

Universidad Nacional

“José Faustino Sánchez Carrión”

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**EVALUACION DE LA APLICACION DE RECUBRIMIENTOS EPOXI Y
POLIURETANO ALIFATICO PARA LA INHIBICION DE LA CORROSION EN
LAS VIROLAS DE TUBERIAS FORZADAS DE LA HIDROELECTRICA
MACHUPICCHU – 2019**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO METALURGICO

Autor

DAVID MARTIN RODRIGUEZ REMIGIO

Asesor

Ing. ISRAEL NARVASTA TORRES

CIP: 146766

Huacho - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por permitirme la vida y el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, por demostrarme siempre su cariño, amor y apoyo incondicional, por impulsarme a ser quien soy hoy en día, por los sabios consejos que me motivan cada vez a ser mejor y a mis hermanos por acompañarme en esta etapa de formación profesional, a todos ellos gracias por su confianza.

David Martin Rodríguez Remigio

AGRADECIMIENTO

A Dios en primera instancia, gracias por darme la vida, salud y por todo el tiempo que me brindad para así compartir con las personas que más quiero.

A mis padres por ser mi principal motivo para crecer y encaminarme de la mejor manera, a ellos por ser mi fortaleza, por los buenos consejos que me dan día a día, por el apoyo incondicional, por todos los sacrificios que hacen por verme feliz y hacer que nada me falte, gracias por acompañarme en esta etapa de formación profesional.

A mis hermanas por el apoyo que me demuestran, por estar a cada momento conmigo.

A mi asesor de tesis e ingenieros docentes de la E.P. de Ingeniería Metalúrgica de la UNJFSC, por sus enseñanzas, paciencia y tiempo de dedicación.

Muchas gracias a todos.

David Martin Rodríguez Remigio

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCION.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1 Justificación técnica.....	3
1.4.2 Justificación económica.....	3
1.4.3 Justificación social.....	4
1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	4
1.5.1 Delimitación temporal.....	4
1.5.2 La Delimitación espacial.....	4
1.5.3 Delimitación académica.....	4
1.6 VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	5

1.6.1 Viabilidad de recurso teórico.....	5
1.6.2 Viabilidad de recurso humano.	5
1.6.3 Viabilidad de recurso financiero.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEORICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.	6
2.1.1 Investigación relacionada con el estudio.	6
2.2 BASES TEORICAS.	10
2.2.1 Corrosión.	10
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES	26
2.4 FORMULACION DE HIPOTESIS.	27
2.4.1 Hipótesis general.....	27
2.4.2 Hipótesis específicas.....	27
CAPÍTULO III	28
METODOLOGIA.....	28
3.1 DISEÑO METODOLOGICO.	28
3.1.1 Tipo de investigación.....	28
3.1.2 Investigación Exploratoria.....	28
3.1.3 Investigación Descriptiva.....	28
3.1.4 Investigación cuantitativa.....	29
3.2 POBLACION Y MUESTRA.	29
3.2.1 Población.	29
3.2.2 Muestra.	29
3.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.	30
3.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.	30

3.5 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.....	31
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS	32
4.1 INFORMACION GENERAL	32
4.2 PARAMETROS TECNICOS DE EVALUACION	32
4.3 APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS	33
CAPÍTULO V	51
DISCUSIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1 DISCUSIONES	51
5.2 CONCLUSIONES.....	53
5.3 RECOMENDACIONES	54
CAPÍTULO VI.....	55
FUENTES DE INFORMACION	55
Anexo 01	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables e Indicadores	30
Tabla 2 Preparación de superficies según SSPC	35
Tabla 3 Sistema de aplicación de recubrimiento	36
Tabla 4 Área aplicada – primera etapa	37
Tabla 5 Área aplicada – segunda etapa	37
Tabla 6 Condiciones medioambientales	38
Tabla 7 Perfil de rugosidad.....	39
Tabla 8 Resultados Tramo 2 – Virolas 1 al 22 – Recubrimiento epoxi	43
Tabla 9 Resultados Tramo 2 – Virolas 23 al 44 - Recubrimiento epoxi	44
Tabla 10 Resultados Tramo 2 – Virolas 1 al 15 – Recubrimiento poliuretano alifático	46
Tabla 11 Grado de adhesión de recubrimiento según ASTM D3359 / Método A	47
Tabla 12 Resultados de la prueba de adherencia.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Corrosión uniforme.	11
Figura 2	Corrosión por fricción.	11
Figura 3	Corrosión en placas.	12
Figura 4	Corrosión por picadura.	13
Figura 5	Corrosión por cavitación.	14
Figura 6	Corrosión por erosión.	14
Figura 7	Corrosión intergranular.	15
Figura 8	Corrosión por fatiga.	16
Figura 9	Esquema de corrosión electroquímica.	17
Figura 10	Mecanismo de protección por inhibición.	18
Figura 11	Medición de espesor de película.	22
Figura 12	Esquema de ensayo de corte enrejado.	23
Figura 13	Ensayo de adherencia al rayado.	24
Figura 14	Ensayo de adherencia por tracción.	24
Figura 15	Tuberías de descarga de la C. H. Machupicchu.	32
Figura 16	Presencia de corrosión en la las virolas de las tuberías.	34
Figura 17	Limpieza con chorro abrasivo de las virolas.	39
Figura 18	Limpieza con chorro abrasivo según SSPC-SP6.	39
Figura 19	Aplicación de recubrimiento epoxi.	41
Figura 20	Aplicación de recubrimiento poliuretano alifático.	42
Figura 21	Aplicación de recubrimiento poliuretano alifático.	42
Figura 22	Medición de espesor de pintura seca de ULTRAMASTIC 850 HSHB - RAL 6019 45	45
Figura 23	Medición de espesor de pintura seca según SSPC – PA2.....	45
Figura 24	Aplicación de la prueba de adherencia.	48

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se basa en la evaluación al proceso de aplicación de los recubrimientos del tipo epoxi y poliuretano a las virolas de las tuberías forzadas de la central hidroeléctrica Machupichu con la finalidad de poder inhibir la corrosión que se produce al estar expuestas al medio ambiente, en una zona de alta concentración de humedad que presenta la geografía de la central hidroeléctrica.

En el capítulo I, esta contenido la realidad problemática, motivo por el cual se optó realizar el presente trabajo de investigación al observar durante el mantenimiento preventivo de las virolas de acero que estas presentan degradación ocasionadas por las condiciones ambientales de la zona donde se encuentra la central hidroeléctrica, así mismo se define el objetivo principal del trabajo de investigación que se centra en la evolución de la aplicación de los recubrimientos antes mencionados, de la misma forma se menciona los objetivos específicos que se toman para este trabajo; a la vez se detalla la justificación del porque se está realizando la investigación y las limitaciones y viabilidad del estudio con la que cuenta.

El capítulo II contiene los antecedentes de la investigación y el marco teórico donde que se adoptaron las principales teorías utilizada en el presente trabajo de investigación. Se formulan la hipótesis general y especificas bases para el inicio de la investigación.

En el capítulo III se define el diseño metodológico del trabajo de investigación, se determina el tipo de investigación que se tomó en cuenta, el nivel y enfoque que se da al presente trabajo de investigación. Se limita la población y muestra que se va a abarcar; se describe las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos necesarios para realizar el presente trabajo.

El capítulo VI, detalla y presenta los resultados obtenidos durante el tiempo que se realizó el trabajo de investigación, mediante cuadros, gráficas y la realización de las interpretaciones de las mismas.

En el capítulo V, se realizó la discusión que se generaron al realizar el análisis de los resultados obtenidos; se determina las conclusiones y se da las recomendaciones necesarias en base a los resultados obtenidos.

Las fuentes bibliográficas que se usaron y fueron de apoyo durante la realización del presente trabajo se detalla en el capítulo VI; como parte final se anexa datos que son relevantes durante la ejecución del trabajo.

Palabras claves: *Recubrimiento Epoxi, Recubrimiento Poliuretano Alifático, Inhibición de la Corrosión, Virolas, Tuberías Forzadas.*

ABSTRACT

This research work is based on the evaluation of the application process of the coatings of the epoxy and polyurethane type to the ferrules of the forced pipes of the Machupichu hydroelectric power plant in order to be able to inhibit the corrosion that occurs when exposed to the environment environment, in an area of high humidity concentration that presents the geography of the hydroelectric power station.

In Chapter I, the problematic reality is contained, which is why we decided to carry out this research work by observing during the preventive maintenance of the steel ferrules that these exhibit degradation caused by the environmental conditions of the area where the Hydroelectric power station, likewise, the main objective of the research work that focuses on the evolution of the application of the aforementioned coatings is defined, in the same way it mentions the specific objectives that are taken for this work; At the same time, the justification of why the investigation is being carried out and the limitations and feasibility of the study it has are detailed.

Chapter II contains the background of the research and the theoretical framework where the main theories used in this research work were adopted. The general hypothesis and specific bases for the beginning of the investigation are formulated.

Chapter III defines the methodological design of the research work, determines the type of research that was taken into account, the level and approach given to this research work. The population is limited and shows that it will be covered; The techniques and instruments used to collect the data necessary to carry out this work are described.

Chapter VI details and presents the results obtained during the time the research work was carried out, using tables, graphs and the realization of their interpretations.

In Chapter V, the discussion that was generated when analyzing the results obtained was carried out; The conclusions are determined and the necessary recommendations are given based on the results obtained.

The bibliographic sources that were used and were supportive during the realization of this work are detailed in chapter VI; As a final part, data that is relevant during the execution of the work is attached.

Keywords: *Epoxi Coating, Aliphatic Polyurethane Coating, Corrosion Inhibition, Ferrules, Forced Pipes.*

INTRODUCCION

La central hidroeléctrica Machupicchu se encuentra ubicada en la provincia de Urubamba en el departamento de Cusco, esta presenta dos estaciones climáticas anuales una seca y otra húmeda donde se presenta hasta un 85 % de humedad; estas condiciones climáticas son desfavorables para las estructuras de acero haciendo que estas se degraden por acción de la corrosión que las ataca, presentando un peligro latente en las tuberías durante su operación al mermar sus propiedades mecánicas. En la actualidad existen distintos métodos usados por la industria para inhibir la corrosión que ataca a los materiales metálicos en especial los aceros, uno de ellos es la aplicación de capas de pinturas o recubrimientos de distintas composiciones químicas con distintos compuestos y propiedades que protegen al material ante las condiciones ambientales que se presentan, prolongando la vida útil de las estructuras.

El resultado de una buena adherencia de los recubrimientos en los substratos donde se aplica, en este caso aleación de acero (composición de las virolas de las tuberías forzadas) depende mucho de la preparación previa de la superficie, la metodología de aplicación y los parámetros dispuesto por los fabricantes, así también la norma que gobierna el procedimiento de aplicación de los recubrimientos. Durante la aplicación de los recubrimientos se tomaron en cuenta parámetros técnicos de evaluación siguiendo los criterios de las normas y/o códigos de referencia tomadas por el proyecto, entre ellas el código SSOC – PA1, ASTM D4414, etc. con la finalidad de garantizar la calidad el trabajo realizado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las tuberías forzadas usadas en las centrales hidroeléctricas para la descarga de agua hacia las turbinas de generación de energía están fabricadas de materiales metálicos como el acero. En el caso particular de los aceros se ha notado que la corrosión origina su degradación y pérdida de dimensiones, que reducen su desempeño para una determinada aplicación; por ello se ha visto la necesidad de mejorar las propiedades de los materiales, entre ellas las superficiales, para así aumentar su durabilidad.

El fenómeno de corrosión consiste en el proceso de deterioro de materiales metálicos mediante reacciones químicas y electroquímicas, debido a que estos materiales buscan alcanzar un estado de menor potencial energético. La corrosión tiene muchas repercusiones a nivel económico, de seguridad y de conservación de materiales, por lo que su estudio y mitigación es de suma importancia. Entre los problemas que afecta significativamente la corrosión esta las características funcionales de las tuberías forzadas de acero como la resistencia a la fatiga, además de inducir a la formación de grietas y desprendimiento de material lo cual acaba comprometiendo la integridad estructural del sistema de tuberías.

La protección de las tuberías forzadas mediante la aplicación de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático ayuda en gran medida en la inhibición de la corrosión y prolongar la durabilidad de la misma. Sin embargo, una mala aplicación y una inadecuada técnica realizada durante la preparación de las superficies a proteger y mala selección de los parámetros involucrados disminuye la capacidad protectora de los recubrimientos ante la presencia de la corrosión.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General.

¿En qué medida la evaluación de la aplicación de recubrimiento epoxi y poliuretano alifático para la inhibición de la corrosión en las virolas de tuberías forzadas nos determina el buen desempeño de los productos en concordancia con los documentos y normas de referencias?

1.2.2 Problemas Específicos.

- ¿En qué medida la preparación superficial de las virolas de tuberías forzadas optimiza el poder cubriente de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático aplicados?
- ¿En qué medida el control del espesor del sistema de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático nos permite obtener un sistema protector adecuado para la inhibición de la corrosión de las virolas de tuberías forzadas?
- ¿En qué medida el control de los parámetros de aplicación de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático nos permite obtener resultados en concordancia con los documentos y normas de referencias?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar la aplicación de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático para la inhibición de la corrosión en las virolas de tuberías forzadas para determinar el buen desempeño de los productos en concordancia con los documentos y normas de referencias.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Preparación superficial de las virolas de tuberías forzadas para optimizar el poder cubriente de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático aplicados.

- Controlar el espesor del sistema de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático para obtener un sistema protector adecuado para la inhibición de la corrosión de las virolas de tuberías forzadas.
- Controlar los parámetros de aplicación de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático para obtener resultados en concordancia con los documentos y normas de referencias.

1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Justificación técnica.

La evaluación de las técnicas y de los parámetros de aplicación de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático en la superficie de las virolas de las tuberías forzadas permiten determinar un mejor control de calidad del trabajo realizado.

En el presente trabajo de investigación se evalúa el procedimiento y resultados obtenidos durante la aplicación de los recubrimientos con la finalidad que estos luego de ser aplicados estos presenten un buen desempeño de los productos en concordancia con los documentos y normas de referencias exigidos por la empresa contratante.

1.4.2 Justificación económica.

La evaluación de los procedimientos y la técnica utilizada para la aplicación de los recubrimientos, conlleva a un control exhaustivo de los mismos antes, durante y después de aplicarlos, que se ve reflejada en el trabajo final de protección e inhibición de las virolas de las tuberías forzadas cumpliendo con las especificaciones técnicas requeridas, disminuyendo sustancialmente los sobrecostos generados por la corrosión que puede afectar a los elementos protegidos.

1.4.3 Justificación social.

Una buena evaluación de los recubrimientos en las virolas de las tuberías forzadas, permiten asegurar el buen funcionamiento de las tuberías cumpliendo con la labor para a cuál se diseñaron, evitando así paradas intempestivas en la generación de energía por parte de la central hidroeléctrica que pudiera perjudicar a la población que es suministrada por el sistema de interconexión eléctrica nacional a la cual pertenece la central hidroeléctrica Machu Picchu evitando a la vez conflictos sociales por un deficiente servicio que se podría generar.

1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1 Delimitación temporal.

La evaluación de la aplicación de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático para la inhibición de la corrosión en las virolas de tuberías forzadas de la central Hidroeléctrica Machupicchu, está enmarcado dentro del periodo de los meses de enero a junio del 2019.

1.5.2 La Delimitación espacial.

El presente trabajo se realiza en las instalaciones de la central hidroeléctrica Machu Picchu en el grupo Francis I Etapa, en la provincia Urubamba en el departamento del Cusco.

1.5.3 Delimitación académica.

El trabajo de investigación planteado cumple con los exigido por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en referencia al grado de investigación y el esquema de presentación para el trabajo de tesis, para eso se sustenta bibliografías, textos, informes, reportes y estudios que proporcionan conceptos y teorías sobre la evaluación y control en la aplicación de recubrimiento inhibidores de la corrosión en materiales metálicos, adicionalmente esto se complementa con el desarrollo de aspectos técnicos entorno a materias como parámetros, procedimientos, referencias, normas, códigos, estándares, etc.

1.6 VIABILIDAD DEL ESTUDIO

1.6.1 Viabilidad de recurso teórico.

El tema de investigación propuesto “*evaluación de la aplicación de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático para la inhibición de la corrosión en las virolas de tuberías forzadas de la Central Hidroeléctrica Machupicchu*”; cuenta con el suficiente acceso de información primaria tanto en libros, revistas, código, normas, etc.

1.6.2 Viabilidad de recurso humano.

El estudio poblacional se realiza a los actores implicados durante el mantenimiento periódico de las virolas de las tuberías forzadas de la central hidroeléctrica. El estudio cuenta con la viabilidad de recurso ya que será realizado por el tesista con apoyo de personal de la empresa PeruPaint Group., empresa encargada de la aplicación de recubrimientos a las virolas de las tuberías forzadas.

1.6.3 Viabilidad de recurso financiero.

Si es viable, por medio de recursos monetarios propios del tesista de manera que el proyecto no requiere de un financiamiento mayor o ser auspiciado por alguna empresa o entidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

2.1.1 Investigación relacionada con el estudio.

Albañil y Rodriguez (2013), desarrollaron una investigación titulada “*Calculo de la eficiencia de inhibidores de corrosión para ductos de hidrocarburos*”, presentado en el Instituto Politécnico Nacional para optar el título de ingeniero en metalurgia y materiales. Esta investigación se desarrollo con la finalidad de evaluar la eficiencia de dos diferentes tipos de inhibidore de corrosión, el AT-3A35 Y GRIVAN 1010. Al termino de las distintas pruebas se llegó a la conclusión que, el mejor inhibidor que tuvo mejor desempeño de protección fue el inhibidor AT-3A35 ya que sus resultados cumplieron con el criterio de aceptación garantizando la calidad de los métodos que se utilizaron en este trabajo.

Gadea (2016), realizo una investigación titulada “*Estudio del efecto inhibidor frente a la corrosión de líquidos iónicos en acero F111 en disolución acuosa ácida*”, presentada en la Universidad Politécnica de Cartagena, cuyo objetivo que se pretende alcanzar es la demostración del efecto inhibidor del líquido iónico indicado anteriormente. Se emplearán distintas concentraciones de LI, para tratar de observar diferencias en su comportamiento. Luego de los ensayos de impedancia electroquímica se concluyó que, los valores máximos de resistencia a la polarización del líquido iónico se alcanzan entre las 2 y las 7 horas, pero posteriormente los valores de resistencia disminuyen, aunque nunca por debajo de los valores obtenidos en ausencia de líquido iónico, como ocurría en estudios anteriores, y que, cuando se alcanza el máximo de resistencia, el valor de corriente es mínima como consecuencia del LI actuando como inhibidor. Aunque tras alcanzar el valor máximo de impedancia esta comienza a bajar con el paso del tiempo y

así el efecto inhibitor. Aunque al contrario que ocurría en estudios anteriores tras 24 horas el valor de resistencia obtenido sigue siendo superior al determinado en ausencia de líquido iónico.

Castillo (2004), desarrollo su tesis titulada “*Control de calidad en aplicación de pinturas industriales*”, fue presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde la finalidad del trabajo se centra en los distintos procedimientos y consideraciones a tener en cuenta durante la aplicación de pinturas industriales (ricas en zinc, epóxicas, poliuretanos, etc.) Estas incluyen procedimientos estándares de trabajo y sugerencias para el empleo de determinados equipos para el control, medición y aplicación de las pinturas. El aseguramiento de la calidad durante una aplicación debe efectuarse desde la preparación de la superficie, que incluye una revisión del abrasivo, el perfil de rugosidad conseguido, una verificación del estado de los equipos que se emplearán en la aplicación y una serie de controles post aplicación, que dejarán al propietario, la seguridad que su bien se encuentra protegido contra la corrosión.

Guerra (2014), desarrollo un artículo científico titulado “*Selección de sistemas de pintura para control de corrosión atmosférica en un campo de explotación petrolera en la costa norte de Perú*”, este artículo fue publicado en la revista científica SCIELO, que tuvo como objetivo comprobar y comparar la resistencia a la corrosión de los poliuretanos alifáticos, los epóxidos y de los sistemas de pinturas y de esta manera determinar cuál era la mejor opción para su desarrollo. Luego de los análisis de concluyo que, los poliuretanos alifáticos muestran alta resistencia a la radiación UV, mantienen su brillo durante los dos años de exposición. Los epóxidos no resisten a la radiación UV, en menos de dos meses pierden brillo y se tizan, por el lado de los sistemas de pintura se obtuvieron resultados muy efectivos, cuando esta se añade en 3 capas (epóxido-epóxido-poliuretanos).

Vigo (2015), en el trabajo de investigación: “*Parámetros de Inspección durante la aplicación de un sistema de recubrimientos industriales*”, concluye que en un proyecto de mantenimiento industrial de las estructuras metálicas se debe realizar una evaluación del recubrimiento antiguo antes iniciar cualquier proceso o cambio. La evaluación del recubrimiento antiguo permite definir el sistema de recubrimientos idóneo para el mantenimiento de dicha estructura. Antes de iniciar cualquier proceso de Tratamiento de superficie y aplicación de recubrimientos se debe conocer los parámetros de inspección en cada una de las etapas o procesos claves que permitan un control y aseguramiento de la calidad del producto, por ello es importante el desarrollo de un Plan de Puntos de Inspección. Los ensayos o pruebas de campo que se llevan a cabo a lo largo del proyecto se basan en normas o estándares internacionales con alto nivel de exigencia, para esto se debe tener instrumentos o equipos de medición calibrados que permitan el menor error posible en los resultados ya que los ensayos son realizados en campo y no en laboratorio.

