



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de
Ingeniero Mecánico

TEMA:

“ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO.”

AUTOR: Carlos Daniel Tirado Torres

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

AMBATO - ECUADOR

2018

APROBACIÓN POR EL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO.”, elaborado por el Sr. Carlos Daniel Tirado Torres, portador de la cedula de ciudadanía 180345625-8 y egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

El presente trabajo experimental es original de su autor.

Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.

Esta concluido en su totalidad.

Ambato, 30 de noviembre de 2018

.....
Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

TUTOR DEL PROYECTO EXPERIMENTAL

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

El presente trabajo experimental “ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO.”. Así como los adjuntos, opiniones, conclusiones y recomendaciones son privilegio del autor, excepto fuentes bibliográficas.

Ambato, 30 de noviembre de 2018

.....
Carlos Daniel Tirado Torres

C.I. 180345625-8

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del proyecto experimental realizado por el estudiante Carlos Daniel Tirado Torres de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO.”.

Ambato, 30 de noviembre de 2018

Para constancia firma:

.....

Ing. Cristian Pérez Mg.

.....

Ing. Óscar Analuisa Mg.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de éste trabajo experimental o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando a mis derechos de autor.

Ambato, 30 de noviembre de 2018

Autor

.....

Carlos Daniel Tirado Torres

C.I. 180345625-8

DEDICATORIA

A mis padres (+), Angelito y Glorita, por ocupar un lugar muy especial en mi vida, aunque ya no estén presentes físicamente, sé que se regocijarían con la consecución de mi logro profesional.

A mi abuelita Sarita, por ser como una segunda madre, su apoyo incondicional me ha fortalecido para alcanzar mis logros y anhelos.

Carlos Tirado

AGRADECIMIENTO

A mis padres (+), por ser el sostén en el cual me he apoyado en los momentos difíciles.

A la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, institución que contribuyó en mi formación profesional.

A mi tutor, Ing. Mg. Jorge Guamanquispe, quien me guió eficientemente en el desarrollo del presente proyecto.

Carlos Tirado

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Aprobación por el tutor.....	ii
Autoría del trabajo experimental.....	iii
Aprobación del tribunal de grado.....	iv
Derechos de autor.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras.....	xiii
Resumen ejecutivo.....	xiv
Summary.....	xv

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 General.....	4
1.4.2 Específicos.....	4

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Investigaciones previas.....	6
2.2 Fundamentación teórica.....	8
2.2.1 Procesos de fabricación.....	8
2.2.2 Proceso de fabricación de una carretilla.....	8
2.2.3 Proceso de pintura.....	8
2.2.4 Materiales.....	9
2.2.5 Preparación de la superficie.....	9
2.2.6 Limpieza previa.....	9
2.2.7 Limpieza de la superficie con solventes.....	10

2.2.8	Limpieza de la superficie con abrasivos.....	11
2.2.8.1	Cinta réplica ASTM D4417 Método C-NACE RP0287	13
2.2.9	Recubrimientos.....	14
2.2.10	Propiedades de los recubrimientos	14
2.2.11	Clasificación de recubrimientos	15
2.2.12	Tipos de recubrimientos	16
2.2.13	Sistemas de recubrimientos	16
2.2.14	Sistemas de una capa.....	16
2.2.15	Sistemas de capas múltiples	16
2.2.16	Espesor de película en polvo.....	16
2.2.17	Mecanismo de curado.....	17
2.2.18	Espesor de película seca	18
2.2.19	Medición del espesor de película seca	18
2.2.20	Adherencia	19
2.2.21	Métodos de adherencia.....	20
2.2.21.1	Método de trama cruzada / Corte cruzado	20
2.2.21.2	Método de adherencia por empuje.....	21
2.2.22	Discontinuidades	21
2.2.23	Detector de Holidays de Bajo-Voltaje (Esponja Húmeda)	21
2.2.24	Hojas de Datos Técnicos	22
2.3	Hipótesis.....	22
2.4	Señalamiento de variables	23
2.4.1	Variable independiente.....	23
2.4.2	Variable dependiente.....	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Nivel o tipo de investigación.....	24
3.1.1	Enfoque	24
3.1.2	Modalidad.....	24
3.2	Tipo de investigación	24
3.3	Población y muestra	25
3.3.1	Muestra para la medición de espesores de la película seca.....	25
3.3.2	Muestra para la prueba de adherencia por cortador de trama cruzada	26

3.3.3	Muestra para la prueba de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off).....	27
3.3.4	Muestra para la prueba de discontinuidades (Holidays)	27
3.4	Operacionalización de variables.....	27
3.4.1	Operacionalización de la variable independiente.....	27
3.4.2	Operacionalización de la variable dependiente	29
3.5	Plan de recolección de la información	29
3.5.1	Proceso de aplicación del recubrimiento.....	29
3.5.2	Medición de adherencia por trama cruzada.....	32
3.5.3	Medición de adherencia por empuje	34
3.5.4	Medición de las discontinuidades (Holiday).....	35
3.6	Plan de procesamiento y análisis.....	37

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Recolección de datos	38
4.2	Análisis de los resultados	87
4.2.1	Aplicación de recubrimiento en superficie lisa	89
4.2.2	Aplicación de recubrimiento en superficie rugosa.....	90
4.3	Verificación de la hipótesis	93
4.3.1	Chi cuadrado calculado	94
4.3.2	Chi de tablas	96
4.3.3	Decisión.....	97

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	99
5.2	Recomendaciones.....	100
	Bibliografía	102
	ANEXOS	104
	ANEXO A:.....	105
	ANEXO B:.....	110
	ANEXO C:.....	115
	ANEXO D:.....	162
	ANEXO E:	165

ANEXO F:	166
ANEXO G.....	167
ANEXO H.....	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elección de Abrasivos para un Patrón de Anclaje Dado.	12
Tabla 2. Detalle de las mediciones a realizar en el muestreo.....	25
Tabla 3. Operacionalización del proceso de recubrimiento.	28
Tabla 4. Operacionalización de la calidad superficial de película seca de pintura. ..	29
Tabla 5. Ensayos realizados al recubrimiento aplicado en superficie lisa y rugosa..	38
Tabla 6. Informe de preparación de superficie en sustrato liso, lavado químico con desoxidante.....	42
Tabla 7. Informe de aplicación de recubrimiento en polvo en sustrato liso y medición de espesores.....	46
Tabla 8. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por cortador de trama cruzada.	51
Tabla 9. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento por empuje hidráulico.....	55
Tabla 10. Informe de aplicación de la prueba de discontinuidades (Holidays) en el recubrimiento con el detector de microorificios.	59
Tabla 11. Informe de preparación de superficie en sustrato rugoso, lavado químico con desoxidante y granallado de la superficie.....	64
Tabla 12. Informe de liberación de superficie granallada y aplicación de recubrimiento en polvo en sustrato rugoso y medición de espesores.	69
Tabla 13. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por cortador de trama cruzada.	74
Tabla 14. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento por empuje hidráulico.....	78
Tabla 15. Informe de aplicación de la prueba de discontinuidades (Holidays) en el recubrimiento con el detector de microorificios.	82
Tabla 16. Comparación de los resultados obtenidos en superficie lisa y rugosa.	92
Tabla 17. Tabla de frecuencias observadas.....	94
Tabla 18. Tabla de frecuencias esperadas.	95
Tabla 19. Chi cuadrado a partir de los datos disponibles.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Cinta réplica para medición del perfil de anclaje	13
Fig. 2 Obtención de la impresión inversa y medición de la cinta con micrómetro....	14
Fig. 3 Peine de medición del espesor de película en polvo y proceso de arrastre	17
Fig. 4 Distribución de spots y puntos de medición en la placa testigo	26
Fig. 5 Esquema de los juegos de líneas realizados en la placa testigo.....	26
Fig. 6 Esquema de la colocación del actuador en la sufridera en la placa testigo	27
Fig. 7 Diagrama de flujo del ensayo de adherencia por trama cruzada	33
Fig. 8 Diagrama de flujo del ensayo de adherencia Pull-Off (continuación)	35
Fig. 9 Diagrama de flujo del ensayo de detección de discontinuidades (Holidays) ..	36
Fig. 10 Gráfica de densidad de probabilidad Chi cuadrado.....	97

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Tema: “ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO.”

AUTOR: Carlos Daniel Tirado Torres

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental consiste en el estudio del proceso de aplicación de recubrimiento electrostático en polvo monocapa, en la superficie lisa de los componentes de las carretillas de la empresa I.M.ESCO y se comparó con el mismo proceso pero en superficie rugosa. El recubrimiento utilizado es de tipo híbrido epoxi-poliéster, en color rojo escarlata y la preparación de la superficie lisa se realiza mediante un lavado químico con desoxidante, mientras que a efectos de obtener una superficie rugosa, se lo complementó con una limpieza mediante chorro abrasivo utilizando granalla mineral, con base en el código SSPC-SP10. Para el control de la calidad superficial de la película de pintura se utilizaron placas testigo, en el caso de la medición de espesores se establecieron cinco spots con tres puntos de medición en cada caso, en tanto que para el control de la adherencia por trama cruzada se efectuaron dos juegos de líneas, que se cortan en ángulo recto para obtener una trama de 36 cuadrados; para el ensayo por empuje hidráulico se colocaron sufrideras adheridas a la placa testigo, que se desprendieron por acción de la presión. En cuanto a la detección de las discontinuidades, se utilizó un equipo detector de microorificios que fue utilizado directamente en la superficie de los componentes de las carretillas. Se determinó que el procedimiento de pintura electrostática más idóneo para alcanzar un alto nivel de calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas, se consigue mediante preparación de la superficie con un lavado químico con desoxidante fosfatizante y limpieza a chorro abrasivo con granalla mineral, con un mecanismo de curado convertible por fusión en un horno de secado durante 10 minutos.

Palabras clave: Adherencia, calidad superficial, discontinuidades, película seca, placa testigo, recubrimiento, superficie lisa y rugosa.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Theme: “ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO.”

AUTHOR: Carlos Daniel Tirado Torres

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

SUMMARY

The experimental work is about the study of the application process of monolayer powder electrostatic coating, in the smooth surface of the wheelbarrow components of the I.M.ESCO company and it was compared with the same process but in rough surface. The coating used is of hybrid epoxy-polyester type, in scarlet red color and the smooth surface preparation is carried out by means of a chemical wash with deoxidizer, while in order to obtain a rough surface, it was complemented with a cleaning by means of sand blasting using mineral grit, based on the code SSPC-SP10. Witness plates were used for the control of the paint film surface quality; in the case of thickness measurement, five spots were established with three measuring points in each case, while for the adhesion control by cross-hatching two sets of lines were made, which are cut at right angles to obtain a plot of 36 squares; For the test by hydraulic thrust, dollies were placed on the control plate, which were detached by the pressure. Regarding the detection of the holidays, a micro-hole detector equipment was used that was used directly on the surface of the wheelbarrow components. It was determined that the most suitable electrostatic painting process to achieve a high level of surface quality of the dry film of paint in the wheelbarrow is achieved by preparing the surface with a chemical wash with phosphatizing deoxidizer and abrasive sand blasting with mineral shot, with a curing mechanism convertible by melting in a drying oven for 10 minutes.

KEYWORDS: Adhesion, coating, dry film, holidays, smooth and rough surface, surface quality, witness plate.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

“ESTUDIO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA PELÍCULA SECA DE PINTURA EN LAS CARRETILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES (HOLIDAYS), EN LA EMPRESA I.M.ESCO DE LA CIUDAD DE AMBATO”.

1.2 ANTECEDENTES

La producción de carretillas, como cualquier actividad industrial se realiza a través de varios procesos, de entre los cuales la pintura es uno de los últimos y corresponde al proceso de acabado. Para el desarrollo del proceso de pintura es necesario tener en cuenta varios parámetros tales como los materiales a pintar, los tipos de pinturas, los diluyentes, la humedad, temperatura ambiente, temperatura del sustrato el tiempo de curado, y el procedimiento seguido para la aplicación de cada una de las capas. Al mismo tiempo existen variables de interés para la calidad superficial, tales como la adherencia, las discontinuidades y la durabilidad de la pintura. En este sentido, el comportamiento y la durabilidad de cualquier revestimiento de pintura son afectados por la preparación de la superficie a tratar. Cuando se trata de estructuras de acero, la selección del método de preparación de la superficie es de sumo interés en los tratamientos anticorrosivos [1].

Industrias Metálicas Escobar (I.M.ESCO) es una empresa de carácter industrial creada en el año 1996 en la ciudad de Ambato, con el objeto de servir a la colectividad del centro del país y en general de todo el Ecuador, a través de la producción de carretillas, palas autocargables, plataformas, compactadores de basura, tolvas de volquetas y recientemente carrocerías de buses [2].

En la planta de producción se cuenta con una serie de procesos y de maquinaria especializada, algunos de los procesos son desarrollados de un modo empírico, por lo que se evidencian problemas asociados con la calidad de la producción.

La aplicación del recubrimiento en la cabina electrostática se la realiza separando los componentes de la carretilla, de esta forma el recubrimiento de las tolvas tiene una duración aproximada de 5 minutos, de 4 bases tipo V en 5 minutos y 2 tubos en 3 minutos. Posteriormente, se conduce los materiales hacia el horno por secciones, se ingresan 40 tolvas, 20 tubos y 60 bases tipo V, con un tiempo de 10 minutos a 180°C, previo calentamiento del horno durante 10 minutos. De esta manera se tiene una producción media de 40 carretillas diarias.

Generalmente se utilizan planchas de tol negro ASTM A36 de espesor 1.5 mm para las tolvas de las carretillas y tubo mecánico redondo de diámetro de 1 ¼ pulgada y espesor de 1.5 mm en la estructura de la carretilla. Para la realización del proceso se dispone de una sección especial dentro del hangar [2].

En este sentido, el proceso de pintura se ha identificado como crítico, dado que la adherencia y en general la calidad de la película seca de pintura es inadecuada, lo que implica que no cumple con las especificaciones de calidad. A su vez, el producto en el que se presenta este problema de forma más recurrente es en la producción de las carretillas, lo que se evidencia en la corrosión que presentan las carretillas al paso de algunos años de uso.

Entre las causas identificadas y que dan lugar a los problemas de adherencia consta la ausencia de un estudio técnico para el procedimiento de preparación de las superficies y para la aplicación de pinturas, por esta razón se presentan imperfecciones en los acabados de la película seca en la superficie de las carretillas.

Otra de las causas tiene relación con la insuficiente capacitación y especialización del personal, tanto de los técnicos o supervisores como de los obreros. Concretamente no cuentan con una formación especializada en cuanto a los códigos y estándares acerca de pintura externa y recubrimiento de protección. Por esto, no se cuentan con indicadores de calidad establecidos de manera técnica.

Obviamente, tampoco se aplican normas y estándares para definir las especificaciones técnicas del proceso de pintura. Esto origina que no estén definidos técnicamente los requerimientos generales del proceso de pintura, que la selección de la pintura no sea la más conveniente, que la preparación de las superficies sea subestimada y que la aplicación de recubrimientos no se realice de modo correcto. Por esta razón la eficiencia de los materiales utilizados no se maximiza y se tiene una baja durabilidad de la vida útil de la película de pintura.

Además repercute el hecho de que la empresa tiene un limitado presupuesto para modernizar y reestructurar sus procesos de producción y la pintura no es ajena a esta situación. No obstante, contrariamente a lo que se podría pensar esto provoca que los costos se incrementen debido a que la calidad no alcanza los niveles ideales y consecuentemente que se necesitan realizar reprocesos, como ocurre con el caso de la película de pintura de las carretillas.

Se debe tener en cuenta que actualmente la empresa aplica el proceso de pintura electrostática, mediante una cabina y un horno. La limpieza de la superficie la realizan mediante un solvente desoxidante marca WESCO. En cuanto a la pintura, trabajan con pintura electrostática híbrida, de color rojo escarlata.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El Trabajo experimental que se propone es importante porque se enfoca en analizar la adherencia y las discontinuidades de la película de pintura en las carretillas fabricadas en la empresa I.M.ESCO, lo cual permitirá valorar el procedimiento realizado actualmente. Por consiguiente, se podrá construir favorablemente en beneficio de la calidad y la vida útil, a través de la creación de especificaciones generales de pintura estandarizados con base en la aplicación de códigos y estándares internacionalmente reconocidos, como los SSPC/NACE e ISO. Estos estándares permitirán establecer cuales deben ser las acciones para la preparación de las superficies antes del proceso de pintura propiamente dicho y definir los tratamientos anticorrosivos necesarios, dos aspectos que actualmente no son considerados en la magnitud suficiente.

Como consecuencia de lo anterior, se provocará un impacto positivo en la empresa I.M.ESCO, gracias a que se tendrá la posibilidad de mejorar el acabado de los recubrimientos, así como prevenir los efectos negativos que se presentan a lo largo de la vida de las carretillas, especialmente las discontinuidades de la película de pintura.

Al mismo tiempo, los beneficiarios con el desarrollo del estudio que se propone serán los propietarios de la empresa, encabezada por el Sr. Genaro Escobar, así como los trabajadores en general, dado que se mejorarán los procedimientos de trabajo para el proceso de pintura de las carretillas, que es uno de los productos baluartes de la empresa.

En cuanto a la factibilidad, desde el punto de vista técnico, el autor dispone de la formación académica y profesional en Ingeniería Mecánica, así como posee la experiencia para desarrollar el estudio. Por otro lado, el aspecto económico será solventado por el propio autor del trabajo y se cuenta con el auspicio de la gerencia de la empresa para llevarlo a cabo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Estudiar la calidad superficial de la película seca de pintura de las carretillas mediante el proceso de detección de discontinuidades (holidays) en la Empresa I.M.ESCO de la Ciudad de Ambato.

1.4.2 Específicos

- Identificar el proceso de aplicación de la película seca de pintura sobre la superficie de las carretillas en la empresa I.M.ESCO.
- Establecer las especificaciones técnicas para la mejora del proceso de pintura sobre la superficie de las carretillas en la empresa I.M.ESCO, con base en el proceso de limpieza abrasiva a metal casi blanco, según el Código SSPC-SP10.

- Definir el tiempo de curado para asegurar una óptima adherencia entre capa y sustrato.
- Evaluar la adherencia de la película seca de pintura en la superficie de las carretillas en la empresa I.M.ESCO, con base en las normas ASTM D-3359 y ASTM D-4541.
- Detectar las discontinuidades de la película de pintura sobre la superficie de las carretillas, según el estándar NACE SP0188.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

Para sustentar el desarrollo del trabajo experimental se requiere revisar los antecedentes investigativos realizados, así como también la fundamentación teórica referente a la adherencia en la pintura de las carretillas. Para el efecto se acude a los repositorios digitales de las instituciones de educación superior, a las bibliotecas físicas y a las bases de datos de artículos indexados publicados por centros de investigación.

2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS

De la revisión de las investigaciones previas realizadas en referencia a la calidad superficial de la película seca de pintura, tomando en consideración las discontinuidades y adherencia, se encontraron publicaciones desarrolladas como parte de trabajos académicos en repositorios digitales de instituciones de educación superior y revistas indexadas, de entre los cuales se mencionan los siguientes:

En el trabajo desarrollado por Jarrín, A. (2012) [3], bajo el tema: “Estudio de procesos de pintura de alto desempeño y su incidencia en la calidad de los equipos petroleros de superficie de Saurus Ecuador Cía. Ltda”, previo a la obtención del grado de Ingeniero Mecánico, el autor analizó tres sistemas diferentes de recubrimientos, a través de pintura epóxica noalaca aplicadas por método airless. Cada uno de los sistemas fue evaluado por nueve ocasiones y en todos los casos los resultados de las pruebas de pull-off fueron exitosos, ya que el valor más bajo obtenido fue de 1800 psi (12.41 MPa), superando por completo cualquier valor planteado en las especificaciones de pintura de los clientes de la empresa. El autor considera que es fundamental que para la realización de los procedimientos de pintura y la supervisión e inspección de los mismos es indispensable que el personal esté calificado.

En el trabajo experimental desarrollado por Yépez, A. (2017) [4], titulado: “Estudio de recubrimientos anticorrosivos aplicados sobre acero ASTM A-36 y su incidencia en la tasa de corrosión utilizando la cámara de niebla salina”, previo a la obtención del grado de Ingeniero Mecánico, la autora determinó que la mejor combinación anticorrosiva que se obtuvo en el estudio fue un recubrimiento a base de solvente, con una limpieza inicial mediante chorro abrasivo y método de aplicación pulverización. Mediante esta combinación se obtuvo un valor de tasa de corrosión después de transcurridas 120 horas de exposición en la cámara de niebla salina igual a cero, y cuyo grado de corrosión final fue 7.

En el artículo científico desarrollado por Jiménez y Milano (2016) [5], denominado “Corrosión acelerada en medio salino y adherencia de sistemas de pinturas depositadas sobre acero”, los investigadores evaluaron el comportamiento de fondos anticorrosivos y sistemas de pinturas de esmalte mate y esmalte brillante, aplicados sobre cupones de acero y expuestos en medio corrosivo acelerado de niebla salina, de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM B117 (2011). Los resultados del ensayo de adherencia fueron satisfactorios, ya que no quedaron residuos de pinturas en la cinta adhesiva al momento de retirarla de los sistemas evaluados.

En el trabajo de titulación desarrollado por Sánchez (2015) [6], denominado “Preparación de superficie del acero para mantenimiento en la aplicación de recubrimientos”, previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, el autor estableció como conclusiones que la preparación del acero para recubrimiento depende de las condiciones iniciales del sustrato, las condiciones climáticas y el tipo de sistema de recubrimiento. Los contaminantes visibles se eliminan mediante preparación de superficie con chorro abrasivo seco y se crea además un perfil de anclaje muy eficiente. El proceso de recubrimiento debe iniciar con una pre limpieza para eliminar los contaminantes visibles como suciedad, aceite y grasa, y los componentes invisibles como sales solubles; de esta manera se minimiza la posibilidad de provocar fallas prematuras por corrosión.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Procesos de fabricación

Las industrias metalmecánicas representan uno de los grupos más extensos de fábricas que hay en el Ecuador. Los procesos que tienen lugar en sus plantas de producción son de diversa índole, siendo la pintura uno de los más importantes porque es la carta de presentación del producto ante los usuarios.

La carretilla es una herramienta que se utiliza habitualmente en jardinería o en albañilería para transportar cargas pesadas a distancias relativamente cortas. Su funcionamiento está basado en la máquina simple de la palanca de segundo grado, con el objetivo de realizar un menor esfuerzo para el transporte de objetos.

Básicamente permite vencer grandes resistencias con pequeñas potencias [6]. Las partes constitutivas de una carretilla son: tolva metálica, templadores delanteros, medios y posteriores, soportes tipo V chasis tubular eje y rueda.

2.2.2 Proceso de fabricación de una carretilla

En el caso de la producción de carretillas, se inicia desde el transporte de los materiales (Planchas de Acero) ASTM A36 de espesor 1.5 mm y tubo mecánico de diámetro $1 \frac{1}{4}$ Pulgada, que se conduce hacia los diferentes lugares de procesos de manufactura en la fabrica I.M.ESCO, efectuando los cortes, el troquelado (matriceria), el prensado de las tolvas, los templadores, soportes tipo V y dobles del chasis tubular. La capacidad de producción media es de 20 carretillas al día.

2.2.3 Proceso de pintura

Para conseguir una mejor estética y acabado, se añade un sistema monocapa de pintura a los componentes de la carretilla como: la tolva, los templadores, los soportes tipo V y el chasis tubular. Finalmente se realiza la unión de las piezas mediante el proceso de empernado [7].

2.2.4 Materiales

Las superficies de los materiales que se someten a procesos de pintura suelen ser de diferente naturaleza, entre las cuales constan: acero nuevo, acero corroído, zinc o galvanizado corroído, aluminio corroído, acero inoxidable, acero con recubrimiento, entre otros [8].

2.2.5 Preparación de la superficie

El primer paso para los procesos de pintura o recubrimiento es la limpieza y preparación inicial de la superficie. Los procesos modernos demandan de una superficie limpia y rugosa, con el objeto de asegurar una estabilidad a largo plazo. No obstante, hay casos particulares en los que se requiere poca preparación sobre las superficies [8]. Se ha establecido que aproximadamente un 75 % de las fallas prematuras en los recubrimientos son originadas por una incorrecta preparación de las superficies, de ahí se deduce su importancia.

2.2.6 Limpieza previa

El grado de limpieza previa requerido está vinculado con el tipo de recubrimientos a utilizar, en términos generales un buen nivel de limpieza proporciona una óptima protección a largo plazo sea cual el sistema de recubrimientos [8]. Los inspectores deben revisar el estado de contaminación antes de la preparación de la superficie. Existen algunos parámetros a tener en cuenta para la limpieza previa, tales como:

- Eliminación de aceite, grasa y sucios, para lo cual se pueden emplear solventes especificados para la remoción de óxido, calamina o pintura vieja.
- El estándar SSPC-SP1 es la única norma empleada para establecer las especificaciones de limpieza con solventes para la remoción de aceite, grasa y polvo, compuestos de marcate y sucios. Por eso el inspector debe verificar el cumplimiento de la misma [9].
- Para detectar el aceite se debe vaciar el solvente en la superficie, lo que permite formar un flujo continuo y no romperse en gotas. También se puede usar una luz ultravioleta para iluminar la superficie y revelar rastros de ciertos aceites de hidrocarburo y grasas, huellas digitales, entre otros. La luz

ultravioleta permite revelar otros materiales en la superficie que pueden perjudicar el recubrimiento. Se debe emplear lámparas ultravioletas apropiadas, para que no afecta a la salud del inspector de recubrimientos [9].

