

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS PARA
LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN PARA TANQUES DE
ALMACENAMIENTO DE CRUDO**

KIMBERLY PANOVA AREVALO SANCHEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2016**

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS PARA
LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN PARA TANQUES DE
ALMACENAMIENTO DE CRUDO.**

KIMBERLY PANOVA AREVALO SANCHEZ

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE:
INGENIERA METALÚRGICA**

**DIRECTOR:
Prof. WALTER PARDAVE LIVIA
INGENIERO METALÚRGICO, MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2016**

Mis agradecimientos son a Dios, quien me da el privilegio de vivir, la bendición de ser una persona sana y con la capacidad intelectual, moral, emocional, espiritual y física, para ser siempre mejor que cada día vivido, gracias a mis compañeros, los colegas y docentes profesionales, porque sin ellos, jamás hubiera sido posible el desarrollo y evolución de mis conocimientos.

Gracias también a quienes formaron parte de mis malos momentos, a quienes los protagonizaron, los causaron, a estos quienes pusieron piedras para tropezarme, a quienes obstaculizaron por algunos largos momentos mi camino, a quienes sacaron lágrimas y rabias, porque gracias a ustedes soy mejor persona, soy más tolerante y humilde, porque aprendí de ustedes, a no ser la piedra en el camino de alguien. Así mismo agradezco a las personas que me acompañaron en este proceso, especialmente a mi hijo THOMAS quien con su respiro me dio la fuerza para lograrlo, quien con su inocente mirada me enseñó a creer en mí y con sus infinitos te amo acompañados de “mamita no te preocupes por mí, yo puedo solo.” me inspiró la fe para no rendirme.

Gracias a mi familia. Gracias a mí misma porque me he demostrado que estar tranquila conmigo misma, pedir perdón, cerrar ciclos, creer en mis ángeles, tolerar y aunque no siempre eliminar mis demonios pero sí disiparlos, luchar por lo que anhelo y mantener siempre mi foco, han hecho de mí la mujer que ahora soy.

Lo importante de la vida es no llegar tan tarde a sabio. Y llegar!.

KIMBERLY PANOVA AREVALO SANCHEZ.

Para la compañía y las personas que participaron en la realización de esta practica empresarial agradezco por su apoyo intelectual y material a:

- UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- TECNITANQUES INGENIEROS S.A.S., Compañía donde se realizo la practica empresarial, gracias por brindarme la oportunidad de haber pertenecido a tan buen equipo de trabajo, de aprender de los mejores del pais, de crecer como profesional, como persona.
- WALTER PARDAVÉ LIVIA, Ingeniero Metalúrgico M.Sc. Director de la practica empresarial, por su apoyo y colaboración en la realización de este proyecto, por su tiempo.
- CUSTODIO VASQUEZ, Ingeniero Metalurgico, por su asesoría a lo largo de la practica empresarial, gracias por sus aportes intelectuales.
- MAURICIO GONZALES, Ingeniero Metalurgico, por su guía, colaboracion y realizacion en el transcurso de esta practica empresarial.
- CESAR HERNANDEZ, Gerente de Tecnitanques, por su asesoria y apoyo moral.
- A todas las personas que directa o indirectamente apoyaron e hicieron aportes para la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	pag.
INTRODUCCION.....	16
OBJETIVOS.....	17
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. COMPONENTES FUNDAMENTALES DE UN RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN.....	18
1.1.1. PIGMENTO.....	18
1.1.1.1. PIGMENTOS ANTICORROSIVOS.....	18
1.1.1.2. PIGMENTOS CUBRIENTES O ACTIVOS.....	19
1.1.1.3. PIGMENTOS CON ALGUNA ACCION ESPECIFICA.....	19
1.1.1.4. PIGMENTOS INERTES O CARGAS.....	19
1.1.2. VEHICULO FIJO.....	19
1.1.3. VEHICULO VOLATIL.....	20
1.2. GRADOS DE OXIDACION Y LIMPIEZA.....	20
1.3. TEXTURA SUPERFICIAL.....	21
1.3.1. RUGOSIDAD.....	21
1.3.2. PERFIL RUGOSIDAD Y ADHERENCIA.....	22
1.4. TIPOS DE PREPARACION DE SUPERFICIE.....	22
1.4.1. SANDBLASTING:LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA A PRESION.....	22
1.4.2. PREPARACION DE SUPERFICIE CON SANDBLASTING-GRADO DE METAL BLANCO. LIMPIEZA SSPC-SP-5: LIMPIEZA A METAL BLANCO CON CHORRO.....	22

1.4.3. PREPARACION DE SUPERFICIE CON SANDBLASTING-GRADO DE METAL CASI BLANCO.....	22
1.4.4. LIMPIEZA SSPC-SP-10: LIMPIEZA A METAL CASI BLANCO.....	23
1.4.5. GRADOS DE LIMPIEZA RECOMENDADOS PARA DIFERENTES TIPOS DE IMPRIMACION.....	23
1.5. SALES RESIDUALES.....	23
1.5.1. DESCRPCION DE LA SUPERFICIE (NV).....	24
1.6. INSPECCION DEL RECUBRIMIENTO.....	24
1.6.1. MEDIDORES DE PELICULA HUMEDA.....	24
1.6.2. MEDIDORES DE PELICULA SECA.....	24
1.6.2.1. MEDICION SOBRE SUPERFICIES RUGOSAS.....	25
1.6.3. INTERPRETACION DE LAS MEDIDAS.....	25
1.7. METODOS PARA LA APLICACION DE RECUBRIMIENTOS.....	26
1.7.1. APLICACION POR ASPERSION O ROCIADO.....	26
1.7.1.1. ROCIADO SIN AIRE.....	26
1.7.1.2. ROCIADO CON AIRE.....	26
1.8. SELECCION DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO.....	26
1.8.1. MEDIO AMBIENTE REINANTE EN EL AREA.....	26
1.8.2. TEMPERATURA DE LOS DIFERENTES EQUIPOS.....	26
1.8.3. LA PREPARACION DE LA SUPERFICIE.....	26
1.8.4. SELECCION DE LOS COLORES.....	27
1.8.5. RECUBRIMIENTO ANTERIOR APLICADO.....	27
1.9. NORMAS ASTM, SSPC Y NTC PARA LIPIEZA DE SUPERFICIES Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS.....	27

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	28
3. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	29
3.1. DIFICULTADES DURANTE LOS PROCESOS DE SANDBLASTING Y APLICACION DE PINTURA.....	29
3.1.1. DURANTE EL PROCESO DE SANDBLASTING.....	29
3.1.1.1. INCRUSTACIONES DE ARCILLA EN EL AREA PREPARADA.....	29
3.1.1.2. FALTA DE HOMOGENEIDAD EN LA PREPARACION DE SUPERFICIES.....	31
3.1.1.3. CORROSION INSTANTANEA.....	31
3.1.1.4. CALAMINA.....	33
3.1.2. DURANTE EL PROCESO DE APLICACION DEL RECUBRIMIENTO.....	34
3.1.2.1. FALTA DE CERTIFICACION.....	34
3.1.2.2. AUSENCIA TECNICA POR PARTE DEL PROVEEDOR.....	35
3.1.2.3. SUPERVISION DEL OPERARIO.....	35
3.1.2.4. CALIBRACION DE EPH.....	35
3.1.2.5. AMBIENTES LOCATIVOS.....	36
3.2. PROBLEMAS DURANTE LOS PROCESOS DE SANDBLASTING Y APLICACION DE PINTURA.....	36
3.2.1. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD, PROBLEMAS DE APLICACION.	36
3.2.1.1. FALTA DE PROCEDIMIENTOS.....	36
3.2.1.2. FALTA DE COMUNICACION.....	36
3.2.1.3. ESPECIFICACIONES DESACTUALIZADAS.....	37
3.2.1.4. INCUMPLIMIENTO DE LOS PROCESOS DE CALIDAD.....	37
3.2.1.5. PERDIDAS MONETARIAS.....	37

3.3. LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DEL PROCESO DE SANDBLASTING Y PINTURA CONSISTIERON EN LA MEDICIÓN DE: EL PERFIL DE RUGOSIDAD, LOS ESPESORES DE PELÍCULA HUMEDA, LA PELÍCULA SECA Y LAS PRUEBAS DE ADHERENCIA DE PINTURA.....	37
3.3.1. LA RUGOSIDAD.....	38
3.3.2. ESPESOR DE PELICULA HUMEDA DEL IMPRIMANTE.....	39
3.3.3. ESPESOR DE PELICULA SECA DEL IMPRIMANTE.....	39
3.3.4. ADHERENCIA DE PINTURAS.....	41
3.4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	44
3.4.1. BOTA DE GAS.....	44
3.4.1.1. CAUSAS DE UNA FALLA COHESIVA.....	49
3.4.1.2. FALLAS DE ADHERENCIA EN IMPRIMANTES INORGANICOS.....	50
3.4.1.3. INFORMES DE TRAZABILIDAD CON RESULTADOS INADECUADOS...50	
3.4.2. NO CONFORMIDAD.....	50
3.4.3. COMPORTAMIENTO DE UN RECUBRIMIENTO IMPRIMANTE EPOXICO FOSFATO DE CINC.....	51
3.4.4. PERDIDAS MONETARIAS.....	51
4. CONCLUSIONES.....	52
5. RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	55

LISTA DE TABLAS

N° TABLA.....	Pág.
TABLA 1: LECTURAS DE CONDICIONES AMBIENTALES	32
TABLA 2: LECTURA DE PERFIL DE ANCLAJE, METODO CINTA PRESS-O-FILM... ..	38
TABLA 3: LECTURA ESPESOR DE PELICULA SECA EXTERIOR, CUERPO DEL TANQUE.....	39
TABLA 4: LECTURA ESPESOR DE PELICULA SECA INTERIOR, CUERPO DEL TANQUE.....	40
TABLA 5: LECTURAS DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA	42

LISTA DE FOTOGRAFIAS

N° FOTOGRAFIA.....	Pág.
FOTOGRAFIA 01: INCRUSTACION DE ARENA.....	30
FOTOGRAFIA 02: OVER SPRAY DE EPOXICO ROJO SOBRE LAMINAS PINTADAS.....	30
FOTOGRAFIA 03: HUELLA POR MANIPULACION E INCRUSTACION DE ARENA SOBRE LAMINA YA PINTADA.....	31
FOTOGRAFIA 04: LECTURA CONDICIONES AMBIENTALES CON TERMOHIGOMETRO....	32
FOTOGRAFIA 05: ASPECTO DE LA LIMPIEZA SSPC SP5.....	34
FOTOGRAFIA 06: CINTA REPLICA PRESS-O-FILM.....	38
FOTOGRAFIA 07: MICROMETRO DIGITAL.....	39
FOTOGRAFIA 08: MEDIDOR ESPESORES POSITECTOR.....	40
FOTOGRAFIA 09: MEDIDOR ESPESORES POSITECTOR.....	41
FOTOGRAFIA 10: DADO DE METAL PEGADO EN LA LAMINA PARA LA PRUEBA N.01	42
FOTOGRAFIA 11: RESULTADO DE LA PRUEBA N.01.....	42
FOTOGRAFIA 12: DADO DE METAL PEGADO EN LA LAMINA PARA LA PRUEBA N.02	43
FOTOGRAFIA 13: RESULTADO DE LA PRUEBA N. 02.....	43
FOTOGRAFIA 14: DADO DE METAL PEGADO EN LA LAMINA PARA LA PRUEBA N.03.....	43
FOTOGRAFIA 15: RESULTADO DE LA PRUEBA N. 03.....	43
FOTOGRAFIA 16,17: TERMOHIGROMETRO TQC DEWCHECK.....	44
FOTOGRAFIA 18,19: TERMOHIGROMETRO TQC DEWCHECK.....	45
FOTOGRAFIA 20,21,22,23:MEDICIONES PELICULA SECA ANTES DE INICIAR PRUEBA...45	
FOTOGRAFIA 24,25,26,27: MOMENTO INICIO PRUEBA ADHERENCIA.....	46



FOTOGRAFIA 28,29,30,31: MOMENTO INICIO PRUEBA ADHERENCIA.....47

FOTOGRAFIA 32,33,34,35: MOMENTO AL INICIO PRUEBA ADHERENCIA.....48

FOTOGRAFIA 36,37: MOMENTO AL INICIAR LA PRUEBA ADHERENCIA.....49



LISTA DE ANEXOS

ANEXO.....Pág.

ANEXO A. Artículo Publicado en XI Congreso Nacional de Corrosión, II Congreso Internacional de Integridad y Foro Iberoamericano de Corrosión y Protección. Artículo Aprobado para PONENCIA, XX International Materials Research Congress IMRC XX, en The Sociedad Mexicana de Materiales and The Materials Research Society (MRS), MEXICO, CANCUN.....57

ANEXO B. Article approved for a Conference, XX International Materials Research Congress IMRC XX, a At the Mexican Society of Materials and The Materials Research Society (MRS), MEXICO, CANCUN.
Article published in XI National Congress of Corrosion, II International Congress of Integrity and Iberoamerican Forum of Corrosion and Protection.....62

ANEXO C. Procedimiento de limpieza y aplicacion de pintura para tanques segun api 650 y recipientes a presion.....67

RESUMEN

TITULO **:

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO.

AUTORES *:

KIMBERLY PANOVA AREVALO SANCHEZ.

PALABRAS CLAVES:

Protección a la corrosión, Sandblasting, punto de rocío, preparación de superficies, espesor de película, airless.

DESCRIPCIÓN:

El almacenamiento de crudo pesado en tanques requiere de esquemas de protección contra la corrosión con especificaciones de alta exigencia, al igual que procedimientos de aplicación y control muy estrictos, debido a que se manejan aguas ricas en componentes agresivos para superficies metálicas ferrosas, lo mismo que gases que se concentran en la parte superior del tanque como consecuencia de altas temperaturas, que es preciso tener en cuenta para el manejo de este tipo de crudo.

Si no se atienden estrictamente las especificaciones y la normatividad técnica existentes, se afecta la integridad del equipo por fallas como roturas en fondo, primer anillo y techo por acción de la corrosión, que es una de las amenazas más importantes para correcta integridad del tanque.

Tanto los procesos de preparación de superficies como los métodos de control y aseguramiento de calidad, son ejecutados de acuerdo a estándares internacionales y a especificaciones técnicas desarrolladas por firmas de consultoría e ingeniería.

El buen desempeño que garantice la integridad de un equipo instalado en las facilidades de producción, es función de las etapas de diseño de esquemas de recubrimientos, alistamiento de superficies, métodos y procedimientos de aplicación, competencias de los aplicadores y aseguramiento de la calidad en todas las etapas del proceso.

* Trabajo de Grado I.

** Facultad de Ingeniería Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director Walter Pardave Livia.

SUMMARY

TITLE *:

CORROSION CONTROL COATINGS FOR WELDED STORAGE TANKS OF HEAVY OIL.

AUTHORS **:

KIMBERLY PANOVA AREVALO SANCHEZ.

KEY WORDS:

Corrosion protection, sandblasting, dew point, surface preparation, film thickness, airless.

DESCRIPTION:

The storage of heavy oil in tanks requires protection schemes against corrosion with highly demanding specifications and a strict control application procedure, mainly because the additional water that is separated from the heavy oil which contains aggressive components for ferrous metal surfaces, and so for gases that are usually concentrated on the top of the tank itself as a consequence of the high temperatures, create different conditions that need to be kept in mind in order to safely store this type of oil.

If the specifications are not strictly followed and the existing technical normative, it could affect the integrity of the equipment by failures at the bottom, first ring and roof breaks by corrosion action, which is one of the most important threats for the correct integrity of the tank.

The heavy oil storage tanks require an optimal surface preparation, to ensure effective protection against corrosion, which makes necessary a demanding schedule of cleaning, painting and material inspection.

Both surface preparation processes and the methods of control and quality assurance are performed in accordance with international standards and technical specifications developed by consulting and engineering firms. The good performance to ensure the integrity of a device installed in production facilities is a function of the schematic design phases of coatings, surface cleaning and preparation, methods and procedures for implementation, responsibilities of applicators and quality assurance in all stages of the process.

* Working Grade I.

** Faculty of Engineering Physicochemical. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director Walter Pardave Livia.

INTRODUCCION

La corrosión está relacionada en la industria con problemas tanto de seguridad como económicos. Actualmente, empresas de diferentes sectores empresariales, tales como industria petrolera, metalmecánica, energética, aeronáutica, química, entre otras, interesadas en el control de la corrosión, trabajan en el tema de minimizar los costos y los riesgos producto de la misma. En la Industria Petrolera Colombiana, por ejemplo, un gran porcentaje de su producción está dado por la explotación de crudo pesado, por lo que es preciso el montaje de una gran infraestructura de facilidades, conformada por tanques de proceso y de almacenamiento, y por ductos de conducción construidos en acero al carbono.