Sánchez (2015), en el trabajo de investigación: “*Preparación de superficie del acero para manteniendo en la aplicación de recubrimientos*”, concluye que la preparación de superficie del acero para mantenimiento dependerá de: Condiciones iniciales del sustrato (acero); el entorno ambiental al que estará expuesto; tipo de sistema de recubrimiento que se recomiende. Con una preparación de superficie por chorro abrasivo seco se puede eliminar los contaminantes visibles (como por ejemplo recubrimiento antiguo, mill scale, óxido) en su totalidad y a la vez crear un perfil de anclaje mayor que al usar herramientas motoras o manuales para el mismo fin. Es necesario iniciar siempre con una pre limpieza para eliminar todos los contaminantes visibles (grasa, aceite, suciedad) y no visibles (sales solubles) porque pueden causar fallas prematuras de corrosión. Para evitar dañar el nuevo sistema de recubrimiento aplicado y a la vez asegurar un perfil de anclaje parecido al que se obtiene mediante una preparación de superficie por chorro abrasivo, una buena opción es la limpieza

con herramientas motoras al metal desnudo. Para que el sistema de recubrimiento cumpla con una vida útil esperada, dependerá en gran parte que se cumpla con todas las indicaciones del proceso de preparación de superficie. Si bien es cierto que la aplicación del stripe coat ayuda evitar fallas prematuras de corrosión, la eliminación o corrección de las fallas de fabricación asegura que no se tendrá este tipo de inconvenientes.

2.1.1. Otras publicaciones.

Davila & Calle (2018), en la publicación del artículo titulado: “*Estudio de la variabilidad de la adherencia generada por diferentes granulometrías de arena utilizada como abrasivo en la preparación de superficies para un sistema de recubrimiento Primer-IOZ*”; resumen que la investigación se basó en el estudio de la variabilidad de adherencia generada por distintas granulometrías de arena como abrasivo en la preparación de superficies para un sistema de recubrimiento Primer-ioz. Muchas estructuras metálicas no cuentan con un buen promedio de vida útil debido a que son afectadas por la corrosión a la que están expuestas, sobretodo en ambientes altamente salinos y corrosivos; y esto se debe a que los recubrimientos que se aplica como protección del metal base se desprenden de éste por falta de una buena adherencia. Con la finalidad de mejorar la ya mencionada adherencia entre el sustrato y el recubrimiento se ha ejecutado una limpieza superficial (arenado) con distintas condiciones para llegar a generar un óptimo perfil de anclaje. Para el proyecto de emplearon una serie de técnicas de ejecución de limpieza con arena y aplicación de recubrimientos, e instrumentos de recolección de datos. Para la elaboración del sistema se tomó como variables independientes la granulometría, el tiempo de exposición y la presión de chorro; las cuales fueron aplicadas a las probetas combinando valores mínimos y máximos, y para el caso de las probetas réplicas se utilizó los valores promedio. De esta manera se pudo concluir en la obtención de la más óptima y mejor limpieza superficial de un acero estructural a partir del arenado.

2.2 BASES TEORICAS.

2.2.1 Corrosión.

La corrosión es el resultado de la reacción química entre un metal o aleación metálica y su entorno. Los átomos metálicos en la naturaleza están presentes en los compuestos químicos (minerales). La misma cantidad de energía necesaria para extraer los metales de sus minerales se emite durante las reacciones químicas que producen la corrosión. La corrosión del metal de regreso a su estado combinado en compuestos químicos es similar o incluso idéntica a la de los minerales de donde se extrajeron los metales. Así, la corrosión se ha llamado la metalurgia extractiva en sentido inverso. (Albañil Romero & Rodriguez Ruiz, 2013)

Muchos de los metales que se utilizan en la industria tienden a regresar a un estado de equilibrio termodinámico como lo es el Hierro que regresa a óxido de hierro, otros metales tienden a sulfuros o carbonatos, sin embargo, algunos metales nobles lo hacen, pero no con la misma velocidad de reacción que los otros metales, como lo es el oro, platino y la plata. (Albañil Romero & Rodriguez Ruiz, 2013)

Clasificación y característica de los procesos de corrosión.

La clasificación de los distintos procesos de corrosión se puede diferenciar atendiendo, por un lado, a la morfología del ataque y, por otro lado, al mecanismo responsable de este ataque.

Corrosión según la morfología de ataque.

- **Corrosión uniforme.** En este tipo de ataque, la corrosión se presenta de forma homogénea sobre toda la superficie metálica y la penetración media es igual en todos los puntos de la misma. Esta es la forma más tratable de corrosión, pues es

relativamente sencillo calcular la vida útil de los materiales afectados. Sin embargo, es también la menos habitual.



Figura 1 Corrosión uniforme.

- **Corrosión por fricción (fretting).** Ocurre en las áreas de contacto entre materiales metálicos bajo carga sometida a vibración y deslizamiento y aparece como huecos o ranuras en la superficie del metal. El mecanismo de desgaste de basa en el concepto de soldadura en frío ocasionada por el rozamiento de las superficies, lo que conlleva a un aumento de la temperatura local, fundiendo las zonas más externas. Esto ocasiona una modificación irregular de las superficies que durante el movimiento relativo subsiguiente produce fragmentación en los puntos de contacto.



Figura 2 Corrosión por fricción.

- **Corrosión en placas.** Este tipo recoge aquellos casos que se encuentran entre la corrosión uniforme y la corrosión localizada. Se conoce como un ataque exclusivo, en algunas zonas, aunque todavía de forma generalizada.



Figura 3 Corrosión en placas.

- **Corrosión por picadura (Pitting).** Este ataque se localiza en zonas aisladas de la superficie metálica, donde a causa de pequeños poros accede al interior del metal en forma de canales cilíndricos, que reciben el nombre de picaduras. Es una de las formas de corrosión más peligrosas, formada generalmente en aleaciones pasivas debido a la rotura de la fina película de óxido previamente formada.



Figura 4 Corrosión por picadura.

- **Corrosión por cavitación.** Es el proceso por el cual las variaciones de presión en un líquido pueden causar en un corto periodo de tiempo innumerables y pequeñas cavidades en la superficie del metal con el que entra en contacto. Suele dar lugar a picaduras en forma de panel, fenómeno relativamente frecuente en las hélices de los barcos.
- **Corrosión por erosión.** Es una eliminación mecánica de la película protectora de un metal, con la sucesiva corrosión de su superficie desnuda por un agente corrosivo. Es un proceso cíclico hasta que se produce la perforación del componente.



Figura 5 Corrosión por cavitación.



Figura 6 Corrosión por erosión.

- **Corrosión intergranular.** En los aceros inoxidable y en algunas aleaciones de níquel que contienen cromo, el carbono es soluble en los granos metálicos a altas temperaturas. A temperaturas un poco inferiores, el carbono migra a los límites del grano donde se combina con el cromo y precipita en forma de carburo de cromo. De esta manera, el contenido de cromo se agota y ocasiona que el metal sea susceptible a la corrosión. Causa pérdidas en la resistencia, desintegrando los bordes de grano, lo

que no se aprecia externamente, provocando que esta forma de corrosión sea difícilmente diagnosticable.

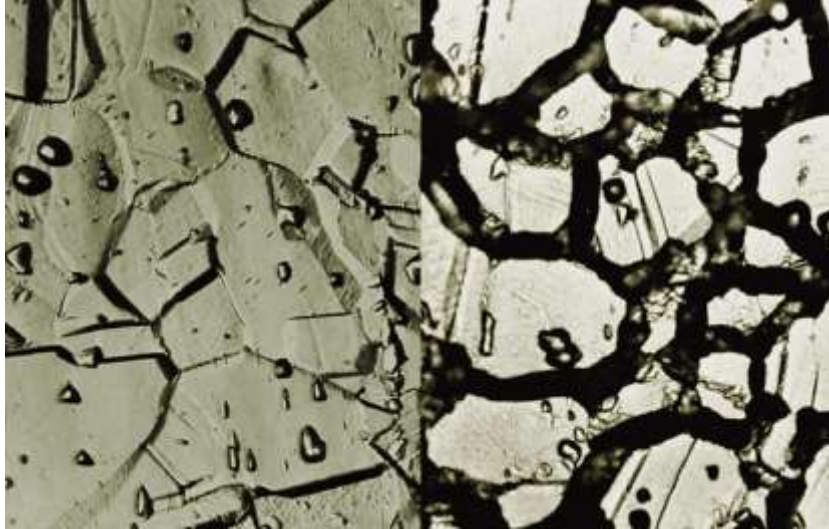


Figura 7 Corrosión intergranular.

- **Corrosión por fatiga.** Se produce en los metales como resultado de la acción combinada de un esfuerzo cíclico y un ambiente corrosivo. Depende de las interacciones entre factores de carga, ambientales y metalúrgicos. El caso usual implica tensiones fluctuantes rápidas que pueden estar muy por debajo de la resistencia a tracción. A medida que aumenta el estrés, disminuye el número de ciclos necesarios para provocar la fractura. Sin embargo, hay un nivel de estrés, por debajo del cual no se produce fallo alguno, incluso con número infinito de ciclos, lo que se denomina como límite de resistencia. Presenta grietas en la superficie que suelen informar del punto más débil, donde actuará la corrosión fracturando la pieza.



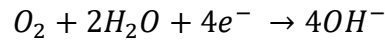
Figura 8 Corrosión por fatiga.

Clasificación según el mecanismo de corrosión.

- **Corrosión directa o química.** Este tipo de corrosión se produce en aquellos casos en que el metal reacciona con un medio no iónico. El ejemplo más común se da con la acción del oxígeno sobre las superficies metálicas, reaccionando y produciendo óxidos. Dado que este tipo de corrosión suele aparecer con la acción conjunta de un gas agresivo y un aumento de la temperatura local (calentamiento de una pieza de Fe por encima de 500°C), se descarta la intervención de iones en solución o la acción de la humedad, catalogando esta acción de uniforme o generalizada. Por esta razón, el grado de corrosión podemos expresarlo como el aumento de peso por unidad de área, reduciendo su propagación a una tendencia lineal con el tiempo.
- **Corrosión electroquímica.** La corrosión electroquímica es la que se produce cuando dos metales se hayan en presencia de un electrolito conductor. Los metales en el seno de dicha disolución, experimentan una diferencia de potencial entre ambos, lo que genera una corriente eléctrica que es transportada a través del electrolito por los aniones y cationes hacia el ánodo y el cátodo, respectivamente. Es entonces, que el metal menos noble o con mayor electronegatividad se oxida (ánodo), dando lugar a su

progresivo deterioro y desprendimiento de la superficie metálica, en presencia del segundo (cátodo), el cual permanece inmune al ataque, recibiendo los electrones liberados en el ánodo, que son suministrados a un captador presente en el electrolito, normalmente O_2 en medios neutros y alcalinos y H^+ en ácidos.

En estos casos, las reacciones en el cátodo son:



O bien:

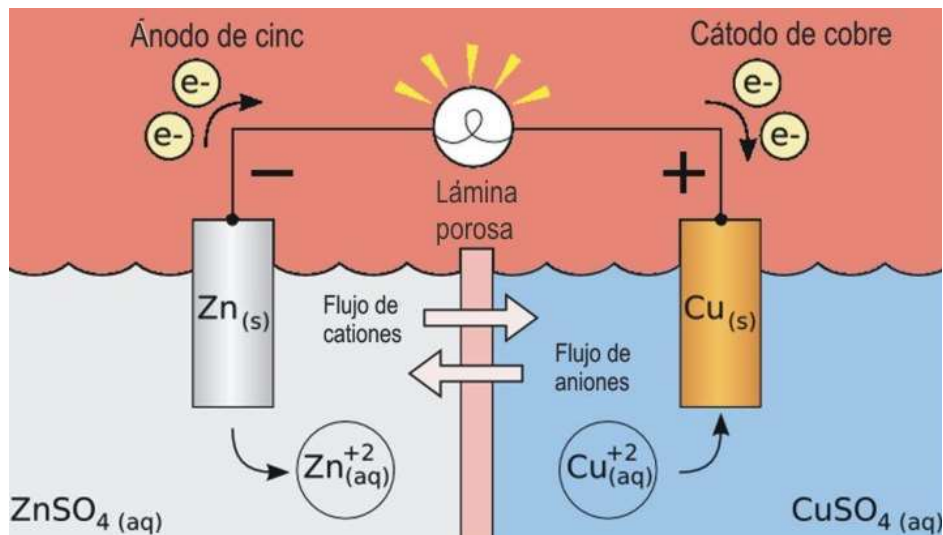
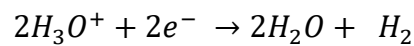


Figura 9 Esquema de corrosión electroquímica.

Todos los metales presentan una tendencia a oxidarse (perder electrones) que se cuantifica por medio de este potencial de oxidación o electronegatividad.

Inhibidor de la corrosión.

Un inhibidor es una sustancia química que, agregada a un medio corrosivo en pequeñas concentraciones, menora la velocidad de corrosión del metal expuesto a dichos medio. Los inhibidores reducen la velocidad de corrosión: (Gadea Nicolas, 2016)

- Incrementando la polarización anódica o catódica (pendientes de Tafel).
- Reduciendo el movimiento y difusión de iones agresivos a la superficie metálica.
- Incrementando la resistencia eléctrica de la superficie metálica

Clasificación de los inhibidores.

El uso de inhibidores puede realizarse prácticamente en cualquier proceso de corrosión, existiendo un gran número de sustancias que podrían actuar como tal.. Los inhibidores pueden clasificarse de distintas maneras. (Gadea Nicolas, 2016)



RX. Catódica: $O_2 + 4e + 2H_2O \rightarrow 4(OH)^-$ se combina con pigmento Inhib.
 RX. Anódica: $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$ Se combina con el pigmento Inhib.

Figura 10 Mecanismo de protección por inhibición.

De acuerdo a su mecanismo de actuación.

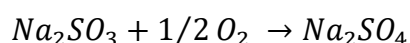
- **Inhibidores anódicos.**

Reciben este nombre los inhibidores cuya acción tiende a oponerse a la reacción anódica. Muchos de estos inhibidores ejercen una acción oxidante sobre el metal, favoreciendo la pasivación y deteniendo de este modo la corrosión. Al mismo tiempo, los inhibidores anódicos oxidantes son sustancias que estimulan el proceso catódico debido al elevado potencial de oxidación-reducción. Su acción podrá ser muy distinta

según predomine el efecto inhibitor anódico o el estimulador catódico. En general, los inhibidores oxidantes resultan arriesgados a concentraciones insuficientes para una pasivación completa, ya que su capacidad impulsora de la reacción catódica intensifica el ataque local sobre pequeñas áreas activas remanentes. Los cromatos y nitritos son ejemplos de inhibidores anódicos oxidantes, los cuales proporcionan una excelente protección aplicados correctamente. De hecho, los cromatos se encuentran entre los mejores inhibidores para detener la corrosión del acero y de las aleaciones de aluminio. Existen, además inhibidores anódicos de tipo no oxidante. Estos disminuyen la velocidad del proceso corrosivo mediante la precipitación de productos insolubles sobre las áreas metálicas de comportamiento anódico. Ejemplo para el acero son (NaOH, Na₂CO₃) que precipitan en hidróxidos. (Gadea Nicolas, 2016)

- ***Inhibidores catódicos.***

Pertencen a esta categoría los inhibidores que tienden a impedir la reacción catódica. Su modo de actuar es diverso: Unas veces proceden eliminando el oxígeno de la solución. Es típico al respecto el sulfito: (Gadea Nicolas, 2016)



Consumiendo el oxígeno de un medio neutro, falta la materia para la reacción catódica y se detiene el proceso corrosivo. Su empleo puede ser peligroso en metales pasivos, como el acero inoxidable, capaces de activarse frente a soluciones conteniendo sulfito (que obstaculiza el proceso autorregenerativo de la delgadísima película pasivadora de óxido). (Gadea Nicolas, 2016)

Otras veces los inhibidores catódicos causan la precipitación de películas insolubles sobre las áreas catódicas del metal, que obstruyen la reacción electroquímica. Son típicos ciertos productos a base de zinc, magnesio y calcio, que depositan hidróxidos

y carbonatos a consecuencia de la alcalinización de la vecindad del cátodo en el proceso de reducción de oxígeno con formación de iones OH^- . (Gadea Nicolas, 2016)

También existen aquellos inhibidores que impiden o reducen la descarga de hidrógeno en medio ácido. Tal es el caso de algunos cationes como As^{3+} , Bi^{3+} y Sb^{3+} que se depositan sobre las zonas catódicas y es el metal correspondiente depositado el que, por mostrar una gran sobretensión de descarga de hidrógeno, impide o frena la reacción. (Gadea Nicolas, 2016)

- ***Inhibidores orgánicos.***

Están constituidos por un gran número de coloides orgánicos (aqar-aqar, dextrina), por sustancias orgánicas con nitrógeno y azufre en grupos polares (aminas y otros). Muchos de estos inhibidores son sólo eficaces en medio ácido, encontrando aplicación en los baños de decapado ácido de metales. Algunos pueden ser utilizados en otros medios, por ejemplo, para evitar la corrosión por el agua de alimentación de calderas de vapor. Su mecanismo de actuación se basa en una absorción sobre la superficie metálica. Esta absorción se realiza, a menudo, sobre las áreas catódicas, incrementando la sobretensión del hidrógeno y dificultando así la reacción catódica de descarga de iones hidrógeno; otras veces afecta a las áreas anódicas, formando sobre ella barreras de absorción que impide la disolución del metal. Frecuentemente el inhibidor se absorbe tanto sobre las zonas catódicas que, sobre las anódicas, inhibiendo ambas reacciones. En ciertos casos el inhibidor recubre el metal de una película hidrófuga de moléculas adsorbidas que lo aíslan de la humedad. (Gadea Nicolas, 2016)

Recubrimientos.

Los recubrimientos son una suspensión homogénea de partículas sólidas, llamadas pigmentos, que se encuentran dispersas en un líquido, llamado vehículo, en presencia de otros componentes (aditivos). Los pigmentos proporcionan color,

cohesión, consistencia, dureza y resistencia a la película, evitando la corrosión. Entre los pigmentos utilizados se encuentran el fosfato de zinc, el zinc metálico, óxido de hierro, aluminio, entre otros. Los solventes más empleados son los líquidos orgánicos y el agua. Los ligantes usados en pinturas son las resinas, los óleos y los silicatos solubles. (Albañil Romero & Rodriguez Ruiz, 2013)

Mediante la aplicación de recubrimientos, la corrosión es impedida por alguno de los siguientes tres mecanismos o por combinación de dos de ellos:

El efecto de barrera, en donde se impide cualquier contacto entre el medio corrosivo y el material metálico.

- La protección catódica, donde el material de recubrimiento actúa como un ánodo de sacrificio.
- La inhibición / pasivación, incluidos los casos de protección anódica.

Evaluación en la aplicación de recubrimientos.

El propósito de la evaluación durante y después de la preparación de superficie y aplicación de recubrimientos es el asegurar el cumplimiento de las especificaciones de trabajo y los requerimientos mínimos de aplicación de los diversos recubrimientos.

Cualquier recubrimiento o sistema de recubrimientos puede tener un mal desempeño si es aplicado en forma incorrecta o si es aplicado sobre una superficie con deficiente preparación. (Castillo Bernaola, 2004)

Evaluación de la película seca.

Apariencia de película.

e deben evaluar: textura, brillo, color, nivelamiento etc. Las medidas del brillo son logradas midiendo la luz reflejada de una superficie al mismo ángulo que una luz incidente. El ángulo más usado es de 60° para los valores de brillos altos y 85° , se emplean 20° para los valores de los brillos bajos. (Castillo Bernaola, 2004)

La textura dependerá de que tan lisa se encuentre la superficie a pintar, el nivelamiento también puede variar según el método de aplicación, del tipo de pinturas o de la dilución de la mezcla.

Espesor de película.

El espesor de la pintura aplicada sobre superficies de acero, puede ser medido con diversos tipos de instrumentos, los más usados, son los medidores magnéticos y/o electrónicos. La norma que se utiliza para la medición de los espesores es la SSPC-PA2. (Anexo 2)



Figura 11 Medición de espesor de película.

Adherencia.

Los recubrimientos deben adherirse satisfactoriamente al sustrato donde son aplicados. En las prácticas se utilizan tres procedimientos de ensayos distintos para la determinación de la resistencia de las pinturas y recubrimientos al ser separados de los sustratos. Estas pruebas son destructivas.

- ***Ensayo de corte enrejado***

Este método especifica el procedimiento para determinar la resistencia a la adherencia de las pinturas y recubrimientos al ser separados del sustrato, efectuando cortes en ángulo recto sobre el recubrimiento y penetrando hasta los sustratos.

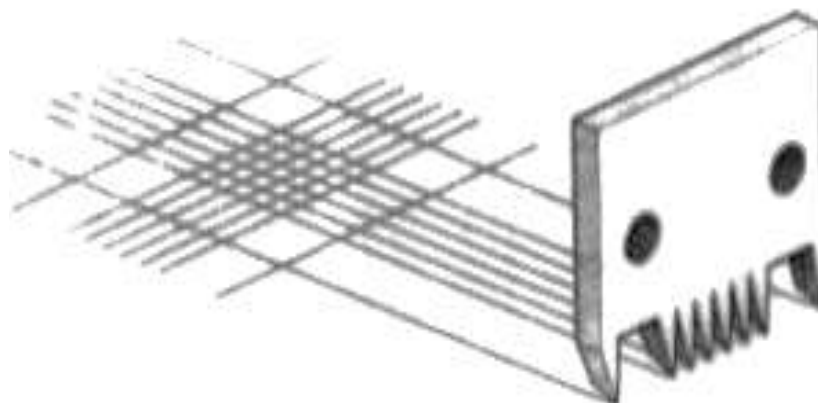


Figura 12 Esquema de ensayo de corte enrejado.

- ***Ensayo de adherencia al rayado*** .

Esta técnica de ensayo es útil para evaluarse la adherencia de recubrimientos orgánicos tales como pinturas, barnices y lacas, cuando son aplicados sobre superficies lisas y planas. Posterior al secado, se determina la adherencia, desplazando la chapa por debajo de un punzón o cincel redondeado, el cual, es cargado con pesas hasta que el recubrimiento se desprenda del sustrato.