- Los métodos de limpieza pueden ser variados, entre los cuales constan la limpieza con solvente usando una tela o trapo, la atomización de solventes, el desengrasado con vapor, la inmersión del sustrato en solvente, la limpieza con agentes emulsionantes, la limpieza con vapor, la remoción química de la pintura y el uso de limpiadores alcalinos [8].
- Los materiales disolventes de limpieza, de acuerdo a la norma SSPC-SP1, pueden ser: solventes orgánicos (nafta, espíritus minerales, xilol, toluol, trementina, querosén), minerales a base de petróleo, limpiadores alcalinos, limpiadores ácidos, detergentes, limpiadores emulsionantes y el agua dulce [8].

Los limpiadores ácidos son fuertes, como el ácido fosfórico (H_3PO_4) con cantidades pequeñas de surfactantes, solventes miscibles en agua, y agentes orgánicos emulsionantes y humectantes. Estos limpiadores actúan mediante ataque químico y disolviendo los productos de la reacción. Los limpiadores ácidos pueden emplearse para remover productos de la corrosión y para otros propósitos especiales.

2.2.7 Limpieza de la superficie con solventes

Previo a la aplicación de la pintura se puede realizar una limpieza con solventes, con la finalidad de eliminar los residuos de óxido, cascarilla de laminación o pinturas. Para el efecto se recomienda tomar en cuenta el código SSPC-SP1 “Solvent Cleaning” “Limpieza de superficie” [9] (Anexo C).

Uno de los tipos de solventes de limpieza comúnmente utilizados son los desoxidantes fosfatizantes, que son preparadores de superficies metálicas, son líquidos e incoloros, con una naturaleza ácida que permite la transformación de óxidos de hierro duros e impermeables en sales de color blanco removibles con relativa facilidad. Su uso es apropiado para la remoción de impurezas en metales ferrosos que no se pueden remover mediante métodos mecánicos convencionales. Información ampliada acerca del uso de un desoxidante fosfatizante se presenta en el Anexo A.

2.2.8 Limpieza de la superficie con abrasivos

El método de preparación de la superficie mediante limpieza abrasiva seca es el más difundido, que consiste en una corriente extremadamente concentrada de partículas abrasivas pequeñas (por fuerza centrífuga), proyectadas a una superficie del sustrato metálico creando un chorro abrasivo, para remover óxido, calamina u otros contaminantes, creando al mismo tiempo una superficie rugosa que es beneficiosa para la adhesión.

Un chorro abrasivo consigue alterar la superficie del sustrato, generando una superficie de textura rugosa a partir de una superficie lisa. La superficie rugosa resulta del golpe de las partículas abrasivas angulares sobre el acero a alta velocidad, dejando picos y valles de impacto o irregularidades. Esta textura se denomina “perfil o patrón de anclaje”. Existen varios tipos de materiales abrasivos que se emplean para la limpieza de la superficie de los sustratos de materiales metálicos, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Abrasivos metálicos;
- Abrasivos duros, no metálicos (óxidos);
- Abrasivos de escoria;
- Abrasivos que contienen sílice libre; y
- Abrasivos especiales.

La selección del tipo de abrasivo adecuado para cada caso particular de limpieza, depende del tipo de instalación de limpieza (al aire libre, interior con cabina, o estación de arenado), condiciones existentes de la superficie, tipo de superficie a ser preparada, tamaño y forma del objeto a ser preparado, condiciones deseadas después de la limpieza, del perfil de anclaje deseado, tipos de recubrimientos a ser aplicados y si se desea reciclar el material abrasivo.

El perfil de anclaje que se obtiene se relaciona con la granulometría del abrasivo que se utiliza. Por esta razón, a partir de un patrón de anclaje dado, se elige el abrasivo más adecuado. En la siguiente tabla se muestran los patrones de anclaje que se consiguen en función del abrasivo [10]:

Tabla 1. Elección de Abrasivos para un Patrón de Anclaje Dado.

PATRÓN DE ANCLAJE		Arenado a Presión o Limpieza Centrífuga
Mils	Micrones (µm)	
0.5	12.5	Arena sílice malla 80/120, granate malla 100, óxido de aluminio 120-grit, ó “grit” de hierro o acero G-200.
1	25	Arena sílice malla 30/60, granate malla 80, óxido de aluminio 100-grit, ó “grit” de hierro o acero G-80.
1.5	37.5	Arena sílice malla 20/50, granate malla 36, óxido de aluminio 50-grit, ó “grit” de hierro o acero G-50.
2	50	Arena sílice malla 16/40, granate malla 30, 36 óxido de aluminio 36-grit, ó “grit” de hierro enfriado o acero G-40.
2.5	62.5	Arena sílice malla 12/30, granate malla 20, óxido de aluminio 24-grit, “grit” de hierro o acero G-25.
3	75	Arena sílice malla 8/20, granate malla 16, óxido de aluminio 16-grit, ó “grit” de hierro enfriado o acero G-16.

Fuente: [10]

En 1990 NACE y SSPC establecieron un grupo de tarea conjunto con la finalidad de establecer normas redactadas idénticamente para la limpieza abrasiva del acero. Las normas conjuntas fueron publicadas en octubre de 1994 y son las siguientes:

“Limpieza Abrasiva a Metal Blanco”, NACE N° 1/SSPC-SP 5, “Limpieza Abrasiva a Metal Casi Blanco”, NACE N° 2/SSPC-SP 10, “Limpieza Abrasiva Comercial”, NACE N° 3/SSPC-SP 6; y “Limpieza Abrasiva Superficial”, NACE N° 4/SSPC-SP 7.

En el caso de la “Limpieza Abrasiva a Metal Casi Blanco”, NACE N° 2 / SSPC-SP 10 [11] (Anexo C), vista sin magnificación deberá estar libre de todo visible: Aceite, calamina, grasa, recubrimientos, óxidos, sucio, polvo, productos de corrosión y otra materia extraña excepto manchas. Las manchas no excederán del 5% de cada unidad de área de superficie de aproximadamente 6.400 mm² (9 pulg²) y pueden consistir de ligeras sombras, rayas o decoloraciones menores causadas por (manchas de calamina y manchas del recubrimiento anterior). Este método de limpieza emplea un chorro de material abrasivo (granalla mineral de sílice) a presión para limpiar la superficie con el objeto de eliminar toda la escama de laminación, pintura, óxido, y cualquier material incrustante.

Para la medición de la profundidad del perfil de anclaje (rugosidad) obtenido posterior al proceso de limpieza abrasiva, se suelen considerar varios métodos de evaluación, entre los cuales constan la cinta réplica y el micrómetro de profundidad (profilómetro) [11].

2.2.8.1 Cinta réplica ASTM D4417 Método C-NACE RP0287

El Perfil de anclaje puede medirse con las siguientes cintas réplica:

- Cinta réplica gruesa, para perfiles de anclaje entre 20 - 50 μm . (0.8 - 2.0 mils).
- Cinta réplica extra gruesa, para perfiles de anclaje de entre 37.5 – 112.5 μm . (1.5 – 4.5 mils).

Para la realización del ensayo, se toma una sección de cinta (Testex Press-o-film) con un cuadrado pequeño de espuma comprimible fijado a una película de plástico no comprimible (Mylar) y se lo aplica a la superficie preparada abrasivamente, con el lado mate hacia abajo, obteniendo la impresión inversa exacta del perfil de anclaje real después de aplastar la espuma sobre la superficie preparada. A continuación, se presenta una imagen de una cinta réplica:



Fig. 1 Cinta réplica para medición del perfil de anclaje

Fuente: [10]

La cinta réplica se extrae de la superficie y se utiliza un micrómetro análogo para la medición del espesor de la espuma y del plástico. Para la interpretación del valor real de la profundidad del perfil de anclaje, se disminuye de la lectura del reloj del micrómetro el espesor de la película Mylar (50 μm o 2 mils), dando como resultado la profundidad del perfil de anclaje.

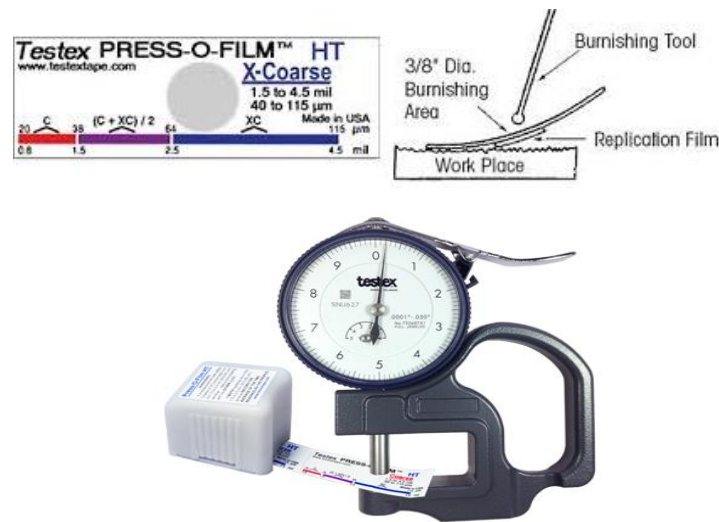


Fig. 2 Obtención de la impresión inversa y medición de la cinta con micrómetro

Fuente: [10]

2.2.9 Recubrimientos

Los recubrimientos son materiales, transparentes o pigmentados, formadores de películas que protegen la superficie a la que se aplican de los efectos del ambiente. Los términos de los recubrimientos usados comúnmente incluyen: pigmento, aglutinante, solvente, mecanismo de curado y sistema de recubrimientos [8].

2.2.10 Propiedades de los recubrimientos

Las principales propiedades incluyen las siguientes:

- Resistencia química.
- Resistencia al agua.
- Facilidad de aplicación
- Adhesión a sustrato.

- Fuerza cohesiva.
- Flexibilidad y elongación.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia a la temperatura.
- Resistencia dieléctrica [10].

La composición de los recubrimientos se basa en un pigmento, aditivo, aglutinante o resina y solvente. Las principales funciones de los recubrimientos son:

- Proporcionar características anticorrosivas.
- Disminuir la permeabilidad de la película.
- Ocultar la superficie (opacidad).
- Aportar color.
- Proteger la película de los efectos de la luz ultravioleta y el clima.
- Proporcionar refuerzo mecánico para la película del recubrimiento [10].

2.2.11 Clasificación de recubrimientos

El recubrimiento se clasifica como orgánico o inorgánico. La mayoría de los recubrimientos utilizados son orgánicos. Un recubrimiento orgánico es el que se hace a partir de los organismos vivos, como el árbol del tung (aceite de tung), semillas de ricino (aceite de ricino), linaza (aceite de linaza), pez (como el sábal) o de cosas que una vez vivieron, como carbón y petróleo. Todos estos recubrimientos contienen carbono [10].

Un recubrimiento inorgánico se basa en el uso de materiales aglutinantes inorgánicos, como silicato de sodio, silicato de calcio, silicato del litio y silicato de etilo. El silicato de etilo o etil silicato es orgánico, no inorgánico, pero frecuentemente se incluye en esta lista de aglutinantes. En el proceso de curado del zinc de silicato de etilo, el alcohol etílico se libera y la matriz restante de zinc-silicato ferroso es inorgánica [10].

2.2.12 Tipos de recubrimientos

Los tipos genéricos de recubrimientos son los siguientes: Acrílicos, alquídicos, caucho, epóxicos, furanos, látex, fenólicos, poliaspárticos, poliureas, siliconas, vinil éteres, vinílicos, zinc orgánicos y zinc inorgánicos [12].

2.2.13 Sistemas de recubrimientos

Los sistemas de recubrimientos comunes son tres: Sistemas de una capa, sistemas multicapa del mismo tipo genérico y sistemas multicapa de diferentes tipos [12].

2.2.14 Sistemas de una capa

En este sistema de recubrimientos se aplica únicamente una capa de pintura. Los sistemas de recubrimiento sencillos comúnmente son utilizados:

Cuando todo lo que se requiere es una vida corta, por razones decorativas o cuando el recubrimiento ha sido formulado específicamente para la aplicación en una capa. Algunos problemas encontrados frecuentemente con los sistemas de una sola capa incluyen solvente atrapado, dificultad para conservar el espesor de película especificado y su uniformidad, discontinuidades y omisiones [12].

2.2.15 Sistemas de capas múltiples

Los sistemas de capas múltiples pueden consistir de más de una capa del mismo material, aplicadas generalmente en colores contrastantes. Este tipo de sistema se encuentra generalmente cuando un recubrimiento puede formularse tanto como primario como acabado. Muchos sistemas, incluyendo los epóxicos, se aplican frecuentemente en esta forma. Este tipo de recubrimientos se usa frecuentemente para servicios en inmersión y debe ser inerte a los químicos contenidos o los líquidos de los alrededores [12].

2.2.16 Espesor de película en polvo

El espesor de una película en polvo se mide en micras (μm) o mils, para lo cual se utiliza un instrumento de medición, denominado peine para película en polvo no curado. La importancia de efectuar una medición del espesor de película en polvo

radica en controlar la técnica de aplicación de una capa de recubrimiento, con la finalidad de evitar la posibilidad de que exista un exceso o déficit de recubrimiento en polvo previo al curado, de esta manera se podrá realizar las correcciones o ajustes pertinentes de forma oportuna. ASTM D7378 – A [10].

En la siguiente figura se muestra una ilustración de un instrumento de medición de una película de recubrimiento en polvo y del proceso de arrastre:

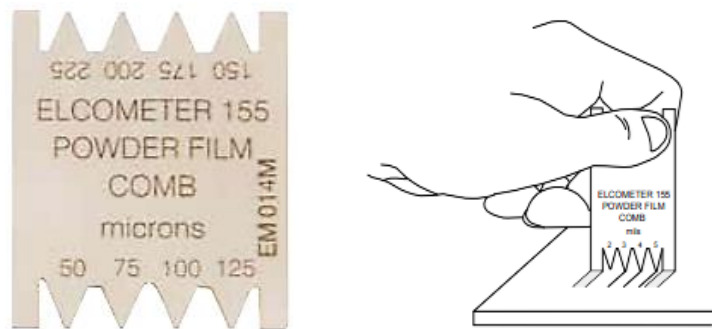


Fig. 3 Peine de medición del espesor de película en polvo y proceso de arrastre

Fuente: [10]

2.2.17 Mecanismo de curado

El curado sirve para describir el modo en el que se transforma un recubrimiento, ya sea de líquido o en polvo a un estado sólido. Algunos tipos de recubrimientos curan de manera simple por evaporación de solventes, pero en ciertos casos industriales y marinos se requiere reacciones químicas. Los factores que influyen en el curado son plazos de tiempo involucrados en el proceso de recubrimiento, los elementos ambientales durante el curado, el espesor de la película aplicada y la mezcla de los componentes del recubrimiento.

Existen dos clasificaciones generales de los mecanismos de curado: para los materiales no convertibles y para los materiales convertibles. En el primer caso, se trata del curado a través de la evaporación de solventes. No hay ningún cambio químico en las resinas empleadas en estos productos conforme se transforman de estado líquido a estado sólido. Los materiales no convertibles tienen la capacidad de redisolverse, por lo que se denominan como materiales termoplásticos.

Los materiales convertibles, curan por medio de mecanismos de polimerización, están sometidos a un cambio químico durante el proceso de curado y se denominan también como materiales termoestables. Entre las reacciones químicas que se producen durante el curado se tiene: oxidación, polimerización y fusión [8].

En el caso de la oxidación, una vez que el solvente se evapora de la película, estos recubrimientos curan al reaccionar con el oxígeno del ambiente. La polimerización ocurre cuando una molécula pequeña se transforma en una molécula más grande, se denomina también como entrecruzamiento de enlaces, los tipos de recubrimientos por polimerización incluyen a los epóxicos, poliuretanos, entre otros. La fusión consiste en el curado a través de calor forzado (hornos), se trata de polimerización, pero requieren una temperatura específica para terminar el curado. El curado por fusión puede ser de uno o dos componentes [8].

2.2.18 Espesor de película seca

Es el espesor medido en micras (μm) o mils de la película de pintura, una vez bien seca y dura. Cuando se trata de soportes de acero se puede medir con instrumentos magnéticos debidamente calibrados, sin embargo, sobre otros materiales solamente puede medirse con un pequeño microscopio graduado o con un corte inclinado de la pintura. El espesor de película seca es muy importante porque repercute en la resistencia frente a la corrosión del material [13].

En virtud de que todos los recubrimientos de los distintos fabricantes tienen características particulares, no es posible predecir el espesor de la película seca del post-curado, a menos que sea conocido el nivel de contracción o que sea medida la densidad del polvo previo al curado [13].

2.2.19 Medición del espesor de película seca

El primer parámetro a tener en cuenta en el control de calidad de los recubrimientos es el espesor de la película seca, cada fabricante establece el valor del espesor de película, que es específico según el tipo de recubrimiento y el uso al que vaya dirigido. Para la medición del espesor se utiliza un equipo certificado denominado “medidor de espesor de recubrimientos”, que tiene la capacidad de presentar los

valores en Mils o en μm . A efectos de realizar el control de medición del recubrimiento aplicado, es pertinente efectuar un muestreo, que consiste en la toma de determinado número de mediciones en puntos seleccionados de acuerdo a los criterios establecidos en el código SSPC-PA2 [14] (Anexo C). En este sentido, se determina que para una superficie de 10 m^2 se deben definir cinco spots con tres puntos de medición en cada caso.

2.2.20 Adherencia

La adherencia de un recubrimiento es la capacidad de unión con la superficie subyacente o sustrato [15]. La adherencia se mide en unidades de presión, generalmente en Psi o MPa. La adherencia de una película de recubrimiento depende de varios factores:

a. Atracción intermolecular:

Las fuerzas intermoleculares dependen de:

- 1) La naturaleza de los materiales formadores de la película y del sustrato.
- 2) La orientación de los componentes dentro de la película en el proceso de secado.

b. Superficie de anclaje:

La superficie de anclaje influye considerablemente, ya que una superficie discontinua, rugosa o porosa, proporciona una mayor área de contacto y por consiguiente una mayor superficie de anclaje mecánico que una superficie lisa.

c. Humectación:

Se define así el grado de contacto que se alcanza entre el recubrimiento aplicado y el sustrato y que depende de la naturaleza de los mismos y la aplicación.

d. Forma de aplicación:

La técnica aplicada, así como las condiciones de secado repercute en la humectación del sustrato.

e. Preparación de la superficie:

Se define así el tratamiento previo a la aplicación del recubrimiento y abarca desde métodos para crear superficie de anclaje hasta la eliminación de toda interferencia que se interponga entre el recubrimiento y el sustrato firme.

Las pruebas de adherencia después de la aplicación del recubrimiento, cuantifica la resistencia de la unión entre el sustrato y el recubrimiento, o entre diferentes capas del recubrimiento o bien la fuerza cohesiva de algunos sustratos.

Como parte de los procedimientos de inspección y mantenimiento se recurre a una serie de pruebas rutinarias para contribuir a detectar posibles fallos del recubrimiento [15].

2.2.21 Métodos de adherencia

Existen medidores que permiten determinar la fuerza con que un recubrimiento se adhiere al sustrato; con esto se obtiene un dato cuantitativo de la fuerza de adherencia por unidad de área del recubrimiento. Estos instrumentos emplean el método de tirón para medir la fuerza de levantamiento requerido para desprender del sustrato un área pequeña del recubrimiento que se va a evaluar. Existen ciertos métodos para medir la adherencia, entre los cuales constan: Método de adherencia por arranque, empuje y trama cruzada [15].

2.2.21.1 Método de trama cruzada / Corte cruzado

Se trata de un método de comparación visual rápida y económica aplicable al recubrimiento de pintura y pintura en polvo de hasta 250 μm (10 mils). El procedimiento consiste en cortar el recubrimiento en cuadrados pequeños, reduciendo así la unión lateral para evaluar la adherencia según las normas ISO, ASTM o de la propia compañía.

El equipo medidor de adherencia por trama cruzada consta de varios componentes, tales como: mango antideslizante, cortador, llaves hexagonales, lupa, cepillo y cinta adhesiva ASTM D3359 (Anexo C).

2.2.21.2 Método de adherencia por empuje

Para el desarrollo de esta prueba se adhiere una “sufridera” al recubrimiento de acuerdo a la norma ASTM D4541 Método B (Anexo C). Una vez curado el adhesivo se estira la “sufridera” para separarle de la superficie, valiéndose del comprobador de adherencia (medidor hidráulico de adherencia tipo III Elcometer 108). El tratamiento por empuje hace de este método el ideal para superficies planas y curvas y también es conocido como Pull-Off.

El equipo medidor hidráulico de adherencia de empuje consta de los siguientes componentes: actuador de empuje, sufrideras (dollys), adhesivo Cianoacrilato de curado rápido MC1500, herramienta de limpieza de sufrideras, tapones de Nylon y estuche ABS.

2.2.22 Discontinuidades

Las discontinuidades se definen como áreas desnudas, omisiones o zonas delgadas localizadas en un recubrimiento donde el sustrato no está pintado, son las causantes de la falla prematura de un recubrimiento. A las discontinuidades se las conoce como “holidays”[16].

Para detectar las discontinuidades y los puntos de alfiler en la pintura se utilizan los detectores de holidays, los cuales pueden ser de bajo voltaje en corriente continua DC o de alto voltaje en corriente continua o alterna.

La prueba de holidays se realiza para encontrar cortes, puntos de alfiler y otros defectos o discontinuidades en la película. Antes de realizarse la prueba de holidays el recubrimiento debe curarse razonablemente bien (pero no totalmente, para facilitar la reparación). De esta manera se evita que se muestren discontinuidades falsas [16].

2.2.23 Detector de Holidays de Bajo-Voltaje (Esponja Húmeda)

Es un dispositivo electrónico sensible, de bajo voltaje (esponja húmeda), que opera a través de una batería con voltajes de salida que van de 5 a 90 V DC, dependiendo del diseño del circuito del fabricante del equipo. El equipo consta de un instrumento

portátil operado por batería, un mango no conductor con pinzas (que sostiene la esponja), una esponja de celda abierta (celulosa) y un cable de tierra.

De acuerdo con la Norma SP0188 de NACE International [17] (Anexo C), se emplea un detector de bajo voltaje DC que consiste en una sonda estándar con esponja conductora, que por lo general se usa en películas de pintura menores a 500 μm (20 mils) de espesor. El instrumento localiza los defectos en recubrimientos menores a 500 μm (20 mils) a una velocidad de 1 pie/s y los usuarios lo prefieren porque no puede dañar fácilmente la película del recubrimiento evaluada.

Los Holidays son huecos en el recubrimiento de tamaño microscópico que alcanzan grandes áreas de daño, los holidays liberan una corriente eléctrica que fluye entre una sonda de contacto (detección) o electrodo en el revestimiento del acero. Es decir, detecta defectos por la creación de una diferencia de potencial entre el electrodo y la superficie conductiva [17].

2.2.24 Hojas de Datos Técnicos

Las hojas de datos técnicos del producto, también denominadas Hojas Técnicas o Fichas Técnicas de los fabricantes de recubrimientos son diseñadas para dar a conocer los aspectos técnicos relacionados con el material y las aplicaciones del mismo. Por lo general las secciones de las hojas de datos técnicos incluyen: una descripción general del recubrimiento y del producto, las aprobaciones y certificados, la descripción de la forma en que se usa el recubrimiento (incluyendo recubrimientos primarios y finales), las recomendaciones para el método y equipo de aplicación, la preparación de la superficie y las características técnicas específicas del producto (color, rendimiento teórico y práctico, proporción de mezclado, tiempo de inducción y vida útil de la mezcla, thinner permitido, información sobre empaque y transporte, punto de inflamación y sólidos por volumen) [16].

2.3 HIPÓTESIS

El proceso de recubrimiento incide en la calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas en la empresa I.M.ESCO de la ciudad de Ambato.

2.4 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.4.1 Variable independiente

Proceso de recubrimiento.

2.4.2 Variable dependiente

Calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Enfoque

La modalidad de la investigación es Cuantitativa, porque a través de mediciones se obtienen datos numéricos de espesores, adherencia y discontinuidades. En cuanto al diseño de la investigación es Cuasi Experimental, dado que el investigador establece las condiciones bajo las que se desarrolla el proceso de aplicación del recubrimiento, las pruebas de adherencia y de discontinuidades. Sin embargo, las mismas son tomadas de los códigos y especificaciones internacionalmente reconocidos.

3.1.2 Modalidad

La modalidad de investigación es de Campo, porque el estudio de adherencia y discontinuidades, a través de las mediciones se realizará en la sección de pintura de la planta de producción de I.M.ESCO. Por otra parte, es Bibliográfica, porque se revisarán estudios preliminares con referencia al tema, así como publicaciones en artículos científicos y las normas y códigos, como SSPC, ASTM e ISO.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo Transversal, dado que cada tipo de ensayo se efectuó una sola vez, tanto para el recubrimiento en superficie lisa como en superficie rugosa. De acuerdo a las unidades de observación, el estudio es Comparativo, porque se realizaron ensayos destructivos y no destructivos para el método de aplicación de recubrimiento electrostático en superficie lisa y en rugosa.