Los tanques para almacenamiento de crudo pesado requieren de una óptima preparación de la superficie, que garantice una efectiva protección contra la corrosión, lo que hace necesario un exigente esquema de limpieza, pintura e inspección del material.

Tanto los procesos de preparación de superficies como los métodos de control y aseguramiento de calidad, son ejecutados de acuerdo a estándares internacionales y a especificaciones técnicas desarrolladas por firmas de consultoría e ingeniería.

El buen desempeño que garantice la integridad de un equipo instalado en las facilidades de producción, es función de las etapas de diseño de esquemas de recubrimientos, alistamiento de superficies, métodos y procedimientos de aplicación, competencias de los aplicadores y aseguramiento de la calidad en todas las etapas del proceso.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la aplicación de recubrimientos utilizados para la protección contra la corrosión para tanques de almacenamiento de crudo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Seleccionar un esquema de limpieza y recubrimiento para proteger de la corrosión los materiales de acero al carbono ASTM A36 empleados en la construcción de tanques en Tecnitanques Ingenieros S.A.S. para la industria de hidrocarburos.
- Establecer un procedimiento de sandblasting y pintura, dirigiéndose por los estándares ASTM D4541 y NTC 3951 del Sistema de Gestión de Calidad (S.G.C.) de Tecnitanques Ingenieros S.A.S.
- Determinar el perfil de anclaje, espesor de película húmeda, espesor de película seca y adherencia del esquema de recubrimientos empleados en Tecnitanques Ingenieros S.A.S.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. COMPONENTES FUNDAMENTALES DE UN RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN

Todo recubrimiento, bien se trate de una imprimación, barrera o acabado, se compone fundamentalmente de tres partes principales:

1.1.1. PIGMENTO. El pigmento y el vehículo fijo son los componentes que permanecen en la película de recubrimiento una vez seca y, el vehículo volátil, utilizado exclusivamente para hacer posible la aplicación de recubrimiento, se pierde totalmente por evaporación.

Los pigmentos que se utilizan para la fabricación de recubrimientos, pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- Pigmentos anticorrosivos.
- Pigmentos cubrientes o activos.
- Pigmentos con alguna acción específica.
- Pigmentos Inertes o Cargas.

1.1.1.1. PIGMENTOS ANTICORROSIVOS. Se conoce bajo la denominación de pigmentos anticorrosivos, todos aquellos compuestos químicos en forma de polvo impalpable que, dispersos en un vehículo fijo apropiado, son capaces de evitar o inhibir la corrosión del hierro.

La acción mediante la cual se ejerce esta protección anticorrosiva, puede basarse en dos principios fundamentales:

- Mediante pasivación anódica o catódica de la pila electroquímica que se origina en todo proceso de corrosión, tales como el Minio de Plomo, Cromato de Cinc, Plumbato Cálcico, Cianamida de Plomo, etc., que por su carácter oxidante pueden pasivar el ánodo de la pila de corrosión por formación de compuestos férricos o, pasivar el cátodo de esta misma pila mediante formación de productos inorgánicos insolubles.
- Por protección catódica del acero con un elemento menos noble que el hierro, tales como el Cinc, Magnesio, etc., que por su carácter electroquímico, menos noble que el hierro, se convierten en ánodos, ocurriendo la reacción de oxidación, protegiendo de esta manera al hierro, que se convierte en cátodo: Protección catódica.

1.1.1.2. PIGMENTOS CUBRIENTES O ACTIVOS. Se denominan pigmentos cubrientes o activos, aquellos productos químicos opacos, que dispersos en un vehículo fijo adecuado, son capaces de cubrir un fondo por opacidad. Estos pigmentos se utilizan para la formulación de los recubrimientos de fondo y de acabado. Pertenecen a este tipo todos aquellos pigmentos blancos, negros, amarillos, verdes, rojos, azules, etc., de composición química determinada tanto a base de compuestos inorgánicos como orgánicos y cuya enumeración sería interminable.

1.1.1.3. PIGMENTOS CON ALGUNA ACCIÓN ESPECIFICA. Se conoce una serie de productos químicos que se utilizan en formulación de recubrimientos, con el objeto de comunicar a estos con alguna acción específica contra determinados agentes. Como lo pueden ser: recubrimientos con propiedades ignífugas o retardadoras del fuego, pinturas anti incrustantes, los compuestos órgano-metálicos por sus propiedades fungicidas, entre otras.

1.1.1.4. PIGMENTOS INERTES O CARGAS. Se denominan pigmentos inertes o cargas, aquellos pigmentos no cubrientes, es decir, incapaces por sí solos de comunicar opacidad a un recubrimiento y, que se utilizan normalmente para enmatecer o rellenar las imprimaciones y capas de fondo principalmente. Esta gradación en el brillo de recubrimientos se ha de conseguir necesariamente variando la relación Pigmento-Vehículo fijo. La alta pigmentación en las imprimaciones se consigue mediante mezclas adecuadas de pigmentos anticorrosivos y cargas. En este caso, los Inertes o Cargas no solamente ejercen una acción matizante, sino que por su diferente tamaño de partículas son capaces de rellenar los espacios comprendidos entre las partículas del pigmento anticorrosivo.

1.1.2. VEHÍCULO FIJO. Las propiedades y clasificación de los diversos tipos de recubrimientos se basan precisamente en el vehículo fijo utilizado en su formulación.

De esta forma, se habla de:

- Recubrimientos de aceite
- Recubrimientos Alquídicos
- Recubrimientos Fenólicos
- Recubrimientos de clorocaucho
- Recubrimientos Epóxicos
- Recubrimientos Vinílicos
- Recubrimientos Uretanos
- Recubrimientos Acrílicos, etc.

Los diversos tipos de vehículos fijos utilizados actualmente para la fabricación de recubrimientos, son fundamentalmente los siguientes:^{Teoría. Re}

- Aceites
- Resinas Alquídicas y Fenólicas modificadas
- Resinas de clorocaucho
- Resinas vinílicas y acrílicas
- Alquitranses y breas
- Resinas epoxicas y poliuretanos
- Silicatos inorgánicos
- Resinas de silicona

Cada una de estas resinas, posee una determinada composición química que fija sus propiedades, y las cuales son comunicadas a los recubrimientos formulados con ellas.

1.1.3. VEHÍCULO VOLÁTIL. El vehículo volátil constituyente de un recubrimiento líquido, tiene como única misión permitir su aplicación. Tanto las resinas o aceites, como los productos exentos de disolventes, forman en general materiales sólidos o semisólidos que no podrían ser aplicados por cualquiera de los procedimientos normalmente utilizados, tales como brocha, rodillo o pistola. Generalmente, la composición del vehículo volátil en los recubrimientos, responde a una mezcla o combinación de diferentes solventes. Existen disolventes apropiados para la dilución de las resinas o vehículos fijos, así como otros productos orgánicos que no siendo disolventes del vehículo fijo, se utilizan en combinación con aquellos como diluyentes de los recubrimientos. La introducción de estos diluyentes en la formulación de los recubrimientos, tiene por finalidad mejorar las propiedades de aplicación y dosificar convenientemente la evaporación del vehículo volátil durante el secado. Los productos químicos orgánicos utilizados normalmente como disolventes o diluyentes, pertenecen a estos tres tipos fundamentales:

- Disolventes alifáticos, derivados del petróleo de cadena lineal.
- Disolventes aromáticos, de cadena cíclica.
- Compuestos orgánicos tales como alcoholes, ésteres y cetonas de diferentes longitudes de cadena.

1.2. GRADOS DE OXIDACIÓN Y LIMPIEZA. Para la limpieza del acero, especialmente si se trata de acero nuevo, han sido establecidas varias normas que caben destacar ^{[1] y [2]}.

- Limpieza con medios químicos SSPC-SP8

1. Teoría. Reporte Interno de la compañía Tecnitanques Ingenieros S.A.S.

- Chorreado a “Metal Blanco” SSPC-SP5 A,B,C, y D a Sa 3. Eliminación total de toda la calamina, herrumbre, recubrimiento y productos extraños, visibles a simple vista.
- Chorreado a “Metal casi Blanco SSPC-SP10 A,B,C, y D a Sa 2 ½. Chorreado hasta una limpieza en la cual el 95% de cada una de las zonas de la superficie total esté libre de todo residuo visible.
- Chorreado a grado “Comercial” SSPC-SP6 A,B,C, y D a Sa 2. Chorreado hasta que al menos las 2/3 partes de cada una de las zonas de la superficie total esté libre de todo residuo visible, polvo, aceite, pintura en mal estado.
- Chorreado ligero SSPC-SP7 B,C, y D a Sa1
- Limpieza Manual SSPC-SP2. Remoción de cascarilla de laminación desprendida, pintura desprendida y otros contaminantes extraños, utilizando cepillo manual, raspado manual, ó por la combinación de estos dos métodos.
- Mecánica (SSPC-SP3). Limpieza con herramienta eléctrica ó neumática removiendo la cascarilla de laminación, herrumbre desprendida, pintura desprendida y otros materiales extraños.
- Limpieza con Solvente SSPC-SP1. Procedimiento para remover materiales extraños perjudiciales tales como aceites, grasas, manchas y otros contaminantes mediante el uso de solventes, emulsiones, limpiadores, vapor, etc.
- Ninguna de las normas relacionadas es completamente satisfactoria, ya que son incapaces de establecer exactamente cuándo se ha conseguido un grado de limpieza determinado. La interpretación de las normas varía de un inspector a otro y es todavía una materia de opinión individual.

1.3. TEXTURA SUPERFICIAL

La limpieza con chorro abrasivo y mecánica dejan la superficie con un perfil completamente distinto del original. Las superficies de acero nuevo preparadas con chorro abrasivo en máquinas automáticas presentan una rugosidad comparativamente uniforme. Si se trata de superficies viejas preparadas manualmente, la configuración superficial no es uniforme.

1.3.1. RUGOSIDAD. Se expresa en forma de amplitud (distancia entre picos y valles). En la práctica nunca se obtienen perfiles de rugosidad regular, pero, en todo caso, es la distancia más grande que existe desde una cresta hasta el valle adyacente, lo que mejor caracteriza la rugosidad. La rugosidad depende de la condición original del acero, de la intensidad y duración del chorreado, así como del abrasivo utilizado. Cuando se chorrea acero que no presenta picadura ni herrumbre puede comprobarse que la distancia desde las crestas a los valles es bastante menor que el tamaño de las partículas del abrasivo. En algunos casos, la amplitud es solamente 1/10 del diámetro de las partículas. Esto se aplica porque los picos

formados inicialmente se van reduciendo por el impacto continuo. Se recomienda un perfil de rugosidad de 38 micrones a 75 micrones (1,5 a 3 mils).

1.3.2. PERFIL RUGOSIDAD Y ADHERENCIA. La rugosidad mejora la adherencia, y en consecuencia, la adherencia será mejor cuando más rugosa sea la superficie. Sin embargo, parece que la adherencia es mejor sobre superficies de acero con un perfil suave. La adherencia sobre superficies granalladas es mejor que sobre superficies chorreadas con perdigones, pero sólo en tan pequeña proporción, que no tiene consecuencias significativas, excepto en recubrimientos cuyo comportamiento sea muy crítico con respecto a la textura superficial, a fin de asegurar una buena adherencia, como ejemplo recubrimientos ricos en cinc. Para la aplicación de recubrimientos se recomienda un perfil de rugosidad entre 38 y 75 micrones (1.5 a 3.0 mils).

1.4. TIPOS DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

Los tipos de preparación de superficie que se emplearan en el proyecto son los siguientes:

1.4.1. SAND BLASTING: LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA A PRESIÓN. Es un método para preparación de superficie y lograr protección de larga vida. Consiste en proyectar un chorro de arena a alta velocidad contra la superficie que se va a limpiar, obteniéndose un “perfil de rugosidad” o “perfil de anclaje” adecuado para que la pintura o el revestimiento se adhiera de manera eficiente.

1.4.2. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE CON SANDBLASTING – GRADO DE METAL BLANCO. LIMPIEZA SSPC-SP-5: LIMPIEZA A METAL BLANCO CON CHORRO. Se define como una superficie con color uniforme gris blanco metálico, ligeramente rugosa para formar un conveniente perfil de anclaje para la pintura. Como mínimo un 99 % de la superficie quedará libre de todo residuo visible y en el resto se observaran ligeras decoloraciones. La superficie quedará libre de aceite, grasa, suciedad, cascarilla de laminado visible, herrumbre, productos de corrosión, óxidos, pintura o cualquier otra materia extraña.

1.4.3. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE CON SANDBLASTING – GRADO DE METAL CASI BLANCO. Se realiza con chorro de arena hasta que al menos el 95% de cada una de las zonas de la superficie total esté libre de todo tipo de residuo visible. El grado de limpieza a obtener será de acuerdo con la norma^[1] SSPC – SP -10 del Steel Structure Painting Council y un perfil de rugosidad que oscile entre 2 y 3 mils.

1.4.4. LIMPIEZA SSPC-SP-10: LIMPIEZA A METAL CASI BLANCO. Es aquella en la cual se ha eliminado todo el aceite, grasa, suciedad, costras de laminación, óxidos, pinturas y otros materiales extraños, excepto pequeñas rayas o ligeras

decoloraciones producidas por manchas de óxido, de calamina o de pintura compacta, las cuales pueden permanecer sobre la superficie. Como mínimo un 95 % de la superficie quedará libre de todo residuo visible y en el resto solo se observarán las ligeras decoloraciones antes mencionadas.

1.4.5. GRADOS DE LIMPIEZA RECOMENDADOS PARA DIFERENTES TIPOS DE IMPRIMACIÓN. Cuando se selecciona un sistema de recubrimiento debe tenerse en cuenta conjuntamente con la influencia del ambiente y el aspecto final, algunas consideraciones relativas a las funciones que el sistema debe desempeñar y a su mantenimiento.

Se acostumbra a distinguir entre dos tipos de exposición, a saber, exposición a CONDICIONES SUAVES y exposición a un AMBIENTE SEVERO o CRÍTICO. Muy a menudo el factor decisivo que determina la selección del imprimante a utilizar (y en consecuencia de todo el sistema de recubrimiento) es el estado superficial del acero o el tratamiento que se le puede dar.

La imprimación debe tener las suficientes propiedades humectantes (penetración) como para rellenar la porosidad de la superficie y mantener la adherencia durante toda la vida del sistema, y tiene una influencia decisiva sobre la selección del resto de recubrimientos.

Cuando especifica un imprimante determinado, el grado de limpieza de la superficie a pintar debe adaptarse a las propiedades del imprimante y debe alcanzarse, en lo posible, el grado de limpieza prescrito.

Bajo condiciones de menor severidad, tal vez puedan tolerarse grados de limpieza inferiores a lo especificado, pero existirá siempre un riesgo de fallo y de una menor vida de servicio del recubrimiento.

1.5. SALES RESIDUALES

Al chorrear acero es extremadamente importante tomar en consideración las trazas de contaminantes no visibles. Es esencial que toda contaminación química de la superficie de acero sea eliminada y que pueda efectuarse fácilmente y de forma cuantitativa una valoración de las trazas de residuos. Si se utilizan abrasivos de un gran tamaño de partícula, tal como los prefieren algunos aplicadores, el interior de las picaduras no se limpia completamente de sales como sulfatos, cloruros, etc. Los cloruros de hierro absorben agua y durante su hidrólisis forman gotas ácidas. Incluso si la imprimación se aplica inmediatamente después del chorreado, los cloruros residuales pueden provocar la formación de gotas ácidas.

1.5.1. Descripción De La Superficie (NV).

- NV-1 Superficie libre de todo tipo de contaminantes solubles cuando se verifique por medio de análisis de campo ó de laboratorio usando métodos de prueba reproducibles.
- NV-2 Superficie que presente menos de 7 μ/cm^2 de ión cloruro, menos de 10 μ/cm^2 de niveles de ión ferroso soluble ó menos de 17 μ/cm^2 de contaminantes sulfato, verificados por medio de análisis de campo ó de laboratorio usando métodos de prueba reproducibles.
- NV-3 Superficie que presente menos de 50 μ/cm^2 de ión cloruro ó de contaminantes sulfato, niveles verificados por medio de análisis de campo ó de laboratorio.