Figura 13 Ensayo de adherencia al rayado.

- ***Ensayo de adherencia por tracción.***

La adherencias de un sistemas de recubrimiento unicapa o multicapa de pintura, barniz o productos semejantes, se determina midiéndolo la mínima tensión o fuerza necesaria para desengancharo romper el recubrimiento en dirección perpendicular al substrato.



Figura 14 Ensayo de adherencia por tracción.

Continuidad de película.

Este análisis es necesario para superficies pintadas que estarán expuestas a ambientes agresivos, enterradas o en inmersión. Una vez detectadas las porosidades, partes descubiertas, pin-holes y otras discontinuidades, se deberá realizar las reparaciones y reforzamientos antes que las superficies sean puestas en operación.

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Las definiciones conceptuales se han tomado de las siguientes referencias bibliográficas

- **Agrietamiento.** “Formación de grietas en la capa de un recubrimiento”. (Gomez, y otros, 2017)
- **Antióxido.** “Se denomina así a una pintura formulada para detener o impedir el proceso corrosivo”.
- **Arenado.** “Es el proceso por medio del cual se limpian superficies metálicas, por medio del lanzamiento a alta presión de partículas arena”. (Gadea Nicolas, 2016)
- **Capa de acabado o sellado.** “Última capa de un revestimiento formada por una pintura de buena impermeabilidad y gran resistencia de ambiente”.
- **Limpieza de la Superficie Metálica.** “Eliminación de cualquier tipo de escoria o contaminante que pueda existir para no afectar la aplicación de la pintura”. (Guerra Carvallo, 2014)
- **Microclima.** “Clima local de características distintas de la zona en que se encuentra. El microclima es un conjunto de afecciones atmosféricas que caracterizan un entorno o ámbito reducido. Así mismo depende de muchos otros factores como : temperatura, topografía, luz, humedad, etc.”
- **Pigmento.** “Polvo finamente dividido, cuya función es dar opacidad, color y resistencia a la película de pintura”.
- **Pintura.** “Sustancia o producto de textura líquida o espesa con que se da color a una cosa”.
- **Tratamiento de la Superficie Metálica.** “Método y Grado de Limpieza que se aplica a la superficie donde se aplicara la pintura, esté de acuerdo a las recomendaciones del Fabricante”.

2.4 FORMULACION DE HIPOTESIS.

2.4.1 Hipótesis general.

La evaluación de la aplicación de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático para la inhibición de la corrosión en las virolas de tuberías forzadas nos permite determinar el buen desempeño de los productos en concordancia con los documentos y normas de referencias.

2.4.2 Hipótesis específicas.

- La preparación superficial de las virolas de tuberías forzadas nos permite optimizar el poder cubriente de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático aplicados.
- El control del espesor del sistema de recubrimientos epoxi y poliuretano alifático nos permite obtener un sistema protector adecuado para la inhibición de la corrosión de las virolas de tuberías forzadas.
- El control de los parámetros de aplicación de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifático nos permite obtener resultados en concordancia con los documentos y normas de referencias.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1 DISEÑO METODOLOGICO.

La presente investigación se enfocó la evaluación de la aplicación de los recubrimientos tipo epoxi y poliuretano alifático en las virolas de tuberías forzadas de la hidroeléctrica Machupicchu, este método consiste evaluar la calidad del recubrimiento aplicado a las tuberías, y los procedimientos utilizados en concordancia con los parámetros técnicos de evaluación de acuerdo a las normas de referencias. Durante la evaluación, se debe considerar los procedimientos normalizados, parámetros de los equipos, características de materiales, resultados de ensayos realizados a las capas de recubrimientos alojados en los sustratos. Se debe tomar en cuenta que para cada tipo de recubrimiento usado son distintos, para lo cual se debe tener en consideración las variables esenciales para sus aplicaciones.

3.1.1 Tipo de investigación.

La metodología que se va a aplicar en el siguiente trabajo de investigación, se define como exploratoria, descriptiva y cuantitativa.

3.1.2 Investigación Exploratoria.

Se investigó todos y cada uno de los detalles del trabajo realizado, tanto en el procedimiento como resultados obtenidos. Para esto se indagará cada una de las variables del análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

3.1.3 Investigación Descriptiva.

Descriptiva debido a que se llega a conocer las situaciones, y acciones a través de la descripción exacta de las actividades realizadas durante la aplicación de los recubrimientos en el sustrato de las virolas de las tuberías forzadas.

3.1.4 Investigación cuantitativa.

Investigación cuantitativa, ya que se recogen y analizan los datos cuantitativos de las variables que se presentan en el trabajo realizado, para un posterior análisis concluyente de los procedimientos y técnicas de aplicación de los recubrimientos en un tipo de sustrato específico.

3.2 POBLACION Y MUESTRA.

3.2.1 Población.

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida por las tuberías forzadas pertenecientes al grupo Francis I Etapa de la central Hidroeléctrica Machupicchu.

3.2.2 Muestra.

Según Información de (Naranjo, 2004, p.135) la muestra es una parte de la población seleccionada de acuerdo con una regla o plan, debe ser representativa, y además ofrecer la ventaja de ser la más práctica, la más económica y la más eficiente en su aplicación.

La muestra de nuestra investigación se basa en las capas de recubrimientos aplicadas en las virolas de las tuberías forzadas del grupo Francis I Etapa de la central Hidroeléctrica Machupicchu.

3.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.

Evaluación de la Aplicación de Recubrimientos Epoxi y Poliuretano Alifático para la Inhibición de la Corrosión en las Virolas de Tuberías Forzadas de la Central Hidroeléctrica Machupicchu – 2019

Tabla 1 Variables e Indicadores

Variable Independiente	Indicador
Inhibición de la corrosión en las virolas de tuberías forzadas de la CENTRAL HIDROELECTRICA MACHUPICCHU	<ul style="list-style-type: none">- Tipo de corrosión.- Tipo de material.
Variable Dependiente	Indicador
Evaluación de la aplicación de recubrimientos Epoxi Y Poliuretano Alifático	<ul style="list-style-type: none">- Norma de evaluación.- Espesor de capa de recubrimiento.- Ensayo de adherencia.- Ensayo de continuidad de capa

3.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

De acuerdo con el número de muestras tomas y de los datos obtenidos se elaborará un informe el mismo que debe de cumplir con los parámetros de ensayo realizados. La recolección de la información se realizará mediante formatos que se adjuntaran a los informes emitidos para su posterior análisis.

Técnicas a emplear.

La técnica que se aplicará es una técnica descriptiva, debido a que la evaluación y recolección de datos se realiza a los actores que involucra los procedimientos y procesos para la aplicación de los recubrimientos para poder determinar los parámetros a usar en posteriores.

Descripción de los instrumentos.

- Consulta a expertos.
- Revisión de archivos y documentos.
- Revisión de literatura.
- Trabajo de campo.
- Internet.
- Captación de información directa de la fuente
- Informes técnicos.
- Normas.
- Escalas libreta de notas.
- Filmadora.
- Cámara fotográfica y grabadora.

3.5 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.

De acuerdo con los datos observados y de los resultados que se obtendrán en las pruebas y ensayos de laboratorio, su procesamiento se ejecutará:

- De acuerdo con la técnica de ensayo se verificará la validez del formato dispuesto de acuerdo con la norma correspondiente.
- De acuerdo con el propósito específico, estas serán recolectadas y analizadas según el requerimiento previsto.
- Se verificará la correcta disposición de los puntos de toma de muestra y los instrumentos y aparatos requeridos.
- Se llevará por escrito, un control de las observaciones, en el formato referido para prueba realizada, incluyendo fotografías si así se requiere y detalles específicos.
- De acuerdo a los informes, estos serán analizados e interpretados de acuerdo con los requerimientos bajo su respectiva normalización.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 INFORMACION GENERAL

En el presente capítulo se muestra los resultados de los trabajos realizados durante la evaluación de la aplicación de los recubrimientos epoxi y poliuretano alifatico y trabajos previos a su aplicación en las virolas de tuberías forzadas instaladas en el grupo Francis I etapa de la central Hidroeléctrica Machupicchu ubicado en el distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba, departamento de Cusco; durante el trabajo realizado en la obra “Arenado y pintado exterior de tubería forzada grupo 5 Francis I Etapa C.H. Machupicchu”, con la finalidad de determinar el buen desempeño de los productos aplicados en concordancia de con los documentos y normas de referencias.



Figura 15 Tuberías de descarga de la C. H. Machupicchu.

4.2 PARAMETROS TECNICOS DE EVALUACION

Los parámetros tomados en cuenta durante la evaluación de la aplicación de recubrimientos se basan a lo especificado en las normas de referencias tomadas para la ejecución del proyecto, siendo las siguientes de acuerdo a cada proceso realizado antes, durante y después del trabajo realizado:

- SSPC - SP1: Limpieza con Solventes.
- SSPC - SP2: Limpieza con Herramientas Manuales.
- SSPC - SP3: Limpieza con Herramientas Motrices.
- SSPC - SP6: Limpieza con Chorro Abrasivo al Grado Comercial.
- SSPC - PA1: Aplicación de Pinturas.
- SSPC - PA2: Medición de Espesor de Película Seca.
- ASTM E 337: Medición de Condiciones Ambientales.
- ASTM D 4414: Medición de Espesor de Película Húmeda.
- ASTM D 4417: Medición del Perfil de Rugosidad.
- ASTM D 4940: Análisis de Conductividad de Sales Solubles en Abrasivos.
- ASTM D 3359: Medición de Adherencia por el Método de la Cinta.

4.3 APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS

Condiciones previas de las superficies de las virolas.

Las superficies externas de las virolas se encontraban con el recubrimiento deteriorado en un 30 % de su superficie total, se observó en zonas puntuales la presencia de sustrato de oxidado, diseminadas a lo largo de las tuberías, en mayor presencia la parte superior de las tuberías, de conformidad con la Tabla 1 del estándar ASTM D610 (Anexo 2) se le designa un grado de corrosión N°2, por tal motivo es esencial el reemplazo total del recubrimiento.



Figura 16 Presencia de corrosión en las virolas de las tuberías.

Las virolas de las tuberías forzadas se encontraban pintadas exteriormente. Según los datos obtenidos, el sistema de pintado aplicado anteriormente a las virolas consistía en arenado blanco, capa de base epoxica a $50\ \mu\text{m}$ (2 mils) de espesor seco, capa intermedia de epoxica de $50\ \mu\text{m}$ (2 mils) de espesor seco y una capa final de esmalte epoxico de $50\ \mu\text{m}$ (2 mils) de espesor seco; teniendo como espesor total del sistema de recubrimiento de $150\ \mu\text{m}$ (6 mils)

Sistema de recubrimiento a aplicar.

La preparación de superficie se realiza según lo especificado en la Norma SSPC SP6: limpieza con chorro abrasivo al grado comercial.

Tabla 2 Preparación de superficies según SSPC

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
SSPC SP-1-63 Limpieza con Solventes	Eliminación de aceite, grasa, tierra, sales y demás suciedades por medio de lavado con solvente, vapor álcalis.
SSPC SP-2-63 Limpieza Manual	Eliminación de óxido suelto, escoria (Mill scale), pintura suelta por medio de rasqueteado, lijado o cepillado manual.
SSPC SP-3-63 Limpieza Mecánica	Eliminación de óxido suelto, escoria (Mill scale), pintura suelta por medio de rasqueteado, lijado o cepillado manual.
SSPC SP-4-63 Limpieza con Soplete de fuego	Eliminación de óxido suelto, escoria (Mill scale), por medio de soplete de fuego seguido por una limpieza con cepillo metálico.
SSPC SP-5-63 Arenado a metal Blanco	Equivalente Sa 3 en la escala sueca o NACE N° 1, eliminación de todo óxido y escoria (Mill scale) pintura y demás suciedades visibles por medio de arenado, este método debe ser usado en donde la corrosión sea muy severa y el alto costo de este método sea factible.
SSPC SP-6-63 Arenado Comercial	Equivalente Sa 2 en la escala sueca o NACE N° 3, Arenado de las superficies hasta por lo menos 2/3 partes la superficie esté perfectamente libres de todo residuo visible. Método para ser usado en condiciones severas de corrosión.

SSPC SP-7-63 Arenado Simple	Equivalente Sa 1 en la escala sueca o NACE N° 4, Arenado para remover todos los residuos de óxido, escoria y pintura suelta, permitiéndose áreas sin arenar donde la pintura antigua y la escoria estén firmemente adheridas.
SSPC SP-8-63 Lavado con Acido	Eliminación del óxido y la escoria (Mill Scale) por medio de ácidos fuertes en tanques de inmersión y enjuague posterior con agua limpia.
SSPC SP-9-63	Exposición a la intemperie para remover todo ó parte de la escoria (Mill Scale) seguida de arenado a cualquiera de los grados de limpieza deseada.
SSPC SP-9-63 Equivalente a Sa 2/12 en la escala sueca NACE N° 2	Arenado al metal casi blanco, eliminando óxido, escoria, pintura suelta hasta que por lo menos el 95% de la superficie esté libre de todos los residuos visibles. Método usado en ambientes muy húmedos, marinos ó corrosivos.

Tabla 3 Sistema de aplicación de recubrimiento

N° Capa	Producto	Color	Espesor de película seca	
			Mínimo	Máximo
1°	ULTRAMASTIC 850 HSHB	RAL 6019	5 mils	8 mils
2°	ULTRATHANE 7000	RAL 6003	2 mils	3 mils
Espesor total del sistema de recubrimiento			7 mils	11 mils

Elementos a recubrir.

Tabla 4 Área aplicada – primera etapa

Descripción	Elemento	Área (m ²)
Tramo 2: Virola N°1 - N°15	Tuberías	290.40
Tramo 2: Virola N°1 - N°15	Tuberías	545.50
	Total	835.90

Tabla 5 Área aplicada – segunda etapa

Descripción	Elemento	Área (m ²)
Tramo 1 Virola N°1 - N°23	Tuberías	476.20
Tramo 2: Virola N°1 - N°15	Tuberías	290.40
Tramo 2: Virola N°16 - N°44	Tuberías	545.50
	Total	1312.10

Trabajos previos en las superficies a recubrir.

De la pre preparación de superficie:

- No se identificó presencia de grasa o combustible impregnado, pero si polvo y maleza adheridos sobre la superficie de las virolas pertenecientes a la tubería forzada.
- No se utilizó detergente industrial para los contaminantes identificados anteriormente.
- Para verificar la presencia de contaminantes no visibles, se realizó la determinación de sales en superficie según Norma SSPC - Guía 15; donde se obtuvo como resultado una concentración de sales de aproximadamente 7.0 ppm de Cl-, por debajo del máximo admisible para superficies expuestas al medio ambiente (50 ppm de Cl-).

- Se identificaron zonas de difícil acceso: interiores de pernos, anillos, las cuales presentaron dificultad para realizar los trabajos de arenado y pintado.

De la preparación de superficie:

- Para la eliminación de contaminantes visibles: oxido, escama de laminación, pintura mal adherida, etc., se realizó una Limpieza con Chorro Abrasivo (Arena de Río) al Grado Comercial, según norma SSPC - SP6, sobre la superficie previamente preparada se realizó una limpieza con aire comprimido a presión.
- Se realizó la evaluación de conductividad del abrasivo, obteniendo valores aceptables: 290 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por debajo del valor máximo admisible de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según Norma SSPC - AB1 y ASTM D 4940.
- Durante los trabajos realizados, se verificaron las condiciones medioambientales según la Norma ASTM E 337, para lo cual se debe considerar: H.R. < 85.0 % y $T^{\circ}\text{superficie} - T^{\circ}\text{rocío} > 3.0^{\circ}\text{C}$.

Tabla 6 Condiciones medioambientales

		Presión = 0.78 atm.		Altura = 2048.6 m.s.n.m.		
		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		Humedad	T $^{\circ}$ Superficie	
Rango	Bulbo	Bulbo	Superficie	Rocío	Relativa	T $^{\circ}$ Rocío
	húmedo	seco			(%)	($^{\circ}\text{C}$)
Valor mínimo	10	12	14	8.7	58.1	3.9
Valor máximo	22	27	36	21	84.6	17.1

- El perfil de rugosidad obtenido se encontró en el rango: 2.5 mils - 3 mils, según Norma ASTM D 4417 - Método C. Este valor al ser elevado afecta directamente en el consumo de pintura y puede ocasionar una disminución en su rendimiento.

Tabla 7 Perfil de rugosidad

Tipo de Preparación	Descripción	
SSPC – SP6	Abrasivo	Rugosidad
Limpieza con chorro abrasivo al grado comercial	Arena	2.5 mils – 3 mils



Figura 17 Limpieza con chorro abrasivo de las virolas.



Figura 18 Limpieza con chorro abrasivo según SSPC-SP6.

Aplicación de los recubrimientos.

- Los recubrimientos industriales fueron almacenados de manera adecuada en un ambiente con suficiente ventilación, bajo techo.
- Fueron organizados y rotulados dentro del almacén, de tal manera de que puedan ser identificados fácilmente por tipo de pintura.
- Todos los componentes de los recubrimientos presentan una antigüedad menor al año, y durante las inspecciones diarias se podía corroborar, verificando los números de lote de cada componente.
- La aplicación de cada una de las capas correspondientes al sistema de recubrimientos especificado, fue realizado en su totalidad con un Equipo Airless Neumático - Marca: Titan, con un número de boquilla 5:17 y a una presión variable de 2500 a 3000 psi.
- Se presentaron algunos defectos de aplicación en zonas puntuales, tales como chorreaduras, irregularidades del sustrato, etc., por lo que luego de ser identificados fueron marcados para su posterior corrección.

Aplicación de 1^{ra} capa de ULTRAMASTIC 850 HSHB - RAL 6019 (Recubrimiento Epoxi).

- Sobre la superficie preparada libre de contaminantes, se realizó la aplicación de la primera capa del sistema con el producto: ULTRAMASTIC 850 HSHB, agregando el diluyente: UNIDIL 1500, a un porcentaje de dilución del 25% por galón, para facilitar la aplicación.
- La mezcla del recubrimiento se realizó manualmente y/o con paletas metálicas, luego se procedió a filtrar el recubrimiento preparado.
- Se evaluaron los espesores de película húmeda, obteniendo resultados de 7 a 8 mils. El recubrimiento aplicado mostró buen poder cubriente y película homogénea.



Figura 19 Aplicación de recubrimiento epoxi.

Aplicación de 2^{da} capa de ULTRATHANE 7000 - RAL 6003 (Pintura poliuretano alifático).

- Sobre la superficie preparada libre de contaminantes, se realizó la aplicación de la segunda capa del sistema con el producto ULTRATHANE 7000, agregando diluyente: UNIDIL 500, a un porcentaje de dilución del 25% por galón, para facilitar la aplicación.
- La mezcla del recubrimiento se realizó manualmente y/o con paletas metálicas, luego se procedió a filtrar el recubrimiento preparado
- Se evaluaron los espesores de película húmeda, obteniendo resultados de 4 a 6 mils. El recubrimiento aplicado mostró buen poder cubriente y película homogénea.



Figura 20 Aplicación de recubrimiento poliuretano alifático.



Figura 21 Aplicación de recubrimiento poliuretano alifático.

EVALUACION DE LOS RECUBRIMIENTOS

Medición de espesores de la capa de recubrimiento epoxi.