Es decir, se evalúan los resultados obtenidos para los dos tipos de superficie del sustrato (elemento metálico a ser recubierto). En ambos casos, superficie lisa y rugosa, se obtuvieron los indicadores de espesor de película seca de pintura, adherencia (trama cruzada y pull-off) y discontinuidades.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está conformada por el número de mediciones de espesor de pintura, los juegos de líneas cortados en ángulos rectos (trama cruzada), las marcas dejadas por la sufridera (Pull-Off) para medición de la resistencia de unión entre sustrato y recubrimiento, y las discontinuidades (microorificios) identificados en la superficie del recubrimiento.

En cuanto a la muestra, se utilizaron placas testigo para medir el espesor del recubrimiento, la adherencia y las discontinuidades (holidays), las placas son de acero ASTM A-36. Las mediciones en las placas se realizaron en el proceso ordinario de pintura.

3.3.1 Muestra para la medición de espesores de la película seca

De acuerdo a lo que establece la norma SSPC-PA2 [14], la medición de los espesores del recubrimiento se debe efectuar directamente en la superficie de la carretilla, considerando el criterio de que por cada 10 m² corresponde tomar cinco spot (con tres mediciones por cada uno). En el presente caso el área de la superficie de recubrimiento de una carretilla es de 2.15 m². Los detalles de los puntos medidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Detalle de las mediciones a realizar en el muestreo.

ESPECIMEN	PROCESO	PUNTOS DE MEDICIÓN	NÚMERO DE SPOTS	UNIDAD DE MEDIDA
Carretilla Superficie Lisa	Monocapa	15	5 (3 por spots)	Mils o μm (espesores)
Carretilla Superficie Rugosa	Monocapa	15	5 (3 por spots)	Mils o μm (espesores)

Fuente: [14]

En la superficie de la carretilla, de acuerdo a lo establecido en la norma SSPC-PA 2, cada spot debe tener un diámetro aproximado de 1.5 pulgadas, en donde se localizan los tres puntos de medición, conforme se ilustra en la Fig. 4.

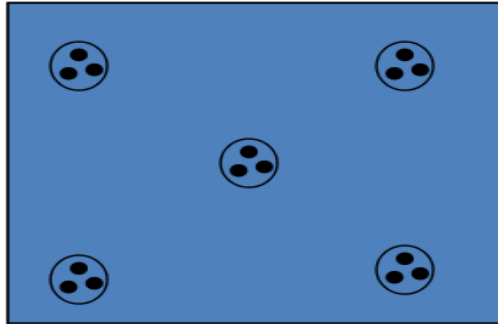


Fig. 4 Distribución de spots y puntos de medición en la placa testigo

Fuente: [14]

3.3.2 Muestra para la prueba de adherencia por cortador de trama cruzada

La prueba de adherencia por cortador de trama cruzada es un ensayo de tipo destructivo (ED) conforme lo establecido en la norma ASTM D3359 [18]. Es recomendable la utilización de una placa testigo, que se someta a un proceso de aplicación de recubrimiento en idénticas condiciones que los elementos de las carretillas. En este sentido, la muestra utilizada para la prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) consiste en una placa testigo, en la que se realizan dos juegos de líneas, que se cortan en ángulo recto para obtener una trama de 36 cuadrados. El esquema de la placa testigo se muestra en la Fig. 5:

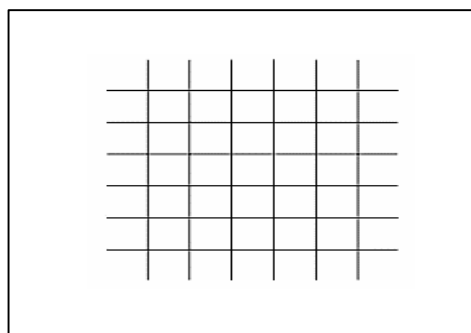


Fig. 5 Esquema de los juegos de líneas realizados en la placa testigo

Fuente: [18]

3.3.3 Muestra para la prueba de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off)

La prueba de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off) (sufridera, adhesivo Cianoacrilato de curado rápido, capa y sustrato), es un ensayo de tipo destructivo (ED). La muestra utilizada para el ensayo es una placa testigo, en la que se coloca una sufridera que se adhiere a la capa – sustrato, para ser desprendida mediante el empuje hidráulico efectuado por un actuador, según la norma ASTM D4541 [19]. El esquema de la colocación del actuador en la sufridera se muestra en la Fig. 6:



Fig. 6 Esquema de la colocación del actuador en la sufridera en la placa testigo

Fuente: [19]

3.3.4 Muestra para la prueba de discontinuidades (Holidays)

El Ensayo de Discontinuidades (Holidays) de Recubrimientos Protectores Nuevos en Sustratos Conductores con base en la norma NACE Estándar SP0188, para baja tensión (5-90 V DC) es de tipo no destructivo (END). La identificación de las discontinuidades se efectúa directamente en la superficie de las carretillas, empleando una sonda estándar con esponja conductora para espesores de recubrimiento menor a 500 μm (20 mils) y a una velocidad de 1 pie/s, una vez que haya sido aplicado el recubrimiento y se encuentre seca la película de pintura (curado total). Por consiguiente, la muestra corresponde a todas las mediciones que realiza el equipo durante su recorrido en la superficie de la carretilla.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Operacionalización de la variable independiente

La unidad de estudio del trabajo experimental son las carretillas fabricadas en la empresa I.M.ESCO y las variables de interés son: el proceso de recubrimiento y la

calidad superficial de película seca (la adherencia de la pintura y las discontinuidades existentes en la película seca).

Tabla 3. Operacionalización del proceso de recubrimiento.

DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Preparación de la superficie	Condiciones ambientales	Temperatura (°C) Ambiente Sustrato Punto de rocío	Medición de condiciones ambientales – Termohigrómetro Elcometer 319.
		Humedad relativa (RH %)	
	Tipo de limpieza	Con solventes: Inmersión del sustrato en solvente Código SSPC-SP1	Inspección visual: Libre de impurezas, manchas, grasas, etc.
		Mecánica: Limpieza abrasiva a metal casi blanco Código SSPC-SP10	Inspección visual (menos de 5% de manchas) - Medición del perfil de anclaje (rugosidad) con cinta réplica y micrómetro de profundidad (Mils o μm) – Micrómetro y cinta Réplica A881140.
Aplicación de pintura	Capas	Monocapa Superficie Lisa	Medición de espesores película seca (mils) – Elcometer 456.
		Monocapa Superficie Rugosa	
Curado	Hojas técnicas del producto	Tiempo de curado	Medición de tiempo de curado (min) – Reloj
Ensayo Destructivo	Adherencia	Sustrato Liso -Capa	- Prueba de adherencia – Cortador de Trama Cruzada Elcometer 107 con cinta ASTM. - Prueba de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off) (Psi) – Elcometer 108/1
		Sustrato Rugoso - Capa	

Fuente: Autor.

3.4.2 Operacionalización de la variable dependiente

Tabla 4. Operacionalización de la calidad superficial de película seca de pintura.

DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Ensayo no destructivo	Discontinuidad	Cortes	Medición de discontinuidades con equipo detector de microorificios (Holiday) (V DC) – Elcometer 270/4 (señal luminosa y acústica)
		Puntos de alfiler	
		Escurecimiento	
		Ampollamiento	
		Agrietamiento	
		Cráteres	
		Ojos de pescado	

Fuente: Autor.

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Inicialmente se acudió a la planta de producción de la empresa I.M.ESCO y concretamente a la sección de pintura, para levantar información del proceso monocapa en superficie lisa y rugosa. El procedimiento para la recolección de la información es el que se describe a continuación:

3.5.1 Proceso de aplicación del recubrimiento

Se siguieron los siguientes pasos:

- Limpieza con solventes para remoción de las impurezas de las partes de una carretilla (tolva metálica, chasis tubular, soportes tipo V, templadores delanteros, medios y posteriores) en un recipiente metálico de lavado desoxidante, según la norma SSPC-SP1 [9].
- Secado al ambiente durante 15 minutos aproximadamente.
- Inspección visual de la limpieza.
- Aplicación de la capa de pintura Epoxi + Poliéster (proceso monocapa).
- Secado y curado total de acuerdo a la norma datasheet de la pintura Wesco Duraplast.
- Inspección visual de imperfecciones en el recubrimiento.
- Medición de espesores de la película seca, de acuerdo a la norma SSPC-PA2 [14], utilizando las partes de la carretilla.

El proceso de aplicación de un recubrimiento se ilustra en el siguiente diagrama:

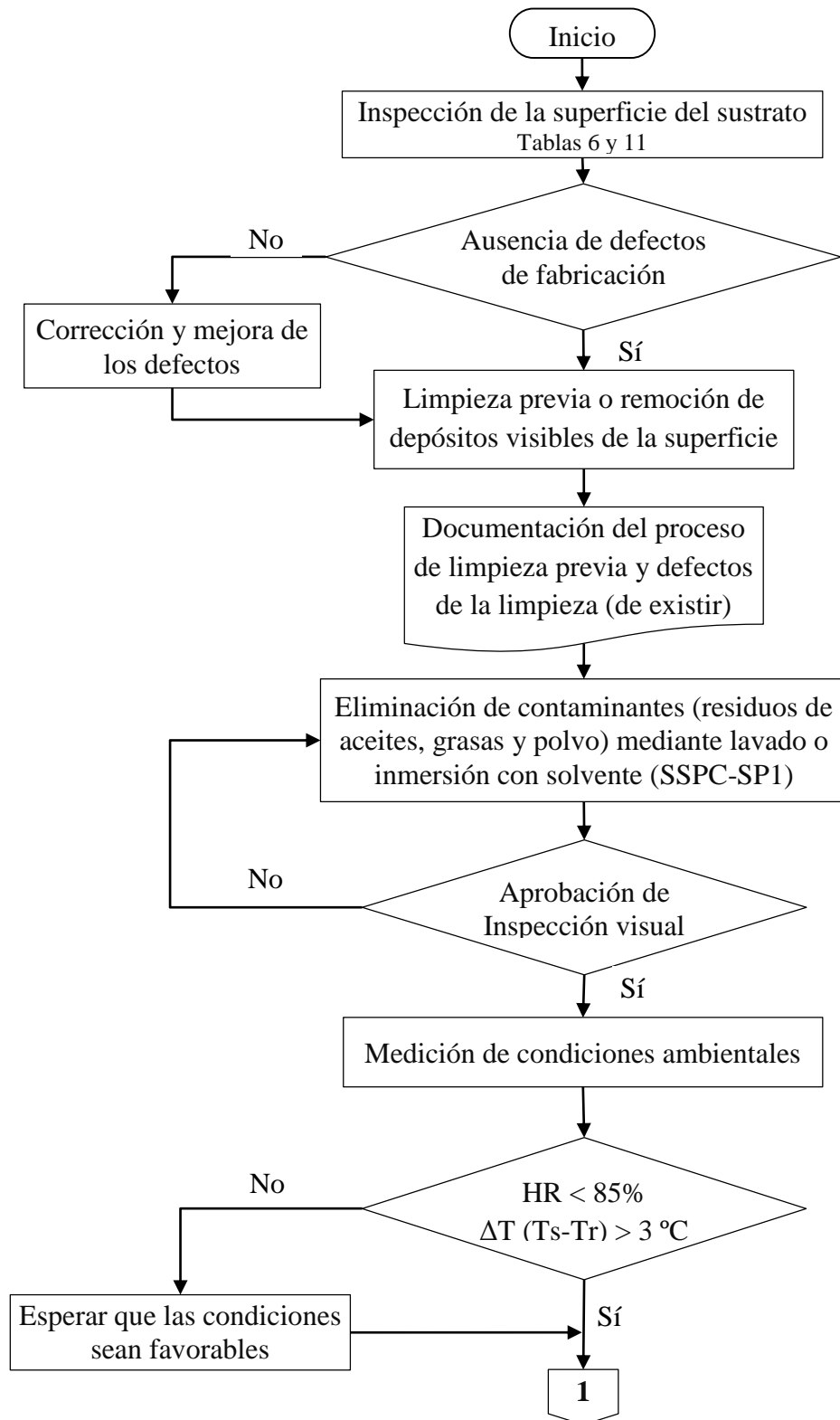


Fig. 7 Diagrama de flujo del proceso de aplicación del recubrimiento

Fuente: [10]

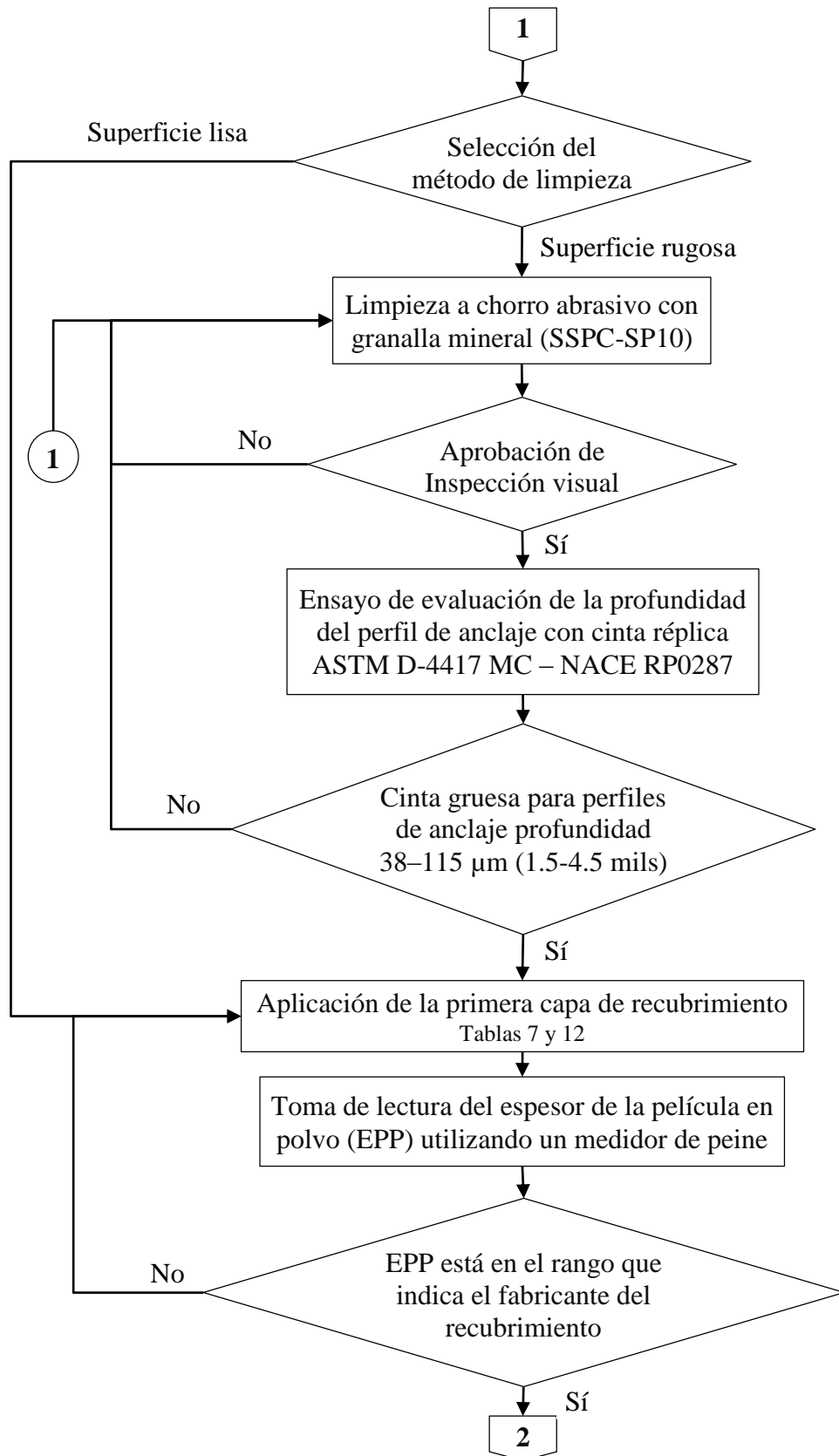


Fig. 7 Diagrama de flujo del proceso de aplicación del recubrimiento (continuación)

Fuente: [10]

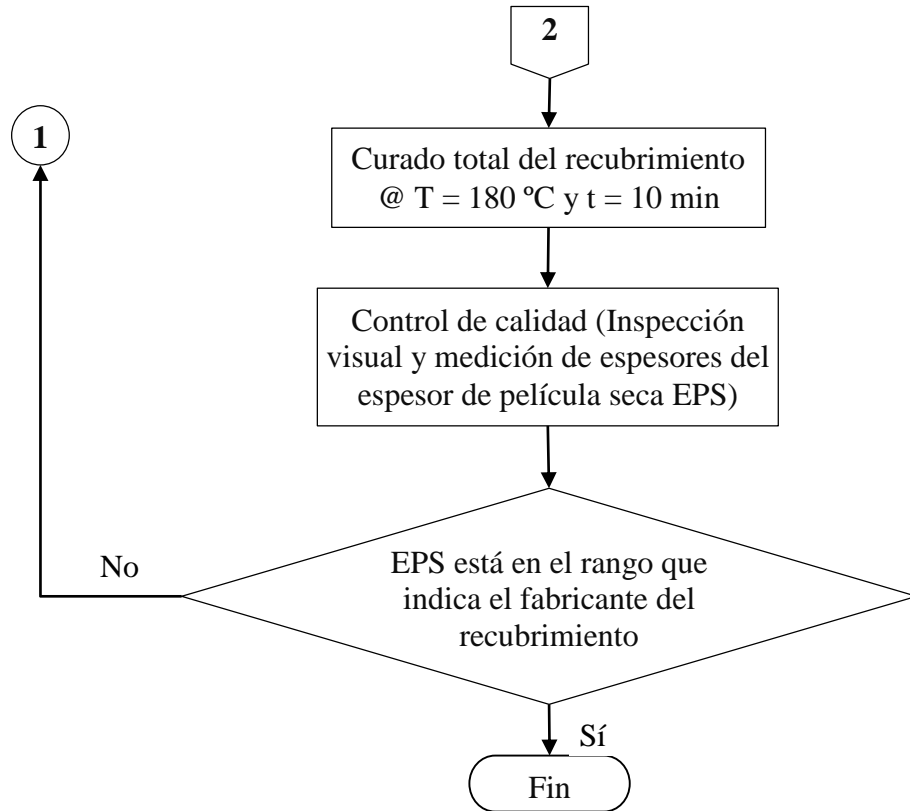


Fig. 7 Diagrama de flujo del proceso de aplicación del recubrimiento (continuación)

Fuente: [10]

3.5.2 Medición de adherencia por trama cruzada

El procedimiento seguido se presenta a continuación:

- Desarrollo de la prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) mediante el cortador de trama cruzada, de acuerdo a la norma ASTM D3359 [18], utilizando la placa testigo (20X15cm).

El procedimiento para realizar la prueba de adherencia por trama cruzada se ilustra en el siguiente diagrama:

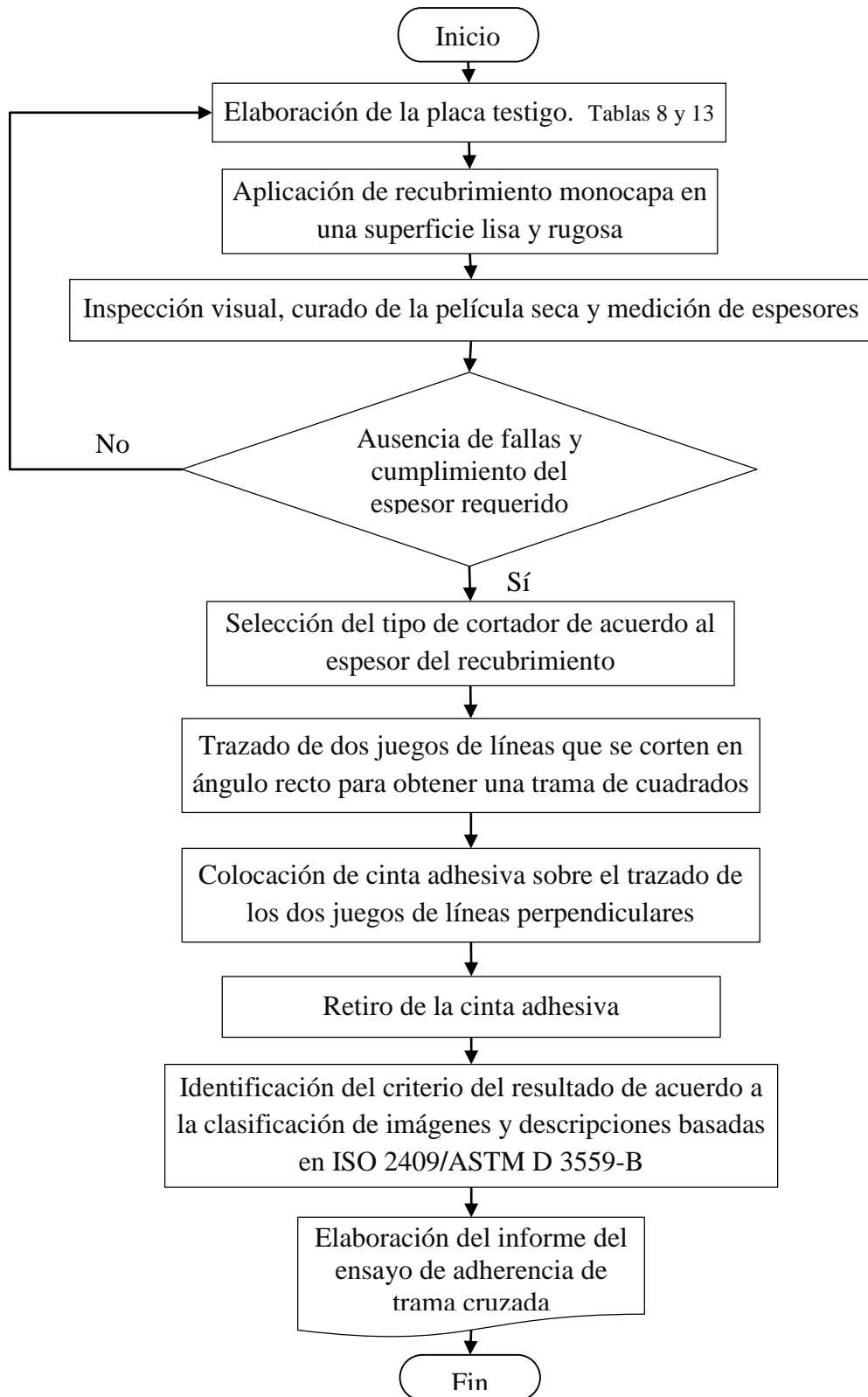


Fig. 7 Diagrama de flujo del ensayo de adherencia por trama cruzada

Fuente: [18]

3.5.3 Medición de adherencia por empuje

- Ejecución de la prueba de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off sufridera, capa y sustrato), según la norma ASTM D4541 [19], usando la placa testigo (20X15cm).

