.

Consideraciones:

1. Todos los sistemas se aplicarán sobre una preparación con chorro abrasivo al grado metal blanco SSPC-SP5.
2. Los costos y rendimientos emitido por el fabricante de pinturas (AMERON) son:

Producto	Rendimiento (m²/gal)	Costo (\$/gal)	Costo (\$/m²)
D9FT	13.7	80	5.84
A400	18.6	50	2.69
A450 HS	29.7	75	2.53
PSX 700	13.5	200	14.81

3. La evaluación se realiza en función a 15 años de servicio considerando una tasa de interés anual del 20%

Sistema I: Retoques puntuales luego de 10 años y Mantenimiento completo de 20 años.

Sistema II: Retoques puntuales luego de 12 años y Mantenimiento completo de 20 años.

Sistema III: Mantenimiento completo de 20 años.

El tanque 31-T8B comprende la siguiente área:

Zona	Componentes	Área aprox.
Cilindro	Planchas	1291 m ²
Techo	Planchas	762 m ²
Área total a proteger con el sistema		2053 m²

	Sistema I	Sistema II	Sistema III
Costo Total (M\$)	1757.66	2124.32	2028.52

TABLA 8: Costo por Mantenimiento TK 8B –Interior

COSTOS (\$ / m²)	INTERIOR		
	SISTEMA I	SISTEMA II	SISTEMA III
	A90HS/A90HS	D9FT/A90HS/A90HS	A351/A351
	A90HS a 5 mils A90HS a 5 mils	D9FT a 4 mils A90HS a 4 mils A90HS a 4 mils	A351 a 8 mils A351 a 8 mils
PINTURA	6.40	12.2	13.11
PRE. SUPERFICIE SSPC-SP5	3.5	3.5	3.5
PRE. SUPERFICIE SSPC-SP3	1.2	1.2	1.2
APLICACIÓN Capa General	2.4	2.4	1.6
APLICACIÓN Capa Retoque	1.5	1.5	1.0
TOTAL CON SSPC SP5	12.28	18.12	18.21
TOTAL CON SSPC SP3	9.08	14.92	15.31
VALOR FUTURO	277.52	297.29	298.85

Fuente: Costos corporativos proporcionados por Haug S.A.

Consideraciones:

1. Todos los sistemas se aplicarán sobre una preparación con chorro abrasivo al grado metal blanco SSPC SP5.
2. Los costos y rendimientos emitidos por el fabricante de pinturas (AMERON) son:

Producto	Rendimiento (m²/gal)	Costo (\$/gal)	Costo (\$/m²)
D9FT	13.7	80	5.84
Amercoat 90 HS	16.3	52	3.19
Amercoat 351	12.2	80	6.56

3. La evaluación se realiza en función a 15 años de servicio.
4. Los cálculos del valor actual son para 15 años de servicio considerando una tasa de interés anual del 20%.

Además se consideró:

Sistema I: Mantenimiento completo a los 10 años y luego a los 15 años

Sistema II: Mantenimiento completo luego de 15 años

Sistema III: Mantenimiento completo luego de 15 años.

El Tanque 31 –T8B comprende la siguiente área:

Zona	Componentes	Área aprox.
Cilindro	Planchas	1291 m ²
Techo y fondo	Planchas	762 m ²
Área total a proteger con el sistema		2053 m²

Finalmente el Costo Total por Mantenimiento generado en 15 años para los 3 Sistemas propuestos será:

	Sistema I	Sistema II	Sistema III
Costo Total (M\$)	569.75	610.34	613.54

V. CONCLUSIONES:

1. Los recubrimientos orgánicos se degradan como resultado de la degradación térmica o debido a ataques químicos, ofreciendo una duración promedio de 8 a 10 años.
2. Los nuevos sistemas de pintado propuestos reducirán los costos de aplicación y mejora de la productividad en la aplicación, lo cual representa excelentes ahorros para los dueños de las instalaciones.
3. Técnicamente PPG Ameron Internacional ofrece 9 alternativas de sistemas para tanques en exterior y 7 alternativas para tanques en interior de los cuales, solo 3 sistemas podrán ofrecer una durabilidad mínima de 10 años.
4. Luego de realizar la evaluación económica partiendo de los 3 sistemas propuestos; se obtuvo que el Sistema I (Exterior) y el Sistema I (Interior) son económicamente viables. Para el primer caso se programaría un mantenimiento parcial con retoques puntuales y luego de 15 años un mantenimiento general, para el segundo caso se programaría un mantenimiento general cada 10 años.

VI. BIBLIOGRAFÍA:

- 1. SSPC- GUIA 5:** Mantenimiento de pintura en estructuras de acero.
Libro: Fundamento de Recubrimientos Protectores para estructuras industriales Versión 13^a, Marzo 2005.
- 2. API 652:** Revestimiento de tanque de Almacenamiento de petróleo instalado sobre tierra. Revisión Diciembre de 1998.
- 3. NACE RP 178:** Consideraciones de diseño en Interiores de un Tanque.
Libro: NACE CIP (Programa para Inspectores de Recubrimiento) Nivel I
- 4. Hojas Técnicas de productos línea Ameron del Fabricante de Pintura CPPQ S.A.** Revisión- Agosto 2010.
- 5. Informes de Inspección en Tanques (Interior/ Exterior) realizados por CPPQ S.A.** desde el año 1998 a la fecha- Área de Inspección/ Refinería la Pampilla.
SSPC – VIS 2: Visual del grado de corrosión en aceros recubiertos.
Libro: Fundamento de Recubrimientos Protectores para estructuras industriales Versión 13A, Marzo 2005.
- 6. ASTM D-714-87 Reaprobado 2000:** Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints.
- 7. ASTM D 3359:** Método de evaluación de adhesión por corte Rev 2002
- 8. ASTM D-4541:** Standard Test Method for Pull/Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. Rev 2002
- 9. ASTM D-1212:** Standard Test Methods for Measurement of Wet Film Thickness of Organic Coatings. Rev 1990
- 10. De la publicación “JOURNAL OF PROTECTIVE & LININGS”**
Vol. 2 – No. 12 – Dic. 85