Las mediciones del espesor de película seca del recubrimiento en primera capa:

ULTRAMASTIC 850 HSHB, según Norma SSPC - PA2, son las siguientes:

Tabla 8 Resultados Tramo 2 – Virolas 1 al 22 – Recubrimiento epoxi

ELEMENTO CODIGO	N° DE CAPA	SPOT 1 - 2				SPOT 3 - 4				SPOT 5 - 6				SPOT 7 - 8				SPOT 9 - 10				PROMEDIO
		P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	
Tramo 2 Virola 1	1°	5.5	5.1	5.1	5.2	6.2	6.0	5.8	6.0	5.0	5.2	5.7	5.5	5.0	4.5	4.7	4.8	4.3	4.4	4.4	4.3	5.5
		6.1	6.0	5.8	6.0	6.8	5.1	5.6	5.8	6.3	7.1	6.6	6.7	5.9	5.2	6.0	5.7	4.7	5.9	5.4	5.3	
Tramo 2 Virola 2	1°	7.7	7.5	7.9	7.7	7.4	6.5	6.4	6.7	6.6	6.7	6.2	6.5	5.2	5.8	6.2	5.7	6.7	6.2	5.8	6.3	6.5
		5.3	6.3	7.6	6.4	7.6	6.6	6.5	6.9	5.4	5.2	5.3	5.3	7.5	7.6	6.9	7.3	6.0	6.7	6.8	6.5	
Tramo 2 Virola 3	1°	7.0	7.0	7.0	7.0	6.9	6.5	6.9	6.7	4.7	4.2	4.6	4.5	6.7	7.6	7.0	7.1	7.6	7.8	7.3	7.6	6.1
		5.9	5.7	6.6	6.1	6.8	7.0	6.4	6.7	6.3	5.8	6.0	6.0	6.0	5.3	5.5	5.6	4.1	4.1	3.9	4.0	
Tramo 2 Virola 4	1°	4.6	5.0	5.2	4.9	5.0	5.3	4.8	5.0	4.4	4.3	4.8	4.5	5.6	5.3	5.7	5.5	4.9	5.2	4.9	5.0	5.2
		6.1	6.2	6.2	6.2	6.1	6.0	5.6	5.9	5.4	5.6	4.8	5.3	5.4	5.6	5.8	5.6	4.9	4.6	4.1	4.5	
Tramo 2 Virola 5	1°	4.9	4.6	4.4	4.6	6.1	6.2	6.0	6.1	5.6	5.8	5.8	5.8	6.6	6.2	6.7	6.5	6.1	6.1	5.9	6.0	5.8
		5.3	4.8	5.2	5.1	6.7	6.6	6.6	6.6	7.1	6.8	7.8	7.2	5.2	4.7	5.1	5.0	4.3	4.6	5.0	4.6	
Tramo 2 Virola 6	1°	4.6	4.4	4.2	4.4	6.7	6.2	6.0	6.3	6.0	6.0	6.0	6.0	7.4	7.1	7.3	7.2	7.0	6.3	6.0	6.4	6.3
		6.3	6.8	6.9	6.6	5.3	5.1	5.9	5.4	6.1	6.1	6.9	6.4	7.5	7.0	7.4	7.3	6.4	6.7	6.7	6.6	
Tramo 2 Virola 7	1°	7.4	7.4	7.2	7.4	7.8	7.6	7.3	7.6	6.3	6.1	6.1	6.2	7.9	7.4	7.4	7.6	8.0	7.2	7.7	7.6	7.1
		7.2	7.7	7.7	7.6	5.6	5.6	6.2	5.8	7.6	6.8	7.1	7.2	7.8	7.1	7.1	7.3	6.4	6.5	6.2	6.4	
Tramo 2 Virola 8	1°	7.2	7.4	7.2	7.3	7.5	7.8	7.7	7.7	6.4	6.2	6.2	6.3	5.7	5.7	6.0	5.8	6.1	6.3	6.4	6.3	6.5
		6.0	5.6	5.4	5.7	5.1	5.4	5.9	5.5	7.0	6.5	6.9	6.8	7.5	7.3	7.9	7.6	6.4	6.6	6.1	6.4	
Tramo 2 Virola 9	1°	6.1	5.7	5.9	5.9	6.3	6.0	6.1	6.2	7.0	7.7	7.6	7.4	5.8	5.6	6.0	5.8	6.7	6.5	6.3	6.5	6.3
		5.8	5.6	5.8	5.7	5.5	5.8	5.7	5.7	7.3	6.8	7.0	7.0	6.7	7.0	6.2	6.6	5.6	6.0	6.0	5.9	
Tramo 2 Virola 10	1°	6.2	5.7	5.9	5.9	5.3	5.1	4.8	5.1	6.1	6.8	6.8	6.6	5.9	5.8	5.2	5.7	5.9	5.5	5.9	5.7	6.2
		5.7	5.7	6.3	5.9	7.4	7.0	6.5	7.0	8.0	7.0	7.8	7.6	7.8	7.1	7.6	7.5	5.6	5.2	5.3	5.4	
Tramo 2 Virola 11	1°	5.1	5.2	5.3	5.2	6.3	6.1	6.8	6.4	5.0	5.1	5.3	5.1	6.7	6.4	6.7	6.6	7.5	7.3	8.0	7.6	6.6
		7.5	7.1	7.3	7.3	5.3	5.7	5.3	5.4	7.1	7.1	6.7	6.9	7.4	7.9	7.7	7.7	7.3	7.5	8.0	7.6	
Tramo 2 Virola 12	1°	7.5	7.5	7.3	7.4	6.4	5.7	5.5	5.8	6.3	6.5	6.8	6.5	5.1	5.3	5.1	5.2	5.7	5.5	6.3	5.8	6.3
		6.4	6.0	5.6	6.0	6.8	6.2	6.4	6.5	7.6	7.2	7.2	7.3	7.8	8.0	7.3	7.7	5.0	4.8	5.3	5.0	
Tramo 2 Virola 13	1°	6.2	6.1	6.3	6.2	7.0	6.8	6.8	6.9	5.8	6.1	5.9	5.9	7.5	7.8	7.5	7.6	5.6	5.6	5.4	5.5	6.5
		5.4	5.1	5.4	5.3	6.6	7.2	7.0	6.9	7.6	7.5	7.6	7.6	6.9	6.9	7.1	6.9	6.6	6.5	6.2	6.4	
Tramo 2 Virola 14	1°	7.8	7.9	7.8	7.8	6.2	6.8	6.8	6.6	5.7	5.6	4.9	5.4	5.3	5.5	5.1	5.3	5.2	5.1	5.6	5.3	5.8
		5.2	5.2	5.0	5.1	5.5	5.2	5.2	5.3	5.5	5.1	5.2	5.3	6.8	7.0	6.4	6.7	5.5	4.7	4.6	4.9	
Tramo 2 Virola 15	1°	7.1	6.9	7.4	7.2	4.8	5.1	5.9	5.3	5.5	5.7	5.6	5.6	7.4	7.6	7.7	7.6	6.9	7.0	6.9	6.9	6.7
		7.7	7.5	7.5	7.6	7.1	7.1	7.6	7.3	5.2	5.8	5.5	5.5	6.3	6.8	6.6	6.6	7.3	7.3	7.1	7.2	
Tramo 2 Virola 16	1°	5.4	5.8	6.7	6.0	7.3	7.2	6.7	7.0	6.9	7.7	7.6	7.4	6.5	6.0	6.5	6.3	4.1	4.8	5.0	4.6	6.2
		7.2	7.3	7.6	7.4	7.0	6.7	6.1	6.6	5.4	5.0	5.3	5.2	4.3	4.8	4.8	4.6	6.3	6.4	6.8	6.5	
Tramo 2 Virola 17	1°	7.9	6.1	6.9	7.0	5.6	5.9	5.0	5.5	5.2	6.0	6.7	5.9	7.3	7.5	7.6	7.4	6.6	6.3	6.7	6.5	6.4
		6.8	6.3	6.4	6.5	5.5	5.4	5.1	5.3	5.6	6.3	6.4	6.1	7.3	7.2	7.3	7.3	6.3	6.9	6.9	6.7	
Tramo 2 Virola 18	1°	7.1	8.0	7.9	7.6	6.7	6.5	6.1	6.5	4.9	4.2	4.1	4.4	7.3	7.7	8.3	7.7	7.2	7.6	7.0	7.3	7.1
		6.3	7.8	7.3	7.1	7.3	7.4	7.8	7.5	7.0	7.4	7.6	7.3	8.2	8.3	9.4	8.6	6.3	6.9	6.2	7.3	
Tramo 2 Virola 19	1°	6.5	7.9	6.0	6.8	7.9	7.5	7.5	7.6	7.6	7.6	6.8	7.2	7.2	4.7	4.7	4.8	7.2	6.6	7.0	6.9	6.6
		5.9	5.8	5.6	5.7	6.6	6.5	6.4	6.5	7.9	7.6	8.2	7.9	4.5	4.6	4.5	4.5	7.3	8.3	8.2	7.9	
Tramo 2 Virola 20	1°	6.3	6.4	6.4	6.4	6.7	6.5	6.6	6.6	6.2	6.3	6.2	6.2	6.3	6.8	6.5	6.5	6.3	6.2	6.6	6.4	6.6
		5.8	6.2	5.8	5.9	7.4	7.1	7.4	7.3	7.1	6.6	7.0	6.9	7.0	6.3	6.2	6.5	7.6	7.0	7.5	7.4	
Tramo 2 Virola 21	1°	6.3	6.0	6.1	6.1	5.9	5.5	6.6	6.0	8.9	8.8	8.9	8.9	5.8	5.9	5.8	5.8	6.9	7.1	6.5	6.8	6.5
		6.7	6.7	6.5	6.7	5.2	4.5	4.6	4.8	7.1	6.8	7.1	7.0	5.2	5.8	5.5	5.5	7.7	7.6	7.5	7.6	
Tramo 2 Virola 22	1°	6.0	5.6	5.5	5.6	7.4	7.8	7.6	7.6	7.8	7.6	7.0	7.4	6.3	6.1	6.3	6.2	6.4	6.1	6.6	6.4	6.4
		7.5	7.3	7.5	7.4	6.0	7.4	6.3	6.6	5.0	4.1	4.5	4.5	6.7	6.6	6.2	6.5	5.5	5.1	5.5	5.4	

Tabla 9 Resultados Tramo 2 – Virolas 23 al 44 - Recubrimiento epoxi

ELEMENTO CODIGO	N° DE CAPA	SPOT 1 - 2				SPOT 3 - 4				SPOT 5 - 6				SPOT 7 - 8				SPOT 9 - 10				PROMEDIO
		P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	
Tramo 2 Virola 23	1°	5.5	5.5	6.1	5.7	7.1	6.3	6.6	6.7	7.8	8.1	7.6	7.9	7.5	7.6	6.7	7.3	8.3	8.2	8.2	8.2	7.3
		6.2	6.4	6.2	6.3	8.2	8.4	8.6	8.4	6.2	7.2	6.8	6.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.7	7.7	7.8	
Tramo 2 Virola 24	1°	6.7	5.9	6.1	4.2	4.4	4.4	4.9	4.5	5.7	5.4	5.5	5.5	5.1	5.1	5.4	5.2	5.1	5.2	4.5	4.9	5.6
		5.7	5.5	5.6	5.6	4.7	5.6	7.1	5.8	5.7	5.4	5.6	5.6	7.0	6.7	7.3	7.0	5.3	5.4	5.6	5.4	
Tramo 2 Virola 25	1°	7.0	6.2	6.4	6.5	7.7	7.6	9.5	8.3	5.1	5.2	4.5	4.9	6.0	6.7	6.4	6.4	6.4	6.5	6.6	6.5	6.3
		6.3	6.6	5.7	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	5.2	5.3	5.6	5.4	4.5	5.2	4.4	4.7	7.6	7.5	7.3	7.5	
Tramo 2 Virola 26	1°	5.5	6.0	5.9	5.8	5.5	7.2	5.6	6.1	7.8	6.2	6.6	6.9	8.7	8.4	8.5	8.5	7.3	7.8	6.5	7.2	6.5
		5.8	5.7	6.5	6.0	7.6	6.0	4.6	6.1	4.4	5.6	4.9	5.0	6.9	5.9	5.6	6.1	6.1	6.2	8.5	6.9	
Tramo 2 Virola 27	1°	6.5	6.3	6.6	6.5	5.4	5.0	5.4	5.3	6.9	7.0	5.5	6.5	6.3	6.7	6.0	6.3	5.9	5.8	5.1	5.6	6.1
		6.5	6.9	6.8	6.7	5.9	6.3	6.6	6.3	6.5	6.6	5.8	6.3	6.6	6.2	5.8	6.2	5.6	5.2	5.6	5.5	
Tramo 2 Virola 28	1°	7.0	7.0	7.1	7.0	6.9	6.4	4.8	6.0	7.5	7.1	8.0	7.5	6.3	7.1	7.0	6.8	6.0	6.0	5.4	5.8	7.0
		9.5	9.2	9.0	9.2	6.9	5.1	5.0	5.7	6.9	6.9	6.3	6.7	7.1	6.5	6.6	6.7	6.9	9.2	8.3	8.1	
Tramo 2 Virola 29	1°	6.8	6.9	7.3	7.0	6.5	6.7	6.4	6.5	4.5	4.4	6.8	5.2	4.4	4.1	4.5	4.3	8.4	8.3	9.0	8.6	6.2
		6.9	6.5	5.8	6.4	5.6	6.1	5.6	5.8	5.6	7.2	7.4	6.7	4.3	3.9	4.5	4.2	6.1	7.4	6.7	6.7	
Tramo 2 Virola 30	1°	5.5	6.0	5.9	5.8	5.5	7.2	5.6	6.1	7.8	6.2	6.6	6.9	8.7	8.4	8.5	8.5	7.3	7.8	6.5	7.2	6.5
		5.8	5.7	6.5	6.0	7.6	6.0	4.6	6.1	4.4	5.6	4.9	5.0	6.9	5.9	5.6	6.1	6.1	6.2	8.5	6.9	
Tramo 2 Virola 31	1°	6.4	6.5	6.6	6.5	5.5	5.4	5.4	5.4	7.7	7.6	9.5	8.3	6.0	6.7	6.4	6.4	6.3	6.6	5.7	6.2	7.1
		7.6	7.5	7.3	7.5	7.0	7.2	7.1	7.1	8.2	8.2	8.2	8.2	9.1	9.2	9.5	9.3	7.5	5.5	5.9	6.3	
Tramo 2 Virola 32	1°	9.2	9.1	8.9	9.1	6.4	6.1	5.0	5.8	6.1	6.0	5.9	6.0	5.5	6.1	5.8	5.8	6.9	6.6	6.0	6.5	6.6
		7.8	8.2	8.4	8.1	6.8	6.0	5.0	5.9	5.6	5.9	5.7	5.7	5.1	6.5	5.9	5.8	7.7	8.0	6.9	7.5	
Tramo 2 Virola 33	1°	6.0	6.7	6.4	6.4	7.9	7.5	7.2	7.5	7.5	7.8	7.3	7.5	5.3	5.2	5.4	5.3	6.9	4.6	4.6	5.4	6.7
		6.9	5.6	5.6	6.0	7.3	7.9	7.9	7.7	7.8	8.0	7.9	7.9	7.3	8.2	8.4	8.0	5.2	4.6	4.6	4.8	
Tramo 2 Virola 34	1°	6.4	6.5	6.6	6.5	5.5	5.4	5.4	5.4	7.7	7.6	9.5	8.3	6.0	6.7	6.4	6.4	6.3	6.6	5.7	6.2	6.7
		7.6	7.5	7.3	7.5	7.0	7.2	7.1	7.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.2	8.5	6.9	7.5	5.5	5.9	6.3	
Tramo 2 Virola 35	1°	7.2	6.7	6.5	6.8	7.0	7.0	6.9	7.0	7.1	6.2	7.7	7.0	5.7	7.3	7.0	6.7	6.2	5.6	7.7	6.5	6.8
		6.0	4.9	6.6	5.8	8.4	7.0	6.9	7.4	9.0	5.3	7.3	7.2	4.8	7.9	6.5	6.4	6.7	5.6	8.4	6.9	
Tramo 2 Virola 36	1°	4.5	4.6	4.8	4.6	6.7	6.9	6.4	6.7	5.1	5.6	5.8	5.5	5.2	5.7	5.9	5.6	5.0	5.7	5.4	5.4	5.8
		5.7	5.4	5.5	5.5	6.9	6.8	6.1	6.6	5.0	5.4	5.5	5.3	6.4	5.2	6.9	6.2	6.5	6.3	6.1	6.3	
Tramo 2 Virola 37	1°	6.2	6.0	6.0	6.1	7.5	8.0	7.8	7.8	6.2	6.0	6.0	6.1	6.2	6.0	6.0	6.1	6.2	6.0	6.0	6.1	6.7
		7.2	7.1	7.3	7.2	6.6	6.9	6.7	6.7	7.2	7.1	7.3	7.2	7.2	7.1	7.3	7.2	6.8	6.3	6.5	6.5	
Tramo 2 Virola 38	1°	7.9	5.6	8.2	7.2	6.6	5.6	5.8	6.0	6.2	5.2	6.1	5.8	4.9	7.2	4.6	5.6	7.0	4.5	7.1	6.2	6.3
		7.0	5.6	6.9	6.5	6.1	4.6	6.5	5.7	7.2	4.6	6.4	6.1	5.4	7.9	5.1	6.1	7.7	7.1	6.9	7.2	
Tramo 2 Virola 39	1°	6.9	7.7	7.6	7.4	6.3	7.1	7.0	6.8	7.3	7.5	7.6	7.4	5.5	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	6.1	5.7	6.5
		5.4	5.0	5.3	5.2	7.1	6.5	6.6	6.7	7.3	7.2	7.3	7.3	7.0	7.2	7.1	7.1	6.2	6.4	6.2	6.3	
Tramo 2 Virola 40	1°	9.2	9.1	8.9	9.1	7.4	6.5	6.4	6.7	7.0	7.0	7.1	7.0	6.6	6.7	6.2	6.5	6.2	6.0	6.0	6.1	7.2
		7.8	8.2	8.4	8.1	7.6	6.6	6.5	6.9	9.5	9.2	9.0	9.2	5.4	5.2	5.3	5.3	7.2	7.1	7.3	7.2	
Tramo 2 Virola 41	1°	7.9	7.5	7.5	7.6	5.1	5.6	5.8	5.5	6.9	7.7	7.6	7.4	4.5	4.6	4.8	4.6	6.0	6.0	5.4	5.8	6.2
		6.6	6.5	6.4	6.5	5.0	5.4	5.5	5.3	5.4	5.0	5.3	5.2	5.7	5.4	5.5	5.5	6.9	9.2	8.3	8.1	
Tramo 2 Virola 42	1°	6.5	6.7	6.4	6.5	7.3	7.8	6.5	7.2	6.0	6.7	6.4	6.4	7.2	6.7	6.5	6.8	7.8	8.1	7.6	7.9	6.6
		5.6	6.1	5.6	5.8	6.1	6.2	8.5	6.9	6.9	5.6	5.6	6.0	6.0	4.9	6.6	5.8	6.2	7.2	6.8	6.7	
Tramo 2 Virola 43	1°	4.9	5.2	4.9	5.0	7.0	7.0	6.9	7.0	8.4	8.3	9.0	8.6	7.2	7.4	7.2	7.3	7.3	7.5	7.6	7.4	6.7
		4.9	4.6	4.1	4.5	8.4	7.0	6.9	7.4	6.1	7.4	6.7	6.7	6.0	5.6	5.4	5.7	7.3	7.2	7.3	7.3	
Tramo 2 Virola 44	1°	7.2	7.6	7.0	7.3	7.7	7.6	9.5	8.3	4.9	4.2	4.1	4.4	7.5	7.8	7.3	7.5	4.1	4.8	5.0	4.6	6.9
		6.3	6.9	6.2	6.5	8.2	8.2	8.2	8.2	7.0	7.4	7.6	7.3	7.8	8.0	7.9	7.9	6.3	6.4	6.8	6.5	



Figura 22 Medición de espesor de pintura seca de ULTRAMASTIC 850 HSHB - RAL 6019



Figura 23 Medición de espesor de pintura seca según SSPC – PA2

Medición de espesores de la capa de recubrimiento Pintura poliuretano alifático.

Se realizaron las mediciones del espesor de película seca del recubrimiento en segunda capa: ULTRATHANE 7000 - RAL 6003, según Norma SSPC - PA2, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10 Resultados Tramo 2 – Virolas 1 al 15 – Recubrimiento poliuretano alifático

ELEMENTO CODIGO	N° DE CAPA	SPOT 1 - 2				SPOT 3 - 4				SPOT 5 - 6				SPOT 7 - 8				SPOT 9 - 10				PROMEDIO
		P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	P1	P2	P3	Pm	
Tramo 2 Virola 1	1°	7.5	7.6	7.7	7.6	9.0	9.4	9.4	9.3	9.4	8.9	8.6	9.0	8.8	8.1	8.7	8.5	8.5	9.0	8.3	8.6	8.3
		9.9	9.0	9.9	9.6	9.7	9.4	9.2	9.4	12.5	12.7	12.2	12.5	9.3	8.9	8.7	9.0	9.8	9.3	8.9	9.3	
Tramo 2 Virola 2	1°	9.7	10.6	9.5	9.9	8.6	9.2	8.9	8.9	8.3	8.7	8.8	8.6	8.6	8.4	8.1	8.4	8.4	8.7	8.4	8.5	9.1
		9.4	8.9	9.6	9.3	8.1	7.9	7.5	7.8	9.2	9.5	9.1	9.3	10.3	10.1	10.5	10.3	10.3	10.4	10.3	10.3	
Tramo 2 Virola 3	1°	8.7	8.8	8.5	8.7	10.4	10.5	10.4	10.4	8.7	8.8	8.7	8.7	8.4	8.4	8.2	8.3	8.2	8.3	8.3	8.3	9.0
		9.5	9.5	9.3	9.4	8.3	8.6	8.6	8.5	10.5	10.6	10.0	10.4	8.2	8.1	8.1	8.1	9.5	9.4	9.5	9.5	
Tramo 2 Virola 4	1°	9.2	9.7	8.9	9.3	8.3	9.1	8.8	8.8	9.1	9.8	9.8	9.6	9.9	9.8	9.2	9.6	8.9	9.5	9.9	9.4	9.5
		8.7	8.7	9.3	8.9	8.4	8.0	7.5	8.0	10.0	9.0	9.8	9.6	12.8	12.1	12.6	12.5	8.6	9.2	9.3	9.0	
Tramo 2 Virola 5	1°	8.5	8.5	8.3	8.4	9.4	8.7	8.5	8.8	8.3	8.5	8.8	8.5	9.1	9.3	9.1	9.2	9.7	9.5	10.3	9.8	8.9
		7.4	7.0	7.6	7.3	9.8	9.2	9.4	9.5	9.6	9.2	9.2	9.3	8.8	9.0	8.3	8.7	9.0	8.8	9.3	9.0	
Tramo 2 Virola 6	1°	8.5	8.4	8.3	8.4	9.1	8.9	8.2	8.7	10.3	10.0	10.8	10.4	9.9	9.2	9.7	9.6	10.2	10.1	10.1	10.1	9.5
		8.6	8.8	8.8	8.7	9.1	8.6	8.6	8.8	11.1	11.3	11.3	11.2	8.6	8.5	8.6	8.6	10.1	10.2	10.3	10.2	
Tramo 2 Virola 7	1°	9.1	8.7	8.9	8.9	9.3	9.0	9.1	9.2	12.0	12.7	12.6	12.4	8.8	9.6	9.0	9.1	9.7	9.5	9.3	9.5	9.6
		8.8	8.6	8.8	8.7	8.5	8.8	8.7	8.7	8.3	7.8	8.0	8.0	9.7	10.0	10.2	9.9	11.6	11.0	11.0	11.2	
Tramo 2 Virola 8	1°	8.9	8.4	9.1	8.8	8.6	8.0	9.0	8.5	8.9	8.6	8.4	8.6	8.0	8.1	8.3	8.1	9.5	9.3	9.2	9.3	8.9
		10.2	10.5	10.8	10.5	7.1	7.2	7.1	7.1	8.6	8.3	8.7	8.5	9.2	9.5	9.6	9.4	9.6	9.9	9.6	9.7	
Tramo 2 Virola 9	1°	9.2	9.1	9.3	9.2	9.0	8.8	8.8	8.9	9.8	9.1	9.9	9.6	9.5	9.8	9.5	9.6	9.6	9.6	9.4	9.5	9.4
		8.4	8.1	8.4	8.3	10.6	10.2	10.0	10.3	9.6	9.5	9.6	9.6	10.9	9.9	10.1	10.3	8.6	8.5	8.2	8.4	
Tramo 2 Virola 10	1°	8.4	8.4	9.2	8.7	9.8	9.6	11.3	10.2	11.3	11.1	11.1	11.2	8.9	8.4	8.4	8.6	9.0	8.2	8.7	8.6	9.2
		9.2	9.7	9.7	9.5	9.6	9.6	10.2	9.8	8.6	7.8	8.1	8.2	8.8	10.1	9.1	9.3	8.4	8.5	8.2	8.4	
Tramo 2 Virola 11	1°	8.9	8.8	8.9	8.9	12.9	12.9	12.6	12.8	9.2	9.2	9.4	9.3	8.6	8.8	8.1	8.5	9.1	9.7	9.7	9.5	9.4
		9.3	9.6	9.8	9.6	8.1	8.3	8.2	8.2	8.8	8.5	8.1	8.5	9.0	9.3	9.6	9.3	9.3	9.6	9.0	9.3	
Tramo 2 Virola 12	1°	9.1	9.2	9.3	9.2	10.3	10.1	10.8	10.4	9.0	9.1	9.3	9.1	7.7	7.4	7.7	7.6	8.5	8.3	9.0	8.6	8.9
		9.5	8.1	8.3	8.6	9.3	9.7	9.3	9.4	8.1	8.1	8.7	8.3	8.4	8.9	8.7	8.7	8.3	8.5	9.0	8.6	
Tramo 2 Virola 13	1°	8.2	8.4	8.2	8.3	8.5	8.8	8.7	8.7	8.4	8.2	8.2	8.3	8.7	8.7	9.0	8.8	9.1	9.3	9.4	9.3	9.6
		10.0	10.6	10.4	10.3	10.4	10.1	10.9	10.5	12.0	12.5	12.9	12.5	8.5	8.3	8.9	8.6	10.4	10.6	10.1	10.4	
Tramo 2 Virola 14	1°	9.5	9.6	9.3	9.5	9.2	9.0	9.5	9.2	10.0	10.6	10.2	10.3	8.3	8.8	8.4	8.5	8.7	9.1	9.1	9.0	9.3
		7.8	7.9	7.8	7.8	9.3	9.1	9.5	9.3	9.9	10.0	9.8	9.9	9.8	9.9	9.7	9.8	9.7	9.7	9.2	9.5	
Tramo 2 Virola 15	1°	7.8	7.6	7.7	7.7	9.3	9.0	8.9	8.7	8.2	8.3	8.8	8.4	9.1	9.2	9.1	9.1	10.6	10.8	11.0	10.8	9.5
		10.2	10.3	10.3	10.3	9.2	9.4	9.2	9.3	9.3	9.7	9.3	9.4	11.3	11.9	11.4	11.5	9.6	9.1	9.9	9.5	

Adherencia del recubrimiento.