El procedimiento de la prueba se ilustra en el diagrama mostrado a continuación:

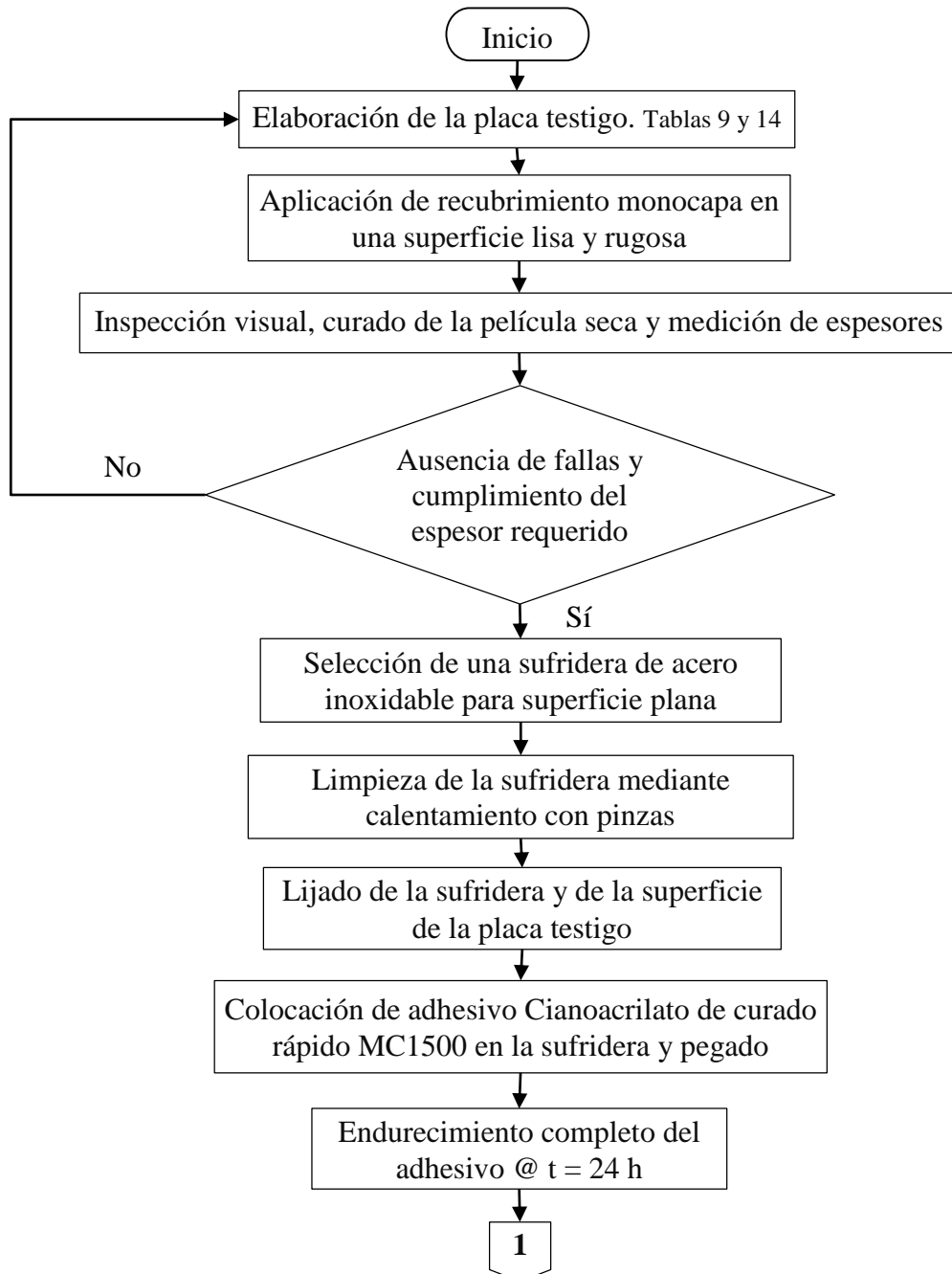


Fig. 9 Diagrama de flujo del ensayo de adherencia Pull-Off

Fuente: [19]

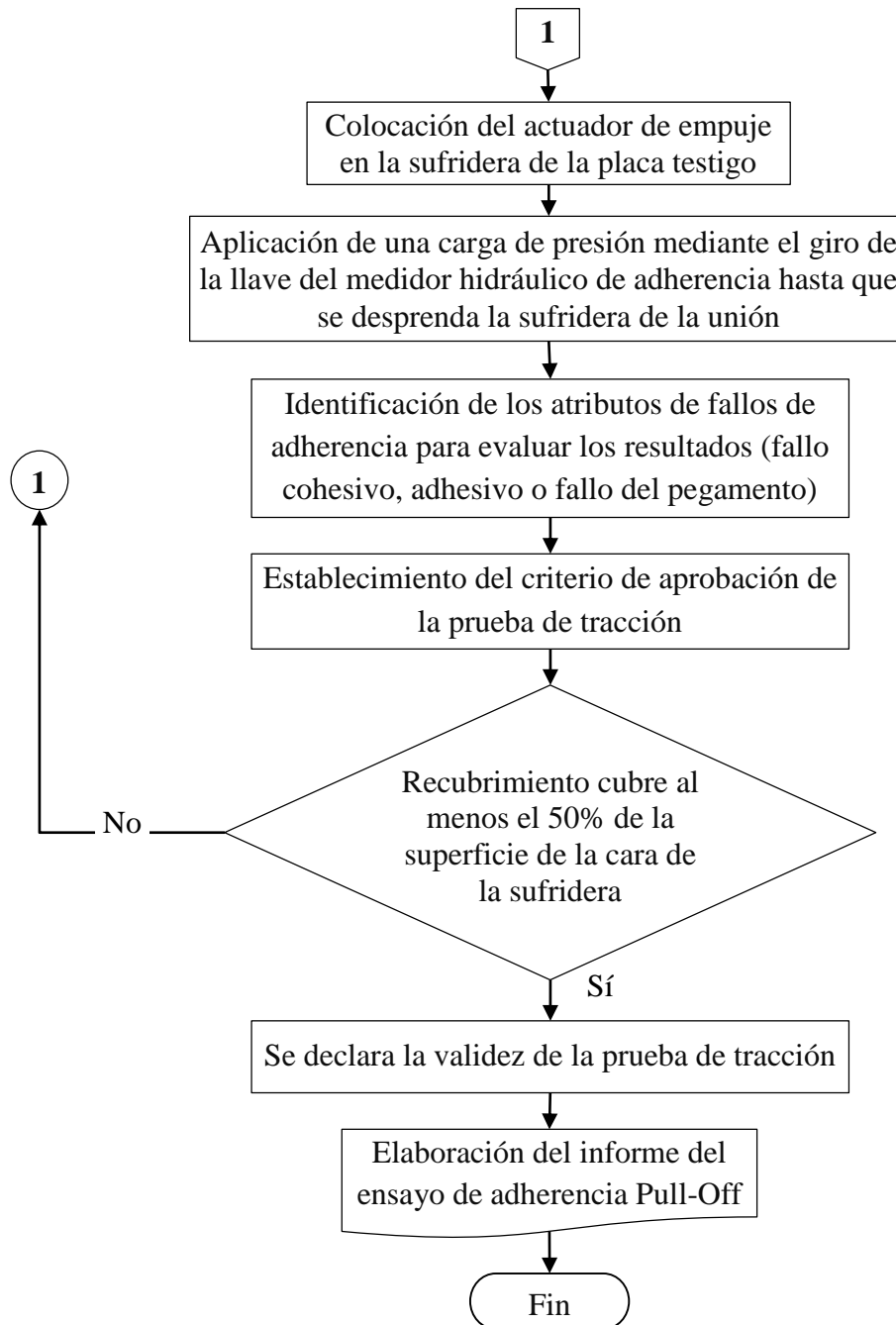


Fig. 8 Diagrama de flujo del ensayo de adherencia Pull-Off (continuación)

Fuente: [19]

3.5.4 Medición de las discontinuidades (Holiday)

- Medición de las discontinuidades (Holiday), de acuerdo a la norma NACE SP0188 [17], utilizando las partes de la carretilla.
- Repetición del procedimiento para el proceso monocapa con superficie rugosa.

El equipo de instrumentos de medición utilizados para medir las condiciones ambientales, el perfil de anclaje, los espesores de película, la adherencia y la discontinuidad, disponen de una certificación de calibración emitida por el fabricante Elcometer, la misma que garantiza la idoneidad del equipo. Dichas certificaciones se muestran en el Anexo B del presente documento. El procedimiento para realizar la prueba de detección de microorificios (holidays) se ilustra en el siguiente diagrama:

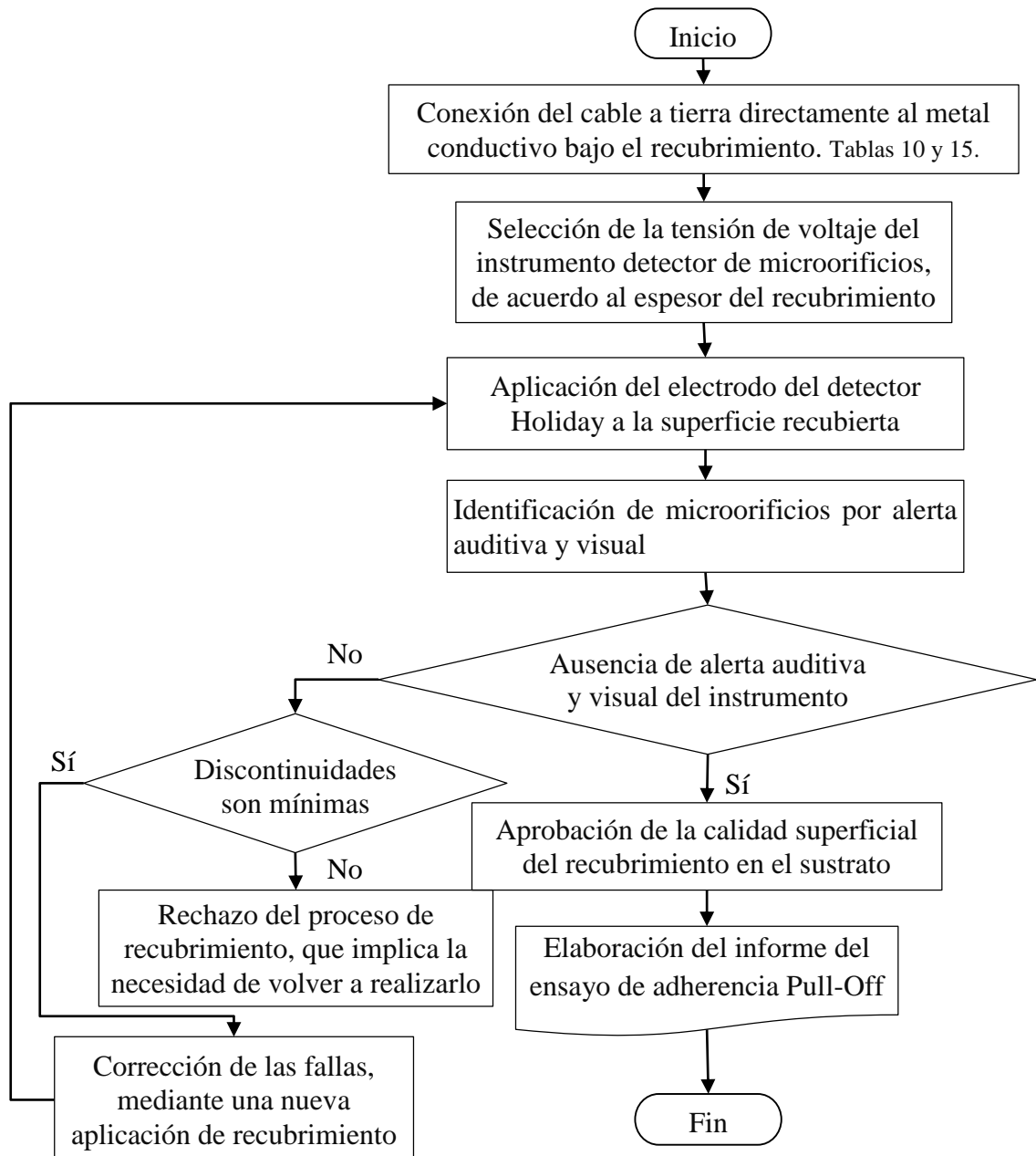


Fig. 9 Diagrama de flujo del ensayo de detección de discontinuidades (Holidays)

Fuente: [17]

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El análisis y recolección de los datos se desarrollará en los siguientes pasos:

- Elaboración de las fichas técnicas de observación: De la preparación de la superficie, aplicación de recubrimientos, prueba de trama cruzada, prueba de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off) e identificación de discontinuidades (Holidays).
- Registro de los datos tomados en las partes de la carretilla y en las placas testigo en las fichas correspondientes.
- Cálculo del promedio de las mediciones de los espesores de los spots según la norma SSPC-PA 2.
- Comprobación de los criterios de aceptación del proceso de recubrimiento, adherencia y discontinuidades, conforme a los parámetros establecidos en las normas correspondientes.
- Comparación de la calidad del recubrimiento monocapa en superficie lisa y rugosa.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En el presente estudio se realizaron ensayos destructivos y no destructivos para determinar la calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas producidas en la empresa I.M.ESCO, tanto en un sustrato liso como en sustrato rugoso. En este caso es pertinente tener en cuenta que el proceso regular bajo el cual se realiza la aplicación del recubrimiento de las mencionadas carretillas es el electrostático monocapa sobre superficie lisa y este proceso es comparado con el electrostático monocapa sobre superficie rugosa (generando un perfil de anclaje con limpieza de la superficie a chorro abrasivo), como una alternativa para conseguir una mejor calidad superficial del recubrimiento sobre el sustrato.

A continuación, se detallan los ensayos realizados en la tabla siguiente:

Tabla 5. Ensayos realizados al recubrimiento aplicado en superficie lisa y rugosa.

SUPERFICIE LISA		SUPERFICIE RUGOSA		REFERENCIA
NO. ENSAYO	DENOMINACIÓN	NO. ENSAYO	DENOMINACIÓN	
ECSR-001	Lavado químico con desoxidante fosfatizante.	ECSR-006	Lavado químico con desoxidante fosfatizante y granallado de la superficie.	Código SSPC-SP 1 SSPC-SP 10 (Anexo C)
ECSR-002	Aplicación de recubrimiento en polvo y medición de espesores.	ECSR-007	Liberación de superficie granallada y aplicación de recubrimiento en polvo.	Código SSPC-SP 1 SSPC-SP 10 (Anexo C)
ECSR-003	Prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por cortador de trama cruzada.	ECSR-008	Prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por cortador de trama cruzada.	ASTM D3359 (Anexo C)

Fuente: Autor.

SUPERFICIE LISA		SUPERFICIE RUGOSA		REFERENCIA
NO. ENSAYO	DENOMINACIÓN	NO. ENSAYO	DENOMINACIÓN	
ECSR-004	Prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por empuje hidráulico.	ECSR-009	Prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por empuje hidráulico.	ASTM D4541 (Anexo C)
ECSR-005	Identificación de las discontinuidades (holidays) en el recubrimiento con detector de microorificios.	ECSR-010	Identificación de las discontinuidades (holidays) en el recubrimiento con detector de microorificios.	NACE SP0188 (Anexo C)

Fuente: Autor.

La siguiente información se presenta en los informes de los ensayos realizados, según corresponda:

- Datos informativos: nombre del cliente, proyecto, equipo intervenido, tipo de proceso electrostático, código de identificación, número de informe, fecha de realización del ensayo, la descripción del trabajo, el porcentaje de avance del proceso en función del código o norma aplicada.
- Condiciones ambientales según la hora del día: Temperatura ambiente (Ta), temperatura superficial (Ts), punto de rocío (Tr), porcentaje de humedad relativa (Hr), diferencia de temperaturas ($DT = Ts - Tr$). Adicionalmente, se da a conocer la condición climática como soleado, nublado, lluvioso, despejado.
- Preparación de la superficie: tipo de preparación (SSPC SP1 y/o SP10), grado, información del abrasivo.
- Espesores de cintas réplicas testex para perfil de anclaje: muestra obtenida, número de capa, espesor mínimo, máximo y promedio.
- Control de horas de trabajo: horario de inicio y finalización de los ensayos.

- Datos del material aplicado: descripción del material, lote de fabricación, fecha de elaboración y vida útil.
- Detalle de la aplicación del recubrimiento: número de capas aplicadas, tipo de recubrimiento, color, batch componente A, datos de la medición de los espesores mínimo y máximo, método de aplicación.
- Descripción de las actividades realizadas: procedimiento, descripción de las actividades, tiempo de intervención, temperaturas de trabajo, inspecciones visuales y/o liberación.
- Registro de medición del recubrimiento: espesor de la capa de película seca (mils), código de referencia y promedio general de las mediciones.
- Información de los ensayos de adherencia por cortador de trama cruzada y por empuje hidráulico: descripción del método de ensayo, características, kit de componentes y especificaciones técnicas.
- Criterio de resultados de ensayos de adherencia por cortador de trama cruzada y por empuje hidráulico: muestra de la cinta ASTM D-3359, procedimiento, tipo de superficie de la identificación del ensayo (cortador de trama cruzada ISO, ASTM), código y descripción del fallo (empuje hidráulico) y descripción típica de los resultados.
- Información del ensayo de discontinuidades (holidays): descripción del método de ensayo, características, kit de componentes y especificaciones técnicas.
- Localización de discontinuidades (holidays): procedimiento, localización de defectos por zonas de cada componente de las carretillas, plano de las zonas para identificación de discontinuidades.
- Equipos utilizados: limpieza, pintura y de control de calidad (medidor de espesor de película seca, condiciones ambientales, perfil de anclaje,

adherencia trama cruzada, adherencia empuje hidráulico, detector de discontinuidad).

- Registro fotográfico de cada uno de los ensayos.
- Responsabilidades en el desarrollo de la práctica: elaboración, revisión y aprobación.

A continuación, en las Tablas de la 6 a la 10, se presentan los informes de los ensayos de la aplicación del recubrimiento, de las pruebas de adherencia y de discontinuidad efectuadas en la superficie del sustrato liso; mientras que en las Tablas de la 11 a la 15, se muestran los informes de los ensayos efectuados en la superficie del sustrato rugoso:

Tabla 6. Informe de preparación de superficie en sustrato liso, lavado químico con desoxidante.

		INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE													
		CLIENTE:	I.M.ESCO												
		PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS							ENSAYO No:	ECSR-001				
		EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V							PÁGINA:	1	DE	1		
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO							FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018						
DESCRIPCION TRABAJO										PORCENTAJES					
LAVADO QUÍMICO CON DESOXIDANTE FOSFATIZANTE										SSPC-SP 1	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA		
										100%	NA	N/A	NA		
CONDICIONES AMBIENTALES											PREPARACIÓN DE SUPERFICIE				
	HORA											Tipo	MECÁNICA		
	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	Grado	Código SSPC-SP 1		
TEMPERATURA AMBIENTE Ta °C	NA	20.7°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Abrasivo	NA		
TEMPERATURA SUPERFICIAL Ts °C	NA	19.2°C	19.8°C	20.3°C	20.1°C	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
PUNTO DE ROCÍO Tr °C	NA	9.8°C	9.6°C	8.9°C	9.1°C	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
% HUMEDAD RELATIVA HR	NA	49.6%	48.7%	46.5%	48.1%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Perfil Anclaje	LISO		
DT (Ts-Tr)	NA	9.4°C	10.2%	11.4%	11.0%	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CONDICIONES CLIMÁTICAS	NA	N/S	N/S	N/S	N/S	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CÓDIGOS	Soleado: S		Nublado Soleado: N/S		Nublado: N		Lluvioso: LL		No Aplica: NA		Despejado: D				



INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-001
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

CONTROL DE HORAS DE TRABAJO

ESPEORES SECO CAPAS LIBERADAS

HORARIO DE LAVADO				HORARIO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS					Mínimo	Máximo	Promedio
INICIO EN EL DÍA	9h00	PARALIZACIÓN EN EL DÍA	NA	INICIO EN EL DÍA	NA	PARALIZACIÓN EN EL DÍA	NA	1ª Capa	NA	NA	NA
REINICIO EN EL DÍA	NA	FINALIZACIÓN EN EL DÍA	9h30	REINICIO EN EL DÍA	NA	FINALIZACIÓN EN EL DÍA	NA				

DATOS DE MATERIAL

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	LOTE N°	FECHA DE ELABORACIÓN	VIDA ÚTIL
DESOXIDANTE	1804	may-18	may-19

DETALLE DE ACTIVIDADES REALIZADAS

Lavado de los componentes de las carretillas (tolvas, chasis tubular, soportes verticales tipo V y templadores delantero, medio y posterior).

El tiempo de secado del recubrimiento a oxígeno atmosférico es de aproximadamente 10 minutos.



INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-001
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

EQUIPOS UTILIZADOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

EQUIPOS DE LIMPIEZA		CANT.	LIMPIEZA DE LOS COMPONENTES DE LA CARRETILLA	INSPECCIÓN VISUAL DE SUPERFICIES LIBRES DE CONTAMINANTES
RECIPIENTE METÁLICO DE LAVADO		1		
EQUIPOS DE PINTURA		CANT.		
PISTOLA DEVILBISS		1		
COMPRESOR DE AIRE		1		
FILTROS DE AIRE		1		
EQUIPOS DE CONTROL DE CALIDAD				
MEDIDOR DE PELICULA SECA 456 NL11222		1		
PEINE PARA PELÍCULA EN POLVO ELCOMETER 155		1		
TERMOHIGRÓMETRO 319 NG02193		1		
MICROMETRO Y CINTA REPLICA A881140		1		
ADHERENCIA TRAMA CRUZADA E-107		1		
PULL-OFF ELCOMETER 108		1		
HOLIDAY DETECTOR ELCOMETER 270		1		



INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE





CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-001
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	27-jun-18	27-jun-18	27-jun-18

Fuente: Autor.

Tabla 7. Informe de aplicación de recubrimiento en polvo en sustrato liso y medición de espesores.

		INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS													
		CLIENTE:	I.M.ESCO												
		PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS					ENSAYO No.:					ECSR-002		
		EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V					PÁGINA:					1	DE	1
		PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO					FECHA:					miércoles, 27 de junio de 2018		
DESCRIPCION TRABAJO										PORCENTAJES					
APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO EN POLVO Y MEDICIÓN DE ESPESORES										SSPC-SP1	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA		
										100%	100%	N/A	NA		
CONDICIONES AMBIENTALES											PREPARACION DE SUPERFICIE				
	HORA											Tipo	MECÁNICA		
	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00				
TEMPERATURA AMBIENTE Ta °C	NA	20.7°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Grado	Código SSPC-SP1		
TEMPERATURA SUPERFICIAL Ts °C	NA	19.2°C	19.8°C	20.3°C	20.1°C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Abrasivo	NA		
PUNTO DE ROCÍO Tr °C	NA	9.8°C	9.6°C	8.9°C	9.1°C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Perfil Anclaje	LISO		
% HUMEDAD RELATIVA HR	NA	49.6%	48.7%	46.5%	48.1%	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
DT (Ts-Tr)	NA	9.4°C	10.2%	11.4%	11.0%	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CONDICIONES CLIMÁTICAS	NA	N/S	N/S	N/S	N/S	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Despejado: D	Promedio de Medición	1.92 MILS	
CÓDIGOS	Soleado: S	Nublado Soleado: N/S		Nublado: N		Lluvioso: LL		No Aplica: NA							



INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-002
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

CONTROL DE HORAS DE TRABAJO

ESPEORES DE CINTAS RÉPLICAS TESTEX

HORARIO DE LAVADO				HORARIO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS				Mínimo	Máximo	Promedio	
INICIO EN EL DIA	9h00	PARALIZACIÓN EN EL DIA	NA	INICIO EN EL DÍA	10h00	PARALIZACIÓN EN EL DÍA	NA	1ª Capa	NA	NA	NA
REINICIO EN EL DIA	NA	FINALIZACIÓN EN EL DIA	9h30	REINICIO EN EL DÍA	NA	FINALIZACIÓN EN EL DÍA	10h30		0 MILS	0 MILS	0 MILS

DATOS DE MATERIAL

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	LOTE N°	FECHA DE ELABORACIÓN	VIDA ÚTIL
WESCO DURAPLAST	H7574 53MG	miércoles, 14 de febrero de 2018	jueves, 14 de febrero de 2019

APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO

Capa	Recubrimiento	Tipo de recubrimiento	Color	BATCH COMPONENTE A	BATCH COMPONENTE B	BATCH THINNER	WFT/Húmedo	DFT/Seco		Método Aplicación
								Mínimo	Máximo	
1ª	DURAPLAST	EPOXI + POLIÉSTER	ROJO ESCARLATA	H7574 53MG	NA	NA	0 MILS	2.75 MILS	3.50 MILS	ATOMIZACIÓN CONVENCIONAL CON AIRE



INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-002
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

DETALLE DE ACTIVIDADES REALIZADAS

Aplicación de recubrimiento (primera capa) en los componentes de las carretillas (tolvas, estructuras tubulares y soportes verticales tipo V).

Medición de la capa de recubrimiento: Colocar el peine en el polvo y deslizarlo a lo largo de la superficie del sustrato. El espesor del polvo está entre el valor más elevado cuando se hace visible la marca de arrastre y el valor más bajo cuando no se produce marca de arrastre alguna.

Curado total del recubrimiento (secado al horno durante 10 min a 180 °C).

Inspección visual, medición y liberación de espesores.

REGISTRO DE DATOS-MEDICIÓN DE ESPESORES PLACA TESTIGO Y PARTES DE LA CARRETILLA (mils)

Nº MEDICIÓN	SPOT 1	SPOT 2	SPOT 3	SPOT 4	SPOT 5	PROMEDIO GENERAL
1	1.36*	2.42*	1.05*	2.85	2.92	
2	2.15*	2.56*	0.89*	1.65*	1.02*	
3	2.89	3.75*	1.30*	1.20*	0.76*	
PROMEDIO SPOT	2.13*	2.91	1.08*	1.90*	1.57	1.92*
REFERENCIA	Código SSPC-PA2	* El valor se encuentra fuera del rango establecido (norma del fabricante).				



INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-002
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

EQUIPOS UTILIZADOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

EQUIPOS DE LIMPIEZA	CANT.
RECIPIENTE METÁLICO DE LAVADO (CUBETO)	1
EQUIPOS DE PINTURA	CANT.
PISTOLA DEVILBISS	1
COMPRESOR DE AIRE	1
EQUIPOS DE CONTROL DE CALIDAD ELCOMETER	
MEDIDOR DE PELÍCULA SECA 456 NL11222	1
PEINE PARA PELÍCULA EN POLVO ELCOMETER 155	1
TERMOHIGRÓMETRO 319	1
MICROMETRO Y CINTA RÉPLICA A881140	1
ADHERENCIA TRAMA CRUZADA E-107	1
PULL-OFF ELCOMETER 108	1
HOLIDAY DETECTOR ELCOMETER 270	1

MEDICIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES



APLICACIÓN, PRIMERA CAPA DE RECUBRIMIENTO EN POLVO





INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS





CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-002
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	miércoles, 27 de junio de 2018

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	27-jun-18	27-jun-18	27-jun-18

Fuente: Autor.

Tabla 8. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por cortador de trama cruzada.

	INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA						
	CLIENTE:	I.M.ESCO					
	PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-003			
	EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1	DE	1	
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 28 de junio de 2018				
DESCRIPCIÓN TRABAJO			PORCENTAJES				
			REFERENCIA	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA	
PRUEBA DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (UNIÓN AL SUSTRATO)		CORTADOR DE TRAMA CRUZADA		ASTM D3359	100%	N/A	NA
ENSAYO DE ADHERENCIA - CONTADOR TRAMA CRUZADA							
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS				
El Cortador de Trama Cruzada es un instrumento para la determinación rápida de la adherencia de una gran variedad de pinturas de hasta 250 µm (9.8 mils) en superficies planas y paneles de prueba. Cada cortador está conformado por ocho dientes de corte.			El Cortador de Trama Cruzada Elcometer 107 presenta un diseño robusto, un mango antideslizante, el equipo es ideal para revestimientos finos, gruesos o duros.				
KIT DE COMPONENTES			ESPECIFICACIONES				
Mango antideslizante			REFERENCIA	F10713222-3			
Cortador			DESCRIPCIÓN	Kit básico Elcometer 107 con cinta ASTM			
Llaves hexagonales			TIPO DE CORTADOR	6 x 2 mm			
Lupa			ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO	50 - 125 µm / 2.0 - 5.0 mils			
Cepillo							



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-003
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 28 de junio de 2018

Cinta adhesiva ASTM D-3359

CRITERIO DE RESULTADOS DEL ENSAYO

PROCEDIMIENTO	SUPERFICIE	ISO	ASTM	MARCACIÓN
El procedimiento del ensayo de adherencia, cortador de trama cruzada consiste en hacer dos juegos de líneas que se cortan en ángulo recto para obtener una trama de 36 cuadrados. Se coloca una cinta adhesiva sobre el trazado de los dos juegos de líneas perpendiculares. Se identifica el criterio del resultado de acuerdo a la clasificación de imágenes y descripciones basadas en ISO 2409/ASTM D 3559-B.		0	5B	
		1	4B	
		2	3B	X
		3	2B	
		4	1B	
		5	0B	

DESCRIPCIÓN TÍPICA DEL RESULTADO

El recubrimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Aparece afectada una superficie del entramado significativamente mayor del 5%, pero no significativamente superior al 15%.



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-003
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 28 de junio de 2018

MUESTRA DE CINTA ADHESIVA ASTM D-3359



REGISTRO FOTOGRÁFICO

TRAZO DE LÍNEAS EN ÁNGULOS RECTOS	OBTENCIÓN DE LA TRAMA	CUCHILLA Y CINTA ASTM D-3359	COLOCACIÓN Y RETIRO DE CINTA ASTM D-3359



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA





CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-003
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 28 de junio de 2018

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	28-jun-18	28-jun-18	28-jun-18

Fuente: Autor.

Tabla 9. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento por empuje hidráulico.

	INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF						
	CLIENTE:	I.M.ESCO					
	PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-004			
	EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1	DE	1	
	PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	viernes, 29 de junio de 2018			
DESCRIPCIÓN TRABAJO			PORCENTAJES				
		REFERENCIA	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA		
PRUEBA DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (UNIÓN AL SUSTRATO):		MEDIDOR DE ADHERENCIA POR EMPUJE HIDRÁULICO		ASTM D4541- Método B	100%	N/A	NA
ENSAYO DE ADHERENCIA - PULL-OFF							
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS				
El comprobador de adherencia por empuje Elcometer 108 es un medidor de tipo III, extremadamente versátil que se puede utilizar en muchos requerimientos, las pruebas pueden hacerse sobre superficies planas o curvas (cóncavas y convexas).			El Elcometer 108 es el medidor ideal para recubrimientos en depósitos, tuberías, etc.				
KIT DE COMPONENTES			ESPECIFICACIONES				
Medidor hidráulico de adherencia Elcometer 108/1			REFERENCIA	F108---1C			
Estuche ABS			DESCRIPCIÓN	Kit básico Elcometer 108			
Sufrideras (Dollys) (5)			RANGO DE FUNCIONAMIENTO		Analógico: 0-18 Mpa (0-2600 psi)		
Tapones de Nylon (5)			EXACTITUD DEL MEDIDOR DE PRESIÓN ANALÓGICO		± 1 Mpa (150 psi)		


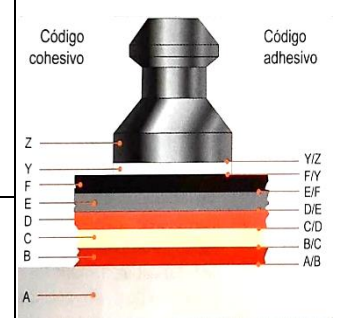



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-004
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	viernes, 29 de junio de 2018
Adhesivo Cianoacrilato de curado rápido MC1500	TAMAÑO DE SUFRIDERA	Ø ext 19.4 mm (0.76 plg); Ø int 3.7 mm (0.15 plg); Área 284 mm ² (0.44 plg ²)	
Pinzas de calentamiento para limpieza de sufrideras			

CRITERIO DE RESULTADOS DEL ENSAYO

PROCEDIMIENTO	CARA DE SUFRIDERA / SUSTRATO	EXAMEN DE LA SUFRIDERA	CAPAS DE FALLO (GRÁFICO)	CÓDIGO Y DESCRIPCIÓN DEL FALLO																																				
Preparación de la superficie y sufridera 1. Seleccionar un área de prueba adecuada que sea plana. 2. Lijar la sufridera y la superficie, limpiar para remover el polvo. La fijación de la sufridera 3. Mezclar el adhesivo correctamente y aplicar una película adhesiva uniforme sobre toda la cara de la sufridera.	 <p style="text-align: right; font-size: small;">a) 50% fallo cohesivo</p>	a) Fallo cohesivo: El recubrimiento falla dentro del cuerpo de una capa de recubrimiento, dejando el mismo recubrimiento en la superficie que en la cara de la sufridera.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Capa de fallo cohesivo^a</th> <th colspan="2">Capas de fallo adhesivo</th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>Descripción</th> <th>Código</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Sustrato</td> <td>A/B</td> <td>Sustrato y capa 1</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Capa 1</td> <td>B/C</td> <td>Capa 1 y capa 2</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Capa 2</td> <td>C/D</td> <td>Capa 2 y capa 3</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Capa 3</td> <td>D/E</td> <td>Capa 3 y capa 4</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Capa 4</td> <td>E/F</td> <td>Capa 4 y capa 5</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Capa 5</td> <td>F/Y</td> <td>Capa 5 y pegamento</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>Pegamento</td> <td>Y/Z</td> <td>Pegamento y sufridera</td> </tr> </tbody> </table>	Capa de fallo cohesivo ^a		Capas de fallo adhesivo		Código	Descripción	Código	Descripción	A	Sustrato	A/B	Sustrato y capa 1	B	Capa 1	B/C	Capa 1 y capa 2	C	Capa 2	C/D	Capa 2 y capa 3	D	Capa 3	D/E	Capa 3 y capa 4	E	Capa 4	E/F	Capa 4 y capa 5	F	Capa 5	F/Y	Capa 5 y pegamento	Y	Pegamento	Y/Z	Pegamento y sufridera
	Capa de fallo cohesivo ^a				Capas de fallo adhesivo																																			
Código	Descripción	Código	Descripción																																					
A	Sustrato	A/B	Sustrato y capa 1																																					
B	Capa 1	B/C	Capa 1 y capa 2																																					
C	Capa 2	C/D	Capa 2 y capa 3																																					
D	Capa 3	D/E	Capa 3 y capa 4																																					
E	Capa 4	E/F	Capa 4 y capa 5																																					
F	Capa 5	F/Y	Capa 5 y pegamento																																					
Y	Pegamento	Y/Z	Pegamento y sufridera																																					
	 <p style="text-align: right; font-size: small;">b) 100% fallo adhesivo entre dos capas</p>	b) Fallo adhesivo: El fallo tiene lugar en la interfaz entre capas, por el que una capa se despega de otra. El "recubrimiento" en la faz de la sufridera no será el mismo que en el área sometida a prueba.																																						

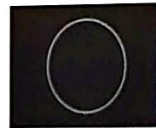


INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF



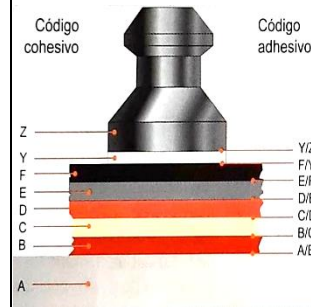
CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-004
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	viernes, 29 de junio de 2018

4. La norma de prueba requiere que se tire de la sufridera perpendicularmente a la superficie de prueba.
5. Eliminar cualquier exceso de adhesivo alrededor de la sufridera y deje que cure completamente.
6. Fijar el actuador a la plataforma y comenzar la prueba.



c) Fallo del pegamento

c) Fallo del pegamento: Si no hay recubrimiento presente en la sufridera, debe registrarse como fallo del pegamento. Esto puede deberse a una mezcla incorrecta o insuficiente de los componentes del adhesivo o a la incompatibilidad entre el adhesivo / el recubrimiento / la sufridera / la superficie sometida a prueba.



Capa de fallo cohesivo*		Capas de fallo adhesivo	
Código	Descripción	Código	Descripción
A	Sustrato	A/B	Sustrato y capa 1
B	Capa 1	B/C	Capa 1 y capa 2
C	Capa 2	C/D	Capa 2 y capa 3
D	Capa 3	D/E	Capa 3 y capa 4
E	Capa 4	E/F	Capa 4 y capa 5
F	Capa 5	F/Y	Capa 5 y pegamento
Y	Pegamento	Y/Z	Pegamento y sufridera

DESCRIPCIÓN TÍPICA DEL RESULTADO




Fallo Adhesivo. Código AB. Descripción Sustrato y Capa 1.
 Presión de empuje: 6 MPa.



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF


CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-004
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	viernes, 29 de junio de 2018

REGISTRO FOTOGRÁFICO

	LIMPIEZA DE LA SUFRIDERA	COLOCACIÓN DE ADHESIVO	APLICACIÓN DE PRESIÓN PARA EXTRACCIÓN	LÍMITE DE PRESIÓN DE EXTRACCIÓN	EXTRACCIÓN-SUFRIDERA
					
	ELABORADO Y REGISTRADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO		ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.		ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL		TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FECHA:	29-jun-18		29-jun-18		29-jun-18

Fuente: Autor.

Tabla 10. Informe de aplicación de la prueba de discontinuidades (Holidays) en el recubrimiento con el detector de microorificios.

	INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS					
	CLIENTE:	I.M.ESCO				
	PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:		ECSR-005	
	EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:		1 DE 1	
	PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:		sábado, 30 de junio de 2018	
DESCRIPCION TRABAJO			PORCENTAJES			
IDENTIFICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (HOLIDAY) EN EL RECUBRIMIENTO:		DETECTOR DE MICROORIFICIOS	REFERENCIA	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA
		NACE SP0188	100%	N/A	NA	
ENSAYO DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS						
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS			
<p>Holidays: Son huecos en el recubrimiento de tamaño microscópico que alcanzan grandes áreas de daño, los holidays liberan una corriente eléctrica que fluye entre una sonda de contacto (detección) o electrodo en el revestimiento del acero. Es decir detecta defectos por la creación de una diferencia de potencial entre el electrodo y la superficie conductiva.</p>			<p>El Kit utiliza la técnica de esponja húmeda para detectar defectos y ha sido diseñado para establecer un nuevo estándar para detectores de esponjas húmedas - una alta calidad, detector de bajo voltaje con accesorios similares a un comprobador de tensión chispa de alto voltaje.</p>			
KIT DE COMPONENTES			ESPECIFICACIONES			
Sonda estándar			REFERENCIA	D270----4		
Conjunto de esponjas planas de repuesto (Paquete de 3 esponjas de repuesto; 150 x 60 x 25mm (6 x 2.3 x 1"))			DESCRIPCIÓN	Elcometer 270/4		
El kit completo de detección de microorificios.			VOLTAJE	9V, 67.5V y 90V		
Cable de retorno de señal de tierra con clip cocodrilo - 4m (13')			RANGO MAXIMO DE MEDICIÓN DE ESPESORES	250 µm (10 mils)		
1 x botellín de solución humectante 3 x pilas AA			SENSIBILIDAD	9V: 90kΩ ±5%		



INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETIILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-005
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	sábado, 30 de junio de 2018
		DURACION DE LA PILA (USO CONTINUO)	9V: hasta 200 horas

LOCALIZACIÓN DE HOLIDAYS

PROCEDIMIENTO	TOLVA				CHASIS DE TUBO				SOPORTE TIPO V					
	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY
Antes de la prueba, el detector Holiday debe ser calibrado según las recomendaciones del fabricante. Verificar que, previo a la aplicación del electrodo del detector Holiday al recubrimiento del acero, el cable a tierra debe estar conectado directamente al metal conductivo bajo el recubrimiento en el otro extremo del metal base que está siendo inspeccionado. Luego se debe frotar la superficie cubierta con la esponja mojada a una velocidad máxima de 30 cm/s (1 pie/s). Se debe evitar usar agua en exceso porque el escurrimiento puede cerrar el circuito. Usar un pase doble de electrodo sobre cada área. El detector emite una señal (LED de encendido) si la esponja detecta un microorificio.	A4	x	E1	x	Q2	x	B3	x	L8	x	A2	x	M7	x
	A8	x	F5	x	S4	x	C7	x	V2	x	A7	x	N2	x
	A10	x	F9	x	S5	x	E3	x	Z1	x	E2	x	N7	x
	B1	x	J2	x	S10	x	E7	x	Z9	x	G7	x		
	B5	x	K13	x	V7	x	I8	x			K2	x		
	B9	x	L5	x	V12	x	L2	x			L7	x		
	Velocidad de avance del detector de microorificios	30 cm/s				x Discontinuidad localizada en una zona identificada con una letra y número.								

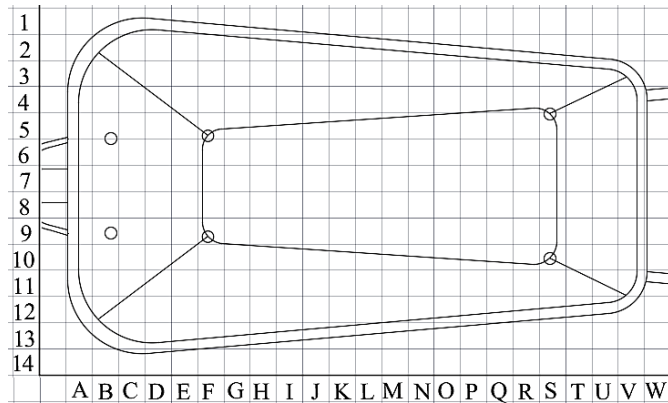


INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS

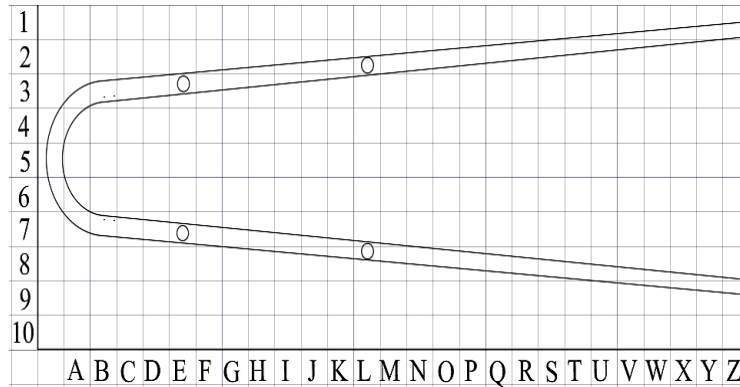


CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-005
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	sábado, 30 de junio de 2018

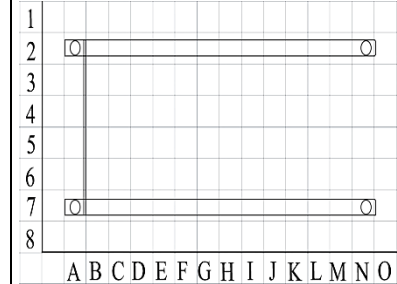
DISTRIBUCIÓN DE ZONAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE HOLIDAYS EN LA SUPERFICIE DEL RECUBRIMIENTO



TOLVA



SOPORTE TUBULAR



SOPORTO TIPO V



INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-005
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	sábado, 30 de junio de 2018

REGISTRO FOTOGRÁFICO

DETECTOR DE MICROORIFICIOS ELCOMETER 270/4	DETECCIÓN DE MICROORIFICIOS - SECCIÓN TUBULAR	DETECCIÓN DE MICROORIFICIOS - SECCIÓN TOLVA	
			



INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS





CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-005
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	sábado, 30 de junio de 2018

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	30-jun-18	30-jun-18	30-jun-18

Fuente: Autor.

Tabla 11. Informe de preparación de superficie en sustrato rugoso, lavado químico con desoxidante y granallado de la superficie.

		INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE																	
		CLIENTE:		I.M.ESCO															
		PROYECTO:		FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS						ENSAYO No:		ECSR-006							
		EQUIPO:		TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V						PÁGINA:		1	DE		1				
		PROCESO:		RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO						FECHA:		martes, 24 de julio de 2018							
DESCRIPCION TRABAJO												PORCENTAJES							
LAVADO QUÍMICO CON DESOXIDANTE Y GRANALLADO DE LA SUPERFICIE												SSPC-SP 1		SSPC-SP 10		1ª CAPA		REFERENCIA	
												100%		100%		NA		ASTM D4417-C NACE RP0287	
CONDICIONES AMBIENTALES												PREPARACIÓN DE SUPERFICIE							
												HORA							
												Tipo		MECÁNICA					
TEMP. AMBIENTE Ta °C												Grado		Código SSPC-SP 10					
TEMP. SUPERFICIAL Ts °C												Abrasivo		1.5 - 2.5 Mils					
PUNTO DE ROCIO Tr °C																			
% HUMEDAD RELATIVA HR												Perfil Anclaje		RUGOSO					
DT (Ts-Tr)																			
CONDICIONES CLIMÁTICAS																			
CÓDIGOS		Soleado: S		Nublado Soleado: N/S		Nublado: N		Lluvioso: LL		No Aplica: NA		Despejado: D		Promedio de Medición		2.16 MILS			



INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETIILLAS	ENSAYO No:	ECSR-006
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

CONTROL DE HORAS DE TRABAJO

ESPESORES DE CINTAS RÉPLICAS TESTEX

HORARIO DE LAVADO				HORARIO DE LIMPIEZA ABRASIVA				N° Medición	1	2	3
INICIO EN EL DÍA	10h00	PARALIZACION EN EL DÍA	NA	INICIO EN EL DIA	11h00	PARALIZACION EN EL DÍA	NA	SPOT 1	1.96 MILS	2.16 MILS	2.36 MILS
REINICIO EN EL DÍA	NA	FINALIZACION EN EL DÍA	10h30	REINICIO EN EL DIA	NA	FINALIZACION EN EL DÍA	11h30	0 MILS	0 MILS	0 MILS	0 MILS

DATOS DE MATERIAL

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL	DESCRIPCIÓN	FECHA DE ELABORACIÓN	VIDA ÚTIL
DESOXIDANTE	LOTE N° 1804	martes, 1 de mayo de 2018	miércoles, 1 de mayo de 2019
GRANALLA MINERAL (ARENA SÍLICA)	GRANULOMETRÍA G50	NA	Reutilizable 1 vez



INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

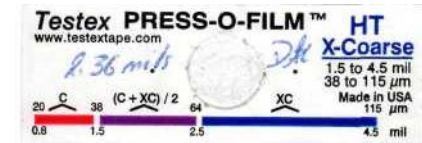
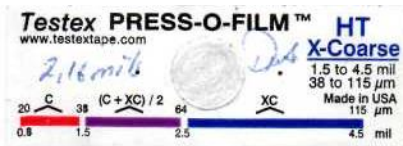
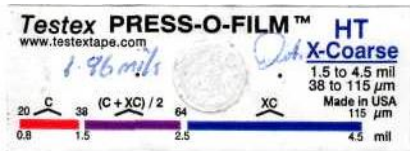


CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-006
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

CINTA RÉPLICA DEL PERFIL DE ANCLAJE

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	RANGO	REFERENCIA
CINTA RÉPLICA TESTEX	X-GRUESO ELCOMETER 122	1.5-4.5 Mils	E122----C1
MEDIDOR DE ESPESORES DE LÁMINA	ELCOMETER 124	RESOLUCIÓN DE ESCALA: 0.1 Mils/2 µm	E124---3E/3M

RESULTADOS - CINTA RÉPLICA



DETALLE DE ACTIVIDADES REALIZADAS

- Lavado de los componentes de las carretillas (tolvas, chasis tubular, soportes verticales tipo V y templadores delantero, medio y posterior).
- Limpieza a chorro abrasivo con granalla mineral en la superficie de los componentes de la carretilla y placa testigo (NACE No. 2/SSPC-SP10).



INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETIILLAS	ENSAYO No:	ECSR-006
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

EQUIPOS UTILIZADOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

EQUIPOS DE LIMPIEZA	CANT.
RECIPIENTE METÁLICO DE LAVADO	1
EQUIPOS DE PINTURA	CANT.
PISTOLA DEVILBISS	1
COMPRESOR DE AIRE	1
FILTROS DE AIRE	1
EQUIPOS DE CONTROL DE CALIDAD ELCOMETER	
MEDIDOR DE PELÍCULA SECA 456 NL11222	1
PEINE PARA PELÍCULA EN POLVO ELCOMETER 155	1
TERMOHIGRÓMETRO 319 NG02193	1
MICROMETRO ELCOMETER 124	1
CINTA RÉPLICA TESTEX ELCOMETER 122	1

LIMPIEZA ABRASIVA DE LA SUPERFICIE



MEDICIÓN DE PERFIL DE ANCLAJE







INFORME DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE



		CLIENTE:		I.M.ESCO		ENSAYO No: ECSR-006				
		PROYECTO:		FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETIILLAS						
		EQUIPO:		TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V		PÁGINA:		1	DE	1
		PROCESO:		RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO		FECHA:		martes, 24 de julio de 2018		
		ELABORADO Y REGISTRADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:				
NOMBRE:		CARLOS TIRADO		ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.		ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.				
CARGO:		EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL		TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL				
FIRMA:										
FECHA:		24-jul-18		24-jul-18		24-jul-18				

Fuente: Autor.

Tabla 12. Informe de liberación de superficie granallada y aplicación de recubrimiento en polvo en sustrato rugoso y medición de espesores.

		INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS												
		CLIENTE:	I.M.ESCO											
		PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS					ENSAYO No:	ECSR-007					
		EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V					PÁGINA:	1	DE	1			
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO					FECHA:	martes, 24 de julio de 2018							
DESCRIPCION TRABAJO											PORCENTAJES			
											SSPC-SP 1	SSPC-SP 10	1ª CAPA	REFERENCIA
LIBERACIÓN DE SUPERFICIE GRANALLADA Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO EN POLVO											100%	100%	100%	ASTM D4417-C NACE RP0287
CONDICIONES AMBIENTALES											PREPARACION DE SUPERFICIE			
	HORA													
	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	Tipo	MECÁNICA	
TEMP. AMBIENTE Ta °C	NA	NA	19.5°C	20.3°C	21.6°C	21.4°C	NA	NA	NA	NA	NA	Grado	Código SSPC-SP 10	
TEMP. SUPERFICIAL Ts °C	NA	NA	19.9°C	21.7°C	22.2°C	21.9°C	NA	NA	NA	NA	NA	Abrasivo	1.5 - 2.5 Mils	
PUNTO DE ROCIO Tr °C	NA	NA	8.6°C	9.7°C	9.4°C	9.2°C	NA	NA	NA	NA	NA			
% HUMEDAD RELATIVA HR	NA	NA	52.4%	49.2%	50.6%	49.6%	NA	NA	NA	NA	NA	Perfil Anclaje	RUGOSO	
DT (Ts-Tr)	NA	NA	11.3°C	12.0°C	12.8°C	12.7°C	NA	NA	NA	NA	NA			
CONDICIONES CLIMÁTICAS	NA	N/S	S	S	S	S	NA	NA	NA	NA	NA			
CODIGOS	Soleado: S	Nublado Soleado: N/S		Nublado: N		Lluvioso: LL		No Aplica: NA		Despejado: D	Promedio de Medición	2.16 MILS		



INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-007
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

CONTROL DE HORAS DE TRABAJO

ESPEORES DE CINTAS RÉPLICAS TESTEX

HORARIO DE LAVADO				HORARIO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS				Nº Medición	1	2	3
INICIO EN EL DIA	10h00	PARALIZACION EN EL DIA	NA	INICIO EN EL DÍA	11h00	PARALIZACIÓN EN EL DÍA	NA	SPOT 1	1.96 MILS	2.16 MILS	2.36 MILS
REINICIO EN EL DIA	NA	FINALIZACION EN EL DIA	10h30	REINICIO EN EL DÍA	NA	FINALIZACIÓN EN EL DÍA	11h30	0 MILS	0 MILS	0 MILS	0 MILS

DATOS DE MATERIAL

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	LOTE Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	VIDA ÚTIL
WESCO DURAPLAST	H7574 53MG	miércoles, 14 de febrero de 2018	jueves, 14 de febrero de 2019

APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO

Capa	Recubrimiento	Tipo de recubrimiento	Color	BATCH COMPONENTE A	BATCH COMPONENTE B	BATCH THINNER	WFT/Húmedo	DFT/Seco		Método Aplicación
								Mínimo	Máximo	
1ª	DURAPLAST	EPOXI + POLIÉSTER	ROJO ESCAR LATA	H7574 53MG	NA	NA	0.0 MILS	2.75 MILS	3.50 MILS	ATOMIZACIÓN CONVENCIONAL CON AIRE
2ª	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.0 MILS	0 MILS	0 MILS	0 MILS
3ª	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.0 MILS	0 MILS	0 MILS	0 MILS



INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-007
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

DETALLE DE ACTIVIDADES REALIZADAS

Aplicación de recubrimiento (primera capa) en los componentes de las carretillas (tolvas, estructuras tubulares y soportes verticales tipo V).

Medición de la capa de recubrimiento: Colocar el peine en el polvo y deslizarlo a lo largo de la superficie del sustrato. El espesor del polvo está entre el valor más elevado cuando se hace visible la marca de arrastre y el valor más bajo cuando no se produce marca de arrastre alguna.