1.6. INSPECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO

La película de recubrimiento debe también inspeccionarse en lo relacionado a escurrimientos. Todas las zonas que muestren éste u otros signos de aplicación inadecuada deben repararse rápidamente. Finalmente, el inspector debe asegurarse que se deje el suficiente tiempo de secado antes de poner en servicio la superficie pintada, lo cual es especialmente importante si el recubrimiento debe quedar expuesto a inmersión ó salpicaduras intermitentes. Si el período final de secado se ve reducido por debajo de lo recomendado por el fabricante del recubrimiento, se corre el peligro de que queden disolventes atrapados en el recubrimiento, lo cual puede producir ampollamiento y mala adherencia. El contenido de este capítulo, que expresa los conceptos de lo que puede denominarse *Tecnología De La Superficie* complementado con algunos detalles adicionales, representa una revolución frente a la “especificación” del pasado.

1.6.1. MEDIDORES DE PELÍCULA HÚMEDA. Existen dos tipos de aparatos para la medida de los espesores de película húmeda, de los cuales el medidor de rueda se considera en general que proporciona lecturas menos precisas que el medidor de peine.

1.6.2. MEDIDORES DE PELÍCULA SECA. El espesor de película seca debe medirse de forma indirecta por la reducción en el flujo magnético debido a la presencia de una capa no magnética de aire o de recubrimiento entre un imán y un sustrato magnético.

Una capa de aire y una capa de recubrimiento del mismo espesor tienen el mismo efecto reductor sobre el flujo magnético.

Se dispone en el mercado de dos tipos de aparatos que funcionan con imán permanente. Uno de ellos consiste en un imán permanente con 2 polos en forma

de contactos esféricos para aplicar sobre la superficie pintada y se obtienen lecturas directas sobre un cuadrante que es parte integrante del instrumento.

Para eliminar el efecto de cualquier magnetismo proveniente del sustrato debe girarse 180°, tomando después de una segunda medida sobre la misma zona.

En el otro tipo de instrumento, la fuerza necesaria para contrarrestar la atracción magnética entre el imán permanente y el sustrato magnético se mide mediante un muelle, la tensión del cual se consigue girando un disco calibrado hasta que el imán se despega de la superficie pintada.

1.6.2.1. MEDICIÓN SOBRE SUPERFICIES RUGOSAS. La reducción del flujo magnético cuando se toman medidas de una película de recubrimiento sobre sustrato con una superficie rugosa, no es constante.

El flujo magnético se verá menos restringido sobre las crestas que sobre los valles, como consecuencia de un menor espesor de recubrimiento. En los casos en que la rugosidad del perfil es grande comparado con el espesor total de película, las diferentes lecturas obtenidas y el espesor de película promedio conseguido, tiene solamente un limitado interés. Lo que realmente cuenta es la protección sobre las crestas.

Para un sistema de capa gruesa, la rugosidad tiene una menor importancia. Cuando se utilizan los dos instrumentos descritos sobre una superficie de acero rugosa, se obtendrá una cierta lectura debido al aire que se encuentra relleno los valles por lo que se han podido diseñar rugo-símetros, basados en el mismo principio pero calibrados de diferente manera, dando medidas de rugosidad en lugar de espesor de recubrimiento.

1.6.3. INTERPRETACIÓN DE LAS MEDIDAS. La British Ship Research Association ha sugerido las siguientes reglas para asegurar que se está obteniendo el espesor de película mínimo especificado:

- El valor promedio de las lecturas obtenidas sobre el total de la superficie a medir fondo (flotación o ambas) no debe ser menor que el 90% del valor especificado.
- El valor de cada una de las lecturas aisladas no debe ser inferior al 80% del valor especificado. Consultar la norma ^[1] y ^[2] SSPC-PA2 del volumen 2 de la SSPC para efectos del criterio sobre medición de espesores de película seca.

1.7. MÉTODOS PARA LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS

1.7.1. APLICACIÓN POR ASPERSIÓN O ROCIADO. El equipo que se seleccione depende de factores tales como rapidez, calidad del acabado, facilidad y flexibilidad de uso, características de la pintura. A continuación se enumeran los dos tipos principales con una explicación breve de cada uno.

1.7.1.1. ROCIADO SIN AIRE.

1.7.1.2. ROCIADO CON AIRE. Este es el tipo de equipo rociador más comúnmente usado. Utiliza aire comprimido para ejecutar dos funciones importantes. Primera, atomizar el recubrimiento en la tobera de la pistola y, segunda, suministrar recubrimiento bajo presión del tanque de abastecimiento, bomba o taza a la tobera de la pistola. Este tipo de sistema es el más adaptable de todos los equipos de rociamiento. El uso generalizado del equipo de rociamiento con aire, durante los últimos 50 años, ha tenido como resultado el perfeccionamiento y refinamiento de las pistolas, toberas, dispositivos reguladores y unidades de abastecimiento de pintura para prácticamente todo tipo de material de recubrimiento y trabajo de pintura. El rociamiento con aire ofrece mayor selección de forma de patrones, con variación de la atomización y humedad del acabado.

1.8. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO

Para elegir el sistema de recubrimiento a usar se deben tener en cuenta varios factores, que en una o en otra forma, determinan el sistema de recubrimiento que se debe usar, los cuales son:

1.8.1. MEDIO AMBIENTE REINANTE EN EL ÁREA. Es un factor muy importante para determinar el sistema de recubrimiento a usar; se deben tener en cuenta las condiciones ambientales de acuerdo con el clima y situación de la planta en cuestión, tales como temperatura, humedad, periodicidad de las lluvias, proximidad del mar, etc., además son muy importantes las condiciones ambientales producidas por las características de la planta misma como los gases corrosivos o los polvos corrosivos abrasivos (carbonato de sodio, etc.).

1.8.2. TEMPERATURA DE LOS DIFERENTES EQUIPOS. Es un factor determinante del recubrimiento que se debe usar. Muchas veces un equipo sometido a alta temperatura (más de 600° F) se encuentra ubicado en una zona altamente corrosiva; en estos casos se debe escoger muy bien el sistema de recubrimiento ya que se deben atacar dos problemas: la temperatura y la corrosión.

1.8.3. LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE. Es el item más importante en un sistema de recubrimiento; el desempeño de un sistema obedece en un 90% a la preparación de la superficie que se haga; no siempre es posible realizar una buena preparación de superficie debido a los costos de la misma, la imposibilidad de

poder hacer la limpieza con chorro abrasivo por carencia de equipo o por los efectos nocivos del polvo en los equipos aledaños, etc. Desde luego que este es un factor que va en contra de los fabricantes de recubrimientos industriales porque como se dijo, el desempeño de la pintura depende de la preparación de la superficie. Muchas veces no es posible aplicar un buen sistema de protección por la imposibilidad de hacer una buena preparación de la superficie.

1.8.4. SELECCIÓN DE LOS COLORES. Obedece a presentación y decoración, a códigos de colores internacionalmente usados para identificar tubería o equipos o para efectos de disipación del calor por radiación; respecto a este último punto, se sabe que el color negro no disipa el calor, en cambio el blanco sí. Esto es importante sobre todo en el recubrimiento de tanques que contienen productos de petróleo con rata de vaporización alta. Sin embargo, algunas veces es necesario sacrificar los colores escogidos para usar un producto de mejor calidad que no se puede fabricar en tal o cual color.

1.8.5. RECUBRIMIENTO ANTERIOR APLICADO. Es un factor de importancia para escoger el sistema a usar si tales recubrimientos no se van a cambiar en su totalidad; es necesario hacer pruebas de compatibilidad con los nuevos recubrimientos que se van a usar, para así ajustar el nuevo sistema a los requerimientos de compatibilidad con el anterior. Los costos muchas veces determinan en un todo el sistema que se va a emplear; muchos propietarios o jefes de mantenimiento tiene presupuestos muy limitados para la pintura de sus plantas y el sistema se debe ajustar a sus capacidades económicas.

1.9. Normas ASTM, SSPC y NTC para preparación de superficies y aplicación de recubrimientos:

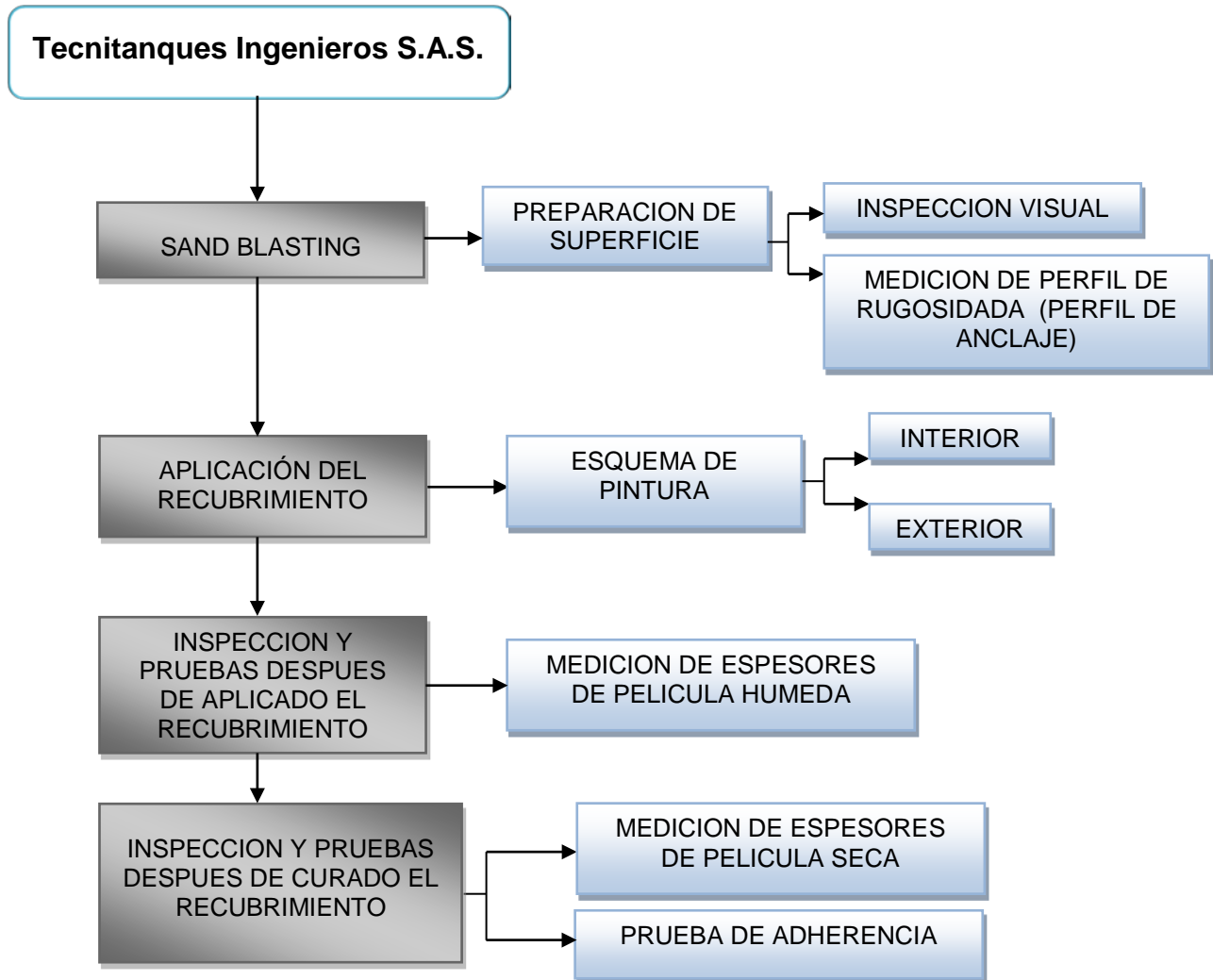
- ASTM. (s.f.). D 4541. Standard Method for Pull-Off Streng of Coatings Using Portable Adhesion Testers. ASTM International.
- ASTM. (s.f.). E337-02 (2007) Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures). ASTM International.
- NTC. (18 de 09 de 1996). NTC 3951. PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. SISTEMAS DE PINTURAS PROTECTORAS. VARIABLES DE EVALUACION EN CAMPO. Norma Técnica Colombiana.
- SSPC. (s.f.). Steel Structures Painting Council. Surface Preparation Specifications^[1].
- SSPC-PA 2. (s.f.). Measurement of Dry Paint Thickness With Magnetic Gauge^[2]¹

¹ Teoría. Reporte interno de la compañía Tecnitankes Ingenieros S.A.S.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

En este capítulo se presenta el desarrollo experimental llevado a cabo, el cual consta de cinco etapas como se ilustra en la figura 1.

Figura 1: Diagrama de flujo del Desarrollo Experimental.



3. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Después de ejecutados los controles elementales del operario, de los materiales e insumos y de los equipos, se entro en materia con la parte técnica del proceso para la aplicación del recubrimiento al material y con todo lo que esta aplicación conlleva, encontrándose con:

3.1. DIFICULTADES DURANTE LOS PROCESOS DE SANDBLASTING Y APLICACIÓN DE PINTURA.

3.1.1. Durante el proceso de Sandblasting.

Se encontraron problemas relacionados con la preparacion de superficies por daños relacionados con el tipo de abrasivo, tales como:

3.1.1.1. Incrustaciones de arcilla en el área preparada. La arcilla es un contaminante para este proceso, estas se pudieron haber presentado debido al exceso de presencia de ésta en la arena utilizada que debido a la presión utilizada queda incrustada en la superficie. En estas incrustaciones juega un papel vital la dureza en el abrasivo, es decir de acuerdo a la norma *NTC 3951*, se establece que el diametro del grano de arena, no debe ser muy grande (malla 12/20-10/50) y su procedencia debe tener el aval del inspector de calidad de recubrimientos; quien debe solicitar al proveedor de la arena un analisis fisico, quimico y de granulometria de la arena, la arena para sandblasting debe tener entre un 80% y 90% de silice, no debe tener compuestos organicos, ni oxidos de hierro, ni cales, porque puede generar impurezas en el material a sandblastear. Al presentar piedra caliza la arena, en el momento de sandblastear, cuando la arena impacta deja un polvillo blanco sobre la superficie, en forma de mancha de color blanco, Esta se debe limpiar una por una la mancha, retirandose con aire a presion o un lavado con agua e inhibidor de corrosión. Si son muchas las incrustaciones, se rechaza el area total sandblasteadada y se solicita cambio de arena. Ver fotografías N° 01, N° 02 y N° 03.

NOTA 1: *Esta arena sale con una velocidad de 700m/seg y entre 100 y 120 lbs/presión.*

Se realizo inspección visual según *Department of the Navy, Techdata Sheet 82-08, NACE Coating Inspector Program*

1. Se observa incrustación de arena en las laminas pintadas.

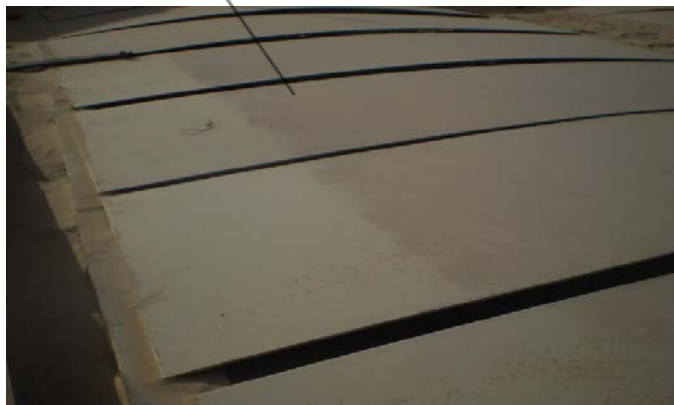
Fotografía N° 01.



Fuente: Autor.

2. Hay over spray de epóxico rojo sobre las laminas pintadas.

Fotografía N° 02



Fuente: Autor.

3. Hay huella por manipulación e incrustación de arena sobre la lamina ya pintada.

Fotografía N° 03.



Fuente: Autor.

3.1.1.2. Falta de homogeneidad en la preparación de superficies. A pesar de haber encontrado irregularidades en el abrasivo, inadecuada selección de la boquilla, incorrecta presión del equipo, y haber corregido estas anomalías; se siguió encontrando en algunas partes de las laminas y materiales sandblasteados multiplicidad de detalles en la superficie, esto debido a una falta en la habilidad del sandblastero; es también un causante importante de la falta de homogeneidad, la pérdida de presión de aire, la humedad en la línea de aire y la boquilla utilizada (estado interno de ésta); por eso es significativo, los secadores de aire a la salida del compresor y el personal experimentado, además la colocación del pulmón de aire para garantizar niveles de presión.