- La prueba de adherencia se realizó de acuerdo a lo especificado en el estándar ASTM D3359 “Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test”.

Tabla 11 Grado de adhesión de recubrimiento según ASTM D3359 / Método A

Grado de Adherencia	Descripción
5A	No existe peladura o remoción del recubrimiento. Excelente Adherencia.
4A	Trazas de peladura del recubrimiento a lo largo de los cortes. Buena Adherencia
3A	Tiras de recubrimiento removido a lo largo de los cortes hasta de 1 / 16" de largo. Regular adherencia.
2A	Tiras de recubrimiento que se remueven a lo largo de los cortes hasta de 1/2" de longitud. Adherencia regular
1A	Remoción del recubrimiento en una parte considerable del área cubierta por la cinta donde se hizo el corte en X. (mala adherencia).
0A	Remoción del recubrimiento más allá del área donde se hizo el corte en X. (Pésima adherencia)



Figura 24 Aplicación de la prueba de adherencia.

- La prueba de adherencia se realizó a todos los recubrimientos aplicados a las superficies de las virolas de las tuberías forzadas, entre capa base epoxi / sustrato y a la capa de pintura poliuretano alifático; las pruebas de adherencia se realizaron 3 veces en zonas puntuales escogidas aleatoriamente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.

Tabla 12 Resultados de la prueba de adherencia

Tipo de estructura	Grado de adherencia entre capa base y metal			Grado de adherencia entre capa base y capa de acabado con el metal		
	5A	4A	3A	5A	4A	3A
Tramo 2 - Virola 1	5A	4A	5A	5A	4A	4A
Tramo 2 - Virola 3	4A	5A	4A	5A	5A	3A
Tramo 2 - Virola 5	5A	5A	5A	5A	4A	5A
Tramo 2 - Virola 7	4A	5A	4A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 8	5A	5A	5A	4A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 10	5A	5A	5A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 12	4A	4A	5A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 15	5A	4A	5A	5A	5A	4A
Tramo 2 - Virola 17	5A	5A	4A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 20	5A	5A	5A	4A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 22	5A	4A	5A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 24	4A	4A	5A	5A	5A	4A
Tramo 2 - Virola 26	5A	4A	3A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 30	5A	4A	5A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 33	5A	5A	5A	5A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 35	5A	5A	5A	4A	5A	5A
Tramo 2 - Virola 38	5A	4A	5A	5A	4A	5A
Tramo 2 - Virola 40	4A	5A	5A	4A	4A	4A
Tramo 2 - Virola 44	5A	5A	4A	5A	5A	5A

Prueba de continuidad del recubrimiento.

- La superficie de las tuberías fue inspeccionada al 100%. Al estar las tuberías expuestas a un ambiente de alta humedad estas pueden ser atacadas por agente corrosivos si hay presencia de poros que faciliten su llegada hasta el sustrato metálico.
- La prueba se realizo en base a lo especificado en la norma ASTM D5162.
- Para la inspección se empleo equipo detector de discontinuidades y porosidades de la marca Elcometer.
- Al encontrar algún tipo de discontinuidad en el recubrimiento estos fueron marcados para su posterior tratamiento aplicándole una capa adicional de recubrimiento epoxi y pintura poliuretano alifático

CAPÍTULO V

DISCUSIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 DISCUSIONES

Resultado de mediciones de espesores de la capa de recubrimiento.

- De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones de las virolas N° 1 hasta la virola N°44 se obtuvo un promedio general de 6.0 mils de espesor de la capa de base epoxi aplicada, estando este promedio dentro del criterio de aceptación especificado, garantizando una protección duradera al material de las virolas de tuberías forzadas, inhibiéndolo de la corrosión que puede ocasionar el medio ambiente por la presencia de alta humedad generadas por las condiciones ambientales que presenta la zona.

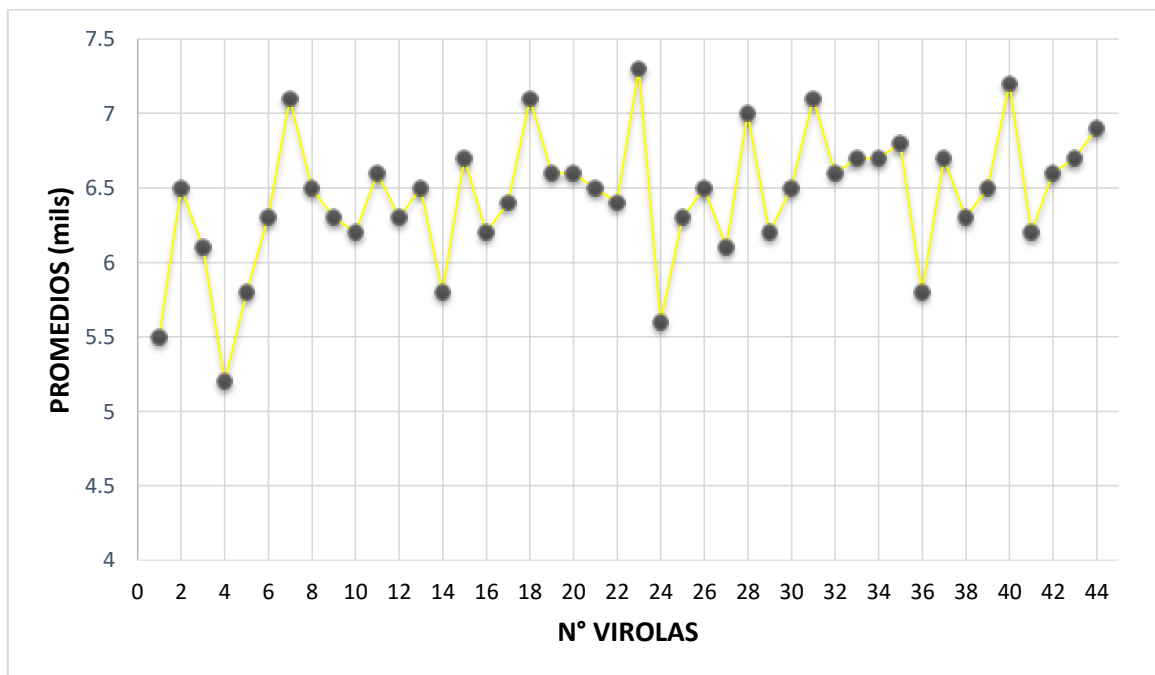


Figura 25. Promedios obtenidos de las mediciones espesores de base epoxi.

- Los promedios de espesores de la capa de pintura poliuretano alifático medidos determinan que estos están dentro del rango de tolerancia exigido por la norma, siendo el promedio general de la capa de pintura de acabado de 9.3 mils; estas mediciones se hicieron aleatoriamente entre las virolas N° 1 al N° 15. Al estar el promedio general de la capa de pintura dentro de los criterios de la norma, nos permite obtener mayores propiedades de adherencia y de protección de los recubrimientos aplicados, garantizando su calidad.

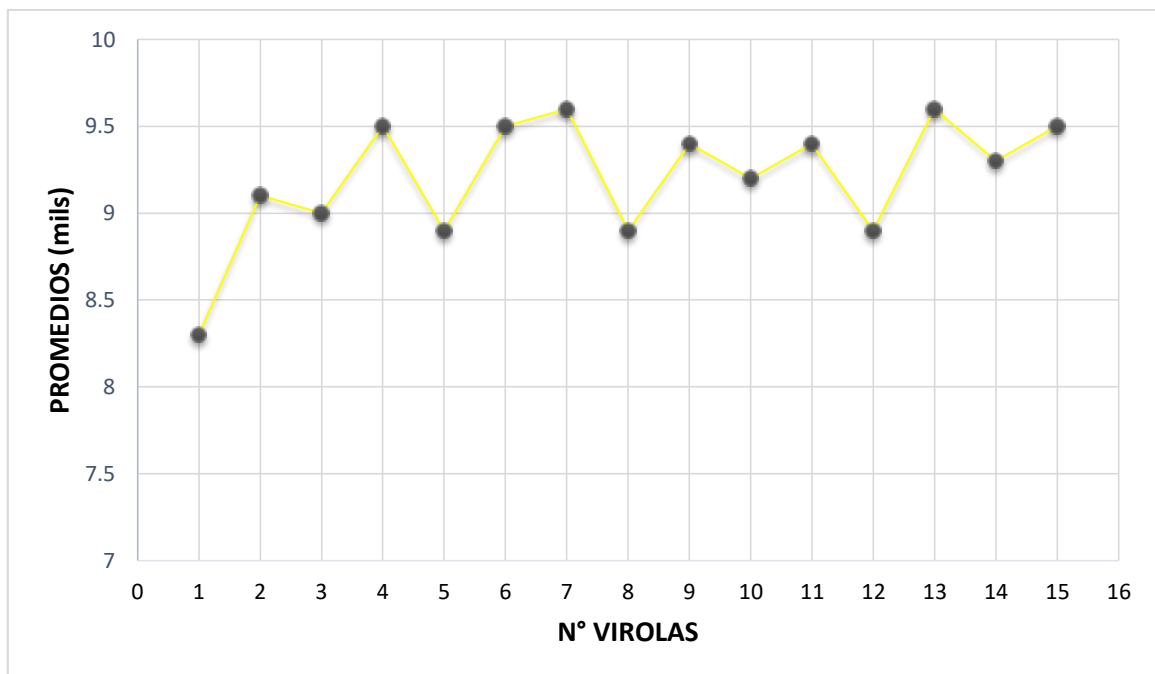


Figura 26. Promedios obtenidos de las mediciones espesores de pintura poliuretano alifático.

Resultados de la prueba de adherencia del recubrimiento.

- El grado de adherencia obtenido para la capa base epoxi y la de pintura de poliuretano alifático muestra una uniformidad promedio de 5ª según la tabla de criterio de la norma ASTM D3359, mostrando una excelente adherencia de los recubrimientos aplicados en las virolas de las tuberías forzadas, demostrando así una buena preparación pre pintado de las superficies tratadas.

Resultado de la prueba de continuidad del recubrimiento.

- Durante la inspección de continuidad realizadas a los recubrimientos, se detectaron zonas con presencia de pequeños poros en la superficie, estas fueron marcados para su tratamiento posterior según el protocolo de dicho proceso. La presencia de poros en la superficie de los recubrimientos puede conllevar al deterioro rápido de las tuberías, por ser estos una entrada de los agentes corrosivos que se encuentran en el ambiente, haciendo el sustrato metálico de las tuberías queden expuestas.

5.2 CONCLUSIONES

- La evaluación durante la aplicación de recubrimiento a las virolas de tuberías forzadas brinda a la empresa la seguridad del cumplimiento de las 7.3 cumplimiento y aseguramiento de la calidad del trabajo realizado.
- La evaluación también permite garantizar la eficiencia y calidad de la pintura proveída por la empresa fabricante contratista.
- La preparación de las superficies se realizó según las especificaciones de la Norma SSPC – SP6, donde sugiere realizar una limpieza con chorro abrasivo al grado comercial.
- El perfil de rugosidad obtenido se encontró en el rango 2.5 a 3.0 mils, valores aceptables según la especificación del servicio.
- Las condiciones ambientales fueron favorables antes y durante la aplicación de las pinturas ($HR < 85\%$; $T_s - T_r > 3^\circ C$). Se debe cumplir con ambas condiciones de lo contrario se debe acondicionar un ambiente adecuado para realizar la aplicación del sistema de recubrimientos.

- La aplicación del recubrimiento mostró un acabado uniforme, con buen poder cubriente, y nivelado en la superficie, obteniendo así un buen performance del recubrimiento aplicado, cumpliendo el procedimiento de trabajo.
- Se evaluaron los espesores de película húmeda, obteniendo resultados de 5 mils. El sistema utilizado cubre todas las expectativas para una protección duradera y una buena presentación de la capa de acabado - ULTRAMASTIC 850 HSHB // ULTRATAHANE 7000.
- El espesor promedio obtenido es de 9.3 mils, el cual se encuentra dentro de lo especificado.

5.3 RECOMENDACIONES

- Seguir cumpliendo con el procedimiento indicado en la norma técnica de preparación de superficie SSPC - SP6: Limpieza con Chorro Abrasivo al Grado Comercial.
- Utilizar recipientes con unidades de medida para la preparación de pintura y la adición de diluyente.
- Tener en cuenta que después de 7 días a una temperatura de 25°C, la pintura alcanzará el curado total y todas sus propiedades físicas químicas y podrá ser sometida a servicio (inicio de operación del elemento).

CAPÍTULO VI

FUENTES DE INFORMACION

6.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

Albañil Romero, H., & Rodriguez Ruiz, O. (2013). *Calculo de la eficiencia de inhibidores de corrosión para ductos de hidrocarburos*. Tesis de Pregrado, Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Ingenieria en Metalurgia y Materiales, D.F. Mexico. Recuperado el Abril de 2019, de www.tesis.ipn.mx

Castillo Bernaola, T. (2004). *Control de Calidad en aplicación de pinturas industriales*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingenieria, Facultad de Ingenieria Quimica y Textil, Lima, Perú. Recuperado el Abril de 2019, de <http://cybertesis.uni.edu.pe>

Davila Zuñiga, P., & Calle Calle, P. (2018). *Estudio de la variabilidad de la adherencia generada por diferentes granulometrias de arena utilizada como abrasivo en la preparación de superficies para un sistema de recubrimiento Primer-IOZ*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingenieria de Procesos, Arequipa, Perú. Recuperado el Febrero de 2019, de <http://repositorio.unsa.edu.pe>

Gadea Nicolas, M. (2016). *Estudio del efecto inhibidor frente a la corrosión de líquidos iónicos en acero F111 en disolución acuosa*. Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena, Ingeniería en Tecnologías Industriales, Cartagena, España. Recuperado el Abril de 2019, de <http://repositorio.upct.es>

Gomez, M., Tamayo, J., Castaño, J., Bolivar, F., Medina, P., De La Cruz, D., & Morales, J. (Enero-Junio de 2017). Evaluacion de metodologias para la aplicacion de sistemas de proteccion contra la corrosion en el interior de tanques de lastre en embarcaciones

marinas. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 174-197. Recuperado el Marzo de 2019, de <http://www.scielo.org.co>

Guerra Carvallo, C. (Octubre de 2014). Selección de sistemas de pintura para control de corrosión atmosférica en un campo de explotación petrolera en la costa norte de Perú. (S. Q. Perú, Ed.) *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 192-201. Recuperado el Enero de 2019, de <http://www.scielo.org.pe>

Sánchez Mercado, I. (2015). *Preparación de superficie del acero para mantenimiento de la aplicación de recubrimientos*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima, Perú. Recuperado el Marzo de 2019, de <http://cybertesis.uni.edu.pe>

Vigo Dextre, M. (2015). *Parámetros de Inspección durante la aplicación de un sistema de recubrimientos industriales*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima, Perú. Recuperado el Enero de 2019, de <http://cybertesis.uni.edu.pe>

ANEXOS

Anexo 01

Norma SSPC- PA2



SSPC-PA 2
May 1, 2012

SSPC: THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS

COATING APPLICATION STANDARD NO. 2

PROCEDURE FOR DETERMINING CONFORMANCE TO DRY COATING THICKNESS REQUIREMENTS

1. Scope

1.1 This standard describes a procedure for determining shop or field conformance to a specified coating dry film thickness (DFT) range on ferrous and non-ferrous metal substrates using nondestructive coating thickness gages (magnetic and electronic) described in ASTM D 7091.

1.2 The procedures for adjustment and measurement acquisition for two types of gages: "magnetic pull-off" (Type 1) and "electronic" (Type 2) are described in ASTM D 7091.

1.3 This standard defines a procedure to determine whether dry coatings conform to the minimum and the maximum thickness specified. See Note 11.1 for an example of a possible modification when measuring dry film thickness on overcoated surfaces.

1.4 This document is not intended to prescribe a frequency of coating thickness measurement for a coating failure investigation¹.

1.5 This document contains the following non-mandatory appendices:

Appendix 1 - Numerical Example of Average Thickness Measurement

Appendix 2 - Methods for Measuring Dry Film Thickness on Steel Beams (Girders)

Appendix 3 - Methods for Measuring Dry Film Thickness for a Laydown of Beams, Structural Steel, and Miscellaneous Parts after Shop Coating

Appendix 4 - Method for Measuring Dry Film Thickness on Coated Steel Test Panels

Appendix 5 - Method for Measuring Dry Film Thickness of Thin Coatings on Coated Steel Test Panels that Have Been Abrasive Blast Cleaned

Appendix 6 - Method for Measuring the Dry Film Thickness of Coatings on Edges

Appendix 7 - Method for Measuring Dry Film Thickness on Coated Steel Pipe Exterior

Appendix 8 - Examples of the Adjustment of Type 2 Gages Using Shims

1.6 This standard is not intended to be used for measurement of thermal spray coatings. The thickness measurement procedures for these coatings are described in SSPC-CS 23.00².

2. Referenced Standards

2.1 The latest issue, revision, or amendment of the referenced standards in effect on the date of invitation to bid shall govern unless otherwise specified. Standards marked with an asterisk (*) are referenced only in the Notes, which are not requirements of this standard.

2.2 If there is a conflict between the requirements of any of the cited reference standards and this standard, the requirements of this standard shall prevail.

2.3 ASTM International Standard³

D 7091 Standard Practice for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to Ferrous Metals and Nonmagnetic, Nonconductive Coatings Applied to Non-Ferrous Metals (mandatory document)

2.4 SSPC: The Society for Protective Coatings Standard:

* **PA Guide 11** Protecting Edges, Crevices, and Irregular Steel Surfaces by Stripe Coating

3. DEFINITIONS

3.1 **Gage Reading:** A single instrument reading.

3.2 **Spot Measurement:** The average of three, or at least three gage readings made within a 1.5-inch (approximately 4-centimeter [~4-cm]) diameter circle. Acquisition of more than three gage readings within a spot is permitted. Any unusually

¹ The number and location of measurements during a coating failure investigation may be more or less frequent than described by this standard.

² CS 23.00/AWS C2.23M/NACE No. 12, Specification for the Application of Thermal Spray Coatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, and Their Alloys and Composites for the Corrosion Protection of Steel is available online at <<http://www.sspc.org/marketplace>>

³ ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959. For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

high or low gage readings that are not repeated consistently are discarded. The average of the acceptable gage readings is the spot measurement.

3.3 Area Measurement: The average of five spot measurements obtained over each 100 ft² (~10 m²) of coated surface.

4. Description of Gages

4.1 Gage Types: The gage type is determined by the operating principal employed in measuring the thickness and is not determined by the mode of data readout, i.e. digital or analog.

4.1.1 Type 1 – Magnetic Pull-Off Gages: In magnetic pull-off gages, a permanent magnet is brought into direct contact with the coated surface. The force necessary to pull the magnet from the surface is measured and interpreted as the coating thickness value on a scale or display on the gage. Less force is required to remove the magnet from a thick coating. The scale is nonlinear.