Curado total del recubrimiento (secado al horno durante 10 min a 180 °C).

Inspección visual, medición y liberación de espesores.

REGISTRO DE DATOS-MEDICIÓN DE ESPESORES PLACA TESTIGO Y PARTES DE LA CARRETILLA (mils)

Nº MEDICIÓN	SPOT 1	SPOT 2	SPOT 3	SPOT 4	SPOT 5	PROMEDIO GENERAL
1	2.54*	2.42*	3.05	2.85	2.92	
2	3.46	3.20	2.70	3.15	3.10	
3	3.72	3.00	3.25	3.65*	3.35	
PROMEDIO SPOT	3.24	2.87	3.00	3.22	3.12	3.09
REFERENCIA	Código SSPC-PA2	* El valor se encuentra fuera del rango establecido (norma del fabricante).				



INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



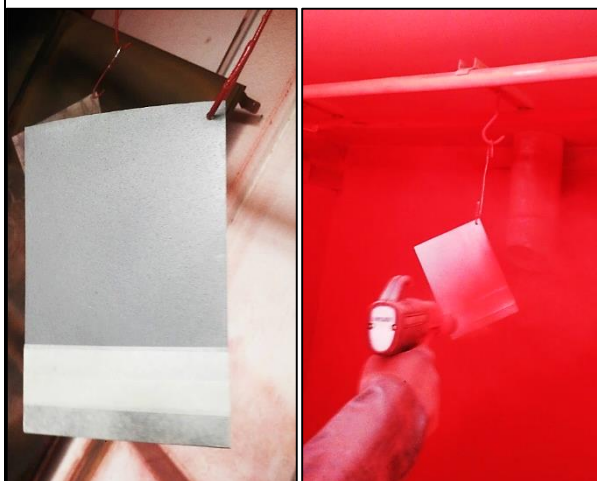
CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETIILLAS	ENSAYO No:	ECSR-007
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

EQUIPOS UTILIZADOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

EQUIPOS DE LIMPIEZA	CANT.
RECIPIENTE METÁLICO DE LAVADO	1
EQUIPOS DE PINTURA	CANT.
PISTOLA DEVILBISS	1
COMPRESOR DE AIRE	1
FILTROS DE AIRE	1
EQUIPOS DE CONTROL DE CALIDAD ELCOMETER	
MEDIDOR DE PELICULA SECA 456 NL11222	1
PEINE PARA PELÍCULA EN POLVO ELCOMETER 155	1
TERMOHIGRÓMETRO 319 NG02193	1
MICROMETRO Y CINTA REPLICA A881140	1
ADHERENCIA TRAMA CRUZADA E-107	1
PULL-OFF ELCOMETER 108	1

APLICACIÓN, PRIMERA CAPA DEL RECUBRIMIENTO EN POLVO



MEDICIÓN DE ESPESOR DE LA PRIMERA CAPA





INFORME DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No:	ECSR-007
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	martes, 24 de julio de 2018

HOLIDAY DETECTOR ELCOMETER 270	1
-----------------------------------	---

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	24-jul-18	24-jul-18	24-jul-18

Fuente: Autor.

Tabla 13. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento (unión al sustrato) por cortador de trama cruzada.

	INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA						
	CLIENTE:	I.M.ESCO					
	PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-008			
	EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1	DE	1	
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018				
DESCRIPCIÓN TRABAJO			PORCENTAJES				
			REFERENCIA	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA	
PRUEBA DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (UNIÓN AL SUSTRATO)		CORTADOR DE TRAMA CRUZADA	ASTM D3359	100%	N/A	NA	
ENSAYO DE ADHERENCIA - CONTADOR TRAMA CRUZADA							
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS				
El Cortador de Trama Cruzada es un instrumento para la determinación rápida de la adherencia de una gran variedad de pinturas de hasta 250 µm (9.8 mils) en superficies planas y paneles de prueba. Cada cortador está conformado por ocho dientes de corte.			El Cortador de Trama Cruzada Elcometer 107 presenta un diseño robusto, un mango antideslizante, el equipo es ideal para revestimientos finos, gruesos o duros.				
KIT DE COMPONENTES			ESPECIFICACIONES				
Mango antideslizante			REFERENCIA	F10713222-3			
Cortador			DESCRIPCIÓN	Kit básico Elcometer 107 con cinta ASTM			
Llaves hexagonales			TIPO DE CORTADOR	6 x 2 mm			
Lupa			ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO	50 - 125 µm / 2.0 - 5.0 mils			
Cepillo							
Cinta adhesiva ASTM D-3359							



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-008
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018

CRITERIO DE RESULTADOS DEL ENSAYO

PROCEDIMIENTO	SUPERFICIE	ISO	ASTM	MARCACIÓN
El procedimiento del ensayo de adherencia, cortador de trama cruzada consiste en hacer dos juegos de líneas que se cortan en ángulo recto para obtener una trama de 36 cuadrados. Se coloca una cinta adhesiva sobre el trazado de los dos juegos de líneas perpendiculares. Se identifica el criterio del resultado de acuerdo a la clasificación de imágenes y descripciones basadas en ISO 2409/ASTM D 3559-B.		0	5B	X
		1	4B	
		2	3B	
		3	2B	
		4	1B	
		5	0B	

DESCRIPCIÓN TÍPICA DEL RESULTADO

Los bordes de los cortes aparecen completamente suaves y ninguno de los cuadrados de trama se separa.



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA



CLIENTE:	I.M.ESCO				
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-008		
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1	DE	1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018		

MUESTRA DE CINTA ADHESIVA ASTM D-3359



REGISTRO FOTOGRÁFICO

TRAZO DE LÍNEAS EN ÁNGULOS RECTOS	OBTENCIÓN DE LA TRAMA	CUCHILLA Y CINTA ASTM D-3359	COLOCACIÓN Y RETIRO DE CINTA ASTM D-3359	



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA TRAMA CRUZADA





CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-008
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	25-julio-18	25-julio-18	25-julio-18

Fuente: Autor.

Tabla 14. Informe de aplicación de prueba de adherencia del recubrimiento por empuje hidráulico.

	INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF						
	CLIENTE:	I.M.ESCO					
	PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-009			
	EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1	DE	1	
	PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018			
DESCRIPCIÓN TRABAJO			PORCENTAJES				
		REFERENCIA	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA		
PRUEBA DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (UNIÓN AL SUSTRATO):		MEDIDOR DE ADHERENCIA POR EMPUJE HIDRÁULICO		ASTM D4541- Método B	100%	N/A	NA
ENSAYO DE ADHERENCIA - PULL-OFF							
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS				
El comprobador de adherencia por empuje Elcometer 108 es un medidor de tipo III, extremadamente versátil que se puede utilizar en muchos requerimientos, las pruebas pueden hacerse sobre superficies planas o curvas (cóncavas y convexas).			El Elcometer 108 es el medidor ideal para recubrimientos en depósitos, tuberías, etc.				
KIT DE COMPONENTES			ESPECIFICACIONES				
Medidor hidráulico de adherencia Elcometer 108/1			REFERENCIA	F108---1C			
Estuche ABS			DESCRIPCIÓN	Kit básico Elcometer 108			
Sufrideras (Dollys) (5)			RANGO DE FUNCIONAMIENTO		Analógico: 0-18 Mpa (0-2600 psi)		
Tapones de Nylon (5)			EXACTITUD DEL MEDIDOR DE PRESIÓN ANALÓGICO		± 1 Mpa (150 psi)		



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETIILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-009
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018
Adhesivo Cianoacrilato de curado rápido MC1500	TAMAÑO DE SUFRIDERA	Ø ext 19.4 mm (0.76 plg); Ø int 3.7 mm (0.15 plg); Área 284 mm ² (0.44 plg ²)	
Pinzas de calentamiento para limpieza de sufrideras			

CRITERIO DE RESULTADOS DEL ENSAYO

PROCEDIMIENTO	CARA DE SUFRIDERA / SUSTRATO	EXAMEN DE LA SUFRIDERA	CAPAS DE FALLO (GRÁFICO)	CÓDIGO Y DESCRIPCIÓN DEL FALLO																																				
<p>Preparación de la superficie y sufridera</p> <p>1. Seleccionar un área de prueba adecuada que sea plana.</p> <p>2. Lijar la sufridera y la superficie, limpiar para remover el polvo.</p> <p>La fijación de la sufridera</p> <p>3. Mezclar el adhesivo correctamente y aplicar una película adhesiva uniforme sobre toda la cara de la sufridera.</p>	<p style="text-align: right; font-size: small;">a) 50% fallo cohesivo</p>	<p>a) Fallo cohesivo: El recubrimiento falla dentro del cuerpo de una capa de recubrimiento, dejando el mismo recubrimiento en la superficie que en la cara de la sufridera.</p>	<p style="font-size: x-small;">Código cohesivo Código adhesivo</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Capa de fallo cohesivo^a</th> <th colspan="2">Capas de fallo adhesivo</th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>Descripción</th> <th>Código</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Sustrato</td> <td>A/B</td> <td>Sustrato y capa 1</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Capa 1</td> <td>B/C</td> <td>Capa 1 y capa 2</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Capa 2</td> <td>C/D</td> <td>Capa 2 y capa 3</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Capa 3</td> <td>D/E</td> <td>Capa 3 y capa 4</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Capa 4</td> <td>E/F</td> <td>Capa 4 y capa 5</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Capa 5</td> <td>F/Y</td> <td>Capa 5 y pegamento</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>Pegamento</td> <td>Y/Z</td> <td>Pegamento y sufridera</td> </tr> </tbody> </table>	Capa de fallo cohesivo ^a		Capas de fallo adhesivo		Código	Descripción	Código	Descripción	A	Sustrato	A/B	Sustrato y capa 1	B	Capa 1	B/C	Capa 1 y capa 2	C	Capa 2	C/D	Capa 2 y capa 3	D	Capa 3	D/E	Capa 3 y capa 4	E	Capa 4	E/F	Capa 4 y capa 5	F	Capa 5	F/Y	Capa 5 y pegamento	Y	Pegamento	Y/Z	Pegamento y sufridera
	Capa de fallo cohesivo ^a			Capas de fallo adhesivo																																				
Código	Descripción	Código	Descripción																																					
A	Sustrato	A/B	Sustrato y capa 1																																					
B	Capa 1	B/C	Capa 1 y capa 2																																					
C	Capa 2	C/D	Capa 2 y capa 3																																					
D	Capa 3	D/E	Capa 3 y capa 4																																					
E	Capa 4	E/F	Capa 4 y capa 5																																					
F	Capa 5	F/Y	Capa 5 y pegamento																																					
Y	Pegamento	Y/Z	Pegamento y sufridera																																					
	<p style="text-align: right; font-size: small;">b) 100% fallo adhesivo entre dos capas</p>	<p>b) Fallo adhesivo: El fallo tiene lugar en la interfaz entre capas, por el que una capa se despega de otra. El "recubrimiento" en la faz de la sufridera no será el mismo que en el área sometida a prueba.</p>																																						



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF

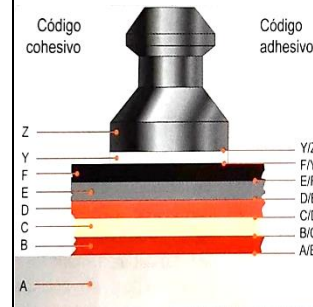


CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-009
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018

4. La norma de prueba requiere que se tire de la sufridera perpendicularmente a la superficie de prueba.
5. Eliminar cualquier exceso de adhesivo alrededor de la sufridera y deje que cure completamente.
6. Fijar el actuador a la plataforma y comenzar la prueba.



c) Fallo del pegamento: Si no hay recubrimiento presente en la sufridera, debe registrarse como fallo del pegamento. Esto puede deberse a una mezcla incorrecta o insuficiente de los componentes del adhesivo o a la incompatibilidad entre el adhesivo / el recubrimiento / la sufridera / la superficie sometida a prueba.



Capa de fallo cohesivo ^a		Capas de fallo adhesivo	
Código	Descripción	Código	Descripción
A	Sustrato	A/B	Sustrato y capa 1
B	Capa 1	B/C	Capa 1 y capa 2
C	Capa 2	C/D	Capa 2 y capa 3
D	Capa 3	D/E	Capa 3 y capa 4
E	Capa 4	E/F	Capa 4 y capa 5
F	Capa 5	F/Y	Capa 5 y pegamento
Y	Pegamento	Y/Z	Pegamento y sufridera

DESCRIPCIÓN TÍPICA DEL RESULTADO


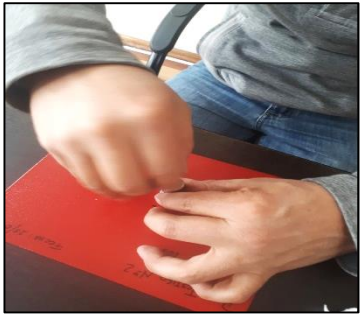

Fallo Adhesivo. Código A/B. Descripción Sustrato y capa 1.
 Presión de empuje: 11 MPa.



INFORME DE ENSAYOS DE ADHERENCIA PULL-OFF



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-009
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	Miércoles, 25 de julio de 2018

REGISTRO FOTOGRÁFICO

	LIMPIEZA DE LA SUFRIDERA	COLOCACIÓN DE DOLLY EN PLACA TESTIGO	APLICACIÓN DE PRESIÓN PARA EXTRACCIÓN	LÍMITE DE PRESIÓN DE EXTRACCIÓN	EXTRACCIÓN-SUFRIDERA	
						
	ELABORADO Y REGISTRADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
NOMBRE:	CARLOS TIRADO		ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.		ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL		TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	
FECHA:	25-jul-18		25-jul-18		25-jul-18	

Fuente: Autor.

Tabla 15. Informe de aplicación de la prueba de discontinuidades (Holidays) en el recubrimiento con el detector de microorificios.

	INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS						
	CLIENTE:	I.M.ESCO					
	PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:		ECSR-010		
	EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:		1	DE	1
	PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:		jueves, 26 de julio de 2018		
DESCRIPCION TRABAJO			PORCENTAJES				
IDENTIFICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (HOLIDAY) EN EL RECUBRIMIENTO:		DETECTOR DE MICROORIFICIOS	REFERENCIA	1ª CAPA	2ª CAPA	3ª CAPA	
		NACE SP0188	100%	N/A	NA		
ENSAYO DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAY							
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS				
<p>Holidays: Son huecos en el recubrimiento de tamaño microscópico que alcanzan grandes áreas de daño, los holidays liberan una corriente eléctrica que fluye entre una sonda de contacto (detección) o electrodo en el revestimiento del acero. Es decir detecta defectos por la creación de una diferencia de potencial entre el electrodo y la superficie conductiva.</p>			<p>El Kit utiliza la técnica de esponja húmeda para detectar defectos y ha sido diseñado para establecer un nuevo estándar para detectores de esponjas húmedas - una alta calidad, detector de bajo voltaje con accesorios similares a un comprobador de tensión chispa de alto voltaje.</p>				
KIT DE COMPONENTES			ESPECIFICACIONES				
Sonda estándar			REFERENCIA	D270----4			
Conjunto de esponjas planas de repuesto (Paquete de 3 esponjas de repuesto; 150 x 60 x 25mm (6 x 2.3 x 1"))			DESCRIPCIÓN	Elcometer 270/4			
El kit completo de detección de microorificios.			VOLTAJE	9V, 67.5V y 90V			
Cable de retorno de señal de tierra con clip cocodrilo - 4m (13')			RANGO MÁXIMO DE MEDICIÓN DE ESPESORES	250 µm (10 mils)			
1 x botellín de solución humectante 3 x pilas AA			SENSIBILIDAD	9V: 90kΩ ±5%			



INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-010
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 26 de julio de 2018
		DURACION DE LA PILA (USO CONTINUO)	9V: hasta 200 horas

LOCALIZACIÓN DE HOLIDAYS

PROCEDIMIENTO	TOLVA				CHASIS DE TUBO				SOPORTE TIPO V			
	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY	ZONA	HOLIDAY
Antes de la prueba, el detector Holiday debe ser calibrado según las recomendaciones del fabricante. Verificar que, previo a la aplicación del electrodo del detector Holiday al recubrimiento del acero, el cable a tierra debe estar conectado directamente al metal conductor bajo el recubrimiento en el otro extremo del metal base que está siendo inspeccionado. Luego se debe frotar la superficie cubierta con la esponja mojada a una velocidad máxima de 30 cm/s (1 pie/s). Se debe evitar usar agua en exceso porque el escurrimiento puede cerrar el circuito. Usar un pase doble de electrodo sobre cada área. El detector emite una señal (LED de encendido) si la esponja detecta un microorificio.	A2	x			E3	x			F7	x		
	E1	x			L2	x						
	T12	x										
Velocidad de avance del detector de microorificios	30 cm/s		x Discontinuidad localizada en una zona identificada con una letra y número.									

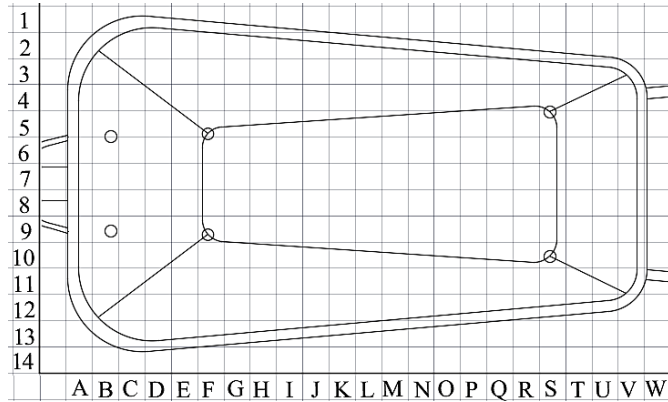


INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS

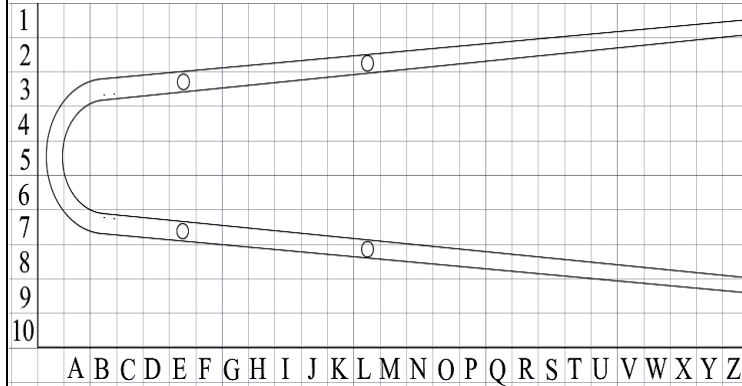


CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-010
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 26 de julio de 2018

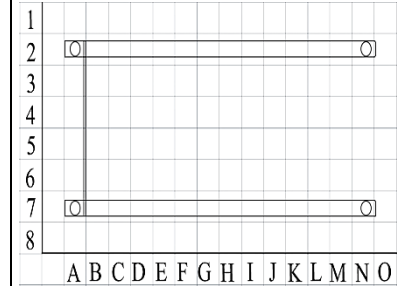
DISTRIBUCIÓN DE ZONAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE HOLIDAYS EN LA SUPERFICIE DEL RECUBRIMIENTO



TOLVA



SOPORTE TUBULAR



SOPORTE TIPO V



INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS



CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO:	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-010
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 26 de julio de 2018

REGISTRO FOTOGRÁFICO

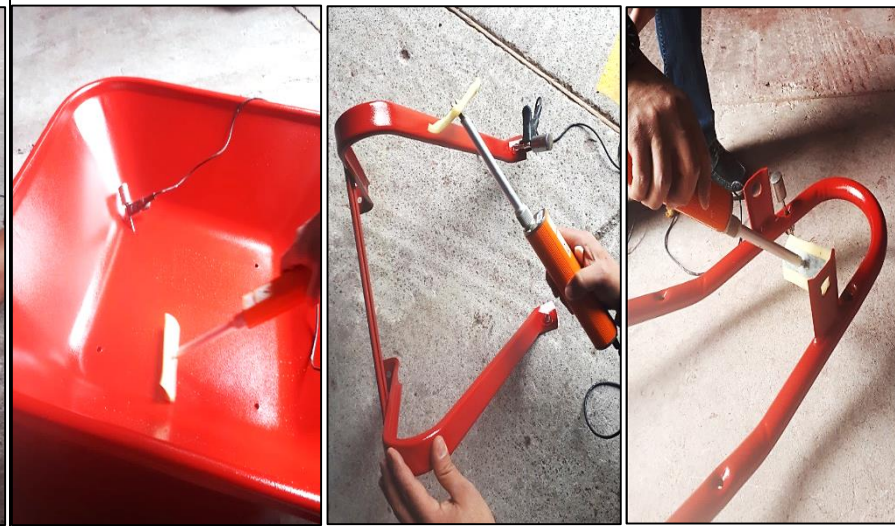
DETECTOR DE MICROORIFICIOS ELCOMETER 270/4



DETECCIÓN DE MICROORIFICIOS - SECCIÓN TUBULAR



DETECCIÓN DE MICROORIFICIOS - SECCIÓN TOLVA





INFORME DE ENSAYOS DE DISCONTINUIDADES - HOLIDAYS

CLIENTE:	I.M.ESCO		
PROYECTO	FABRICACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE CARRETILLAS	ENSAYO No.:	ECSR-010
EQUIPO:	TOLVA, ESTRUCTURA TUBULAR Y SOPORTE VERTICAL TIPO V	PÁGINA:	1 DE 1
PROCESO:	RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO	FECHA:	jueves, 26 de julio de 2018

	ELABORADO Y REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	CARLOS TIRADO	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.	ING. JORGE GUAMANQUISPE, MG.
CARGO:	EGRESADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL	TUTOR DE PROYECTO EXPERIMENTAL
FIRMA:			
FECHA:	26-jul-18	26-jul-18	26-jul-18

Fuente: Autor.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez que se manufacturan los diferentes componentes (tolvas, chasis tubular, soportes verticales tipo V y templadores delantero, medio y posterior) y se ensambla una carretilla (ver planos Anexo G) en la empresa I.M.ESCO, se procede a la inspección visual de posibles fallos tales como filos cortantes, perforaciones, hendiduras y deformaciones, con el objeto de que pueden ser corregidos previo la aplicación del recubrimiento. Posteriormente se procede a realizar la preparación de la superficie a ser recubierta que es de 2.15 m² sumando el área total de los componentes de la carretilla, para lo cual se realiza un lavado químico con desoxidante y se miden las condiciones ambientales, se someten los componentes a secado en el oxígeno atmosférico.

Previo y durante el desarrollo del recubrimiento también se miden las condiciones ambientales. Luego se efectúa la aplicación del recubrimiento en polvo en los componentes de la carretilla y en la placa testigo, mediante un proceso electrostático y se miden los espesores de la capa de recubrimiento, utilizando un peine de medición del espesor de película en polvo, para controlar si se cumplen los parámetros requeridos. A continuación, se realiza el curado de la pintura de los componentes, empleando un horno de secado a una temperatura de 180°C durante un lapso de 10 minutos. Se miden los espesores en la placa testigo y en los componentes de acuerdo al código SSPC-PA2, que establece que por cada 10 m² de superficie se toman cinco spots con tres puntos de medición en cada caso. El rango de valores de los espesores de la capa de recubrimiento debe estar comprendido entre 2.5 – 3.5 Mils, según el Datasheet del recubrimiento (Híbrido: epoxi-poliéster), mostrado en el Anexo A. Además se calcula el promedio general de las mediciones de los spots, valor que también debe estar situado en el rango establecido por el fabricante.

La evaluación de la calidad de la película seca de pintura aplicada a los componentes de las carretillas, requiere además del espesor de la película seca, el desarrollo de ensayos destructivos y no destructivos. En este sentido, se consideran como parámetros de interés la adherencia y las discontinuidades que existen en la superficie recubierta. En el caso de la adherencia se trata de ensayos destructivos por

lo cual se emplean placas testigo para el desarrollo de los mismos, específicamente las pruebas por cortador de trama cruzada y por empuje hidráulico (Pull-Off).

La prueba por cortador de trama cruzada consiste en hacer dos juegos de líneas que se cortan perpendicularmente para obtener una trama de 36 cuadrados en la placa testigo. A continuación, se coloca una cinta adhesiva sobre el trazado de los dos juegos de líneas perpendiculares y se identifica el criterio del resultado de acuerdo a la clasificación de imágenes y descripciones basadas en ISO y ASTM. Se consideró la norma ASTM D 3559-B dado que ésta corresponde a la cinta adhesiva utilizada en el ensayo, la norma determina los criterios de 5B, 4B, 3B, 2B, 1B y 0B para la descripción típica del resultado de la adherencia.