3.1.1.3. Corrosión instantánea. Esta pequeña corrosión pero vital en el proceso de sandblasting, fue causada porque el operario no solo no se guió del procedimiento de sandblasting y pintura, sino además pasó por alto las instrucciones y recomendaciones del inspector de calidad de recubrimientos, esto porque hizo caso omiso a las indicaciones de no sandblastear cuando el clima no se encontraba en las condiciones ambientales requeridas por las normas de aplicación de recubrimiento, la norma de *Condiciones Ambientales ASTM 337*, ver lecturas de condiciones ambientales apropiadas y fotografía N° 04, e ignorando también el procedimiento elaborado por el inspector de calidad. Provocando así, un flash rust, es decir, una corrosión instantánea en la lamina y el material sandblastado, esto porque el sandblasting recibió humedad o lluvia, gracias a que

el operario procedio a su labor pese a estar registrando el equipo termohigrómetro una humedad relativa muy alta, mayor de 85% de humedad, significando una condicion ambiental totalmente inadmitida para llevar a cabo un proceso de sandblasting y pintura según la ficha técnica del fabricante del recubrimiento; la maniobra del operario también subordinada por otro departamento de la compañía, causo no solo desorden en el procedimiento de sandblasting y pintura sino ademas una oxidacion instantanea, que conlleva al deterioro de la capa sandblastada, teniendo que volver a sandblastear la lamina y el material afectado, ademas de causar un alto desperdicio tanto en insumos como la arena, tiempo empleado del equipo de sandblasting, tiempo y mano de obra de los operarios, tiempo del inspector de calidad, retraso en el tiempo de entrega del material y muy importante que todo esto significa, capital de la compañía.

Tabla N. 01. Lecturas de condiciones ambientales durante la practica y adecuadas.

Fecha	Hora	T ^o A °C	HR%	T ^o M °C	PR °C	Δ °C	SITIO
Noviembre 29/2011	11:40	31,7	38,9	40,6	12,5	34,1	Lámina del 2° anillo del tanque 200.000 BLS

Fecha, Hora, T^oA-Temperatura ambiente; T^oM-Temperatura de metal; PR- punto de rocío; HR.-humedad relativa; Δ-delta de diferencia (mínimo 3°C), Ubicación.

Fuente: Autor.

Fotografía N° 04



Lectura de las condiciones ambientales tomadas con el termohigrómetro.

Fuente: Autor.

3.1.1.4. Calamina. Esta se produce en el momento que se esta fabricando el material, al enfriarse el acero, reacciona con el oxigeno del ambiente y se forma esa película rigida, llamada calamina. Existe una gran diferencia entre corrosion y calamina, y es que la corrosion es generada por la perdida de energia del metal, al que se suman las condiciones de humedad y oxigeno del ambiente, asi como la temperatura. Es muy dificil controlar la calamina porque dependemos de las condiciones ambientales, un estricto control de la atmosfera. La calamina se corrige solo retirandola, por medio de granallado, sandblasting, fosfatizacion, lijado fuerte, y otros metodos mecanicos.

Por ejemplo, este problema de calamina, se encontro en una tuberia ya puesta en campo, despues de haber estado expuesta un largo tiempo a un mal almacenamiento y a un espacio con criticas condiciones ambientales, sumandole también el daño recibido en el momento de ser transportada desde la planta de la compañía hasta el campo del cliente final. Esta despues de haber recibido una NC (No conformidad) por parte de la interventoria, se busco su trazabilidad enviada por el departamento de calidad de la compañía. Asi mismo se procedio a darle el adecuado reproceso de sandblasting y pintura a esta tuberia. Teniendo que volver a sandblastear y aplicar el recubrimiento para poder presentar un producto conforme según lo establecido en las normas, procesos y procedimientos de Sandblasting y Pintura.

La calamina es un material que se forma sobre la superficie durante el proceso de laminacion en caliente, esto porque todos los materiales que se estan manejando son en caliente; el cual queda incrustado sobre la superficie del material metalico, y es totalmente indispensable retirarlo mediante un proceso de chorro abrasivo, sino se retira esta se puede comportar como un catodo y la superficie metalica como un anodo. Adicionalmente la calamina tiene unas propiedades mecanicas muchisimas menores que las superficies metalicas, lo cual implica que esto despues se puede desprender, descascarar y cuando hay temperatura la calamina tiene un coeficiente de dilatacion termica diferente, es decir que la calamina dilata de una manera diferente a la parte metalica, haciendo que esta se desprenda, se descascare, y se salte el recubrimiento, esa es la falla de tener calamina sobre la superficie, y la forma de contrarestarla es con chorro abrasivo y aplicando un recubrimiento encima.

Despues de un excelente tamizado de la arena, con excelentes resultados en el analisis quimico, fisico y de granulometria; un adecuado diametro de boquilla con la presion correcta del equipo (esta boquilla depende de la geometria de la superficie, para areas pequeñas boquilla N°4, areas planas, laminas, boquilla N° 7 u 8 (los extremos)). Fue necesario tener en cuenta que la presion adecuada para sandblastear depende de la boquilla a utilizar, ejemplo una boquilla N° 6 (Ø3/8 ") consume 196 [cfm] con una presión de 100 [psi], y la capacidad del compresor; Un operario siguiendo instrucciones del inspector de calidad, un clima apropiado para la actividad, los insumos adecuados y en excelente estado, se logró obtener en las

pruebas de anclaje realizadas un perfil de anclaje aprobado dentro de las exigencias de las normas de calidad, de 2 a 3 mils, con un grado de limpieza satisfactoria a grado metal blanco según la norma SSPC SP5, ver fotografía N° 05., realizada con arena seca, como material abrasivo. Era y es importante tener en cuenta que el análisis físico, químico y de granulometría debe ser avalado por la gestoría, esto previo al inicio del proceso.

Fotografía N° 05.



Aspecto superficial de la limpieza grado metal blanco SSPC SP5, en las láminas del 2° y 3° anillo exterior de algunos tanques.

Fuente: Autor.

3.1.2. Durante el proceso de aplicación del recubrimiento.

3.1.2.1. Falta de certificación. En el momento de capacitación, se encontró, que pese a la práctica, experiencia y el conocimiento técnico que poseían los pintores, estos mismos carecían de calificación por parte de alguna entidad dedicada a la actividad, inmediatamente nos dirigimos a consultar una entidad pública quien calificara y certificara al operario, para poder dar inicio a la aplicación de pintura, puesto que era necesario incluir en los dossier's de calidad la hoja de vida con los certificados correspondientes de cada operario. Gracias a estas calificaciones certificadas bajo las normas de competencia laboral del SENA y las normas de la Asociación Colombiana de Corrosión ASCOR, los operarios pudieron con más confianza realizar su trabajo y sobretodo con más habilidad manejar los equipos de aplicación tipo airless, convencionales y algunos elementos para métodos manuales. Cuando se calificaron a los operarios, su destreza era al punto que eran capaces de aplicar el recubrimiento en cualquier condición, empleaban bien sus dos manos, mantenían distancias uniformes sobre el sustrato, tenían claridad de los diferentes tipos de boquillas y sus usos, su abanico y apertura de orificios de los fluidos, dado que estos se usan dependiendo de los sólidos por volumen de la pintura a aplicar.

3.1.2.2. Ausencia técnica por parte del proveedor. Fue necesario también un seguimiento continuo e intenso con el proveedor de pintura, debido a que a pesar

de contar con teoría e información técnica y libros técnicos con las aplicaciones de sus productos, en algunas ocasiones se desconocían características de los mismos. Afectando no solo al departamento de calidad sino también la comunicación rápida con el departamento de mantenimiento, esto, porque era necesario dar conocimiento previo de los equipos necesarios para llevar a cabo dicha actividad, era importante contar con toda la información técnica posible para poder tener la selección exacta de los equipos de aplicación acordes con las características técnicas de los productos a utilizar según las exigencias del fabricante. Por ejemplo, aplicando un producto 100% sólidos, el fabricante del recubrimiento indicaría usar un equipo airless con una bomba de relación 68/1 y no una 30/1. Por esto eran vitales las reuniones con el fabricante de pinturas, donde se pudieron elegir que máquinas adecuadas emplear.

3.1.2.3. Supervisión del operario. Se controló que el operario implementara la matemática adecuada para estimar las cantidades necesarias para el buen manejo de los insumos, calculando y controlando los consumos y rendimientos de estos insumos, el cálculo aplicado fue (ver Fórmula 01):

Fórmula 01.

$$\text{Rendimiento Práctico(m}^2\text{)} = \frac{1,49 \times (\% \text{ sólidos/volumen}) \times (\% \text{ efectividad de aplicación})}{\text{Espesor película seca}}$$

Nota 2: Esta información la encontramos en las fichas técnicas del recubrimiento.

3.1.2.4. Calibración de EPH. Se estableció la metodología para calibrar un EPH (espesor de película húmeda), para el uso de galgas fue necesario tener claridad de cuál era el espesor de película seca que se buscaba aplicar, puesto que era necesario conocer los sólidos por volumen del producto que se iba usar, por ejemplo: si la pintura a emplear tenía 50% de sólidos por volumen, se buscó que la aplicación una vez seca, la película sea de 3 mils (75 micrones), la galga para película húmeda debió marcar 6 mils puesto que el 50% se evapora. Este EPH se calcula de la siguiente forma (ver Fórmula 02):

Fórmula 02.

$$\begin{aligned} \text{EPH} &= \text{EPS} / \text{Solv} \\ \text{EPS} &= 5 \text{ mils} \text{ Solv} = 80\% \\ \text{EPS} &= 5 / 0.80 \\ \text{EPS} &= 6,25 \text{ mils} \end{aligned}$$

3.1.2.5. Ambientes locativos. Se exigió no solo a los operarios y proveedores, sino además a los gerentes, porque para poder cumplir con el proceso de sandblasting y pintura, en las mejores y óptimas condiciones, era vital que las

instalaciones físicas y ambientes locativos donde se estaba llevando a cabo el desarrollo de la aplicación de los recubrimientos cumpliera con las exigencias ambientales consideradas en la ficha técnica del proveedor. Esto porque venían acostumbrados a trabajar en condiciones ambientales críticas, un campo a la interperie, expuesto a la lluvia, donde sin haber curado y catalizado el producto, este era afectado por culpa de las malas condiciones ambientales a las que se sometían.

Gracias a la capacitación en el manejo de los consumos y rendimientos de los productos, al personal involucrado en el proceso, incluyendo algunos gerentes operativos y administrativos, se logró que la inconsistencia por el mal cálculo de las cantidades estimadas para el desarrollo de la obra, ya no fuera un problema constante en la compañía. Asegurando también, gracias a estos cálculos la disponibilidad de los materiales, y no sometiendo constantemente a que no había en almacén el producto a emplear, esto porque el departamento de ingeniería y/o compras solicitaron menores cantidades a las necesarias para el proyecto.

3.2. PROBLEMAS DURANTE LOS PROCESOS DE SANDBLASTING Y APLICACION DE PINTURA.

3.2.1. Problemas asociados al proceso de aseguramiento de calidad, problemas de aplicación.

3.2.1.1. Falta de procedimientos. No habían procedimientos de planes de calidad estandarizados para cada caso según las especificaciones del cliente final. Por eso fue necesario establecer los procedimientos relacionados con la metodología de aplicación, como calibración de espesores de películas húmedas, espesores de película seca y todo lo concerniente con esta actividad. Además el pintor no estaba entrenado para hacer esta calibración adecuadamente.

3.2.1.2. Falta de comunicación. No habían canales de comunicación entre los departamentos de Ingeniería, Producción y Logística lo cual creaba improvisación en el desarrollo de los planes de producción y aseguramiento de calidad. Es decir, debido a estas improvisaciones, se saltaban los procedimientos de calidad del proceso final del material, siendo este proceso final, el proceso de Sandblasting y Pintura, pasando por alto los tiempos que estipulaba el procedimiento, por ejemplo como los tiempos de curado de la pintura, tiempos de curado entre capas, tiempos de curados finales, era tanta la improvisación y tan perjudicial para lograr un producto final conforme, que no solo se exponían a recibir incoformidades del cliente final, sino además exponían al ingeniero de calidad, encargado del proceso de recubrimiento de pintura, a no alcanzar a realizar las adecuadas y necesarias pruebas para el registro del dossier del cliente final, o a tener que tomar espesores y adherencias ya sobre el camión, es decir ya estando el material listo para el

transporte a campo. Y todo esto por falta de comunicación entre los departamentos de la compañía.

3.2.1.3. Especificaciones desactualizadas. También se encontró alta ambigüedad en las especificaciones de ingeniería y los procedimientos a desarrollar en producción, esto también era causante de las NC (no conformidades) de la interventoría y el cliente final.

3.2.1.4. Incumplimiento de los procedimientos de calidad. Anteriormente, por no realizar de acuerdo a las normas la preparación de superficies, estándares indicados para el proceso, estaban expuestos constantemente a los reclamos tanto del cliente interno como externo, causando inconformidades, esto, porque se dejaba rastros de calamina, de contaminantes como calamina en la superficie, lo cual hacía que el cliente interno mandara a reproceso los materiales.

3.2.1.5. Pérdidas monetarias. La falta de comunicación trajo consigo también el desperdicio de materiales y/o pérdida monetaria para la compañía, porque llegaban insumos al lote de pintura, sin ser estos los que realmente se debían aplicar en el material, por ejemplo el procedimiento estipulaba que se debía aplicar un recubrimiento epóxico de zinc, y el departamento de producción terminaba aplicando un inorgánico de zinc. Es importante tener en cuenta que para un tanque que va almacenar crudo, el recubrimiento a aplicar son los epóxicos tipos áminas, la primera base imprimante tipo ámina, la segunda capa una base, los interiores normalmente llevan una base y un acabado, la base es con pigmentos de sacrificio, base con fosfato de zinc y un acabado.

3.3. LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DEL PROCESO DE SANDBLASTING Y PINTURA CONSISTIERON EN LA MEDICIÓN DE: EL PERFIL DE RUGOSIDAD, LOS ESPESORES DE PELÍCULA HUMEDA, LA PELÍCULA SECA Y LAS PRUEBAS DE ADHERENCIA DE PINTURA.

Se realizaron pruebas bajo normas establecidas para el registro del dossier y también con el fin de detectar posibles anomalías durante la realización de la limpieza abrasiva con arena seca y la aplicación de pinturas en láminas que componen el cuerpo, techo y fondo de tanques atmosféricos API-650, efectuados en el taller. Estableciéndose así los criterios de aceptación donde se realizó limpieza abrasiva según *SSPC-SP5*, lecturas de condiciones ambientales, lecturas de espesores de película de pintura seca y pruebas de adherencia sobre los recubrimientos secos para prevenir y protegerlos de la corrosión.

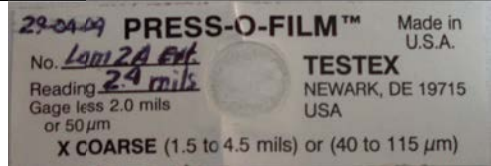
3.3.1 La rugosidad. Se midió diariamente por área preparada tanto para el exterior como en el interior del tanque, bajo las especificaciones de la norma *SSPC-SP5*. Se dejó registro del perfil de anclaje con cinta press-film.

Se emplearon en estas pruebas los siguientes equipos: Termohigrómetro TQC DEWcheck , MD12549 (°C); Micrómetro Digital (1/100)

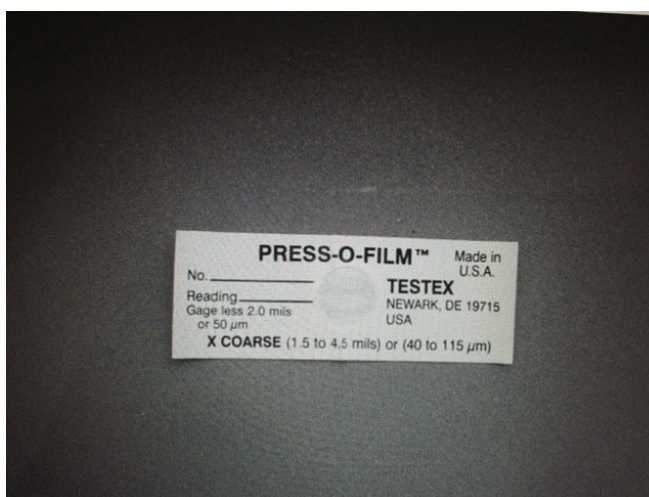
Se monitorearon siempre las condiciones ambientales, antes, durante y al finalizar las labores de Sandblasting.

Después de un buen proceso de Sandblasting, se registraron adecuadas lecturas. Ver una de estas lecturas del perfil de anclaje y fotografías N° 06 y N° 07.

TABLA N. 02. Lectura del Perfil de Anclaje. Método de cinta replica Press-O-Film (testex X Corse de 1,5 a 4,5 mils). El valor de perfil de anclaje o rugosidad superficial estuvo dentro lo especificado. Fuente: Autor.

Fecha	CINTA PRESS-FILM (repujada)	PERFIL de ANCLAJE	SITIO
Noviembre 29/2011		2,4 mils (60 μm)	Lamina del cuerpo del tanque, lamina del 2° anillo

Fotografía N° 06



Cinta replica Press-O-Film (testex X Corse de 1,5 a 4,5 mils).