4.1.2 Type 2 – Electronic Gages: An electronic gage uses electronic circuitry to convert a reference signal into coating thickness.

5. Calibration and Verification of Accuracy

5.1 ASTM D 7091 describes three operational steps necessary to ensure accurate coating thickness measurement: calibration, verification and adjustment of coating thickness measuring gages, as well as proper methods for obtaining coating thickness measurements on both ferrous and non-ferrous metal substrates. These steps shall be completed before taking coating thickness measurements to determine conformance to a specified coating thickness range.

5.2 Gages shall be calibrated by the manufacturer or a qualified laboratory. A Certificate of Calibration or other documentation showing traceability to a national metrology institution is required. There is no standard time interval for re-calibration, nor is one absolutely required. Calibration intervals are usually established based upon experience and the work environment. A one-year calibration interval is a typical starting point suggested by gage manufacturers.

5.3 To guard against measuring with an inaccurate gage, gage accuracy shall be verified at a minimum of the beginning and end of each work shift according to the procedures described in ASTM D 7091. The user is advised to verify gage accuracy during measurement acquisition (e.g., hourly) when a large number of measurements are being obtained. If the gage is dropped or suspected of giving erroneous readings during the work shift, its accuracy shall be rechecked.

5.4 Record the serial number of the gage, the reference standard used, the stated thickness of the reference standard

as well as the measured thickness value obtained, and the method used to verify gage accuracy. If the same gage, reference standard, and method of verification are used throughout a job, they need to be recorded only once. The stated value of the standard and the measured value must be recorded each time accuracy is verified.

5.5 If the gage fails the post-measurement accuracy verification check, all measurements acquired since the last accuracy verification check are suspect. In the event of physical damage, wear, or high usage, or after an established calibration interval, the gage shall be rechecked for accuracy of measurement. If the gage is not measuring accurately, it shall not be used until it is repaired and/or recalibrated (usually by the gage manufacturer).

5.6 Type 1 gages have nonlinear scales and any adjusting feature is linear in nature. Any adjustment of these gages will limit the DFT range for which the gage will provide accurate readings; therefore adjustment of the gage is not recommended. Furthermore, the application of a single "correction value" representing the full range of the gage to compensate for a gage that is not measuring accurately is not appropriate, since the correction will also be non-linear.⁴

6. Measurement Procedure - Type 1 Gages

6.1 Type 1 gage accuracy is verified using smooth test blocks. In order to compensate for any effect of the substrate itself and surface roughness, obtain measurements from the bare, prepared substrate at a minimum of ten (10) locations (arbitrarily spaced) and calculate the average value. This value represents the effect of the substrate/surface roughness on a coating thickness gage. This average value is the base metal reading (BMR). The gage shall not be adjusted to read zero on the prepared, bare substrate.

6.2 Measure the DFT of the dry coating at the number of spots specified in Section 8.

6.3 Subtract the BMR from the gage reading to obtain the thickness of the coating.

7. MEASUREMENT PROCEDURE - TYPE 2 GAGES

7.1 The manufacturers of Type 2 (electronic) gages prescribe different methods of adjustment to measure dry film thickness over abrasive blast cleaned surfaces. Adjust the gage according to the manufacturers instructions using one of the methods described in ASTM D 7091 or Appendix 8 of this standard.

⁴ A correction curve can be prepared by plotting the actual gage readings against the stated values on the calibration test blocks. Subsequent coating thickness measurements can be "corrected" by plotting the measurements along the correction curve. The correction curve may or may not cover the full range of the gage, but should cover the intended range of use. The Base Metal Readings (BMR) described in 6.1 may also need to be plotted on the correction curve.

7.2 Measure the DFT of the dry coating at the number of spots specified in Section 8.

8. Required Number of Measurements for Conformance to a Thickness Specification

8.1 Number of Measurements: Repeated gage readings, even at points close together, often differ due to small surface irregularities of the coating and the substrate. Therefore, a minimum of three (3) gage readings shall be made for each spot measurement of the coating. For each new gage reading, move the probe to a new location within the 1.5 inch (4-cm) diameter circle defining the spot. Discard any unusually high or low gage readings that are not repeated consistently. The average of the acceptable gage readings is the spot measurement.

8.2 Unless otherwise specified in the procurement documents (project specification), an area measurement is obtained by taking five (5) separate spot measurements (average of the gage readings described in 8.1) randomly spaced throughout each 100 ft² (~10-m²) area to be measured and representative of the coated surface. The five spot measurements shall be made for each 100 ft² (~10-m²) of area as follows:

8.2.1 For areas of coating not exceeding 300 ft² (~30 m²) arbitrarily select and measure each 100 ft² (~10-m²) area.

8.2.2 For areas of coating greater than 300 ft² (~30 m²) and not exceeding 1,000 ft² (~100 m²), arbitrarily select and measure three 100 ft² (~10-m²) areas.

8.2.3 For areas of coating exceeding 1,000 ft² (~100 m²), arbitrarily select and measure the first 100 m² (~1,000 ft²) as stated in Section 8.2.2. For each additional 1,000 ft² (~100 m²) coated area (or increment thereof), arbitrarily select and measure one additional 100 ft² (~10-m²) area.

8.2.4 If the coating thickness for any 100 ft² (~10-m²) area is not in compliance with the contract documents, the procedure described below shall be followed to assess the magnitude of the nonconforming thickness.

8.2.4.1 Determine the spot DFT at 5-ft (1.5-m) intervals in eight equally spaced directions radiating outward from the nonconforming 100 ft² (~10-m²) area as shown in Figure 1.

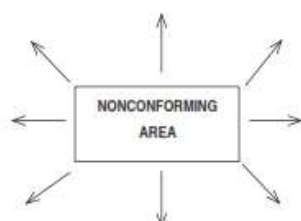


FIGURE 1
RADIATING SPOT MEASUREMENTS TO DETERMINE
EXTENT OF NONCONFORMING AREA

If there is no place to measure in a given direction, then no measurement in that direction is necessary. Acquire spot measurements in each direction (up to the maximum surface area coated during the work shift) until two consecutive conforming spot measurements are acquired in that direction or until no additional measurements can be made. Acceptable spot measurements are defined by the minimum and maximum values in the contract documents. No allowance is made for variant spot measurements as is the practice when determining the area DFT.

8.2.4.1.1 On complex structures or in other cases where making multiple spot measurements at 5-ft (1.5-m) intervals is not practical, single spot measurements shall be performed on repeating structural units or elements of structural units. This method shall be used when the largest dimension of the unit is less than 10 ft (3 m). Make single spot measurements on repeating structural units or elements of structural units until spot measurements on two consecutive units in each direction are conforming or until there are no more units to test.

8.2.4.2 Non-compliant areas shall be demarcated using removable chalk or other specified marking material and documented. All of the area within 5 ft (1.5 m) of any non-compliant spot measurement shall be designated as non-compliant. For a given measurement direction or unit measurement, any compliant area or unit preceding a non-compliant area or unit shall be designated as suspect, and as such is subject to re-inspection after corrective measures are performed.

8.2.5 Appendices 2 through 7 provide specifiers with optional alternatives for defining the area size as well as the number and frequency of spot measurements to include in project specifications as appropriate for the size and shape of the item or structure to be coated.

9. Conformance to Specified Thickness

9.1 A minimum and a maximum thickness are normally specified for each layer of coating. If a single thickness value is specified and the coating manufacturer does not provide a recommended range of thickness, then the minimum and maximum thickness for each coating layer shall be +/- 20% of the stated value.

9.2 Table 1 provides five thickness restriction levels. Level 1 is the most restrictive and does not allow for any deviation of spot or area measurements from the specified minimum and maximum thickness, while Level 5 is the least restrictive. Depending on the coating type and the prevailing service environment, the specifier selects the dry film thickness restriction level for a given project. If no restriction level is specified, then Level 3 is the default. It is possible to specify a maximum thickness threshold for Level 5 Spot or Area measurements for some generic product types and service environments.

9.3 For the purpose of final acceptance of the total dry film thickness, the cumulative thickness of all coating layers

**TABLE 1
COATING THICKNESS RESTRICTION LEVELS**

Thickness	Gage Reading	Spot Measurement	Area Measurement
Level 1			
Minimum	Unrestricted	As specified	As specified
Maximum	Unrestricted	As specified	As specified
Level 2			
Minimum	Unrestricted	As specified	As specified
Maximum	Unrestricted	120% of maximum	As specified
Level 3			
Minimum	Unrestricted	80% of minimum	As specified
Maximum	Unrestricted	120% of maximum	As specified
Level 4			
Minimum	Unrestricted	80% of minimum	As specified
Maximum	Unrestricted	150% of maximum	As specified
Level 5			
Minimum	Unrestricted	80% of minimum	As specified
Maximum	Unrestricted	Unrestricted	Unrestricted

shall be no less than the cumulative minimum specified thickness and no greater than the cumulative maximum specified thickness.

10. Disclaimer

10.1 While every precaution is taken to ensure that all information furnished in SSPC standards and specifications is as accurate, complete, and useful as possible, SSPC cannot assume responsibility nor incur any obligation resulting from the use of any materials, coatings or methods specified therein, or of the specification or standard itself.

10.2 This standard does not attempt to address problems concerning safety associated with its use. The user of this standard, as well as the user of all products or practices described herein, is responsible for instituting appropriate health and safety practices and for ensuring compliance with all governmental regulations.

11. Notes

Notes are not requirements of this standard.

11.1 Overcoating: Maintenance painting often involves application of a new coating over an existing coating system. It can be very difficult to accurately measure the DFT of this newly applied coating using non-destructive methods. First, access to the profile is not available, compromising the accuracy of the BMR or the adjustment of a Type 2 gage. Second, unevenness in the DFT of the existing coating necessitates careful mapping of the "before and after" DFT readings. This unevenness also adds to the statistical variation in trying to establish a base DFT reading to be subtracted from the final DFT.

A paint inspection gage (sometimes called a Tooke or PIG gage) will give accurate DFT measurements, but it requires that an incision be made through the coating (overcoat only or total system), so each measurement site will require repair.

A practical approach to monitoring DFT (when overcoating) is to compute the DFT using wet film thickness (WFT) readings, the percent volume solids of the coating being applied, and any thinner addition as shown below.

$$DFT = \text{Measured WFT} \times \% \text{ Volume Solids,}$$

or

$$DFT = \frac{\text{Measured WFT} \times \% \text{ volume solids}}{100\% + \% \text{ thinner added}}$$

If the DFT of the existing coating is not too uneven or eroded, the average DFT of the existing coating can be measured per this standard to establish a base DFT. This base DFT can then be subtracted from the total DFT to isolate the thickness of the overcoat(s).

11.2 Correcting for Low or High Thickness: The specifier should specifically state the methodology to correct the applied dry film for low or high thickness. If this information is not contained in the specification, then the manufacturer's instructions should be followed.

APPENDIX 1 - Numerical Example of Average Thickness Measurement

Appendix 1 is not a mandatory part of this standard.

The following numerical example is presented as an illustration of Section 8. Metric values are calculated equivalents from U.S. Customary measurements (reference Journal of Protective Coatings and Linings, Vol. 4, No 5, May 1987). The example is based on a Level 3 Restriction (default).

Suppose this structure is 300 ft² (~30 m²) in area. Mentally divide the surface into three equal parts, each being about 100 ft² (~10 m²).

- Part A - 100 ft² (~10 m²)
- Part B - 100 ft² (~10 m²)
- Part C - 100 ft² (~10 m²)

First, measure the coating thickness on Part A. This involves at least 15 gage readings with a Type 1 or Type 2 device (see Figure A1). Assume the specification calls for 2.5 mils (~64 micrometers [μm]) minimum thickness. The coating thickness for area A is then the average of the five spot measurements made on area A, namely 2.6 mils (65.4 μm).

Spot 1	2.5 mils	64 μm
Spot 2	3.0	76
Spot 3	2.1	53
Spot 4	3.0	76
Spot 5	2.3	58
Average	2.6 mils	65.4 μm

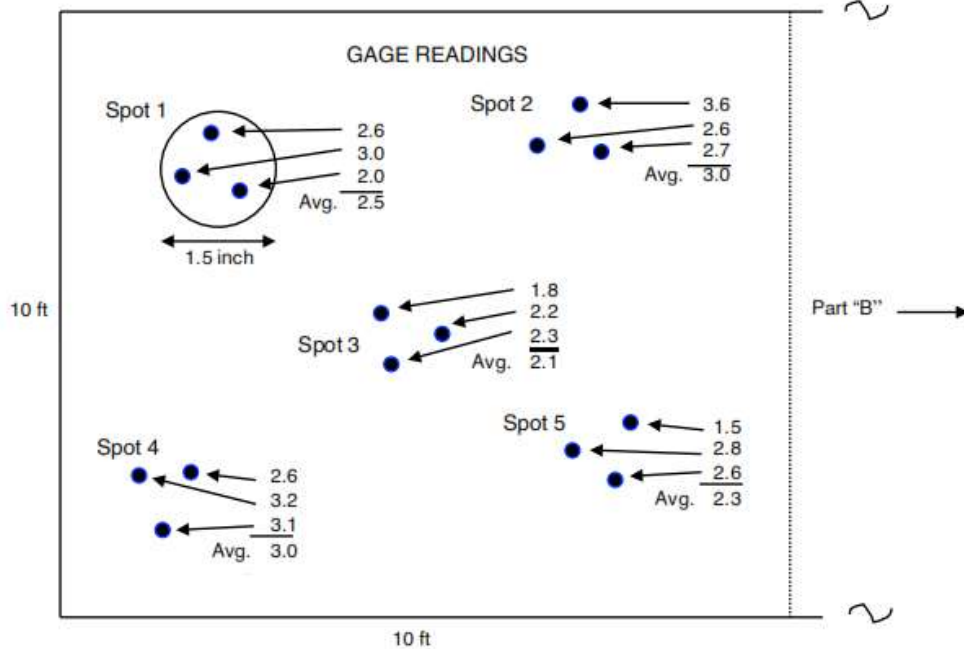
Considering the U.S. Customary Measurements: The average, 2.6 mils, exceeds the specified minimum of 2.5 mils and thus satisfies the specification. Next, determine if the lowest spot measurement, 2.1 mils, is within 80% of the

specified minimum thickness. Eighty percent of 2.5 mils is 2.0 mils ($0.80 \times 2.5 = 2.0$). Although 2.1 mils is below the specified minimum, it is still within 80 percent of it, so the specification is satisfied. There are individual gage readings of 1.5 mils at Spot 5 and 1.8 mils at Spot 3, both of which are clearly less than 2.0 mils. This is allowed because only the average of the three readings (i.e. the spot measurement) must be greater than or equal to 2.0 mils.

Considering Equivalent Metric Measurements: The average, 65.4 μm , exceeds the specified minimum of 64 μm and thus satisfies the specification. Next, determine if the lowest spot measurement, 53 μm , is within 80% of the specified minimum thickness. Eighty percent of 64 μm is 51 μm ($0.80 \times 64 = 51$). Although 53 μm is below the specified minimum, it is still within 80% of it so the specification is satisfied. There are individual gage readings of 38 μm (1.5 mils) at spot 5 and 46 μm (1.8 mils) at spot 3, both of which are clearly less than 51 μm . This is allowed because only the average of the three readings (i.e., the spot measurement) must be greater than or equal to 51 μm .

Since the structure used in this example is 300 ft² (approximately 30 m²), the procedure used to measure the film thickness of part A must be applied to both part B and part C. The measured thickness of part B must exceed the (64 μm) specified minimum, as must the thickness of part C.

FIGURE A1
PART "A" OF STRUCTURE
(AREA 100 FT² [APPROXIMATELY 10 M²])



To monitor the thickness of this entire 300-ft² (approximately 30-m²), structure, at least 45 individual gage readings must be taken, from which 15 spot measurements are calculated. The five spot measurements from each 100 ft² (10-m²) part of the structure are used to calculate the thickness of that part.

APPENDIX 2 - Methods for Measuring Dry Film Thickness on Steel Beams (Girders)

Appendix 2 is not a mandatory part of this standard, but it provides two sample protocols for measuring DFT on beams and girders.

A2.1 A challenge for the painter in coating steel beams or girders is providing the same uniform thickness over high and low vertical surfaces as over horizontal surfaces. On a beam, there are proportionately more edges that tend to have low dry film thickness (DFT) and inside corners that tend to have high DFT compared to the center of the flat surfaces. Each painter usually develops a pattern of work for a specific task. Hence, the DFT on the underside of the top flange, for example, may be consistently on the high side or the low side of the target DFT. This type of error is easy to detect and correct. Random errors pose a more difficult problem. Gross errors where the paint is obviously too thin or too thick must be corrected and are beyond the scope of this standard.

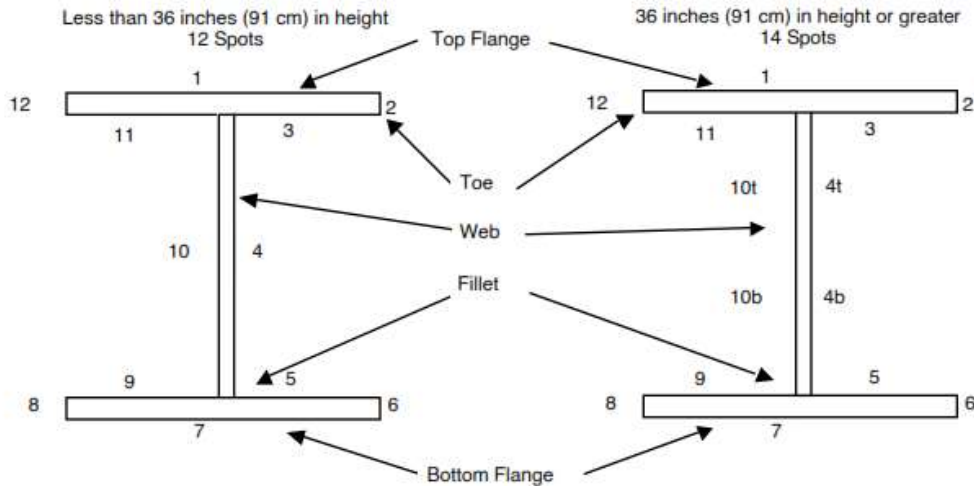
The number of spot measurements in these protocols may far exceed the "5 spot measurement per 100 ft² (10 m²)" required in the standard. The full DFT determination, described in Section A3.2, provides a very thorough inspection of the beam. The sample DFT determination, described in Section

A3.4, allows for fewer spot measurements. The user does not have to require a full DFT determination for every beam in the structure. For example, the requirement may be for a full DFT determination on one beam out of ten, or a sample DFT determination on one beam out of five, or a combination of full and sample DFT determinations. Note that for existing structures, the top side of the top flange (Surface 1) may not be accessible for measuring coating thickness.

A beam has twelve different surfaces as shown in Figure A2. Any one of these surfaces may have a DFT outside the specified range, and hence, shall be measured. If the thickness of the flange is less than 1 inch (25 mm), the contracting parties may choose not to measure the DFT on the toe, i.e., surfaces 2, 6, 8, and 12 of Figure A2. As an informal initial survey, the inspector may want to check for uniformity of DFT across each surface. Is the DFT of the flange near the fillet the same as near the toe? Is the DFT uniform across the web? The inspector must be sure to use a gage that is not susceptible to edge effects. Follow the gage manufacturer's instructions when measuring the edges.

A2.2 Full DFT Determination of a Beam: Divide the beam or girder into five equal sections along its length. Identify the 12 surfaces of the beam as shown in Figure A2 for each section. For tall beams where the height of the beam is 36 inches (91 cm) or more, divide the web in half along the length of the beam. For the full DFT determination, each half of the web is considered a separate surface. Take one spot measurement (as defined in Section 8.1) on surface 1 in each of the five sections. The location of the surface 1 measurement within a section is arbitrarily chosen by the inspector in each of the five sections. The average of these five spot measurements is the

**FIGURE A2
THE SURFACES OF A STEEL BEAM
(36 in [91 cm] in height)**



**TABLE A2
DATASHEET FOR RECORDING SPOT MEASUREMENTS AND
AVERAGE DFT VALUES FOR THE 12 SURFACES OF A BEAM OR GIRDER**

Spot Measurements of DFT on Beam # _____

Surface	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Average
1						
2						
3						
4t						
4b						
5						
6						
7						
8						
9						
10t						
10b						
11						
12						

t = top half of web (for beams equal to or greater than 36 in [91 cm] in height)
b = bottom half of web (for beams equal to or greater than 36 in [91 cm] in height)

**TABLE A2.1 – NUMBER OF SPOT MEASUREMENTS NEEDED
ON EACH SURFACE OF A BEAM FOR A FULL OR A SAMPLE DFT DETERMINATION**

Length of Beam	Number of Spot Measurements per Surface	
	Full DFT Determination*	Sample DFT Determination
less than 20 ft (6 m)	5	2
from 20 to 60 ft (6 to 18 m)	5	3
over 60 ft (18 m)	5	NA

* For beams 36 inches (91 cm) or more, the top half and the bottom half of the web are treated as separate surfaces in a full DFT determination.

DFT of surface 1. Repeat for the other 11 surfaces (7 surfaces if the toe is not measured; 14 surfaces for tall beams). The data can be reported in a format shown in Table A2.

A2.3 If Coating Thickness Restriction Level 3 is invoked by the specification (or if no Restriction Level is invoked by the specification), then no single spot measurement can be less than 80% of the specified minimum DFT, and no single spot measurement can be more than 120% of the specified maximum DFT. The average value for each surface must conform to the specified DFT. (There will be only eight average values if the DFT of the toe is not measured; there may be as many as 14 average values for beams greater than 36 inches in height.)

A2.4 SAMPLE DFT DETERMINATION OF A BEAM: In lieu of a full DFT determination of each beam, the job specification may require only a sample DFT determination for selected beams less than 60 ft (18 m) long. For a sample DFT

determination, the web of beams less than 36 inches (91 cm) in height is not split.