El ensayo de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off), consiste en determinar el tipo de fallo (adhesivo o cohesivo) que se produce una vez desprendida una determinada sufridera adherida a la capa de recubrimiento en una placa testigo. Para la preparación de la superficie y sufridera se selecciona un área de prueba adecuada que sea plana, se lija la sufridera y la superficie y luego se limpia para remover el polvo. Para la fijación de la sufridera, se mezcla el adhesivo correctamente y se aplica una película adhesiva uniforme sobre toda la cara de la sufridera, la norma de prueba requiere que se tire de la sufridera perpendicularmente a la superficie de prueba, se debe eliminar cualquier exceso de adhesivo alrededor de la sufridera y se deja que cure completamente, entonces se fija el actuador a la plataforma y comienza la prueba. Para el criterio de resultados del ensayo, se determinan tres modos de fallo, que son los siguientes: fallo cohesivo (cuando el recubrimiento falla dentro del cuerpo de una capa, dejando el mismo recubrimiento en la superficie que en la cara de la sufridera.), fallo adhesivo (cuando el fallo tiene lugar en la interfaz entre capas, por el que una capa se despega de otra, el recubrimiento en la faz de la sufridera no será el mismo que en el área sometida a prueba.) y fallo del pegamento (que demanda la repetición del ensayo). La norma utilizada es la ASTM D 4541 Método B (Anexo C), que establece un código con base en el uso de letras para la identificación del fallo en función de las capas y sustrato. Un parámetro a tener en cuenta es la presión de ruptura del dolly o sufridera, que se consideró de 0-10 MPa.

Finalmente se efectuó el ensayo no destructivo de discontinuidades (Holidays) con el equipo detector de microorificios, con base en la norma NACE SP0188. El equipo detecta los defectos por la creación de una diferencia de potencial entre el electrodo y la superficie conductiva. Antes de la prueba, el detector Holiday debe ser calibrado según las recomendaciones del fabricante. Se verifica que, previo a la aplicación del electrodo del detector Holiday al recubrimiento del acero, el cable a tierra debe estar conectado directamente al metal conductivo bajo el recubrimiento en el otro extremo del metal base que está siendo inspeccionado. Luego se debe frotar la superficie cubierta con la esponja mojada a una velocidad máxima de 30 cm/s (1 pie/s). Se evita usar agua en exceso porque el escurrimiento puede cerrar el circuito. Usar un pase doble de electrodo sobre cada área. El detector emite una señal (LED de encendido) si la esponja detecta un microorificio. En este caso no se utilizó una placa testigo, sino que se efectuó la medición directamente en los componentes de la carretilla. Para la localización de las discontinuidades, se deslizó el equipo detector por toda la superficie de cada componente, el cual emite una alerta auditiva en los puntos donde existen microorificios.

A continuación, se detallan y analizan los resultados obtenidos para los dos casos establecidos para la comparación, que son la aplicación de recubrimiento en superficie lisa y en rugosa.

4.2.1 Aplicación de recubrimiento en superficie lisa

La preparación de la superficie lisa se realizó mediante el uso de un desoxidante fosfatizante, que permitió remover el óxido de la superficie metálica a ser recubierta. Mediante la inspección visual realizada al final del proceso de limpieza se observó que la superficie del sustrato presentaba algunas impurezas como resto de grasa, aceite, óxido y polvo incrustado.

Posterior a la aplicación del recubrimiento y el curado correspondiente en la placa testigo y en los componentes de la carretilla, se determinó que existieron algunos puntos en los cuales el espesor del recubrimiento medido no alcanzó el rango establecido por el fabricante (2.5 – 3.5 Mils). El promedio general de los puntos de medición en la placa testigo fue de 1.92 Mils, valor que no alcanza el mínimo

requerido (2.5 Mils). Esto implica que el proceso de aplicación del recubrimiento en los componentes de las carretillas no cumplió el requerimiento de calidad.

En el ensayo de adherencia por cortador de trama cruzada, la descripción típica del resultado corresponde a la marcación 3B, que según la norma ASTM D 3359-B corresponde a que el recubrimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Aparece afectada una superficie del entramado significativamente mayor del 5%, pero no significativamente superior al 15%.

Del ensayo de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off), la descripción típica del resultado de acuerdo a la norma ASTM D 4541 corresponde a un Fallo Cohesivo. Código B. Descripción Capa 1, lo cual implica que el recubrimiento falló dentro del cuerpo de una capa de recubrimiento a una presión de empuje de 6 MPa, dejando el mismo recubrimiento en la superficie que en la cara de la sufridera. Se observó que se desprendió gran parte del recubrimiento del sustrato, como se muestra en la Tabla 9 del presente documento.

Finalmente, en el ensayo no destructivo de discontinuidades (Holidays) con el equipo detector de microorificios y siguiendo el procedimiento establecido en la norma NACE SP0188, se identificaron 37 puntos en total (tomando en cuenta todos los componentes de una carretilla) donde existían microorificios o discontinuidades. Los puntos de mayor problema corresponden a los filos de las planchas metálicas y a las perforaciones, en donde se apreció que además había un déficit de recubrimiento.

4.2.2 Aplicación de recubrimiento en superficie rugosa

La preparación de la superficie rugosa se efectuó mediante el uso de un desoxidante fosfatizante, que permitió remover el óxido de la superficie metálica a ser recubierta. Para obtener una superficie rugosa, se desarrolló un proceso de limpieza complementario mediante chorro abrasivo con granalla mineral en la superficie de los componentes de la carretilla y placa testigo (NACE No. 2/SSPC-SP10). Se midió el perfil de anclaje para determinar que la superficie rugosa tenga las condiciones requeridas para una óptima adhesión del recubrimiento al sustrato metálico. Los valores obtenidos del perfil de anclaje fueron 1.96, 2.16 y 2.36 Mils, que corresponde a un promedio de 2.16 Mils, que se encuentra dentro del margen de la norma (1.5 –

2.5 Mils). Posterior a la inspección visual y liberación del perfil de anclaje se aprobó la limpieza de la superficie rugosa.

Al finalizar la aplicación del recubrimiento y el curado tanto en la placa testigo como en los componentes de la carretilla, se determinó que únicamente existió un punto en donde el espesor del recubrimiento medido no alcanzó el valor mínimo (2.42 Mils) y uno en el que el espesor excedió el máximo admisible (3.65 Mils), considerando que el rango establecido por el fabricante es de 2.5 – 3.5 Mils. El promedio general de los puntos de medición en la placa testigo fue de 3.09 Mils, valor que se encuentra en el rango admisible. Esto implica que el proceso de aplicación del recubrimiento en los componentes de las carretillas sí cumplió con el requerimiento de espesor de la película seca.

En el ensayo de adherencia por cortador de trama cruzada, la descripción típica del resultado corresponde a la marcación 5B, que según la norma ASTM D 3559-B corresponde a que los bordes de los cortes aparecen completamente suaves y ninguno de los cuadrados de trama se separa.

Del ensayo de adherencia por empuje hidráulico (Pull-Off), la descripción típica del resultado de acuerdo a la norma ASTM D 4541 corresponde a un Fallo Adhesivo. Código A/B. Descripción Sustrato y capa 1, lo cual implica que el fallo tuvo lugar en la interfaz entre capas a una presión de empuje de 11 MPa, por el que una capa se despega de la otra. El "recubrimiento" en la faz de la sufridera no es el mismo que en el área sometida a prueba. En el presente caso se dio un mínimo desprendimiento del recubrimiento del sustrato, como se observa en el informe de la Tabla 14.

Por último, en el ensayo no destructivo de discontinuidades (Holidays) con el equipo detector de microorificios y siguiendo el procedimiento establecido en la norma NACE SP0188, se identificaron 10 puntos en total (tomando en cuenta todos los componentes de una carretilla) donde existían microorificios o discontinuidades. Los puntos corresponden a los filos de las planchas metálicas y a las perforaciones, en donde se apreció que además había un déficit de recubrimiento. Sin embargo, el resultado obtenido es notoriamente mejor al que se consiguió en el recubrimiento aplicado sobre la capa lisa. A continuación, se presenta un resumen de

los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia y trama cruzada, para los tipos de sustratos liso y rugoso:

Tabla 16. Comparación de los resultados obtenidos en superficie lisa y rugosa.

SUPERFICIE LISA	SUPERFICIE RUGOSA
Preparación de la superficie: Lavado químico con desoxidante fosfatizante.	Preparación de la superficie: Lavado químico con desoxidante fosfatizante y limpieza a chorro abrasivo con granalla mineral en la superficie.
Se evidenciaron residuos de impurezas.	No se evidenciaron residuos de impurezas.
Aplicación del recubrimiento: Recubrimiento en polvo mediante proceso de recubrimiento electrostático.	Aplicación del recubrimiento: Recubrimiento en polvo mediante proceso de recubrimiento electrostático.
El promedio general de los puntos de medición en la placa testigo fue de 1.92 Mils, inferior al mínimo requerido (2.5 Mils).	El promedio general de los puntos de medición en la placa testigo fue de 3.09 Mils, dentro del rango requerido (2.5 Mils).
Prueba de adherencia del recubrimiento por cortador de trama cruzada: Ensayo destructivo en placa testigo.	Prueba de adherencia del recubrimiento por cortador de trama cruzada: Ensayo destructivo en placa testigo.
La descripción típica del resultado corresponde a la marcación 3B. El recubrimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Aparece afectada una superficie del entramado significativamente mayor del 5%, pero no significativamente superior al 15%.	La descripción típica del resultado corresponde a la marcación 5B. Los bordes de los cortes aparecen completamente suaves y ninguno de los cuadrados de trama se separa.
Prueba de adherencia del recubrimiento por empuje hidráulico (Pull-Off): Ensayo D, en placa testigo.	Prueba de adherencia del recubrimiento por empuje hidráulico (Pull-Off): Ensayo D, en placa testigo.
Fallo Adhesivo. Código AB. Descripción Sustrato y Capa 1. El recubrimiento falló demostrando un 50%, en la que se desprendió gran parte del recubrimiento del sustrato.	Fallo Adhesivo. Código A/B. Descripción Sustrato y capa 1. Se presentó un mínimo desprendimiento del recubrimiento en la sufridera entre capa.
Ensayo de identificación de las discontinuidades (Holidays) en el recubrimiento: Ensayo no destructivo en componentes de la carretilla.	Ensayo de identificación de las discontinuidades (Holidays) en el recubrimiento: Ensayo no destructivo en componentes de la carretilla.
Se identificaron 37 puntos en total (tomando en cuenta todos los componentes de una carretilla) donde existentes microorificios o discontinuidades.	Se identificaron 10 puntos en total (tomando en cuenta todos los componentes de una carretilla) donde existentes microorificios o discontinuidades.

Fuente: Autor.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se obtuvieron los datos de los espesores de recubrimiento y las discontinuidades existentes en una carretilla, a partir de quince puntos (cinco spots con tres mediciones cada uno, por cada 10 m² de superficie según el código de referencia SSPC-PA2). En total se consideraron quince puntos para el recubrimiento en superficie lisa e igual cantidad de puntos para el recubrimiento en superficie rugosa. Con los datos disponibles, se empleó el estadístico de prueba de hipótesis Chi cuadrado de homogeneidad, considerando los datos de los espesores del recubrimiento y el criterio de aceptación de la calidad (discontinuidades), para el proceso de recubrimiento sobre superficie lisa y superficie rugosa.

Hipótesis Nula (H₀):

El proceso de recubrimiento no incide en la calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas en la empresa I.M.ESCO de la ciudad de Ambato.

Hipótesis Alterna (H₁):

El proceso de recubrimiento incide en la calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas en la empresa I.M.ESCO de la ciudad de Ambato.

Variable independiente

Proceso de recubrimiento.

Esta variable es categórica: Superficie lisa y superficie rugosa.

Variable dependiente

Calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas.

Esta variable es categórica: Alerta auditiva de discontinuidad, sin alerta por la ausencia de discontinuidad.

Los datos obtenidos para ambas variables se muestran en forma conjunta en el Anexo D del presente documento.

4.3.1 Chi cuadrado calculado

La ecuación 1 se utiliza para el cálculo del Chi cuadrado a partir de los datos disponibles:

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

X^2 = Chi cuadrado.

O_i = Frecuencia observada (número de respuestas observadas).

E_i = Frecuencia esperada (número de respuestas esperadas).

Frecuencias observadas

Las frecuencias observadas corresponden al número de respuestas obtenidas para cada categoría, ordenadas por cruce de variables, de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 17:

Tabla 17. Tabla de frecuencias observadas.

OBSERVADAS		Calidad superficial de la película seca de pintura		TOTAL
		Alerta auditiva de discontinuidad	Sin alerta, ausencia de discontinuidad	
Proceso de recubrimiento	Superficie lisa	7	8	15
	Superficie rugosa	1	14	15
TOTAL		8	22	30

Fuente: Autor.

Frecuencias esperadas

Son los valores que se esperarían que tomen cada una de las celdas para que las variables analizadas sean independientes. La fórmula de cálculo de las frecuencias esperadas se obtiene a partir de los marginales de la tabla de contingencia de las frecuencias observadas:

$$E_i = \frac{\text{Total de fila } \times \text{ Total de columna}}{\text{Total de frecuencias observadas}} \quad \text{Ec. 2}$$

Las frecuencias esperadas para cada celda, obtenidas mediante aplicación de la Ec.2 con los datos de la Tabla 17, se calculan a continuación y se muestran los resultados en la Tabla 18:

$$E_{11} = \frac{15 \times 8}{30} = 4$$

$$E_{12} = \frac{15 \times 22}{30} = 11$$

$$E_{21} = \frac{15 \times 8}{30} = 4$$

$$E_{22} = \frac{15 \times 22}{30} = 11$$

Tabla 18. Tabla de frecuencias esperadas.

ESPERADAS		Calidad superficial de la película seca de pintura		TOTAL
		Alerta auditiva de discontinuidad	Sin alerta, ausencia de discontinuidad	
Proceso de recubrimiento	Superficie lisa	4	11	15
	Superficie rugosa	4	11	15
TOTAL		8	22	30

Fuente: Autor.

Mientras tanto que el cálculo del Chi cuadrado con la Ec.1, partir de los datos de las Tablas 17 y 18, se muestra a continuación:

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$$X^2 = \sum \left[\frac{(7 - 4)^2}{4} + \frac{(8 - 11)^2}{11} + \frac{(1 - 4)^2}{4} + \frac{(14 - 11)^2}{11} \right]$$

$$X^2 = 2.25 + 0.82 + 2.25 + 0.82$$

$$X^2 = 6.14 \rightarrow \text{Chi cuadrado calculado}$$

Los datos indicados se resumen en la Tabla 19 para mejor comprensión:

Tabla 19. Chi cuadrado a partir de los datos disponibles.

Proceso de recubrimiento	Calidad superficial	Observadas O	Esperadas E	O - E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
Superficie lisa	Alerta auditiva de discontinuidad	7	4	3	9	2.25
	Sin alerta, ausencia de discontinuidad	8	11	-3	9	0.82
Superficie rugosa	Alerta auditiva de discontinuidad	1	4	-3	9	2.25
	Sin alerta, ausencia de discontinuidad	14	11	3	9	0.82
$X^2 = \sum (O-E)^2/E$						6.14

Fuente: Autor.

4.3.2 Chi de tablas

El valor del Chi cuadrado calculado se contrasta con el Chi cuadrado de tablas, con la finalidad de establecer la zona en que se encuentra la distribución de la gráfica, ya sea la zona de aceptación o la de rechazo de la hipótesis nula. Para esto en primer lugar se determinan los grados de libertad y se establece un nivel de confianza.

Grado de Libertad G. l.

$$G. l. = (f - 1)(c - 1) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

G. l. = Grados de libertad.

C = Número de columnas de la tabla de contingencia.

F = Número de filas de la tabla de contingencia.

$$G. l. = (2 - 1)(2 - 1)$$

$$G. l. = 1$$

El nivel de confianza utilizado es del 95 %, lo que equivale a un margen de error máximo admisible de 5 %. Con los datos de los grados de libertad y el nivel de confianza se emplea una tabla de distribución Chi cuadrado (Anexo E) para obtener el valor Chi de tablas. En el presente caso este valor corresponde a 3.8415. El gráfico de la distribución Chi cuadrado, con el valor calculado y el valor del Chi de tablas (Anexo E), es el siguiente:

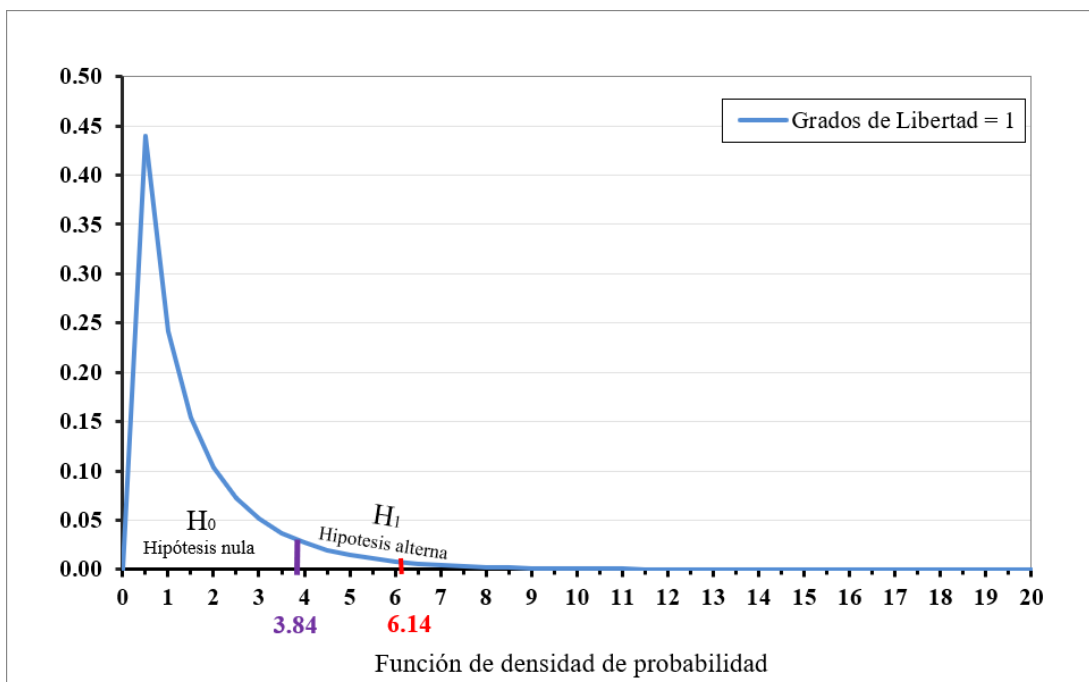


Fig. 10 Gráfica de densidad de probabilidad Chi cuadrado.

Fuente: Autor.

4.3.3 Decisión

En la Fig.10 se observa que, el valor del Chi cuadrado calculado (crítico) de 6.14 es mayor que el valor de tablas de 3.8415 (Anexo E), con 1 grado de libertad y un intervalo de confianza del 95%. Por lo tanto, el valor calculado se encuentra en la región de rechazo de la Hipótesis Nula y consecuentemente se ACEPTA la Hipótesis Alterna de la investigación: “El proceso de recubrimiento incide en la calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas en la empresa I.M.ESCO de la ciudad de Ambato”.

El valor de la significancia p-valor es de 0.013243, que es menor que el margen de error máximo permitido $\alpha = 0.05$ (5 %). Por lo tanto, la hipótesis alterna se cumple con un margen de error del 1.32 %.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En el proceso de acabado de carretillas, se emplea un recubrimiento electrostático en polvo monocapa de tipo híbrido epoxi-poliéster, en sustrato metálico de superficie lisa. Se estudió la preparación de la superficie mediante un lavado químico con desoxidante (código SSPC-SP1) y una limpieza complementaria mediante chorro abrasivo con granalla mineral (código SSPC-SP10), en la superficie de los componentes de la carretilla y placa testigo, para obtener una superficie rugosa (perfil de anclaje) y mejorar la adherencia con respecto a una superficie lisa. Como se muestra en la Tablas 6, 7, 11 y 12.
- Se determinó que el procedimiento de pintura electrostática más idóneo para alcanzar un alto nivel de calidad superficial de la película seca de pintura en las carretillas, se consigue mediante preparación de la superficie a través de un lavado químico con desoxidante fosfatizante (libre de grasas, impurezas) y limpieza a chorro abrasivo con granalla mineral, generando así una rugosidad en la superficie (Tabla 16), con un mecanismo de curado convertible por fusión en un horno de secado durante 10 minutos. El control de adherencia se debe realizar a través de las pruebas por cortador de trama cruzada y por empuje hidráulico. Para la identificación de las discontinuidades se debe emplear el ensayo de Holidays.
- Se consideró un mecanismo de curado para materiales convertibles por reacción química de fusión en un horno de secado, el tiempo estimado fue de 10 minutos a 180 °C de temperatura (Anexo A). Se midieron los espesores de la película seca de pintura para verificar si están dentro del rango requerido (2.5 – 3.5 Mils). El curado contribuyó en la transformación del recubrimiento, de polvo a un estado sólido y favoreció la adherencia entre la capa y sustrato.

- Se efectuaron los ensayos destructivos de adherencia del recubrimiento por cortador de trama cruzada (norma ASTM D-3359) y por empuje hidráulico (Pull-Off) (ASTM D-4541), ambos en una placa testigo. En el primer caso, la descripción típica del resultado corresponde a la marcación 3B para superficie lisa, ya que el recubrimiento se descascarilló a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Mientras que para la superficie rugosa corresponde a 5B, dado que los bordes de los cortes aparecen completamente suaves y ninguno de los cuadrados de trama se separa. En el ensayo por empuje hidráulico se presentó un fallo Adhesivo código AB en la superficie lisa y un fallo adhesivo código A/B en rugosa. El proceso de aplicación de recubrimiento electrostático sobre superficie rugosa permitió obtener un mejor nivel de adherencia de la película de pintura, conforme la información presentada en las Tablas 8, 9, 13 y 14.
- El ensayo no destructivo de discontinuidades (Holidays) según la NACE SP0188, se realizó en los componentes de una carretilla y reflejó que el recubrimiento en superficie rugosa presenta un menor número de microorificios en los filos y perforaciones de los componentes, respecto a la superficie lisa, de acuerdo a la información de las Tablas 10 y 15.

5.2 RECOMENDACIONES

- Adoptar el método de limpieza de la superficie a chorro abrasivo con granalla mineral como complemento al actual lavado químico con desoxidante fosfatizante, para trabajar con un sustrato de superficie rugosa.
- Establecer un control de calidad exhaustivo durante el proceso de curado en el horno, teniendo en cuenta el tiempo de secado y la temperatura, que son parámetros establecidos por el fabricante del recubrimiento, por esto es imprescindible la revisión de la ficha técnica del fabricante.
- Implementar de forma permanente la medición de los espesores de la capa de película seca de pintura y la realización de las pruebas de adherencia por cortador de trama cruzada y por empuje hidráulico y mediante un muestro aplicar dichas pruebas en el control de calidad respectivo.

- Adoptar la prueba de detección de discontinuidades Holidays para verificar que no existan discontinuidades en las superficies de los componentes de las carretillas y en caso de detectarse microorificios, proceder a corregirlos mediante una nueva aplicación de recubrimiento.
- Capacitar a los técnicos de control de calidad en el desarrollo de las pruebas de adherencia y de discontinuidad, para que desarrollen los ensayos en estricto apego a la normativa internacional respectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CIN Protective Coatings, «Norma EN ISO 8501. Protección anticorrosiva de estructuras de acero mediante pintura». feb-2011.
- [2] C. Arroyo y X. Vásquez, «Propuesta de Reorganización del área de producción en la empresa I.M.ESCO en la ciudad de Ambato», B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador, 2008.
- [3] A. R. Jarrín Salán, «Estudio de procesos de pintura de alto desempeño y su incidencia en la calidad de los equipos petroleros de superficie de la empresa Saurus Ecuador Cía. Ltda.», B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica., Ambato, Ecuador, 2012.
- [4] A. C. Yépez Intriago, «Estudio de recubrimientos anticorrosivos aplicados sobre acero A-36 y su incidencia en la tasa de corrosión utilizando la cámara de niebla salina», B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato, Ecuador, 2017.
- [5] H. J. Jiménez-Aguas y Y. Milano, «Corrosión acelerada en medio salino y adherencia de sistemas de pinturas depositadas sobre acero», *Mundo FESC*, n.º 13, pp. 48–55, 2017.
- [6] I. Sánchez-Mercado, «Preparación de superficie del acero para mantenimiento en la aplicación de recubrimientos», Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2015.
- [7] J. F. Méndez, «Proceso de fabricación de una carretilla», *Tu tecnología de noche y día*, 20-mar-2011. .
- [8] The National Association of Corrosion Engineers (NACE), «Programa de Inspectores de Recubrimientos. Nivel 1 Manual del Estudiante». ago-2010.
- [9] The Society for Protective Coatings (SSPC), «SSPC-SP1 Solvent Cleaning» “Limpieza de superficie». 2015.
- [10] NACE International, *Programa de Inspectores de Recubrimientos Nivel 2. Manual del Estudiante*, vol. 1. Houston, TX, USA, 2010.
- [11] NACE International y The Society for Protective Coatings (SSPC), «NACE No. 2/SSPC-SP 10 Near-White Metal Blast Cleaning». NACE International; SSPC: The Society for Protective Coatings, 2000.
- [12] J. Abarca-García, *Manual de pintura para mantenimiento industrial y marino*, 4.^a ed. San José, Costa Rica: Editorama, S.A., 2004.

- [13] V. López, *Diccionario de términos de pintura materiales, revestimientos, acabados y técnicas*. 2004.
- [14] The Society for Protective Coatings, «SSPC-PA 2 Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness». 01-may-2012.
- [15] J. Abarca-García, *Manual de pintura para mantenimiento industrial y marino*, 4.^a ed. San José, Costa Rica: Editorama, S.A., 2004.
- [16] The National Association of Corrosion Engineers (NACE), *Programa de Certificación de Inspectores de Recubrimientos Nivel 1 Manual del Estudiante*, vol. I, III vols. Houston, Texas, USA, 2007.
- [17] NACE International, «NACE Standard SP0188-2006 Standard Recommended Practice: Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates». NACE International, 2006.
- [18] American Society for Testing and Materials (ASTM), «Norma ASTM D3359-09 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test». 2010.
- [19] American Society for Testing and Materials (ASTM), «Norma ASTM D4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers». 02-ago-2010.