Fuente: Autor.

Fotografía N° 07

Micrómetro Digital (1/1000 pulgadas).
Fuente: Autor.

3.3.2. Tan pronto fue aplicada la pintura en taller, se realizó la medición del **espesor de película húmeda del imprimante**, garantizando de esta manera el espesor requerido.

3.3.3. Ya aplicada la pintura en taller cumpliendo con el tiempo de curado, se realizó la medición del **espesor de película seca del imprimante**, garantizando de esta manera el espesor requerido. Esta medición se hizo de acuerdo a la norma *SSPC-PA-2* "Measurement of dry paint thickness with magnetic gauges", con el equipo Elcometer digital. Se efectuaron 5 lecturas uniformemente distribuidas por cada diez (10) metros cuadrados o fracción de superficie pintada. A continuación una de estas lecturas de la película seca del imprimante y fotografías N° 08 y N° 09.

TABLA N. 03. Algunas lecturas del Espesor de Película Seca Exterior, Cuerpo del tanque. Fuente: Autor.

	SPOT 1	SPOT 2	SPOT 3	SPOT 4	SPOT 5
	5,4	6,1	4,6	5,1	4,7
	4,5	6,5	5,2	6,8	4,4
	3,9	4,1	4,9	5,1	3,9
Pom. Spot. Prom.	4,6	5,6	4,9	5,7	4,3
Total		5,0	Mils		

Fotografía N° 08.

**Medidor de Espesores Positector.
Fuente: Autor.**

TABLA N. 04. Algunas lecturas del Espesor de Película Seca Interior, Cuerpo del tanque. Fuente: Autor.

	SPOT 1	SPOT 2	SPOT 3	SPOT 4	SPOT 5
	4,1	3,8	3,1	4,1	4,1
	3,6	3,7	3,6	4,5	3,6
	3,3	3,5	3,4	3,9	4,4
Prom. Spot.	3,7	3,7	3,4	4,2	4,0
Prom. Total		3,8	Mils		

Fotografía N° 09.

**Medidor de Espesores Positector 6000 F1 s/n 73845.
Fuente: Autor.**

La pintura pudo tener espesores puntuales con valores de hasta el 80% del espesor mínimo requerido, pero el espesor promedio de las mediciones no fue inferior al mínimo requerido.

3.3.4. Se realizaron las mediciones de **adherencia de pinturas** de acuerdo con la norma *ASTM D-4541* en lotes pintados así:

- Spot por fondo, spot por anillos de cuerpo, spot por techo en el prefabricado de taller.

Una vez aplicada la pintura total, alcanzando el espesor requerido y su tiempo de curado, se realizó la prueba de adherencia, que consistió en colocar unos dados con Pegante 3M, para después del secado, se realizó el retiro de dichos dados con un equipo hidráulico de tracción que midió la presión (psi) a la cual se retiró el dado. Los valores mínimos medidos no fueron inferiores a 400 psi, de acuerdo con los estándares *ASTM D4541* (Test Method for Pull off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers) y *NTC 3951*. A continuación algunas lecturas de las condiciones ambientales y las pruebas de adherencia y fotografías de estas, fotografías N° 10 a la N° 15.

Algunas lecturas de la prueba de Adherencia en el tanque y sus condiciones ambientales fueron:

- Humedad Relativa 55.
- Temperatura Ambiente 22,1°C.
- Temperatura de la lamina 23°C.
- Fecha de pruebas: 18 de Diciembre 2011

TABLA N.05. Algunas lecturas de la prueba de adherencia. Fuente: Autor.

1	Lamina anillo exterior Tanque 200.KIs	6.1 mils	1.250 psi	100% Falla pegante.
2	Lamina anillo exterior Tanque 200.KIs	5.1 mils	1.450 psi	100% Falla pegante.
3	Lamina anillo interior. Tanque 200.KIs	4.1 mils	1.300 psi	100% Falla pegante

Fotografía N° 10, Prueba N° 01.



Dado de metal pegado en la lamina para realizar prueba de adherencia.

Fuente: Autor.

Fotografía N° 11, Prueba N° 01.



Equipo de adherencia análogo, dando en la prueba 1250 lbs psi, y el dado de metal un resultado excelente de 100% falla pegante.

Fuente: Autor.

Fotografía N° 12, Prueba N° 02.



**Dado de metal pegado en la lamina para realizar prueba de adherencia.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 13, Prueba N° 02.



Resultado de la prueba: 1450 lbs psi, dado ya despegado con un resultado excelente de 100% falla pegante. Fuente: Autor.

Fotografía N° 14, Prueba N° 03.



**Dado de metal pegado en la lamina para realizar prueba de adherencia.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 15, Prueba N° 03.



Equipo de adherencia a la izquierda, con 1300 lbs psi en la prueba y dado de metal despegado, con un resultado, 100% falla pegante. Fuente Autor

3.4. ANALISIS DE RESULTADOS.

Después de elaborarse y hacerse cumplir las indicaciones del procedimiento de Sandblasting y Pintura para el control de calidad del recubrimiento de acuerdo con las normas *ASTM D4541* y *NTC 3951*. Se realizaron las pruebas y ensayos correspondientes para verificar el éxito del proceso de Sandblasting y Pintura, realizando las mediciones necesarias para el registro en el dossier de calidad. A continuación un caso presentado durante el tiempo de la practica, los cuales trajeron consigo mucha enseñanza, y algunos inconvenientes para la compañía.

3.4.1. Bota de Gas: Durante la práctica en la compañía Tecnitiques Ingenieros S.A.S., se presentó un importante y trascendental problema con un equipo, una Bota de Gas, eran tres Botas de Gas y a pesar de haberse pintado por los mismos operarios, una de estas Botas de Gas tuvo falla la cual se evidenció mientras se estaban llevando a cabo las pruebas de adherencia delante del cliente final, esta Bota de Gas se le había aplicado una pintura Inorgánico de Cinc y este en el momento de la preparación del recubrimiento había sido disuelto con Thiner, mientras que las otras dos Botas que no presentaron este falta de adherencia, se les había aplicado una pintura Rico en Cinc y también su preparación fue disuelta con Thiner.

Después de estar expuesta la Bota de Gas a una NC (No Conformidad), la inspección dio unas fotografías de la morfología de la falla, con las que se concluyó que el recubrimiento presentaba una falta de adherencia tipo cohesiva en 100% del área expuesta al esfuerzo de tracción según la prueba que se realizó acorde a los procedimientos según las normas *ASTM D4541* y *NTC 3951*. Ver fotografías N° 16 a la N° 37.

Fotografía N° 16, Prueba N° 01.



Fotografía N° 17, Prueba N° 02.



Fotografía N° 18, Prueba N° 03.



Fotografía N° 19, Prueba N° 04.



Fotos N°16 a N° 19 de un Termohigrómetro TQC DEWcheck , MD12549 (°C) al iniciar la prueba para el cuerpo de la Bota de Gas. Fuente: Autor. Año:2011.

Fotografía N° 20 a N°23, de las pruebas N° 01 a N° 04.



Antes de iniciar la prueba de adherencia, se realizaron las Mediciones de Espesores de Película Seca correspondientes, con un Medidor de Espesores Positector 6000 F1 s/n 73845.

Fuente: Autor.

Fotografía N° 24, de la Prueba N° 01



**Momento al iniciar prueba, verificando que el equipo de adherencia se encuentra en cero.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 25, de la Prueba N° 01



**Resultado de la prueba, con 500 Psi de adherencia, 100% cohesiva. Resultado Inconforme, falla en la pintura.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 26, de la Prueba N° 02



**Momento en que se inicia la prueba, verificando que el equipo de adherencia se encuentra en cero.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 27, de la Prueba N° 02



**Resultado de la prueba, dando una adherencia de 750 Psi, 90% adhesiva. Resultado Inconforme, aunque da falla del pegante.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 28, de la Prueba N° 03



Momento en que se inicia la prueba, verificando que el equipo de adherencia se encuentra en cero.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 29, de la Prueba N° 03



Resultado de la prueba, dando una adherencia de 750 Psi, 100% adhesiva. Resultado Inconforme, aunque da falla del pegante.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 30, de la Prueba N° 04



Momento en que se inicia la prueba, verificando que el equipo de adherencia se encuentra en cero.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 31, de la Prueba N° 04



Resultado de la prueba, dando una adherencia de 400 Psi, 100% cohesiva. Resultado Inconforme, por falla en la pintura.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 32, de la Prueba N° 05



Momento en que se inicia la prueba, verificando que el equipo de adherencia se encuentra en cero.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 33, de la Prueba N° 05



Resultado de la prueba, dando una adherencia de 650 Psi, 100% cohesiva. Resultado Inconforme, por falla en la pintura.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 34, de la Prueba N° 06



Momento en que se inicia la prueba, verificando que el equipo de adherencia se encuentra en cero.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 35, de la Prueba N° 06



Resultado de la prueba, dando una adherencia de 500 Psi, 100% cohesiva. Resultado Inconforme, por falla en la pintura.
Fuente: Autor.

Fotografía N° 36, de la Prueba N° 07

**Resultado de la prueba, dando una adherencia de 600 Psi, 60% adhesiva. Resultado Inconforme, por falla en la pintura y el pegante.
Fuente: Autor.**

Fotografía N° 37, de la Prueba N° 07

**Resultado de la prueba, dando una adherencia de 700 Psi, 100% cohesiva. Resultado Inconforme, por falla en la pintura.
Fuente: Autor.**

3.4.1.1. Causas de una falla cohesiva. Se puede presentar por 3 causas fundamentales.

- Relación de mezcla de componentes que afectan el curado por inadecuada dosificación: Este caso no aplica para los inorgánicos de cinc debido a que el proceso de curado de este producto no es por reacción química sino por evaporación de solventes.
- Uso de solventes no recomendados por el formulador del recubrimiento, por ejemplo en este caso de la Bota de Gas en Tecnitantes Ingenieros S.A.S., en la trazabilidad que los operarios llevaban, no había información clara de que solvente se utilizó. Los solventes inciden directamente sobre el proceso de curado debido a que cuando se formula un recubrimiento se hace un balance entre la rata de evaporación del vehículo volátil y el solvente adicionado en obra. Si no hay similitud entre las dos velocidades de emisión de volátiles se puede generar atrapamiento de solvente lo cual se manifiesta como falta de curado y se evidencia como falla de adherencia de tipo cohesivo.
- Condiciones ambientales en el proceso de aplicación: Las condiciones ambientales críticas en el proceso de aplicación son la humedad relativa y el punto de rocío. La humedad forma una interfase recubrimiento aire húmedo la cual se convierte en barrera para el escape de volátiles impidiendo curado de

la masa de recubrimiento depositado sobre la superficie metálica.

3.4.1.2. Fallas de adherencia en imprimantes inorgánicos. Con respecto a fallas de adherencia en los recubrimientos imprimantes inorgánicos de cinc, este producto está formulado con matriz tipo silicato y una alta masa de cinc metálico de alta concentración. Esta condición lo hace muy sensible a la acción de solventes no compatibles con la resina aglutinante y como son productos de rápido secado es indispensable utilizar solventes de alta tasa de evaporación con el fin de evitar atrapamiento que pueda generar falta de curado y por ende fallas de adherencia tipo cohesivo.

3.4.1.3. Informes de trazabilidad con resultados inadecuados. Fue necesario revisar los informes de trazabilidad del proceso de aplicación. Donde se encontraron que los datos arrojados por el equipo termohigrómetro, no eran los apropiados y mucho menos los recomendados por las normas *ASTM4541* y *NTC 3951*. Siendo esta Bota de Gas expuesta a la intemperie sin contar con buenas condiciones ambientales para la actividad, la limpieza y la aplicación de las capas del recubrimiento, primer, barrera y acabado.

3.4.2. No Conformidad. A pesar de muchas anomalías técnicas durante el proceso de la práctica, otra que cabe destacar, fue el problema presentado en uno de los campos, que generó una NC (No conformidad), con respecto al esquema de pintura aplicado en las estructuras de los tanques FWKO (fabricados por la compañía). El problema radica en que el cliente según el Data Sheet (especificaciones del cliente) especificó que toda la estructura interna de este tanque llevara una capa de primer y otra capa de acabado, al igual que las paredes internas del tanque. La compañía Tecnitankes Ingenieros S.A.S. únicamente aplicó pintura primer en toda la estructura interna quedando pendiente el acabado de acuerdo a la especificación del cliente. Para solucionar el inconveniente se debió diligenciar un DDR (Design Deviation Request), documento aprobado por el mismo cliente donde se tenía que explicar técnicamente por qué era viable aplicar únicamente primer a la estructura de estos FWKO's, tanques que trabajaron a unas condiciones de diseño dadas por el cliente en el Data Sheet, condiciones como la temperatura y la presión. Entregar este DDR, fue complicado y difícil, por no decir imposible, porque no existía un soporte técnico real que garantizara que el producto primer aplicado podía soportar y proteger la estructura bajo las condiciones de temperatura y presión a las que estarían expuestos; esto porque no se podía certificar por parte del fabricante de pintura, que los imprimantes puedan generar resistencia física al paso de los agentes anticorrosivos, de hecho no es recomendable dejarlos como única capa de protección, debido a que estos requieren ser sellados con recubrimientos de acabado.

3.4.3. Comportamiento de un recubrimiento imprimante epóxico fosfato de cinc. En cuanto al desempeño del recubrimiento imprimante epóxico fosfato de cinc en superficies internas de tanques para almacenamiento de hidrocarburos, de crudo: los imprimantes son películas con pigmentos anticorrosivos de sacrificio y su capacidad de protección se da por acción directa de los pigmentos con el agente corrosivo. Los imprimantes son formulados con resinas epóxicas de grano grueso lo cual les genera mediana capacidad de protección por efecto barrera. Los imprimantes requieren ser sellados con recubrimientos de acabado para generar resistencia física al paso de los agentes anticorrosivos por tal motivo no fue, ni es, ni será recomendable dejarlos como única capa de protección.

3.4.4. Perdidas monetarias: Faltas técnicas, operativas, administrativas, de seguridad o de cualquier índole, no solo genera una NC por parte del cliente, sino además un retraso de importante tiempo en la obra, trayendo como consecuencia multas monetarias por parte del cliente, y esto debido a la improvisación hablada anteriormente por parte de algunos departamentos de la compañía, incluyendo el personal de montaje (de campo), y al desacate e incumplimiento no solo del Data Sheet del cliente, sino del procedimiento de Sandblasting y Pintura del departamento de calidad de la compañía Tecnitankes ingenieros S.A.S.

4. CONCLUSIONES

- Las condiciones ambientales como la humedad, inciden directamente sobre la evaporación del solvente debido a que forma una interfase recubrimiento-agua que impide el escape de los volátiles retardando el secado. E igual efecto tiene el punto de rocío que debe estar por lo menos 3 centígrados por debajo de la temperatura de superficie.
- En el caso de estructuras a las que se les ha aplicado el recubrimiento y éstas presentan deterioro por descuido en la protección, el reacondicionamiento de la superficie resulta más largo y costoso que la misma aplicación del recubrimiento por primera vez.
- Los cambios de temperatura a los que esten expuestos los materiales, pueden hacer de estos un material susceptible de un proceso de corrosión, causando un fenómeno de destrucción, es decir, pueden dar agrietamientos por tensión y en algunos casos es muy común que se facilite la erosión de los residuos de corrosión mejorando lo exposición del metal al electrolito o al agente corrosivo.
- Algunas partes de equipos rotativos de los tanques, como ejes, pernos, tornillería o partes de maquinas con geometría irregular fabricadas en acero al carbono, pueden presentar fácilmente agrietamientos, esto porque estas partes estan sometidas constantemente a la combinación de esfuerzos cíclicos o estáticos, dando una corrosión por agrietamiento, mas exactamente se conoce como una fatiga por corrosión.
- Durante los procesos de soldadura, se pueden encontrar transformaciones metalúrgicas en el metal base, estos procesos pueden causar imperfecciones estructurales del metal como dislocaciones, generando una corrosión tipo pitting, estos son pequeños agujeros cuyo carácter poroso permite un ataque continuo al material, trayendo consigo la corrosión por pitting o por puntos, o mas conocida como corrosión localizada.
- Gracias al seguimiento continuo y estricto que se le dio al seleccionar y diseñar los esquemas de protección mediante recubrimientos, se encontró necesario hacer un balance costo beneficio, para evitar la necesidad de mantenimientos prematuros o al menos disminuir el tener que reemplazar partes o equipos en corto tiempo. Esto porque esta etapa de prefabricado llevaba años generando perdidas de dinero a la compañía.