A2.4.1 Beams less than 6 m (20 ft) in length: For beams less than 20 ft (6 m) in length, take two spot measurements, randomly distributed, on each of the 12 surfaces (8 surfaces if the toe is not measured) of the beam as defined in Figure A2. Each spot measurement must conform to the specified DFT.

A2.4.2 Beams 20 ft (6 m) up to 60 ft (18 m) in length: For beams 20 ft (6 m) up to 60 ft (18 m) in length, take three spot measurements, randomly distributed, on each of the 12 surfaces (8 surfaces if the toe is not measured) of the beam as defined in Figure A2. Each spot measurement must conform to the specified DFT.

A2.5 NON-CONFORMANCE: If any spot measurement falls outside the specified range, additional measurements may be made to define the non-conforming area.

A2.6 RESTRICTED ACCESS: If the beam is situated such that one or more of the surfaces are not accessible, take measurements on each accessible surface in accordance with Section A2.2 or Section A2.4 through A2.4.2, as specified.

A2.7 ATTACHMENTS: Stiffeners and other attachments to a beam shall be arbitrarily measured.

APPENDIX 3 - Methods for Measuring Dry Film Thickness for a Laydown of Beams, Structural Steel, and Miscellaneous Parts After Shop Coating

Appendix 3 is not a mandatory part of this standard, but it provides two sample protocols for measuring DFT for a laydown.

A3.1 GENERAL: A "laydown" is a group of steel members laid down to be painted in one shift by one painter. For inspection of a laydown, first make a visual survey to detect areas with obvious defects, such as poor coverage, and correct as necessary. As an informal initial survey, the inspector may want to check for uniformity of DFT across each surface.

A3.2 FULL DFT DETERMINATION

A3.2.1 Beam (Girder): Follow the procedure described in Section A2.2.

A3.2.2 Miscellaneous Parts: Take 1 spot measurement (as defined in Section 8.1) on each surface of the part. If the part has fewer than 5 surfaces, take multiple spot measurements on the larger surfaces to bring the total to 5. If the total area of the part is over 100 ft² (10 m²), take 5 spot measurements randomly distributed over the part for each 100 ft² (10 m²), or fraction thereof.

A3.3 If Coating Thickness Restriction Level 3 is invoked by the specification (or if no Restriction Level is invoked by the specification), then no single spot measurement can be less than 80% of the specified minimum DFT, and no single spot measurement can be more than 120% of the specified maximum DFT. The average value of the spot measurements on each surface must conform to the specified DFT. If there is only a single spot measurement on a surface, it must conform to the specified DFT.

A3.4 SAMPLE DFT DETERMINATION: In lieu of a full DFT determination of each painted piece as described in Section A2.2, the job specification may require only a sample DFT determination for selected pieces.

A3.4.1 Beams less than 20 ft (6 m): Follow the procedure described in Section A2.4.1.

A3.4.2 Beams greater than 20 ft (6 m): up to 60 ft (18 m) in length: Follow the procedure described in Section A2.4.2.

A3.4.3 Miscellaneous parts: For a miscellaneous part, take three spot measurements, randomly distributed on the

part. Each spot measurement must conform to the specified DFT.

A3.5 NON-CONFORMANCE: If any spot measurement falls outside the specified range, additional measurements may be made to define the non-conforming area.

A3.6 RESTRICTED ACCESS: If a beam or miscellaneous part is situated such that one or more of the surfaces are not accessible, take measurements on each accessible surface in accordance with Section A2.2 or Section A2.4, as specified.

A3.7 NUMBER OF BEAMS OR PARTS TO MEASURE: In a laydown, the number of beams or parts to receive a full DFT determination and the number to have a sample DFT determination can be specified. For example, do a full DFT determination on a piece painted near the beginning of the shift, near the middle of the shift, and near the end of the shift in accordance with Section A3.2; and perform a sample DFT determination on every third piece in accordance with Section A3.4.

A3.8 ATTACHMENTS: Stiffeners and other attachments to a beam shall be arbitrarily measured.

APPENDIX 4 - Method for Measuring Dry Film Thickness on Coated Steel Test Panels

Appendix 4 is not a mandatory part of this standard, but it provides a sample protocol for measuring DFT on coated steel test panels.

A4.1 PANEL SIZE: The test panel shall have a minimum area of 18 in² (116 cm²) and a maximum area of 144 in² (930 cm²); e.g., minimum 3 x 6 inch (7.5 x 15 cm) and maximum 12 x 12 inch (30 x 30 cm).

A4.2 PROCEDURE: Use a Type 2 electronic gage. Take two spot readings from the top third, the middle third, and the bottom third of the test panel. Readings shall be taken at least 1 inch (25 mm) from any edge and 1 inch (25 mm) from any other spot reading. Discard any unusually high or low gage reading that cannot be repeated consistently. The DFT of the test panel is the average of the six acceptable spot readings.

A4.3 MINIMUM THICKNESS: The average of the acceptable spot readings shall be no less than the specified minimum thickness. No single spot reading shall be less than 80% of the specified minimum.

A4.4 MAXIMUM THICKNESS: The average of the acceptable spot readings shall be no more than the specified maximum thickness. No single spot reading shall be more than 120% of the specified maximum.

A4.5 REJECTION: If a spot reading is less than 80% of the specified minimum DFT or exceeds 120% of the specified maximum DFT, additional measurements may be made to reevaluate the DFT on the area of the test panel near the

low or high spot reading. If the additional measurements indicate the DFT in the disputed area of the panel to be below the minimum or above the maximum allowable DFT, the panel shall be rejected.

APPENDIX 5 - Method for Measuring Dry Film Thickness of Thin Coatings on Coated Steel Test Panels that have been Abrasive Blast Cleaned

Appendix 5 is not a mandatory part of this standard, but it provides a sample protocol for measuring DFT of thin coatings on coated steel test panels that had been abrasive blast cleaned.

A5.1 For the purposes of this standard, a coating is defined as thin if the dry film thickness (DFT) is on the order of 1 mil (25 μm) or less. Because the DFT is the same order as the statistical fluctuations of a DFT gage on bare blast cleaned steel, many gage readings must be taken to get a meaningful average.

A5.2 PANEL SIZE: The test panel shall have a minimum area of 18 in² (116 cm²) and a maximum area of 144 in² (930 cm²); e.g., minimum 3 x 6 inch (7.5 x 15 cm) and maximum 12 x 12 inch (30 x 30 cm).

A5.3 PROCEDURE: Use a properly adjusted Type 2 electronic gage. Take ten gage readings randomly distributed in the top third of the panel. Compute the mean (average) and standard deviation of these ten readings. Similarly, take ten readings from the middle third and ten readings from the bottom third of the test panel and compute their means and standard deviations. Readings shall be taken at least 1/2 inch (12 mm) from any edge and 1 inch (25 mm) from any other gage reading. Discard any unusually high or low gage reading, i.e., a reading that is more than three standard deviations from the mean. The DFT of the test panel is the average of the three means.

A5.4 MINIMUM THICKNESS: The average of the means shall be no less than the specified minimum thickness. No single mean shall be less than 80% of the specified minimum.

A5.5 MAXIMUM THICKNESS: The average of the means shall be no more than the specified maximum thickness. No single mean shall be more than 120% of the specified maximum.

APPENDIX 6 - Method for Measuring the Dry Film Thickness of Coatings on Edges

Appendix 6 is not a mandatory part of this standard, but it provides a sample protocol for measuring DFT of coatings on edges.

A6.1 Type 2 gage manufacturers offer a variety of probe configurations, some of which are less affected by proximity to edges and are designed to better measure the thickness of coatings on edges. The user should consult the gage manufacturer's instructions before measuring coating thickness on edges. SSPC-PA Guide 11 describes the use of coatings with edge retention properties and references a method (MIL-PRF-23236D) for assessing edge retention properties of coatings.

A6.2 Prior to measurement of coating on edges, the gage and probe should be verified for accuracy by placing a thin, flexible shim onto the prepared, uncoated edge. Adjustments to the gage may or may not be required. This procedure also verifies that the probe configuration will accommodate the edge configuration prior to coating thickness data acquisition.

A6.3 Obtain a minimum of three gage readings within 1.5 linear inches (~4 linear cm) of coated edge. The average of the gage readings is considered a spot reading. The number of spot readings along the edge will vary depending on the total length of the coated edge.

APPENDIX 7 – Method for Measuring Dry Film Thickness on Coated Steel Pipe Exterior

Appendix 7 is not a mandatory part of this standard, but it provides a sample protocol for measuring DFT of the exterior of coated pipe.

A7.1 Pipe sections that are loaded onto a cart or rack are considered a complete unit, as opposed to a single joint of pipe. The total number of spot and area measurements is based on the total square footage of pipe on the cart or rack. The square footage can be calculated using the formula below:

Area = (length of each pipe x circumference) x number of pipe sections on cart or rack

A7.2 Some carts may have several small items that could exceed the number of spot DFT readings required based on

**TABLE A7
NUMBER AND LOCATIONS OF SPOT MEASUREMENTS – PIPE SPOOLS**

Pipe Diameter	Circumferential Spot Measurements	Interval Spacing
Up to 12 in (30 cm)	4 evenly spaced	10 feet (3 meters) apart
14 to 24 inches (36-60 cm)	6 evenly spaced	10 feet (3 meters) apart
Greater than 24 inches (60 cm)	8 evenly spaced	10 feet (3 meters) apart

total square footage. In this case, the Owner/Contractor may select a Pipe DFT frequency Level shown below:

A7.2.1 Pipe DFT Level 1 Area = (length of each pipe x circumference) x no. of pipe sections on cart or rack = (number of spot measurements) x 2

A7.2.2 Pipe DFT Level 2 Area = (length of each pipe x circumference) x no. of pipe sections on cart or rack = (number of spot measurements) x 3

A7.2.3 Pipe DFT Level 3 Area = (length of each pipe x circumference) x no. of pipe sections on cart or rack = (number of spot measurements) x 4

A7.2.4 Pipe DFT Level 4 Area = (length of each pipe x circumference) x no. of pipe sections on cart or rack = (number of spot measurements) x 5

A7.2.5 Pipe DFT Level 5 Area = (length of each pipe x circumference) x no. of pipe sections on cart or rack = (number of spot measurements) x 6

A7.3 Pipe spools that are not loaded onto a rack or cart are measured individually. The number and locations of spot measurements are based on Table A7. Three sets of four circumferential spot measurements should be obtained on pipe spools less than 10 feet (3 meters) in length.

A7.4 A challenge for the painter in coating fabricated pipe spools is providing a uniform thickness throughout the entire surface. On a fabricated pipe spool, valves, flanges, and elbows tend to have low or high DFTs when compared to the straight run section. Painters may develop a pattern of work for a specific task. Hence, the DFT on the flange and valves may be consistently on the high side or the low side of the target DFT. This type of error is easy to detect and correct. Random errors pose a more difficult problem. Gross errors where the paint is obviously too thin or too thick must be corrected and are beyond the scope of this standard.

The number of spot measurements in this protocol may far exceed the "5 spot measurement per 100 ft² (10 m²)" required in the standard. The full DFT determination, described in Table

A7, provides a very thorough inspection of a joint of pipe. The DFT determination, described in Section A7.1, may allow for fewer spot measurements. The user does not have to require a full DFT determination for every joint of pipe. For example, the requirement may be for a full DFT determination on one pipe out of ten, or a sample DFT determination on one pipe out of five, or a combination of full and sample DFT determinations.

APPENDIX 8 - Examples of the Adjustment of Type 2 Gages Using Shims

Appendix 8 does not form a mandatory part of this standard, but it provides examples of how to adjust Type 2 gages using shims on roughened (e.g., abrasive blast cleaned) surfaces.

This example describes a method of adjustment to improve the effectiveness of a Type 2 (electronic) gage on a blast cleaned or otherwise roughened surface. Blast cleaning is used throughout this example, but these methods are applicable to other types of surface preparation. A less uniform surface, such as partially rusted hand tool cleaned steel, may require more gage readings to achieve a satisfactory level of statistical significance. Since gage operation differs among manufacturers, follow the manufacturer's instructions for adjustment of a particular gage.

A Type 2 gage needs to be adjusted to account for the profile of the substrate in order to read the coating thickness directly. Type 2 gages equipped with double pole probes may provide greater measuring precision on rough surfaces compared to single pole probes.

A portion of the substrate, after blast cleaning but prior to coating, can be used to adjust the gage. Alternatively, an uncoated test panel, blast cleaned at the time the structure was blast cleaned and having a profile representative of the structure can be used to adjust the gage provided the test panel is of material with similar magnetic properties and geometry as the substrate to be measured. If this is not available then a correction value can be applied to a smooth surface adjustment as described in A8.3.

Three adjustment techniques can be used depending on the capability and features of the gage to be used for the inspection. Note that due to the statistical variation produced

TABLE A8
TYPICAL GAGE CORRECTION VALUES USING ISO 8503 PROFILE GRADES
(SOURCE: ISO 19840)¹

ISO 8503 Profile Grade	Correction Value (mil)	Correction Value (µm)
Fine	0.4	10
Medium	1.0	25
Coarse	1.6	40

¹ International Organization for Standardization (ISO), Case Postale 56, Geneva CH-1211, Switzerland. ISO standards are available online from the American National Standards Institute (ANSI), 1819 L Street, NW, Suite 600, Washington, DC 20036 or at <<http://www.ansi.org>>

by a roughened surface, individual readings taken using these three methods may not perfectly agree.

The first two examples describe adjustment and verification to one or more shims. When shims are used, resultant gage measurements are less accurate and must be recalculated. For example, if the accuracy of a properly calibrated gage is $\pm 2\%$ and the thickness of a shim is accurate to within $\pm 3\%$, the combined tolerance of the gage and the shim will be $\pm 4\%$ as given by the sum of squares formula:

$$\sqrt{2^2 + 3^2} = 3.6055 \approx 4\%$$

For the gage to be in agreement with the shim, the average thickness measured by the gage must be within $\pm 4\%$ of the shim's thickness. If the average thickness measured on a 250- μm (10-mil) shim is between 9.6 mils (240 μm) and 10.4 mils (260 μm), the gage is properly adjusted. The minimum 240 is 250 minus 4% of 250 (9.6 is 10 minus 4% of 10); the maximum of 260 is 250 plus 4% of 250 (10.4 is 10 plus 4% of 10). [4% of 250 is 10; 4% of 10 is 0.4.]

A8.1 SINGLE POINT ADJUSTMENT: This example uses a single shim value at or close to the thickness to be measured. The thickness range over which this adjustment achieves the required accuracy will vary with gage design.

Assuming that the coating thickness to be measured is 4.0 mil (100 μm) then a shim of approximately 4.0 mil (100 μm) or slightly greater should be used to adjust the gage. The shim is placed on an area of the substrate that has been blast cleaned to the required standards, or on a blasted test coupon with a similar surface profile.

The average of 10 readings on the shim is sufficient to allow for the statistical variation in the blast profile.

A8.2 TWO POINT ADJUSTMENT: This example uses two shim values, one above and one below the expected film thickness to be measured. It should be noted that not all film thickness gages can be adjusted in this manner.

Assuming that the coating thickness to be measured is 4.0 mil (100 μm) then shims of 10.0 mil (250 μm) and 2.0 mil (50 μm) are appropriate for setting the upper and lower values on the scale of the gage.

As protective coatings are normally applied to blast cleaned metal surfaces, a statistical approach is required to obtain a typical value for the adjustment. Ten readings on a shim are sufficient to establish a reliable average value for that shim on the roughened surface. Following the manufacturer's instructions, the gage is adjusted so that the actual shim thickness is then used to set the gage.

This procedure should be repeated for both the upper and lower shim values.

The average of 10 readings on an intermediate shim, approximately 4.0 mil (100 μm) thick in the case described above, will confirm that the gage has been adjusted correctly. It is acceptable for the average reading to be within $\pm 4\%$ of the shim thickness.

This method ensures that the gage reads the thickness of the coating over the peaks of the profile.

A8.3 SMOOTH SURFACE ADJUSTMENT: If access to the bare blast cleaned substrate is not available because the coating already covers it, a smooth surface can be used to adjust the gage. Adjust the gage on a smooth surface according to the manufacturer's instructions. Alternatively, it may be possible to adjust some Type 2 gages through the coating already applied to an abrasive blast cleaned substrate (may be necessary if no uncoated substrate exists). This procedure should be performed according to the manufacturer's instructions.

Readings taken on the blast-cleaned substrate will be higher than the true value by an amount dependant on the surface profile and the gage probe design. For most applications a correction value of 1.0 mil (25 μm) is generally applicable. Note that this value is not related to the actual surface profile measurement. This correction value must be subtracted from each gage reading to correct for the effect of the profile. The resulting corrected reading represents the thickness of the coating over the peaks.

For fine profiles the correction value may be as low as 0.4 mil (10 μm) but for coarse profiles it could be as high as 1.6 mil (40 μm). Table A8 gives approximate correction values to be used when a blast-cleaned surface is not available to adjust the gage.

The use of coated standards to adjust gages means that a correction value must be applied to readings, as the coated standards make use of smooth substrate surfaces.

Copyright ©

SSPC standards, guides, and technical reports are copyrighted world-wide by SSPC: The Society for Protective Coatings. Any photocopying, re-selling, or redistribution of these standards, guides, and technical reports by printed, electronic, or any other means is strictly prohibited without the express written consent of SSPC: The Society of Protective Coatings and a formal licensing agreement.

Anexo 02

Estándar ASTM D610



Designation: D 610 – 08

Society for Protective Coatings
SSPC-VIS-2

Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces¹

This standard is issued under the fixed designation D 610; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This practice covers the evaluation of the degree of rusting on painted steel surfaces. The visual examples which depict the percentage of rusting given in the written specifications form part of the standard. In the event of a dispute, the written definition prevails. These visual examples were developed in cooperation with SSPC: The Society for Protective Coatings to further standardization of methods. The photographs can be used to estimate the percentage of other coating defects on various substrates. This standard does not include evaluation of rust propagation around an initially prepared scribe, score, or holiday.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Adjunct/SSPC: The Society for Protective Coatings:*

SSPC-VIS 2/ASTM D 610 Standard Method of Evaluating Degrees of Rusting on Painted Steel Surfaces²

3. Significance and Use

3.1 The amount of rusting beneath or through a paint film is a significant factor in determining whether a coating system should be repaired or replaced. This practice provides a standardized means for quantifying the amount and distribution of visible surface rust.

3.2 The degree of rusting is evaluated using a zero to ten scale based on the percentage of visible surface rust.

3.3 The distribution of the rust is classified as spot rust, general rust, pinpoint rust or hybrid rust.

4. Interferences

4.1 The visual examples that are part of this practice and the associated rust-grade scale cover only rusting evidenced by visible surface rust.

4.2 The use of the visual examples requires the following cautions:

4.2.1 Some finishes are stained by rust. This staining must not be confused with the actual rusting involved.

4.2.2 Accumulated dirt or other material may make accurate determination of the degree of rusting difficult.

4.2.3 Certain types of deposited dirt that contain iron or iron compounds may cause surface discoloration that should not be mistaken for corrosion.

4.2.4 Failure may vary over a given area. Discretion must therefore be used when selecting a single rust grade or rust distribution that is to be representative of a large area or structure, or in subdividing a structure for evaluation.

4.2.5 The color of the finish coating should be taken into account in evaluating surfaces as failures will be more apparent on a finish that shows color contrast with rust, such as used in these reference standards, than on a similar color, such as an iron oxide finish.

5. Procedure

5.1 Select an area to be evaluated.

5.2 Determine the type of rust distribution using definitions in Table 1 and visual examples in Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3.

5.3 Estimate percentage of surface area rusted using the visual examples in Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3 or SSPC-VIS 2, or both, by electronic scanning techniques or other method agreed upon by contracting parties.

5.4 Do not consider flow of corrosion products onto the surface of intact coating (that is, "rust bleed" or staining) as part of the surface area rust. It may be helpful to wipe the surface with a damp cloth to remove the rust bleed before evaluating.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D01 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and is the direct responsibility of Subcommittee D01.46 on Industrial Protective Coatings.

This practice has been jointly approved by ASTM and SSPC: The Society for Protective Coatings.

Current edition approved Feb. 1, 2008. Published March 2008. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2007 as D 610 – 07.

² Colored visual examples are available at a nominal cost from ASTM International Headquarters (request Adjunct ADJD0610A), SSPC Publication No. 00-08 from The Society for Protective Coatings (SSPC), 40 24th St., 6th Floor, Pittsburgh, PA 15222-4656, <http://www.sspc.org>.

TABLE 1 Scale and Description of Rust Ratings

Rust Grade	Percent of Surface Rusted	Visual Examples		
		Spot(s)	General (G)	Pinpoint (P)
10	Less than or equal to 0.01 percent		None	
9	Greater than 0.01 percent and up to 0.03 percent	9-S	9-G	9-P
8	Greater than 0.03 percent and up to 0.1 percent	8-S	8-G	8-P
7	Greater than 0.1 percent and up to 0.3 percent	7-S	7-G	7-P
6	Greater than 0.3 percent and up to 1.0 percent	6-S	6-G	6-P
5	Greater than 1.0 percent and up to 3.0 percent	5-S	5-G	5-P
4	Greater than 3.0 percent and up to 10.0 percent	4-S	4-G	4-P
3	Greater than 10.0 percent and up to 16.0 percent	3-S	3-G	3-P
2	Greater than 16.0 percent and up to 33.0 percent	2-S	2-G	2-P
1	Greater than 33.0 percent and up to 50.0 percent	1-S	1-G	1-P
0	Greater than 50 percent		None	

Rust Distribution Types:

S: Spot Rusting—Spot rusting occurs when the bulk of the rusting is concentrated in a few localized areas of the painted surface. The visual examples depicting this type of rusting are labeled 9-S through 1-S (See Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3).