- Gracias al riguroso control con el que se inspeccionó la llegada de cada insumo enviado por el proveedor, se logró ahorrar desperdicio de tiempo, esto porque anteriormente no había un inspector de calidad dedicado constantemente a esta etapa del prefabricado del tanque y, el producto en el momento de su llegada a la planta de la compañía estaba incumpliendo con las condiciones impuestas en la orden de compra, algunas veces llegaban los productos erronéos, llegaban cantidades incompletas, llegaban productos sin sus respectivas fichas técnicas, otras veces el producto no llegaba en la fecha estipulada, gracias a este insistente control durante la llegada de los materiales se logró no solo ahorrar tiempo sino además dinero a la compañía. Esto porque el retraso desde que se solicita el material al departamento de compras de la misma compañía, luego el departamento de compras a los respectivos proveedores, así mismo el retraso por parte de estos últimos, no solo generaba pérdidas en tiempos de entrega del producto al cliente final, sino además grandes pérdidas monetarias a la compañía. Gracias a este arduo y persistente trabajo, a lograr la comunicación y el apoyo entre los departamentos de la compañía, se logró una optimización sólida y valiosa en los resultados finales de esta etapa del prefabricado.

5. RECOMENDACIONES

- Después de realizar la aplicación del esquema de pintura solicitada por el cliente se realizaron pruebas de adherencia a la pintura. Estos datos arrojaron valores promedio entre 400 psi y 700 psi, valores que se encuentran por debajo de los solicitados por el interventor (900 psi).
- La conclusión a la que llegó el proveedor de la pintura es que el primer utilizado (inorgánico de zinc) pudo haber quedado con un espesor mayor a 3 mils. Por parte del departamento de calidad se llegó a la conclusión que no tuvo el tiempo de secado adecuado. Entonces, como el gasto de pintura implicaba menos pérdida monetaria que una posible mala imagen de la compañía, una nueva NC (no conformidad) o quizás la devolución del producto por parte de la interventoría, se recomendó retirar la pintura que había sido aplicada y se cambió el primer, se utilizó imprimante epóxico rico en zinc que tiene las mismas propiedades del inorgánico de zinc y se puede obtener un mayor espesor; Completándose así el esquema con la barrera (autoimprimante serie 100) y acabado (uretano serie 36 negro). Se realizaron las mediciones de adherencia y se obtuvieron valores entre 1000 psi y 1200 psi.
- Es necesaria una preparación óptima de la superficie que garantice el éxito en su protección, un correcto método de aplicación del recubrimiento y un control de calidad del proceso, eso porque los metales tienden a su estado más oxidado, que a la vez es su estado más estable y es donde se produce un mayor deterioro en la calidad de los mismos.
- El éxito de un proceso de control de corrosión mediante recubrimientos para proteger elementos metálicos ferrosos depende fundamentalmente de:
 - a) Adecuado análisis de las condiciones de exposición.
 - b) Diseño del esquema de recubrimientos a aplicar.
 - c) Método de alistamiento o preparación de superficies.
 - d) Calificación del método de aplicación de recubrimientos.
 - e) Calificación del personal involucrado en el proceso (Operarios de chorro abrasivo, Aplicadores de recubrimientos e inspectores de calidad).
 - f) Aplicación de normas técnicas en los procesos de aseguramiento de calidad.

NORMAS Y BIBLIOGRAFIA MINIMAS APLICABLES.

AETEPA. Asociación Española de Técnicos de Pinturas y Afines. Jordi Calvo carbonell. Pinturas y Recubrimientos. <http://documents.mx/documents/pinturas-y-recubrimientos.html> (2015).

Almeida-Portugol, Elizabete. Pinturas anticorrosivos. Recubrimientos Aplicados a la Integridad de Ductos. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.

American Society of Testing and Materials (ASTM) (s.f.). ASTM D4541. Standard Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. ASTM International.

American Society of Testing and Materials (ASTM). (s.f.). ASTM E337-02 (2007) Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures). ASTM International.

Avner , Sidney. (1977). Introducción a la Metalurgia. Ciudad de México: Editorial Azteca. Introducción a la metalurgia físico.

CG-DMM-1005-ME-ES-6193-105. Especificación técnica protección a superficies metálicas, cliente.

C.A. Palacios, "Inhibición de Corrosión en Instalaciones de Producción de Petróleo y Gas – Selección y Experiencias para Mejorar su Efectividad", LATINCORR2006_227, Fortaleza, Brasil, Mayo 2006.

C.J. Ortiz-Alonso, J.G. Gonzalez-Rodriguez, J. Uruchurtu-Chavarin, J.G. Chacon-Nava. A Study of the Sulfide Stress Corrosion Cracking in a Supermartensitic Stainless Steel by Using EIS. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol.10. No.5. pp5249-5263 (2015).

http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5874/1/37758_1.pdf . Optimización del sistema de medición Estática en tanques de almacenamiento de crudos y derivados limpios (Gasolina, Diesel, Jet Fuel) y esferas de GLP.

JL Tristancho-Reyes, J. G. Chacón-Nava, F. Almeraya-Calderón. Resistencia a la corrosión a alta temperatura de recubrimientos NiCrAlY y NiCrFeNbMoTiAl

depositados por APS. *Rev Facultad de Ingeniería-Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Vol.23. No.38. pp21-27 (2015).

Keyser, Doyler. *Materia/es y procesos de manufacturo poro ingenieros*.

Munger, Charles. *Corrosion Prevention Protective Coatings*.

NACE. (1975). TM0175. *Visual Standard for Surfaces of New Steel Centrifugally Blast Cleaned with Steel Grit and Shot*. NACE.

Norma de Condiciones ambientales; American Society of Testing and Materials (ASTM) (s.f.). ASTM 337.

Norma de Conductividad: ISO 8502 – 6.

Norma de Inspección Visual: VIS– 89.

Norma de Perfil de anclaje; American Society of Testing and Materials (ASTM) (s.f.) ASTM D 4417.

NTC. (18 de 09 de 1996). NTC 3951. *PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. SISTEMAS DE PINTURAS PROTECTORAS. VARIABLES DE EVALUACION EN CAMPO*. Norma Técnica Colombiana.

Seminario de Corrosión Interna: *Mecanismos de evaluación y control en la industria de los hidrocarburos. Descripción de los mecanismos de corrosión interna y control efectivo* (2011).

SSPC-PA 2 *Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gauges*. *Medición de Espesores*.

Steel Structures Painting Council (SSPC). *Surface Preparation Specifications*.

Vlack, Van. (1981). *Ingeniería de materiales*. Ciudad de México: Editorial Continental.

ANEXO A

CONTROL DE CORROSION MEDIANTE RECUBRIMIENTOS EN TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE CRUDO PESADO

K. Arevalo¹; E. Franco Delgado³

¹Q.C. Departamento de Calidad, Tecnitiques Ingenieros S.A.S., correo: kimberlyarevalo@tecnitiques.com

³Gerente, Tecnitiques Ingenieros S.A.S. correo: eugeniofranco@tecnitiques.com

RESUMEN

El almacenamiento de crudo pesado en tanques requiere de esquemas de protección contra la corrosión con especificaciones de alta exigencia, al igual que procedimientos de aplicación y control muy estrictos, debido a que se manejan aguas ricas en componentes agresivos para superficies metálicas ferrosas, lo mismo que gases que se concentran en la parte superior del tanque como consecuencia de altas temperaturas, que es preciso tener en cuenta para el manejo de este tipo de crudo.

Si no se atienden estrictamente las especificaciones y la normatividad técnica existentes, se afecta la integridad del equipo por fallas como roturas en fondo, primer anillo y techo por acción de la corrosión, que es una de las amenazas más importantes para el buen funcionamiento del tanque.

SUMMARY

The heavy oil storage in tanks requires protection schemes against corrosion with highly demanding specifications and a strict control application procedure as well, because the water that is managed have aggressive components for ferrous metal surfaces, gases which are concentrated on the top of the tank as high temperature consequences as well that is important to should be keep in mind to the management in this kind of oil.

If it doesn't strictly follow the specifications and the existing technical normative, it could be affected the integrity of the equipment by fails as bottom, first ring and roof breaks by corrosion action, which is one of the most important threats for the good function of the tank.

PALABRAS CLAVE: sandblasting, punto de rocío, preparación de superficies, espesor de película, airless.

INTRODUCCION

La corrosión está relacionada en la industria con problemas tanto de seguridad como económicos. Actualmente, empresas de diferentes sectores empresariales, tales como

industria petrolera, metalmecánica, energética, aeronáutica, química, entre otras, interesadas en el control de la corrosión, trabajan en el tema de minimizar los costos y los riesgos producto de la misma. En la Industria

Petrolera Colombiana, por ejemplo, un gran porcentaje de su producción está dado por la explotación de crudo pesado, por lo que es preciso el montaje de una gran infraestructura de facilidades, conformada por tanques de proceso y de almacenamiento, y por ductos de conducción construidos en acero al carbono.

Los tanques para almacenamiento de crudo pesado requieren de una óptima preparación de la superficie, que garantice una efectiva protección contra la corrosión, lo que hace necesario un exigente esquema de limpieza, pintura e inspección del material.

METODOLOGÍA

Esta limpieza se hace posible mediante un proceso de chorro abrasivo, el cual es el más adecuado para garantizar la adherencia del recubrimiento.

En la mayoría de los casos se hace uso del proceso de Sandblasting, el cual consiste en proyectar un chorro de arena a alta velocidad contra la superficie que se va a limpiar, obteniéndose un perfil de rugosidad o perfil de anclaje adecuado para que el revestimiento se adhiera de manera eficiente.

El Sandblasting debe cumplir unos grados de limpieza definidos por algunas normas, como las del Comité de Pintura de Estructuras de Acero (SSPC), NACE, SIS, totalmente compatibles con el esquema de recubrimiento a emplear, Figura 1.

Tanto los procesos de preparación de superficies como los métodos de control y aseguramiento de calidad, son ejecutados de acuerdo a estándares internacionales y a especificaciones técnicas desarrolladas por firmas de consultoría e ingeniería.

El buen desempeño que garantice la integridad de un equipo instalado en las facilidades de producción, es función de las etapas de diseño de esquemas de recubrimientos, alistamiento de superficies, métodos y procedimientos de aplicación, competencias de los aplicadores y aseguramiento de la calidad en todas las etapas del proceso.

Además de una adecuada limpieza, se deben tener en cuenta también las condiciones ambientales, como la humedad relativa, esta no debe superar el 85%, la temperatura de la superficie del material debe estar entre 3 °C (37,4 °F) y 50 °C y la diferencia entre la temperatura del metal y la temperatura del punto de rocío, la cual debe ser mayor a 5°C, de acuerdo con la norma ASTM E-337 (ASTM, E337).

Figura 1. Proceso de Sandblasting bajo la norma SSPC-SP5 Grado metal blanco, del comité de Pintura de Estructuras de Acero (SSPC), NACE, SIS, totalmente compatibles con el esquema de recubrimiento a emplear.

Figura 1.

Esta limpieza no debe ser realizada en días lluviosos o en superficies con condensación.

Se debe verificar que no se presentan contaminantes, trazas de arena o arcilla sobre el metal base ya que esto afecta el desempeño del sistema de pintura.

Teniendo en cuenta las condiciones de operación, el ambiente que rodea al material de la superficie y de que el 100% del área inspeccionada de Sandblasting cumpla con los requerimientos, se puede definir un esquema de pintura que implica la aplicación de varias capas mediante el uso de equipos de aspersion, hasta lograr unos espesores de película mínimos, normalmente tipo Airless (pistola rocío sin aire) el cual deberá tener un filtro para evitar mezcla de agua con la pintura.

Es importante el tiempo de curado entre capas para lograr el éxito del recubrimiento.

Es importante contar con la adecuada selección del diámetro de boquilla para el área de cobertura y un especial cuidado con el traslape y las pasadas para evitar aplicación excesiva que podría resultar en un escurrimiento, en depresiones y arrugas aisladas.

La aplicación de la pintura se realizará en estricto cumplimiento con las instrucciones del fabricante.

Las capas de pintura que se apliquen, deberán quedar uniformes y libres de burbujas, poros y manchas, las capas se aplicarán en cantidades suficientes pero no excesivas para cubrir las superficies. Para garantizar el espesor, se realizan las mediciones respectivas de acuerdo a la norma SSPC-PA-2 "Measurement of Dry Paint Thickness With Magnetic Gages" (SSPC-PA 2.); también es indispensable el control de adherencia de la pintura de acuerdo con la norma ASTM D-4541 (ASTM, D 4541).

Se deben realizar las pruebas de adherencia para asegurar la cohesión entre capas, cada una de las cuales consiste en colocar un dado adherido a la superficie pintada durante aproximadamente 40 minutos, para después retirarlo con un equipo hidráulico de tracción que mide la presión (psi) a la cual se retira el dado. Estas pruebas son realizadas por el inspector de Control de Calidad, de acuerdo con las normas, las especificaciones del cliente y las fichas técnicas del fabricante de la pintura (SIKA, 2008), (NTC, 1996), (NACE, 1975).

PRUEBAS Y ENSAYOS DE MEDICIÓN DEL PERFIL DE RUGOSIDAD, ESPESORES DE PELÍCULA HUMEDA, PELÍCULA SECA Y PRUEBAS DE ADHERENCIA DE PINTURA.

La rugosidad debe medirse diariamente por área preparada tanto para el exterior como en interior del tanque, bajo las especificaciones de la norma SSPC-SP5. Se dejará un registro del perfil de anclaje con cinta press-film. El perfil de anclaje mínimo debe ser 2 a 3 mils.

Tan pronto sea aplicada la pintura, se realiza la medición del espesor de película húmeda del imprimante, para garantizar de esta manera el espesor requerido. Una vez aplicada la pintura cumpliendo con el tiempo de curado, se realiza la medición del espesor de película seca del imprimante, para garantizar de esta manera el espesor requerido. Esta medición se hace de acuerdo a la norma SSPC-PA-2 "Measurement of dry paint Thickness with magnetic Gages", con el equipo Elcometer digital. Se efectuaran 5 lecturas uniformemente distribuidas por cada diez (10) metros cuadrados o fracción de superficie pintada.

La pintura puede tener espesores puntuales con valores de hasta el 80% del espesor mínimo requerido, pero el espesor promedio de las mediciones no debe ser inferior al mínimo requerido.

Una vez aplicada la pintura total, alcanzando el espesor requerido y su tiempo de curado, se realiza la prueba de adherencia, que consiste en colocar unos dados con Pegante 3M.

Para después del secado, realizando el retiro de dichos dados con un equipo hidráulico de tracción que mide la presión (psi) a la cual se retira el dado. Los valores mínimos medidos no deben ser inferiores a 400 psi, de acuerdo con los estándares ASTM D4541 y NTC 3951.

ANALISIS DE RESULTADOS

Debido a que los metales tienden a su estado más oxidado, que a la vez es su estado más estable y es donde se produce un mayor deterioro en la calidad de los mismos, se hace necesaria una preparación óptima de la superficie que garantice el éxito en su protección, el correcto método de aplicación del recubrimiento y el control de calidad del proceso.

En el caso de estructuras a las que se les ha aplicado el recubrimiento y éstas presentan deterioro por descuido en la protección, el reacondicionamiento de la superficie resulta más largo y costoso que la misma aplicación del recubrimiento por primera vez.

CONCLUSIONES

El éxito de un proceso de control de corrosión mediante recubrimientos para proteger elementos metálicos ferrosos depende fundamentalmente de:

- Adecuado análisis de las condiciones de exposición.
- Diseño del esquema de recubrimientos a aplicar.
- Método de alistamiento o

- preparación de superficies.
- Calificación del método de aplicación de recubrimientos.
 - Calificación del personal involucrado en el proceso (Operarios de chorro abrasivo, Aplicadores de recubrimientos e inspectores de calidad).
 - Aplicación de normas técnicas en los procesos de aseguramiento de calidad.
 - Cumplimiento de las especificaciones técnicas

- PROTECTORAS. VARIABLES DE EVALUACION EN CAMPO. Norma Técnica Colombiana.
- SIKA. (2008). Catálogo de productos del fabricante productos de recubrimiento.
 - Obtenido de http://www.sika.com.co/manual_recubrimientos_2008.pdf.
 - SSPC. (s.f.). Steel Structures Painting Council. Surface Preparation Specifications.
 - SSPC-PA 2. (s.f.). Measurement of Dry Paint Thickness With Magnetic Gauge.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (s.f.). D 4541. Standard Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. ASTM International.
- ASTM. (s.f.). E337-02(2007) Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures). ASTM International.
- NACE. (1975). TM0175. Visual Standard for Surfaces of New Steel Centrifugally Blast Cleaned with Steel Grit and Shot. NACE.
- NTC. (18 de 09 de 1996). NTC 3951. PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. SISTEMAS DE PINTURAS

AGRADECIMIENTOS

- Los autores manifiestan sus agradecimientos a: TECNITANQUES INGENIEROS S.A.S., por el préstamo de sus instalaciones.
- QUILYAM CASALLAS, ASCOR; por su tiempo, apoyo técnico y dedicación.
- EUGENIO FRANCO DÍAZ, Tecnitanques Ingenieros S.A.S.; por su colaboración.
- MAURICIO GONZALEZ, Tecnitanques Ingenieros S.A.S.; por su tiempo.
- CUSTODIO VASQUEZ; Universidad Industrial de Santander; por su tiempo.

ANEXO B

CORROSION CONTROL COATINGS FOR WELDED STORAGE TANKS OF HEAVY OIL

K. Arevalo¹; E. Franco Delgado²

¹Q.C. Quality Control Department, Tecnitanques Ingenieros S.A.S., Industrial University of Santander,

e-mail: kimberlyarevalo@tecnitanques.com, kimangy@hotmail.com

²Manager, Tecnitanques Ingenieros S.A.S. e-mail: eugeniofranco@tecnitanques.com

ABSTRACT

The storage of heavy oil in tanks requires protection schemes against corrosion with highly demanding specifications and a strict control application procedure, mainly because the additional water that is separated from the heavy oil contain aggressive components for ferrous metal surfaces, gases that are usually concentrated on the top of the tank itself at high temperatures create different conditions that need to be keep in mind in order to safely storage this type oil.

If it doesn't strictly follow the specifications and the existing technical normative, it could be affected the integrity of the equipment by fails as bottom, first ring and roof breaks by corrosion action, which is one of the most important threats for the correct integrity of the tank.

KEY WORDS: corrosion protection, sandblasting, dew point, surface preparation, film thickness, airless.

INTRODUCTION

The corrosion it's related in the industry with both security and economic problems.

Currently, companies from different business sectors such as petroleum, metallurgy, energy, aeronautics, chemistry, among others, involved in corrosion control, works in the subject of minimize costs and the risks because of it same.

In the Colombian petroleum industry, for example, a big percentage of its production is given by the heavy oil exploitation, and then is necessary the construction of a huge facilities infrastructure, consisting of process, storage tanks and driving pipeline built with carbon steel.

The heavy oil storage tanks require an optimal surface preparation, to ensure effective protection against corrosion, which makes necessary a demanding schedule of cleaning, painting and material inspection.

Both surface preparation processes and the methods of control and quality assurance are performed in accordance with international standards and technical specifications developed by consulting and engineering firms.

The good performance to ensure the integrity of a device installed in production facilities is a function of the schematic design phases of coatings, surface cleaning and preparation, methods and procedures for implementation, responsibilities of applicators and quality assurance in all stages of the process.

METHODOLOGY

This cleaning is made possible through a process of abrasive blasting, which is the best way of ensuring the adhesion of the coating. In most cases, uses the sandblasting process, which consists of projecting a sandblast at high speed against the surface to be cleaned, obtaining a roughness profile or anchor profile suitable for the coating adherence's efficiently.

The sandblasting must accomplish certain levels of cleaning defined by regulations, such as the Committee on Steel Structures Painting (SSPC), NACE, SIS, fully compatible with the coating scheme to be used, Figure 1.

In addition to proper cleaning, you must keep in mind environmental conditions such as relative humidity, this should not exceed 85%, material surface temperature should be between 3 °C (37,4 °F) and 50 °C and the difference between the metal temperature and dew point temperature, which must be greater than 5 ° C, according to the ASTM E-337 (ASTM E337).

Figure 1. Sandblasting process under SSPC-SP5 standard white metal grade of the Steel Structures Painting committee (SSPC), NACE, SIS, fully compatible with the coating scheme to use.



This cleaning mustn't be done on rainy days or with condensation on surfaces. Must verify that there are no present contaminants, traces of sand or clay on the base metal that affects the performance of the paint system.

Keeping in mind the operating conditions and the environment surroundings the surface material and that 100% of the inspected area of sand blasting meets the requirements, so it's necessary define a paint scheme that involves applying several layers using spray equipment, to achieve a minimum film thickness required, airless type normally (airless spray without air) which must have a filter to avoid mixing water with the paint.

Is important to select the proper nozzle diameter for coverage the total area and to have special care in the last overlapping and to avoid excessive use, because it could be result in a

runoff in isolated depressions and wrinkles.

It is important the curing time between coats applications to achieve the success of the coating. The paint application is carried out in strict accordance with manufacturer's instructions.

The layers of paint applied, must to be uniform and free of bubbles, pores and blemishes, the layers are applied in amounts sufficient but not excessive to cover the surfaces.

To ensure the thickness measurements were performed in accordance with SSPC-PA-2 "*Measurement of Dry Paint Thickness With Magnetic Gages*" (SSPC-PA 2.) standard; but it is also essential to control paint adhesion under ASTM D-4541 (ASTM D 4541) standard.

According with this normative, must be performed adhesion tests to ensure cohesion between layers, each of which consists of placing a die attached to the painted surface around of 40 minutes, then remove with a calibrated drive hydraulic equipment that measures the pressure (psi) to which the die is removed. These tests are conducted by the Quality Control inspector, according to the standards, customer specifications and technical specifications of the manufacturer of the paint (SIKA, 2008), (NTC, 1996), (NACE, 1975).

TESTS AND TRIALS

PROFILE MEASUREMENT, THICKNESS, ADHESION TESTS	ROUGHNESS WET FILM FILM PAINT
---	--

The roughness is measured daily by area prepared for both outside and inside the tank, the specifications of SSPC-SP5. It will leave a record of the anchor profile press-film tape. The minimum anchor profile should be 2 to 3 mils.

As soon as the paint applied, there will be the measurement of wet film thickness of primer, thus ensuring the required thickness.

The painting may have specific thickness with values up to 80% of the minimum thickness required, but the average thickness of the measurements should not be less than the minimum required.

After applying the paint to comply with the curing time, there will be measuring the dry film thickness of primer, thus ensuring the required thickness. This measurement is made in accordance with SSPC-PA-2 "Measurement of dry paint thickness with magnetic gages," with the Elcometer digital computer. 5 readings were made evenly distributed for every ten (10) square feet or fraction of a painted surface.

The painting may have specific thickness with values up to 80% of the minimum thickness required, but the average thickness of the measurements should not be less than the minimum required.

After applying the total picture, reaching the required thickness and curing time, the test will bond, which involves placing dice with 3M Glue, then drying, making the removal of these dice with a hydraulic equipment traction measured the pressure (psi) at which the die is removed.

Minimum measured values mustn't be less than 400 psi according to ASTM D4541 and NTC 3951.

RESULTS ANALYSIS

Just because the metals tend to its most oxidized status, which in turn is its most stable status too and where there is a further deterioration in the quality of it same, it is necessary an optimal preparation of the surface to ensure protection success, the proper method of coating application and the process quality control.

In the case of structures to which the coating has been applied and these have deteriorated by neglect in the protection, refurbishment of the surface is longer and more expensive than the same coating application for the first time.

CONCLUSIONS

Success of a process of corrosion control by coatings to protect ferrous metal components depends critically of:

- Proper analysis of the conditions of exposure.
- Scheme design coatings to be applied.
Recruitment Method or surface preparation.
- Coating application method qualification.
Personnel involved in the process (Operators abrasive blasting,

coating applications and quality inspectors) qualification.

- Application of technical standards in the quality assurance processes.
- Compliance with technical specifications provided by the manufacturer of the coating.

BIBLIOGRAPHY

- ASTM. (s.f.). D 4541. Standard Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. ASTM International.
- ASTM. (s.f.). E337-02(2007) Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures). ASTM International.
- NACE. (1975). TM0175. Visual Standard for Surfaces of New Steel Centrifugally Blast Cleaned with Steel Grit and Shot. NACE.
- NTC. (18 de 09 de 1996). NTC 3951. PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. SISTEMAS DE PINTURAS PROTECTORAS. VARIABLES DE EVALUACION EN CAMPO. Norma Técnica Colombiana.


- SIKA. (2008). *Catálogo de productos del fabricante productos de recubrimiento*. Obtenido de http://www.sika.com.co/manual_recubrimientos_2008.pdf.
- SSPC. (s.f.). Steel Structures Painting Council. *Surface Preparation Specifications*.
- SSPC-PA 2. (s.f.). Measurement of Dry Paint Thickness With Magnetic Gauge.
- EUGENIO FRANCO DÍAZ, Tecnitanques Ingenieros S.A.S.; for his cooperation.
- MAURICIO GONZALEZ, Tecnitanques Ingenieros S.A.S.; for his time.
- CUSTODIO VASQUEZ, Industrial University of Santander; for his time.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Authors would like to express their gratitude to:

- TECNITANQUES INGENIEROS S.A.S., for the loan of their facilities.
- QUILYAM CASALLAS, ASCOR; for his time, technical support and dedication.

ANEXO C

 <p>Tecnitankques Ingenieros S.A.S BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA</p>	<p>TECNITANQUES INGENIEROS S.A.S</p>	<p>TTCC-P-014-1103 REVISIÓN 0</p>
<p>Fecha Emisión: 11 de Agosto 2011</p>	<p>PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA Y APLICACION DE PINTURA PARA TANQUES SEGUN API 650 Y RECIPIENTES A PRESION</p>	<p>Pág. 67 de 79</p>

CLIENTE: ECOPETROL S.A.

PROYECTO: Construcción y montaje de un (1) tanque de lavado de 50.000BLS y dos (2) tanques de surgencia de 10.700 BLS, cada uno, Incluyendo las botas de gas, y una (1) opción para la Construcción y montaje de un (1) tanque de surgencia de 10700 BLS, para la ampliación de la estación acacias 90k, Perteneciente a la superintendencia de operaciones Castilla Chinchimene scc, de ECOPETROL S.A.

CONTROL DE REVISIONES Y APROBACIONES

Área que:

ELABORA: **Inspector Control Calidad**
 REvisa: **Jefe Control Calidad**
 APRUEBA: **Director de Proyecto**

REV No.	No PÁGINAS	ELABORADO FIRMA FECHA	REVISADO FIRMA FECHA	APROBADO O FIRMA FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN.
0	11	K.A.S. 11-08-2011	M.G.M. 11-08-2011	H.G. 11-08-2011	PRIMERA EDICIÓN

DISTRIBUCIÓN

No.

	Copia No.	Copia
Gestión Gerencial	()	Montaje ()
Gestión Integral	()	HSE y Rec. Hu ()
Gestión comercial	()	Mantenimiento ()
Planificación del producto	()	Gestión Adm. ()
Diseño	()	Almacén ()
Compras	()	
Fabricación	()	

1.1. COPIA

1.1.1. CONTROLADA:
SI NO

COPIA No. _____

ASIGNADA A:

FECHA ENTREGA:

1. OBJETIVO

El propósito de este procedimiento define los requerimientos mínimos de limpieza, preparación de superficie, aplicación de pintura e inspección de control de calidad, a efectuar durante el recubrimiento en la prefabricación y montaje mecánico de tanques de almacenamiento API 650, dispuestos en la ampliación de la estación Acacias 90k, perteneciente a la superintendencia de operaciones Castilla Chinchimene scc, de ECOPETROL S.A.

2. ALCANCE

Este procedimiento fija las condiciones desde la limpieza hasta el recubrimiento de los recipientes, tanque y superficies metálicas contra la corrosión y la acción externa de agentes agresivos, prefabricados en el taller de producción de Tecnitankes Ingenieros S.A.S y en el montaje mecánico en el campo de ECOPETROL S.A., en la estación Acacias 90k, perteneciente a la superintendencia de operaciones Castilla Chinchimene scc, en el departamento del Meta Colombia.

3. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

3.1 SAND BLASTING: Limpieza con chorro de arena a presión.

Es un método para preparación de superficie y lograr protección de larga vida. Consiste en proyectar un chorro de arena a alta velocidad contra la superficie que se va a limpiar, obteniéndose un “perfil de rugosidad” o “perfil de anclaje” adecuado para que la pintura o el revestimiento se adhiera de manera eficiente.

C.C. control calidad

P. Producción.

3.2 LIMPIEZA SSPC-SP-3: Limpieza con herramienta manual.

Eliminación de óxido, capa de laminación y pintura suelta (todos sueltos) al grado especificado, mediante herramienta eléctrica, decapado, cepillado con escobilla metálica y esmerilado, herramientas neumáticas.

3.3 LIMPIEZA SSPC-SP-5: Limpieza a metal blanco con chorro.

Se define como una superficie con color uniforme gris blanco metálico, ligeramente rugosa para formar un conveniente perfil de anclaje para la pintura. Como mínimo un 99 % de la superficie quedará libre de todo residuo visible y en el resto se observaran ligeras decoloraciones. La superficie quedará libre de aceite, grasa, suciedad, cascarilla de laminado visible, herrumbre, productos de corrosión, óxidos, pintura o cualquier otra materia extraña.

3.4 LIMPIEZA SSPC-SP6: Limpieza comercial con chorro de arena a presión.

Eliminación completa de escamas de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña, excepto las sombras, ralladuras, o decoloraciones ligeras ocasionadas por la oxidación, el manchado, los óxidos de laminación y los residuos.

3.5 LIMPIEZA SSPC-SP-10: Limpieza a metal casi blanco.

Es aquella en la cual se ha eliminado todo el aceite, grasa, suciedad, costras de laminación, óxidos, pinturas y otros materiales extraños, excepto pequeñas rayas o ligeras decoloraciones producidas por manchas de óxido, de calamina o de pintura compacta, las cuales pueden permanecer sobre la superficie. Como mínimo un 95 % de la superficie quedará libre de todo residuo visible y en el resto solo se observaran las ligeras decoloraciones antes mencionadas.

4. NORMAS DE REFERENCIA

- Steel Structures Painting Council. Surface Preparation Specifications. SSPC
- Catálogo de productos del fabricante productos de recubrimiento.
- SSPC-PA 2 “Measurement of Dry Paint Thickness With Magnetic Gauge”.
- ASTM D 4541 “Standard Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers”.
- NTC 3951 Procedimientos de muestreo para inspección por variables parte 1: especificación para muestreo simple clasificados por nivel aceptable de calidad (NAC) para inspección lote.
- CG-DMM-1005-ME-ES-6193-105 Especificación técnica protección a superficies metálicas, cliente.
- NACE TM-01-75 Visual standard for surfaces of new steel.
- Suministro y aplicación de pinturas para Tubería y equipos:ECP-GTP-F-38-NIP-57-04
- Directriz sobre código de colores y señales Industriales ECP-DHS-G-009
- Job design specification for painting JSD 2300 Serial 01 Rev 0 (Proveedores aprobados por el cliente)

5. RESPONSABILIDADES.

PINTURA: La correcta aplicación del recubrimiento por parte de los aplicadores es responsabilidad del supervisor de pintura en patio de taller y del ingeniero residente mecánico en el montaje de acuerdo a los ítems de este procedimiento, utilizando adecuadamente los recursos disponibles y control de consumibles usados en el desarrollo del proceso.

INSPECCION: Es responsabilidad del inspector de control de calidad en prefabricación y en el montaje tanto del Ingeniero Residente Mecánico como del inspector calidad, verificar el cumplimiento de los requerimientos de este procedimiento y de las especificaciones del cliente así como de documentar los resultados de la inspección y mantener disponible la documentación para revisión del cliente.

6. PROCEDIMIENTO.

6.1 Sandblasting en taller durante el prefabricado.

Durante el proceso de Sandblasting en el taller de prefabricado se debe garantizar el cumplimiento de los siguientes ítems descritos así:

El inspector de calidad, y/o aplicador debe medir las condiciones ambientales y controlarlas de acuerdo con los siguientes ítems. No se debe permitir bajo ninguna circunstancia que se aplique sandblasting si no se cumplen las siguientes condiciones ambientales.

- La humedad relativa en el ambiente no debe superar 85%
- La temperatura del material debe estar entre 3 °C (37,4 °F) y 50 °C.
- La diferencia entre la temperatura del metal y la temperatura del punto de rocío debe ser mayor a 3°C.

El inspector de Control de Calidad, y/o aplicador deben inspeccionar visualmente la limpieza para verificar el cumplimiento del grado de limpieza de Metal Blanco SSPC-SP-5 para la parte interior y exterior.

Esta preparación no debe ser realizada en días lluviosos o en superficies con condensación. Las superficies terminadas deberán limpiarse con cepillo de pelo, cerda o fibra, soplar con aire comprimido o limpiarse por vacío con el propósito de remover las trazas de los productos de la limpieza con chorro de arena.

Se debe verificar que no se presentan contaminantes, trazas de arena o arcilla sobre el metal base ya que esto afecta el desempeño del sistema de pintura.

Luego de que el 100% del área inspeccionada de Sandblasting cumpla con estos requerimientos se puede aprobar para pintura.