G: General Rusting—General rusting occurs when various size rust spots are randomly distributed across the surface. The visual examples depicting this type of rusting are labeled 9-G through 1-G. (See Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3).

P: Pinpoint Rusting—Pinpoint rusting occurs when the rust is distributed across the surface as very small individual specks of rust. The visual examples depicting this type of rusting are labeled 9-P through 1-P. (See Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3).

H: Hybrid Rusting—An actual rusting surface may be a hybrid of the types of rust distribution depicted in the visual examples. In this case, report the total percent of rust to classify the surface. 9-H through 1-H.

5.5 Use percentage of surface area rusted to identify rust grade (see Table 1). Assign rust rating using rust grade of 0-10 followed by the type of rust distribution identified by *S* for spot, *G* for general, *P* for pinpoint or *H* for Hybrid.

NOTE 1—The numerical rust grade scale is an exponential function of the area of rust. Plotting the rust grade versus area of rust results in a straight line in semilogarithmic coordinates. The slope of the line changes at 10 % of the area rusted to allow it to resolve differences below 10 % across rust grades from 10 to 4 while including 10 to 100 % in rust grades 3 through 0.

5.6 The visual examples are not required for use of the rust-grade scale since the scale is based upon the percent of the area rusted and any method of assessing area rust may be used to determine the rust grade.

6. Report

- 6.1 Identify sample or area evaluated.
- 6.2 Report rust grade using rating of 0-10.
- 6.3 Report rust distribution using *S* for Spot, *G* for General, *P* for Pinpoint and *H* for Hybrid.

7. Precision and Bias

7.1 No precision or bias statement can be made for this practice.

8. Keywords

- 8.1 corrosion; rusting

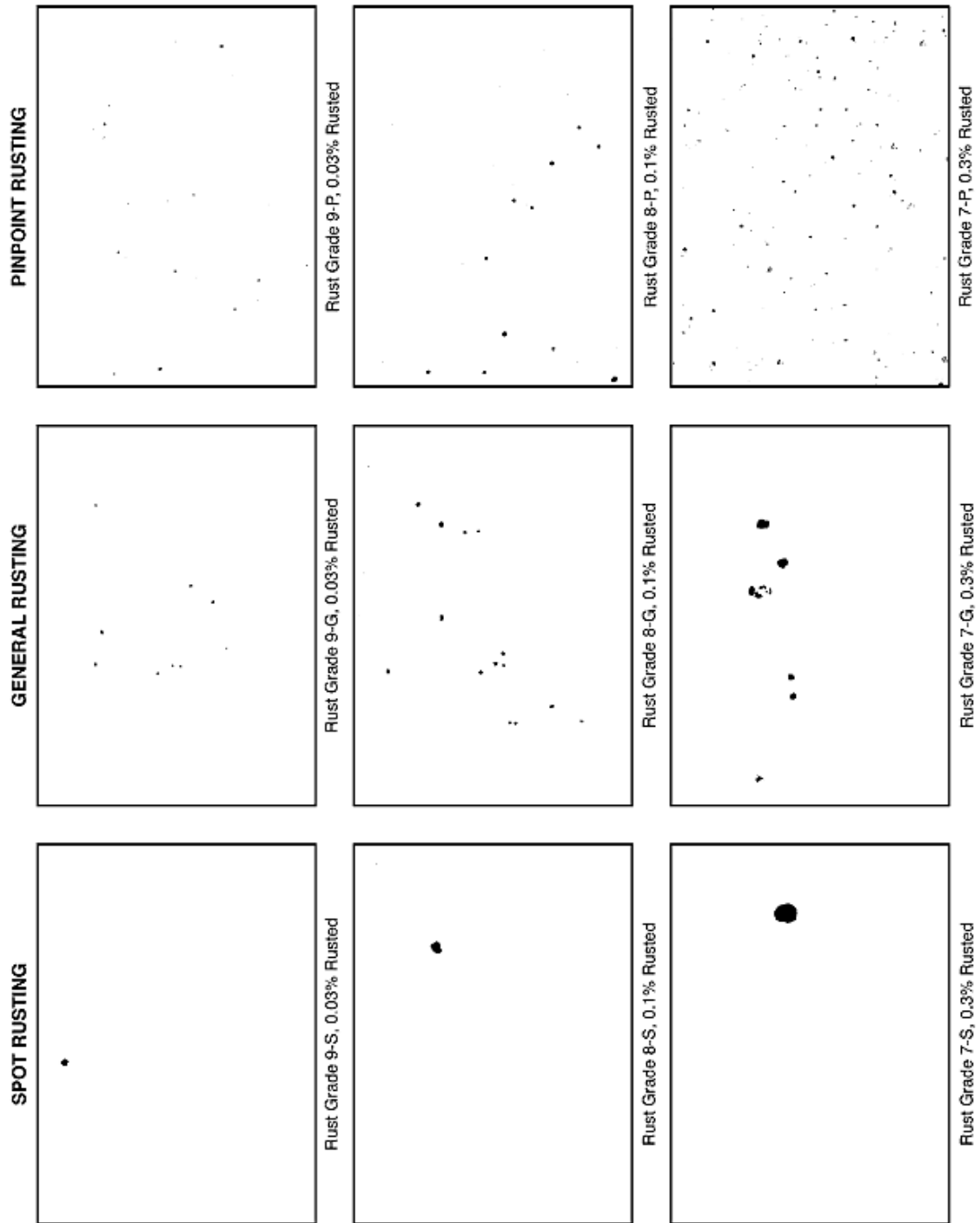


FIG. 1 Examples of Area Percentages

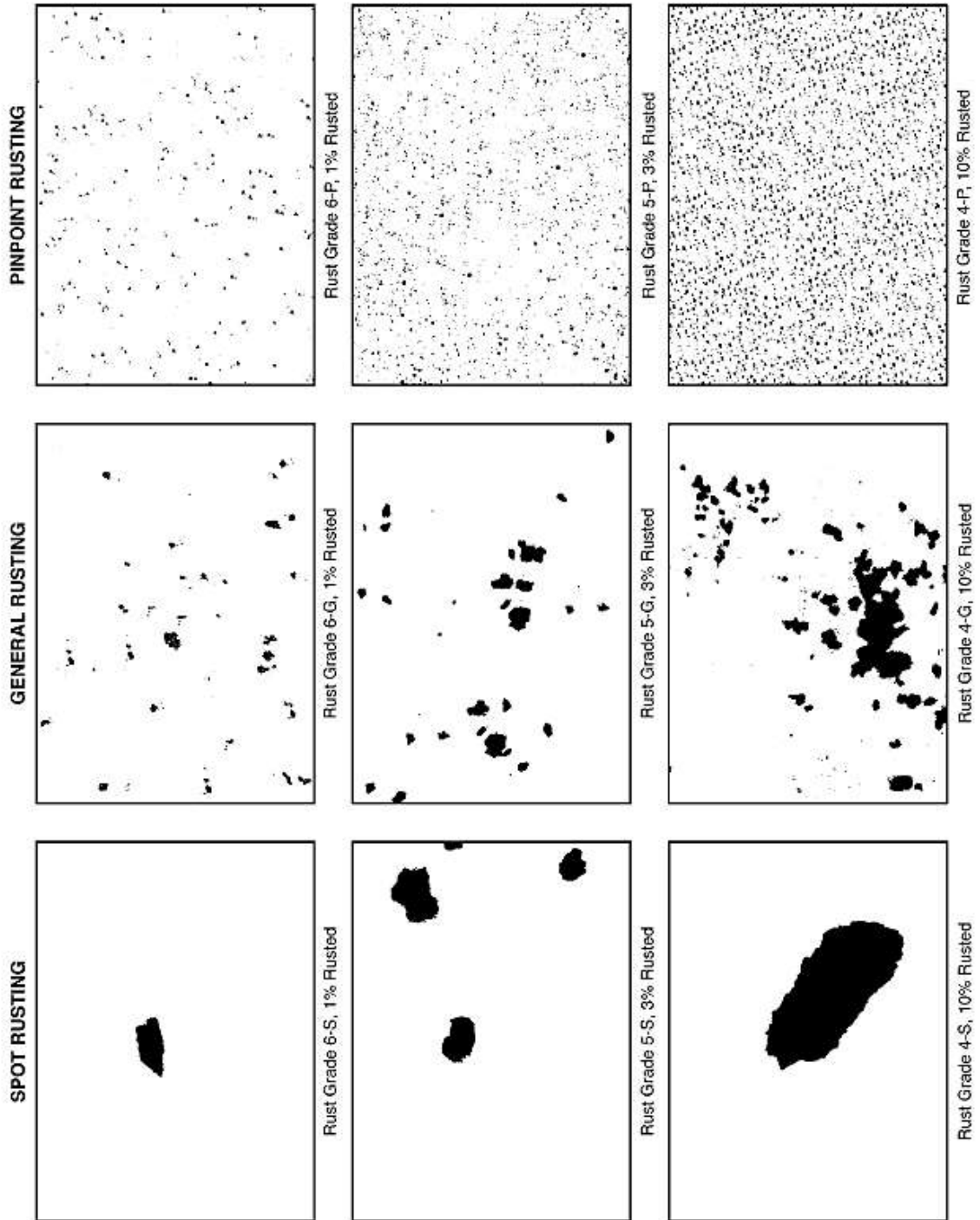


FIG. 2 Examples of Area Percentages

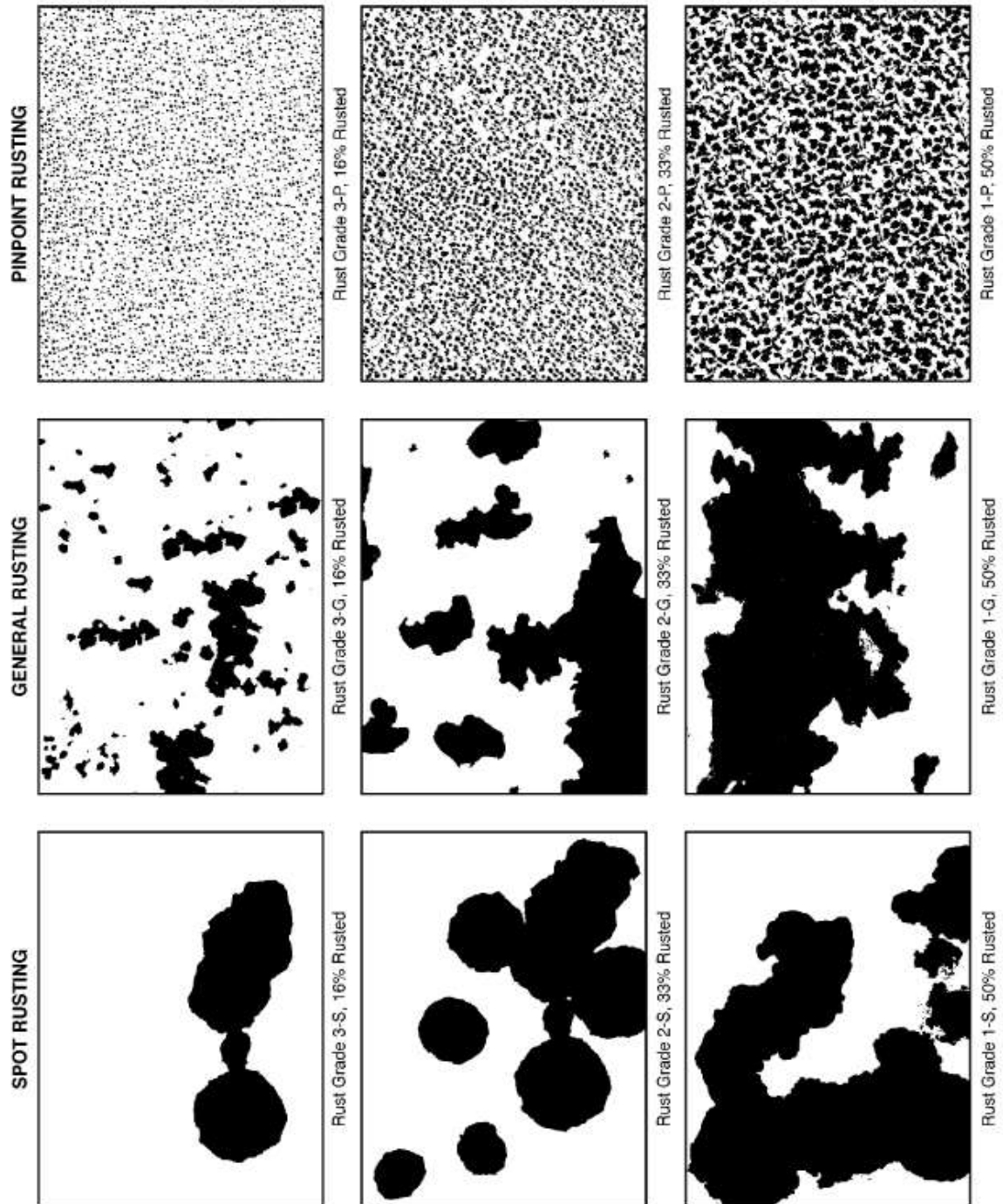


FIG. 3 Examples of Area Percentages

Anexo 03

Certificado de calibración (medidor de espesor de película seca)



INPROMET PERU S.A.C.
Ingeniería en la Medición
RUC: 20602421296

CALIBRACIÓN Y CERTIFICACIÓN
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO
ISO / IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CLL-0212-2018

Página : 1 de 2
Fecha de Emisión : 2018-05-18

1.- CLIENTE : **PERUPAINT S.A.C.**
Dirección : Jr. Las Maquinarias Mza. V Lote 1 Z.I. Parque Industrial-Lima-Lima-Villa el Salvador.

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **MEDIDOR DE ESPESOR DE RECUBRIMIENTO**
 Marca : ELCOMETER
 Modelo : A456CFSS
 Serie : PM06793
 Escala : (0.00 - 60) mils / (0- 1500) μm
 División de Escala : (0.01) mils / (0.1) μm
 Identificación : NO INDICA
 Procedencia : GRAN BRETAÑA.

3.- FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN
 Fecha : 2018-05-17
 Lugar de Calibración : Laboratorio de INPROMET PERU S.A.C.

4.- METODO DE CALIBRACIÓN
 Por comparación directa con patrones certificados por la DM-INACAL.

5.- PATRON DE CALIBRACIÓN

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	IDENTIFICACION Y/O SERIE	Nº DE CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
Laminas Patrones de Longitud	ELCOMETER	T99022255-1C	TC04553	45228	NIST-USA
Thermohigrómetro de Precisión	TRACEABLE	4087	140389336	LT-388-2017	DM-INACAL

6.- CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
Temperatura	20.3 °C	20.1 °C
Humedad Relativa	64.5 %	66.3 %

7.- OBSERVACIONES

- * Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
- * El valor indicado del equipo que se muestra en la tabla, es el promedio de 5 valores medidos.
- * La incertidumbre de la medición se determinó con un factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%.
- * Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- * La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.




 Ing. Daniel Mamani Huaman.
Gerente Técnico

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE INPROMET PERU SAC

Domicilio Fiscal: MZA. H LOTE 12- A URB. VICENTELO BAJO - LIMA - LIMA - EL AGUSTINO Telf.: (01) 410-7967 / RPC: 959788598
www.inprometperu.com / ventas@inprometperu.com

Anexo 04

Certificado de calibración (psicrómetro)



INPROMET PERU S.A.C.
Ingeniería en la Medición
RUC: 20602421296

CALIBRACIÓN Y CERTIFICACIÓN
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO
ISO / IEC 17025

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

O.T. : 0259-P1940-2018
Expediente : P1940

Página : 1 de 2
Fecha de emisión : 2018-05-18

1.- CLIENTE : PERUPAINT S.A.C.
Dirección : Jr. Las Maquinarias Mza. V Lote.1 Z.I. Parque Industrial-Lima-Lima-Villa el Salvador.

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : PSICROMETRO ANALÓGICO

* Marca : BACHARACH	* Rango de Termometro bulbo seco : -5°C a 50°C
* Modelo : 116C	* Rango de Termometro bulbo Humedo : -5°C a 50°C
* Nro. Serie : V1Q	* Resolución : 1 °C
* Procedencia : U.S.A.	* Identificación : T-289
* Ubicación : NO INDICA	

(B) TERMÓMETRO BULBO SECO
(A) TERMÓMETRO BULBO HUMEDO

3.- FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN
Fecha de Calibración : 17 de Mayo del 2018
Lugar de Calibración : En las instalaciones de INPROMET PERU S.A.C.

4.- MÉTODO.
La calibración se realizó por el **Procedimiento TH-007-CEM-ESPAÑA "Procedimiento Para la Calibración de Medidores de Condiciones Ambientales de Temperatura y Humedad en Aire"**.

5.- PATRÓN DE MEDICIÓN.
Se utilizó patrones trazables a las unidades de temperatura y humedad del Sistema Internacional de Unidades calibrados por el DM-INACAL y NIST-USA.

INSTRUMENTO	ALCANCE DE INDICACIÓN	RESOLUCIÓN	SERIE	N° DE CERTIFICADO	ENTIDAD
Termohigrómetro de Precisión	0.00 a 50.00 °C / 10% HR a 95 %HR	0.01°C / 0.01 % H.R	140389336	LT-388-2017	DM-INACAL
Termometro Digital	-50 a 400 °C	0.01°C / 0.1°C*	130121469	LT-379-2017	

6.- CONDICIONES AMBIENTALES.

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	20.1 °C	20.3 °C
HUMEDAD RELATIVA	67.2%	68.4%

7.- OBSERVACIONES.

- * Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
- * La incertidumbre de la medición se determinó con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza de 95 %.
- * Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde.
- * La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.




Ing. Daniel Mamani Huaman.
Gerente Técnico

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE INPROMET PERU SAC

Domicilio Fiscal: MZA. H LOTE 12- A URB. VICENTELO BAJO - LIMA - LIMA - EL AGUSTINO Telf.: (01) 410-7987 / RPC: 959788598
www.inprometperu.com / ventas@inprometperu.com

Anexo 05

Certificado de calibración (micrómetro)

	CORROSION & PROTECTIVE COATINGS S.A. División Venta de Instrumentos para Inspección	
---	---	---

CERTIFICADO DE CALIBRACION
Certificado No. 17 - 00839

1 SOLICITANTE	PERUPAINT S.A.C.
RUC	20512261940
DIRECCION	JR. LAS MAQUINARIAS MZ. V LOTE 1 - PARQUE INDUSTRIAL - LIMA 42
2 INSTRUMENTO DE MEDICION	MEDIDOR DE PERFIL DE RUGOSIDAD
FABRICANTE	MITUTOYO - TESTEX
PROCEDENCIA	USA
MODELO	7326STX1
SERIE No.	TQJ762 / K-222010
3 CONDICIONES DE LABORATORIO	
TEMPERATURA	25 ± 5 °C
HUMEDAD RELATIVA	MAX. 95%
FECHA CALIBRACION	07/12/2017
4 METODO	
El medidor de perfil de rugosidad fue verificado de acuerdo al procedimiento de calibración, utilizando un standard de referencia y equipos de prueba.	
5 PATRON DE MEDICION	
Durante el procedimiento de calibración, se han utilizado láminas patrón, con Número de Serie CPC-1058, con Certificado Indecopi LLA-169-2017 Se adjunta el Certificado de Calibración.	
6 RESULTADOS	
Las mediciones efectuadas se muestran en la Tabla No. 01 del presente documento.	
Se recomienda verificar la calibración del equipo una vez al año, asimismo este intervalo puede cambiar de acuerdo al uso, manipuleo, o condiciones de almacenaje.	
Realizado por:	
Gerardo Araujo Saravia	
 CORROSION & PROTECTIVE COATINGS S.A.	
Técnico	

Av. Paseo La Castellana 814 Urb. La Castellana, Santiago de Surco - Lima 33
Telefax (511) 449 2006 Email: info@cpcinstrumentos.com
Web Page: www.cpcinstrumentos.com



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA y METALÚRGICA

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO

En Huacho, el día **jueves (27) de febrero de 2020**, siendo las **10:00 am.**, en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, los miembros del Jurado Evaluador integrado por:

Presidente	: Dr. Salcedo Meza, Máximo Tomas	DNI N° 15602588
Secretario	: Dr. Ruiz Sánchez, Berardo Beder	DNI N° 31602007
Vocal	: M(o). Abarca Rodríguez, Joaquín José	DNI N° 15740291
Asesor	: Ing. Narvasta Torres, Israel	DNI N° 15614197

El (a) postulante al Título Profesional de **Ingeniero Metalúrgico: RODRIGUEZ REMIGIO, DAVID MARTIN** identificado(a) con **D.N.I N° 47675914**; procedió a la Sustentación de la Tesis **"EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS EPOXI Y POLIURETANO ALIFÁTICO PARA LA INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN EN LAS VIOLAS DE TUBERÍAS FORZADAS DE LA HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU - 2019"**, autorizado mediante Resolución de Decanato N° 0129-2020-D-FIQyM de fecha **24 de febrero del 2020** de conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados Académicos de Bachiller y Títulos Profesionales vigentes, si absolvió las interrogantes que le formularon los Señores Miembros del Jurado.

Concluida la Sustentación de la Tesis, se procedió a la votación correspondiente resultando el candidato **Aprobado** por **unanimidad**. Con la nota:

CALIFICACIÓN		EQUIVALENCIA	CONDICIÓN
NUMERO	LETRAS		
18	dieciocho	Excelente	Aprobado

Siendo las **10:00 a.m.** del **27** de **Febrero** del dos mil **veinte**, se dio por concluido el Acto de Sustentación, firmando el Jurado Evaluador las Actas de Sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de **INGENIERO METALÚRGICO**, correspondiente al folio del Libro de Acta N° **43**.

Dr. Salcedo Meza, Máximo Tomas
PRESIDENTE

Dr. Ruiz Sánchez, Berardo Beder
SECRETARIO

M(o). Abarca Rodríguez, Joaquín José
VOCAL

Ing. Narvasta Torres, Israel
ASESOR