6.2 METODOS PARA LA APLICACION DE PINTURA DE PROTECCION EN TALLER Y CAMPO

6.2.1 PINTURA EN TALLER

6.2.1.1 Aplicación de pintura en taller luego de Sandblasting.

La aplicación de la pintura se realizará en estricto cumplimiento con las instrucciones del fabricante.

Las capas de pintura que se apliquen, deben estar de acuerdo al esquema de pintura deberán quedar uniformes y libres de burbujas, poros y manchas, las capas se aplicarán en cantidades suficientes pero no excesivas para cubrir las superficies.

En prefabricado se dispondrá de un equipo convencional Airless (pistola roció sin aire) el cual deberá tener un filtro para evitar mezcla de agua con la pintura. Se tendrá en cuenta la adecuada selección del diámetro de boquilla para el área de cobertura y un especial cuidado con el traslape y las pasadas para evitar aplicación excesiva que podría resultar en un escurrimiento, en depresiones y arrugas aisladas.

En la aplicación de pintura se verificara las mismas condiciones ambientales descritas en el numeral 6.1

Se debe inspeccionar visualmente la pintura para verificar el cumplimiento del acabado superficial del sistema de pintura, no debe estar mareado o con ampolladuras. Toda capa de pintura aplicada que presente desprendimiento, agrietamiento o mala adherencia será removida y reparada.

El inspector de Control de Calidad o en su defecto el aplicador debe verificar los espesores de película Húmeda para controlar el espesor de película seca.

En el taller de Tecnitiques Ingenieros S.A.S Soacha, Se aplicará pintura a los ítems prefabricados para montaje mecánico con este método y con el siguiente esquema de pintura:

6.2.1.2 Esquema de pintura en taller

Esquema de superficie INTERIOR EN TANQUES según API 650 y recipientes a presión en taller:

Tanques según API 650: Sandblasting grado metal blanco norma SSPC-SP5, perfil de anclaje 2,5 mils a 3 mils, se aplicará pintura IMPRIMANTE EPOXICINCO POLIAMIDA Sigmazinc 102, a un espesor de 3 mils a 4 mils para proteger la limpieza.

Recipientes a presión: Sandblasting grado metal blanco norma SSPC-SP5, perfil de anclaje 2,5 mils a 3 mils, se aplica la capa de barrera y acabado con EPOXIFENÓLICO SIGMA NOVAGUARD 840, con un espesor de 9 mils a 11 mils en la barrera. Espesor final mínimo interior de película seca: 12 mils a 15 mils.

Esquema de superficie EXTERIOR EN TANQUES según API 650 y recipientes a presión en taller:

Tanques según API 650: Sandblasting grado metal blanco norma SSPC-SP5, perfil de anclaje 2,5 mils a 3 mils, se aplicará pintura AUTOIMPRIMANTE EPÓXICO SIGMACOVER 410, a un espesor de 5 mils a 6 mils para proteger la limpieza.

Recipientes a presión: Sandblasting grado metal blanco norma SSPC-SP5, perfil de anclaje 2,5 mils a 3 mils, pintura AUTOIMPRIMANTE EPÓXICO SIGMACOVER 410, a un espesor de 5 mils a 6 mils. Por ir aislado térmicamente, no requiere de pintura acabado.

Después de aplicado el recubrimiento se debe proteger el material pintado evitando daños mecánicos y que quede a la intemperie.

Esquema de pinturas para escaleras exteriores, barandas y pasarelas de diques: Sandblasting grado comercial norma SSPC-SP6, perfil de anclaje 2,5 mils a 3 mils, se aplicará pintura AUTOIMPRIMANTE EPÓXICO SIGMACOVER 410, a un espesor de 3 mils a 4 mils, y acabado con URETANO RAL 1003 SIGMADUR 550, a un espesor de 2 mils a 3 mils, en la parte horizontal Ral amarillo 1003 y la parte vertical Ral negro 9004.

Esquema de pinturas para barandas de techo perimetral: Sandblasting grado comercial norma SSPC-SP6, perfil de anclaje 2,5 mils a 3 mils, AUTOIMPRIMANTE EPÓXICO SIGMACOVER 410, a un espesor de 3 mils a 4 mils, y acabado con URETANO RAL 1003 SIGMADUR 550, a un espesor de 2 mils a 3 mils, en la parte horizontal Ral amarillo 1003 y la parte vertical Ral negro 9004.

6.2.2 PINTURA EN CAMPO

El esquema de pintura interior, se debe aplicar antes de la prueba de estanqueidad (Hidrostática).

En montaje de campo, se aplicará la pintura con rodillo recubridor o en su defecto, se dispondrá de un equipo convencional Airless (pistola rocío sin aire) el cual deberá tener un filtro para evitar mezcla de agua con la pintura. Se tendrá en cuenta la adecuada selección del diámetro de boquilla para el área de cobertura y un especial cuidado con el traslape ya las pasadas para evitar aplicación excesiva que podría resultar en un escurrimiento, en depresiones y agujas aisladas.

En la aplicación de la pintura se verificará las mismas condiciones ambientales descritas en el numeral 6.1.

Se debe inspeccionar visualmente la pintura para verificar el cumplimiento del acabado superficial del sistema de pintura, no debe estar mareado o con ampolladuras. Toda capa de pintura aplicada que presente desprendimiento, agrietamiento o mala adherencia será removida y reparada.

El inspector de Control de Calidad o en su defecto el aplicador debe verificar los espesores de película húmeda para controlar el espesor de película seca.

Recepción. La recepción de los envases de resinas, catalizadores y solventes deben ser verificados para asegurar que estén en conformidad con la hoja técnica emitida por el fabricante de la pintura y cumplan con la especificación requerida del Cliente.

Las pinturas y solventes deberán almacenarse bajo techo, en un lugar protegido del fuego, es decir, no deben estar sujetas a calor excesivo directo.

Los recipientes de envase de pintura no deben presentar señales de fugas ni abolladuras.

El almacenamiento debe hacerse de tal manera que el material más viejo guardado en el almacén pueda ser retirado en primero lugar y que su movimiento no genere daños a los embalajes.

Aplicación. Se realizara la aplicación de pintura luego de limpieza mecánica sobre las superficies de soldadura y zonas adyacentes afectadas. Sobre la pintura de los elementos prefabricados en taller se realizara limpieza con lija y thinner para activar la pintura. En la aplicación de pintura se debe verificar las condiciones ambientales.

El esquema de pintura interior y exteriormente, en su totalidad, se debe aplicar antes de la prueba de estanqueidad (Hidrostática).

6.2.2.1 Limpieza de cordones de soldadura

Se inspeccionara visualmente la limpieza y verificara el cumplimiento del grado de limpieza (LIMPIEZA COMERCIAL SSPC-SP-6).

Se verificara que no se presentan contaminantes, trazas de grasa o impurezas sobre el metal base ya que esto afecta el desempeño del sistema de pintura.

El inspector de Control de Calidad debe medir el perfil de anclaje con el sistema de testigos PRESS O FILM o Rugosímetro digital. El perfil de anclaje mínimo debe ser 2,5 a 3 mils.

Cuando el área inspeccionada de limpieza cumpla con estos requerimientos se aprobara para pintura.

6.2.2.2 Limpieza De Láminas Pintadas En Taller

Se inspeccionara visualmente para verificar el cumplimiento del grado de limpieza (LIMPIEZA MECANICA SSPC-SP-3). Esta limpieza se realiza con un lijado suave usando lija # 80 para eliminar las imperfecciones luego se pasa un trapo humedecido en thinner o disolvente para retirar las impurezas y activar la pintura.

6.2.2.3 Esquemas de pintura en campo

Esquema de superficie interior en tanques según API 650: Después de limpieza mecánica, norma SSPC-SP3, en las zonas de aplicación de soldaduras, zonas afectadas por el calor y en las zonas donde se rayó la pintura aplicada en taller, se aplicará pintura IMPRIMANTE EPOXICINC POLIAMIDA Sigmazinc 102, a un espesor de 3 mils a 4 mils este espesor es para dar uniformidad a la superficie.

La activación de la pintura de taller se realiza mediante lija No. 80 y thinner, se debe aplicar como barrera y acabado EPOXIFENÓLICO SIGMA NOVAGUARD 840, con un espesor de 9 mils a 11 mils.

Espesor final mínimo interior de película seca: 12 mils a 15 mils.

Esquema de superficie exterior en tanques según API 650: Después de limpieza mecánica, norma SSPC-SP3, en las zonas de aplicación de soldaduras, zonas afectadas por el calor y en las zonas donde se rayó la pintura aplicada en taller, se podrá aplicar el mismo AUTOIMPRIMANTE EPÓXICO SIGMACOVER 410, a un espesor de 5 mils a 6 mils este espesor es para dar uniformidad a la superficie.

Por ir aislado térmicamente, no requiere de pintura acabado, solo se hace necesario la protección exterior con AUTOIMPRIMANTE EPÓXICO SIGMACOVER 410, a un espesor de 5 mils a 6 mils.

Esquema de pinturas para escaleras exteriores, barandas y pasarelas de diques: La aplicación de pintura viene de taller, en campo solo se da un retoque con pintura URETANO SIGMADUR 550, RAL 1003, a un espesor de 5 mils a 6 mils para dar uniformidad, en la parte horizontal color amarillo y la parte vertical color negro. Con un espesor total de 5 a 6 mils.

Esquema de pinturas para barandas de techo perimetral: La aplicación de pintura viene de taller, en campo solo se da un retoque con pintura URETANO SIGMADUR 550, RAL 1003, a un espesor de 5 mils a 6 mils para dar uniformidad, en la parte horizontal color amarillo y la parte vertical color negro. Con un espesor total de 5 a 6 mils.

6.3 INSPECCIONES Y PRUEBAS

6.3.1 MEDICIÓN DEL PERFIL DE RUGOSIDAD

La rugosidad se medirá diariamente por área preparada, como mínimo cinco lecturas. Se dejara un registro del perfil de anclaje con cinta press-film. El perfil de anclaje mínimo debe ser 2,5 mils a 3 mils.

6.3.2 MEDICIÓN DE ESPESORES DE PELÍCULA SECA

Una vez aplicada la pintura en taller y en campo, cumpliendo con el tiempo de curado se realiza la medición del espesor de película seca del imprimante y el acabado, para garantizar de esta manera el espesor requerido. Esta medición se hace de acuerdo a la norma SSPC-PA-2 "Measurement of dry paint thickness with magnetic gages", con el equipo Elcometer digital o positector 6000. Se efectuaran 5 lecturas uniformemente distribuidas por cada diez (10) metros cuadrados o fracción de superficie pintada.

La pintura puede tener espesores puntuales con valores de hasta el 80% del espesor mínimo requerido, pero el espesor promedio de las mediciones no debe ser inferior al mínimo requerido.

6.3.3 PRUEBAS DE ADHERENCIA DE PINTURA

El inspector de Control de Calidad interno debe realizar mediciones de adherencia de pinturas de acuerdo con la norma ASTM D-4541 en lotes pintados así:

1. Spot por fondo, spot por anillos de cuerpo, spot por techo en el prefabricado de taller.

2. En campo con el sistema completo se realizar un spot en fondo, cuerpo y techo para almacenamiento de crudo.

Una vez aplicado el espesor total de pintura requerido y su tiempo de curado, se realiza la prueba de adherencia, que consiste en colocar unos dados mediante pegante, para después de su posterior secado, realizar el retiro de dichos dados con un equipo hidráulico de tracción el que mide la presión (psi) a la cual se retira el dado. Los valores mínimos medidos no deben ser inferiores a 900 PSI, de acuerdo con los estándares ASTM D4541 y NTC 3951.

6.3.4 Pruebas De Continuidad De Pinturas

El inspector de Control de Calidad interno realizara pruebas de continuidad de pintura en los cordones de soldadura en el interior de los tanques (fondo y primer anillo) una vez los equipos estén totalmente terminado con todo su esquema de pintura completo.

Se debe utilizar el equipo de continuidad de pinturas Holliday Detector de bajo voltaje de acuerdo al estándar NTC 3951. No debe existir evidencia de discontinuidad en la pintura.

7. Equipo Utilizado

- Compresores.
- Tolvas para arena.
- Protector respiratorio con línea de aire.
- Mangueras, conexiones, filtros
- Pulidoras
- Rodillos, brochas
- Bomba de aire
- Equipo de pintura
- Andamios y escaleras

8. PERSONAL

- Supervisores
- Operarios de Sandblasting
- Operador de tolva
- Ayudantes
- Pintores

9. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

9.1 SANDBLASTING

- Los operadores de la tobera expuestos al polvo deben llevar un casco de seguridad, conectado con una fuente de aire comprimido limpio.
- Los demás trabajadores que están expuestos al polvo de la limpieza por chorro deberán usar respiradores de aire tipo filtro. Debe proveerse la protección adecuada para el personal contra las partículas en el aire de la operación de la limpieza por chorro de arena.
- La manguera del equipo de limpieza se debe aislar a tierra para evitar cargas estáticas.
- El equipo de protección debe ser inspeccionado diariamente antes de ponerse en funcionamiento.
- La capa de protección externa está diseñada para proteger el cuerpo contra el rebote de partículas abrasivas.
- Es recomendable el uso de protección auditiva tipo tapón a los operarios y el personal que trabaje cerca de esta área.
- No se debe intentar mover un equipo cuando esté en funcionamiento.
- Utilice protección auditiva tipo tapón en los lugares donde los niveles de ruido sobrepasen los 85db.

9.2 APLICACION DE PINTURA

- Es importante conocer los productos que se están utilizando junto con las Hojas de Seguridad para garantizar una manipulación adecuada y segura y además para conocer los riesgos, los métodos correctos de aplicación y las precauciones necesarias.
- El respirador se debe seleccionar de acuerdo a la naturaleza del producto, la frecuencia y características de la exposición y el LÍMITE DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL (TLV) de cada sustancia.
- Los materiales generalmente resistentes a solventes orgánicos son: Viton y 4H®, pero pueden utilizarse otros materiales de acuerdo con la clase de solvente.

- Se debe procurar que los guantes sean de un material impermeable, que no permita la impregnación de solventes o pigmentos. Puede ser adecuados el caucho butilo o el PVC, sin embargo se deben revisar periódicamente pues estos materiales se degradan por contacto con solventes.
- Se recomienda el uso de traje antiestático completo e impermeable en polipropileno (incluyendo protección de cabeza). Materiales: Pro Shield 2, CPF 3 ó 4, Tempro o Tyvek® QC.
- Cuando a pesar del uso de elementos de protección personal y de tomar todas las precauciones necesarias, la pintura caiga sobre la piel, se debe tener en cuenta cual es el tipo de pintura con la cual está trabajando para elegir tomar las medidas adecuadas.
- Es importante que no pase mucho tiempo desde que sucedió el contacto y la limpieza porque la pintura se endurece haciendo más difícil la remoción:
- Los metales pesados que contienen algunas pinturas, son muy tóxicos para plantas y animales acuáticos y terrestres. Por ello se debe dar un manejo adecuado a los residuos, utilizando para ello empresas especializadas en la disposición de estos

10. SISTEMAS DE CONTROL

FUENTE

1. Pre operacional de equipos.
2. Sistema antilatigo (mangueras)

MEDIO

1. Instalación de barreras (cuando se requiera)
2. Mediciones ambientales.
3. Ventilación artificial (cuando se requiera)
4. Iluminación adecuada (anti chispa)
5. Instalación de andamios modulares y bombas

INDIVIDUO

1. Capacitación
2. Uso de elementos de protección personal (casco de seguridad, protección auditiva, lentes de seguridad, protección respiratoria de cartucho si se requiere, guantes de seguridad según labor, calzado de seguridad, traje si se requiere, escafandra)

11. DOCUMENTACIÓN

C.C. mantendrá en archivo copia de todos los reportes de pruebas de pintura así como los datos de medición de espesores requeridos para el trabajo realizados por producción para la empresa y a su vez mantendrá copia de este en el dossier del proyecto para la satisfacción del cliente.

12. FORMAS.

TTF-F-014 Reporte pruebas de sand blasting.

TTF-F-069 Reporte pruebas de pintura. (Medición de espesores de película).

TTF-F-016 Reportes de pruebas de adherencia.

13. Registros y forma de archivo.

Registro	Forma de archivo	Responsable	Tiempo en archivo activo	Tiempo en archivo inactivo
Medición de perfil de anclaje	Fólder de cada proyecto	Jefe de control de calidad	Duración del proyecto	3 años
Medición de espesores de película	Fólder de cada proyecto	Jefe de control de calidad	Duración del proyecto	3 años
Medición de adherencia	Fólder de cada proyecto	Jefe de control de calidad	Duración del proyecto	3 años