ANEXOS

ANEXO A:

Especificaciones del recubrimiento



DURAPLAST

RECUBRIMIENTOS ELECTROSTATICOS EN POLVO

Clasificación: HIBRIDO (epoxi-poliéster)

SERIE 7000

Características Generales:

Pintura de uso general formulada con resinas de primera calidad, tipo Epoxi-Poliéster (Hibrido), en una amplia variedad de colores y acabados como brillantes, semibrillantes, mates, lisos, texturizados, microtexturizados, que proporcionan una excelente protección anticorrosiva y una extraordinaria combinación de dureza y flexibilidad. Poseen buena resistencia a la luz artificial.

Diseñada para decorar y proteger todo tipo de piezas de uso interior, electrodomésticos en general, herramientas, griferías, elementos de decoración, lámparas, muebles metálicos entre otros. En exteriores presenta entizamiento, decoloración y pérdida de brillo. Por sus características de dureza y elasticidad es muy resistente a golpes e impactos, posee excelente resistencia a jabones, detergentes y brinda la máxima protección anticorrosiva.

PREPARACION DE SUPERFICIE

Los materiales a pintar deben estar libres de agentes contaminantes como grasas, polvo y cualquier elemento que afecte las propiedades del recubrimiento. Es recomendable la utilización de tratamientos químicos y mecánicos para obtener mejor adherencia ya que la calidad del recubrimiento dependerá en gran medida del pre tratamiento de la superficie que utilice

ESPECIFICACIONES		
------------------	--	--

Propiedad	Especificación	Norma
Gravedad específica	1.4 -1.8	ASTM D792 ISO 2811
Adherencia:	100%	ASTM-D3359
Brillo (60o):	Entre 10 a 100	ASTM-D 523 (según acabado)
Flexibilidad Mandril cónico	1/8"	ASTM D-522
Impacto Directo (lb.plg):	Mayor a 80 Lbs/ pulg.	ASTM D-2794
Impacto inverso (lb.plg)	Mayor a 80 lbs/ pulg.	ASTM D-2794
Dureza lápiz	Entre H – 3H	ASTM D-3363
Cámara Salina	1000 Horas	ASTM-B117
Resistencia al Mek	=>100 frotaciones	ICI 101

**Temperatura de Curado:**

8 minutos a 200oC (temperatura del metal)	10 minutos a 180oC (temperatura del metal)
---	--

Condiciones de Aplicación:

Superficies: Metálicos
Método de aplicación: Corona
Voltaje: 50-80Kv
Espesor: entre 60 a 80 micras
Rendimiento Teórico: 8 – 10 m ² /kg

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO:

- Controlar la humedad relativa entre 40 y 60%
- Mantener buena ventilación y temperaturas promedios entre 5oC hasta 35 oC.
- Tener buena rotación de la pintura almacenada.
- Evitar dejar cajas de pintura abiertas y sobre el piso.
- Evitar el contacto con el agua.
- No apilar cajas mayores a 3 niveles.

La pintura en polvo puede absorber humedad en el área de almacenamiento si la humedad relativa es superior al 60%. Esto causará el aglutinamiento, deficiente fluidización y mal transporte de la pintura hacia el sustrato a pintar. En la mayoría de los casos, el apelmazamiento puede ser eliminado fluidizando por unos minutos.

SEGURIDAD:

Los materiales y procesos utilizados para pintar recubrimientos electrostáticos en polvo son bastantes seguros, cuando se utilizan de acuerdo con las recomendaciones de los estándares establecidos por el fabricante.

Los componentes de los recubrimientos electrostáticos en polvo no son peligrosos, por definición de la OSHA. El grado de peligro asociado con manipular y aplicar la pintura es bajo. Sin embargo los recubrimientos en polvo son abrasivos y pueden causar irritación a la piel y ojos. Su inhalación puede causar también irritación a los pulmones y garganta. Su exposición debe ser limitada usando ropa y equipo protector adecuados.

Las áreas deben ser, secas y libres de contaminantes.



HIGIENE PERSONAL:

Debe utilizarse ropa y protección adecuadas para cubrir, ojos y otras partes del cuerpo para evitar la exposición de la piel.

Si se usan guantes durante la aplicación, éstos deben ser especialmente diseñados para aplicación electrostática de manera que el operador no esté aislado de la tierra. La pintura en polvo no debe ser soplada de la piel con aire comprimido ya que éste, puede forzar la penetración de partículas a los poros de la piel y los ojos.

INFORMACION MÉDICA.

En caso de contacto con la piel remueve la ropa contaminada, lavando la piel con abundante agua y jabón. No utilice removedores de pintura.

En caso de contacto con los ojos, remueve, si es el caso de lentes de contacto, lavando con abundante agua por más de 15 minutos con el parpado invertido.

En caso de ingestión, no inducir al vómito, mantener la persona en reposo.

En todos los casos buscar asistencia médica para precautelar la integridad física del operador.

Toda la información de esta ficha técnica, no constituye garantía expresa o implícita sobre el comportamiento del producto por las condiciones del uso, preparación de superficie, aplicación y almacenamiento, ya que se encuentran fuera de nuestro control.

Para más información consulte con nuestro Departamento Técnico.

Mantener fuera del alcance de los niños.

"Industria Ecuatoriana"

Desoxidante Fosfatizante



Desoxidante preparador de superficies para remover el óxido fácilmente de superficies ferrosas.

Producto preparador de superficies ferrosas, líquido, incoloro, de naturaleza ácida que transforma los óxidos de hierro duros e impermeabilizantes en sales de color blanco que se pueden eliminar fácilmente del metal.

Se usa para eliminar el óxido de los metales ferrosos que no se pueda eliminar manualmente con papel de lija, cepillos de alambre, rasquetas o mecánicamente con cepillos eléctricos giratorios.

Presentaciones:

- 0,946 L
- 3,785 L

Especificaciones:

- Método de aplicación: Brocha o inmersión
- Apariencia incoloro transparente verdoso
- Disolvente para lavar equipo aplicador: Agua potable
- Rendimiento Teórico: 29m²/litro
- Almacenar lejos de toda fuente de calor

Preparación de superficies:

Primero se debe eliminar todo el óxido de hierro que se pueda sacar manual o mecánicamente del objeto metálico. Esta limpieza es absolutamente indispensable. A

continuación, se eliminan con un trapo o cepillo de fibra todos los residuos de la limpieza anterior. Con un trapo humedecido en disolvente se sacan las grasas y demás contaminantes y se seca bien.

Instrucciones de aplicación:




El **Desoxidante Fosfatizante** se aplica con una brocha o sumergiendo el objeto metálico. Hay que procurar que el producto penetre bien en el metal para que ataque el óxido incrustado profundamente y evitar aplicación en lugares con excesiva ventilación porque se pierde eficiencia del producto. Al aplicar el Desoxidante el metal de estar a 30°C máximo, por encima de esa temperatura el producto se evapora rápidamente y pierde eficiencia. Para objetos metálicos en exteriores se aconseja aplicar el Desoxidante en las primeras horas de la mañana o por la tarde cuando la temperatura haya disminuido lo suficiente. Los objetos que se van a proteger con pinturas para altas temperaturas se limpian únicamente con medios manuales o mecánicos. Dejar actuar al Desoxidante durante media hora. Una vez limpia la superficie aplicar un anticorrosivo.

Recomendaciones:

Se recomienda usar protector facial y guantes de cuero para aplicarlo. Se debe almacenar lejos de toda fuente de calor, en lugares limpios y secos. Cuando no se esté utilizando se mantienen bien tapado para evitar su contaminación y vaporización. Evitar la inhalación prolongada de este producto usando equipo de protección apropiado. En caso de contacto con la piel lavar inmediatamente con abundante agua y jabón. Si el contacto es con los ojos se recomienda lavarlos con abundante agua corriente y buscar atención médica.

ANEXO B:

Certificados de calibración de los equipos de medición

				www.eie-equipment.com.ec			
Certificado de Calibración: E&E-INV-18-2419		Fecha de Calibración: 26/06/2018					
1. Descripción		Próxima Cal: 26/06/2019					
Objeto	TERMOHIGRÓMETRO	Rango Temperatura Amb:	-20 a	80 °C			
Marca:	ELCOMETER	División de escala:		0,1 °C			
Modelo o Tipo:	319	Rango Temperatura Sup:	-20 a	80 °C			
Serie:	NG02193	División de escala:		0,1 °C			
Código:	G319---S	Rango Humedad:	0 a	100 % HR			
División de escala:				0,1 % HR			
Solicitante:	E&E EQUIPMENT CIA. LTDA.						
Dirección:	Manuel Camacho N39-224 y Av. Gaspar de Villaroel						
2. Condiciones Ambientales							
TEMPERATURA:	(18 ± 5) °C						
HUMEDAD REL.:	(45 ± 10) % HR						
3. Metodo							
Calibración de Termohigrometros por el método de comparación en camara. Se utilizó como Patrón un Termohigrómetro, con trazabilidad INEN							
4. Resultados:							
Temperatura Ambiente y humedad							
Lectura Promedio Patrón (%HR)	Lectura Promedio Patrón °C	Lectura Promedio IBC (%HR)	Lectura Promedio Calibrando °C	Error (%HR)	Error (°C)	Incert. (%HR)	Incert. °C
29,9	32,66	32,0	33,7	2,1	1,04	2,8	0,4
50,4		52,4		2,0			
80,8		80,0		-0,8			
Temperatura Superficie							
Lectura Promedio Patrón °C	Lectura Promedio IBC °C		Error °C	Incert. °C			
29,5	29,5		0,0	0,8			
50,0	49,9		-0,1	0,8			
79,3	78,9		-0,4	0,8			
La incertidumbre se estimo con un nivel de confianza del 95% que corresponde a un factor de cobertura de K=2.							
							
Página 1 de 1							



www.eie-equipment.com.ec

Certificado de Calibración: **E&E-INV-18-2420** Fecha de Calibración: **26/06/2018**

1. Descripción

Objeto: MEDIDOR MICROMETRO **Próxima Calib:** 26/06/2018
Marca: WESTWARD **Rango:** 5 mm
Modelo o Tipo: MICROMETRO EXTERIORES
Serie: A881140
Solicitante: E&E EQUIPMENT
Dirección: QUITO

2. Condiciones Ambientales

TEMPERATURA: $(18 \pm 5) ^\circ\text{C}$ **PRESION ATM.:** (740 a 745) hPa
HUMEDAD REL.: $(45 \pm 10) \% \text{HR}$

3. Metodo

Calibración por comparación, se utilizaron como Patrón cuatro Bloques de caras paralelas de grado 2, con trazabilidad INEN.

4. Resultados

Lectura Promedio Patrón	Lectura Promedio Calibrando	Error	Incert.
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
1,2	1,208	0,008	0,01
1,7	1,704	0,004	
2	2,004	0,004	
4	4,002	0,002	
5	5,003	0,003	

La incertidumbre se estimo con un nivel de confianza del 95% que corresponde aun factor de cobertura de K=2.





elcometer
REPRESENTANTES

www.eie-equipment.com.ec

Certificado de Calibración: E&E-INV-18-2418 **Fecha de Calibración:** 26/06/2018

1. Descripción

Próxima Cal: 26/06/2019

Objeto: Medidor de espesores de recubrimiento digital

Marca: ELCOMETER

Rango : 0-1500 μm

Modelo: 456

Resolución : 0,1 μm (a 53 μm)

Serie: NL11222

1 μm (154 a 510 μm)

Código: A456CFTS

Solicitante: E&E EQUIPMENT CIA. LTDA.

Dirección: Juan Manuel Camacho y Gaspar de Villaroel

2. Condiciones Ambientales

TEMPERATURA: (18 \pm 5) °C

HUMEDAD REL.: (45 \pm 10) % HR

3. Método

Calibración por comparación según procedimiento INV-2012-011

4. Patrones

Se realizó la calibración con un Coating Thickness Standard, Serie No. 301008.11

5. Resultados

Valor Nominal Patrón	Lectura Promedio Calibrando*	Error	Incertidumbre
μm	μm	μm	μm
53,20	52,64	-0,560	0,6
154,54	155,80	1,260	2,0
255,73	261,60	5,870	2,0
510,69	510,60	-0,090	2,0

* Promedio de cinco lecturas

La incertidumbre de Medición se estimó con un nivel de confianza del 95% que corresponde un factor de cobertura de K=2.

E&E EQUIPMENT CIA. LTDA.
RUC: 179257387001



www.eie-equipment.com.ec

**REPORTE DE CALIBRACIÓN
EQUIPO PARA PRUEBAS DE ARRANQUE**

Compañía:	E&E EQUIPMENT CIA. LTDA.	Referencia:	Departamento Técnico
Equipo:	Pull Off elcometer 108 (F108---1C)	Min. Div.:	100 psi
Equipo Serie:	KL02935	Ubicación:	Laboratorio del proveedor
Cap Max:	2600 psi	Hum. Relat.	48%
Temp. Amb.	20°C	e.m.p. +/-	105 psi
Unidades:	psi	Fecha de Calibración:	11/06/2018
Certificado No.:	E&E-INV-18-2403	Fecha de próxima calibración:	11/06/2019

Patrones utilizados:

Equipo	Serie	Apreciación	Certificado No.
PAT GM 03	2044	20 psi	102044-130256

Resultado de Calibración (psi)

PULL OFF ELCOMETER 108

Medida patrón Medida Patrón

		ELCOMETER 108		
para 20mm	para 18,78mm	ascendente	ERROR	ERROR %
0,00	0,00	0	0,00	0
500,00	566,79	550	16,79	0,7
1000,00	1133,57	1200	66,43	2,7
1500,00	1700,36	1750	49,64	2,0
2000,00	2267,15	2300	32,85	1,3
2500,00	2833,94	2850	16,06	0,6

Repetibilidad

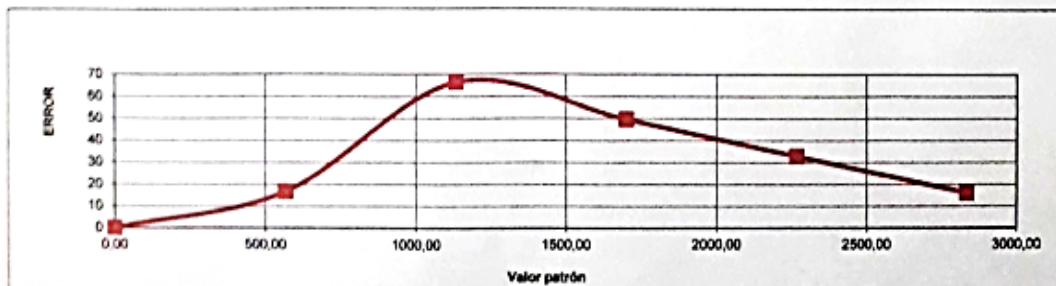
Valor: 2000,0 Psi

Lect.1	Lect.2	Lect.3	Lect.4	Lect.5	Prom.
2000	1995	2005	2000	1995	1999

Incertidumbre

La Incertidumbre se ha obtenido al multiplicar la Incertidumbre estandar por un factor de cobertura de K=2, la cual corresponde a un nivel de confianza del 95%.

%Uc = 70,28 k = 2 95%





Certificado de Calibración: **E&E-INV-18-2152** Fecha de Calibración: **12/6/2018**

1. Descripción

Próxima Cal: 12/6/2019

Objeto: HOLIDAY DETECTOR DE BAJO VOTAJE

Marca: ELCOMETER

Rango: 9 a 90 V

Modelo o Tipo: 270

División de escala: 0,1 V

Serie: NG03729

Código: D270—4

Solicitante: E&E EQUIPMENT CIA. LTDA.

Dirección: Manuel Camacho N39-224 y Gaspar de Villaroel

2. Condiciones Ambientales

TEMPERATURA: $(18 \pm 5) ^\circ\text{C}$

HUMEDAD REL.: $(45 \pm 10) \% \text{ HR}$

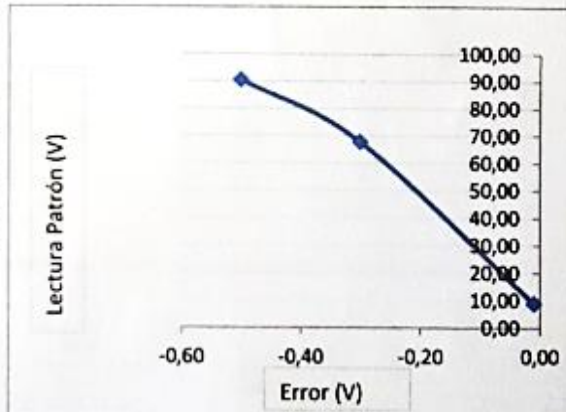
3. Método

Calibración de Holiday Detector por el método de comparación directa.

Se utilizó como Patrón un Multímetro de Precisión marca Sperry con fecha de calibración 14/03/2018 y número de certificado: E&E-INV-18-0947

4. Resultados

Lectura Promedio Calibrando	Lectura Promedio Patrón	Error
(V)	(V)	(V)
9,0	9,01	-0,01
67,5	67,80	-0,30
90,0	90,50	-0,50



La incertidumbre de la medición es de 1,0 V y se estimó con un nivel de confianza del 95% que corresponde a un factor de cobertura de K=2.

E&E EQUIPMENT CIA. LTDA.
RUC: 1762577187601

ANEXO C:

Normas

SSPC-SP 1

SSPC-SP 1
November 1, 1982
Editorial Changes September 1, 2000

SSPC: The Society for Protective Coatings SURFACE PREPARATION SPECIFICATION NO. 1 Solvent Cleaning

1. Scope

1.1 This specification covers the requirements for the solvent cleaning of steel surfaces.

2. Definition

2.1 Solvent cleaning is a method for removing all visible oil, grease, soil, drawing and cutting compounds, and other soluble contaminants from steel surfaces.

2.2 It is intended that solvent cleaning be used prior to the application of paint and in conjunction with surface preparation methods specified for the removal of rust, mill scale, or paint.

3. Surface Preparation Before and After Solvent Cleaning

3.1 Prior to solvent cleaning, remove foreign matter (other than grease and oil) by one or a combination of the following: brush with stiff fiber or wire brushes, abrade, scrape, or clean with solutions of appropriate cleaners, provided such cleaners are followed by a fresh water rinse.

3.2 After solvent cleaning, remove dirt, dust, and other contaminants from the surface prior to paint application. Acceptable methods include brushing, blow off with clean, dry air, or vacuum cleaning.

4. Methods of Solvent Cleaning

4.1 Remove heavy oil or grease first by scraper. Then remove the remaining oil or grease by any of the following methods:

4.1.1 Wipe or scrub the surface with rags or brushes wetted with solvent. Use clean solvent and clean rags or brushes for the final wiping.

4.1.2 Spray the surface with solvent. Use clean solvent for the final spraying.

4.1.3 Vapor degrease using stabilized chlorinated hydrocarbon solvents.

4.1.4 Immerse completely in a tank or tanks of solvent. For the last immersion, use solvent which does not contain detrimental amounts of contaminant.

4.1.5 Emulsion or alkaline cleaners may be used in place of the methods described. After treatment, wash the surface with fresh water or steam to remove detrimental residues.

4.1.6 Steam clean, using detergents or cleaners and follow by steam or fresh water wash to remove detrimental residues.

5. Inspection

5.1 All work and materials supplied under this specification shall be subject to timely inspection by the purchaser or his authorized representative. The contractor shall correct such work or replace such material as is found defective under this specification. In case of dispute the arbitration or settlement procedure established in the procurement documents, if any, shall be followed. If no arbitration or settlement procedure is established, the procedure specified by the American Arbitration Association shall be used.

5.2 The procurement documents covering work or purchase should establish the responsibility for testing and for any required affidavit certifying full compliance with the specification.

6. Safety

6.1 All safety requirements stated in this specification and its component parts apply in addition to any applicable federal, state, and local rules and requirements. They also shall be in accord with instructions and requirements of insurance underwriters.

7. Notes*

7.1 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 herein, or of the standard itself.

7.2 A Commentary Section is available and contains additional information and data relative to this specification. The Surface Preparation Commentary, SSPC-SP COM, is not part of this specification. The table below lists the subjects discussed relevant to solvent cleaning and appropriate Commentary Section.

SSPC-SP 1
November 1, 1982
Editorial Changes September 1, 2000

Subject SSPC-SP COM Section

Solvents and Cleaners	5.1.1 through 5.1.3
Steam Cleaning	5.1.4
Threshold Limit Values	5.1.5
Film Thickness	10

*Notes are not requirements of this specification.

NACE No. 2/SSPC-SP 10



Item No. 21066

Joint Surface Preparation Standard

NACE No. 2/SSPC-SP 10 Near-White Metal Blast Cleaning

This NACE International (NACE)/SSPC: The Society for Protective Coatings standard represents a consensus of those individual members who have reviewed this document, its scope, and provisions. It is intended to aid the manufacturer, the consumer, and the general public. Its acceptance does not in any respect preclude anyone, whether he has adopted the standard or not, from manufacturing, marketing, purchasing, or using products, processes, or procedures not addressed in this standard. Nothing contained in this NACE/SSPC standard is to be construed as granting any right, by implication or otherwise, to manufacture, sell, or use in connection with any method, apparatus, or product covered by Letters Patent, or as indemnifying or protecting anyone against liability for infringement of Letters Patent. This standard represents current technology and should in no way be interpreted as a restriction on the use of better procedures or materials. Neither is this standard intended to apply in all cases relating to the subject. Unpredictable circumstances may negate the usefulness of this standard in specific instances. NACE and SSPC assume no responsibility for the interpretation or use of this standard by other parties and accept responsibility for only those official interpretations issued by NACE or SSPC in accordance with their governing procedures and policies which preclude the issuance of interpretations by individual volunteers.

Users of this NACE/SSPC standard are responsible for reviewing appropriate health, safety, environmental, and regulatory documents and for determining their applicability in relation to this standard prior to its use. This NACE/SSPC standard may not necessarily address all potential health and safety problems or environmental hazards associated with the use of materials, equipment, and/or operations detailed or referred to within this standard. Users of this NACE/SSPC standard are also responsible for establishing appropriate health, safety, and environmental protection practices, in consultation with appropriate regulatory authorities if necessary, to achieve compliance with any existing applicable regulatory requirements prior to the use of this standard.

CAUTIONARY NOTICE: NACE/SSPC standards are subject to periodic review, and may be revised or withdrawn at any time without prior notice. The user is cautioned to obtain the latest edition. NACE and SSPC require that action be taken to reaffirm, revise, or withdraw this standard no later than five years from the date of initial publication.

Reaffirmed 1999-09-07
Approved October 1994

ISBN 1-57590-108-0
©2000, SSPC: The Society for Protective Coatings and NACE International

NACE International
1440 South Creek Dr.
Houston, TX 77084-4906
(telephone +1 281/228-6200)

SSPC: The Society for Protective Coatings
40 24th Street, Sixth Floor
Pittsburgh, PA 15222
(telephone +1 412/281-2331)

Printed by NACE International

Foreword

This joint standard covers the use of blast cleaning abrasives to achieve a defined degree of cleaning of steel surfaces prior to the application of a protective coating or lining system. This standard is intended for use by coating or lining specifiers, applicators, inspectors, or others who may be responsible for defining a standard degree of surface cleanliness.

The focus of this standard is near-white metal blast cleaning. White metal blast cleaning, commercial blast cleaning, industrial blast cleaning, and brush-off blast cleaning are addressed in separate standards.

Near-white metal blast cleaning provides a greater degree of cleaning than commercial blast cleaning (NACE No. 3/SSPC-SP 6⁽¹⁾), but less than white metal blast cleaning (NACE No. 1/SSPC-SP 5⁽²⁾).

Near-white metal blast cleaning is used when the objective is to remove all rust, coating, and mill scale, but when the extra effort required to remove all stains of these materials is determined to be unwarranted. Staining shall be limited to no more than 5 percent of each unit area of surface.

Near-white metal blast cleaning allows staining on only 5 percent of each unit area of surface, while commercial blast cleaning allows staining on 33 percent of each unit area of surface. White metal blast cleaning does not permit any staining to remain on the surface.

This joint standard was originally prepared in 1994 and reaffirmed in 2000 by the SSPC/NACE Task Group A on Surface Preparation by Abrasive Blast Cleaning. This joint Task Group includes members of both the SSPC Surface Preparation Committee and the NACE Unit Committee T-6G on Surface Preparation.

⁽¹⁾ NACE No. 3/SSPC-SP 6 (latest revision), "Commercial Blast Cleaning" (Houston, TX: NACE, and Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽²⁾ NACE No. 1/SSPC-SP 5 (latest revision), "White Metal Blast Cleaning" (Houston, TX: NACE, and Pittsburgh, PA: SSPC).

Joint Surface Preparation Standard

**NACE No. 2/SSPC-SP 10
Near-White Metal Blast Cleaning**

Contents

1. General	1
2. Definitions	1
3. References	1
4. Procedures Before Blast Cleaning	2
5. Blast Cleaning Methods and Operation	2
6. Blast Cleaning Abrasives	2
7. Procedures Following Blast Cleaning and Immediately Prior to Coating	3
8. Inspection	3
9. Safety and Environmental Requirements	3
10. Comments	3
Appendix A: Explanatory Notes	4

Section 1: General

1.1 This joint standard covers the requirements for near-white metal blast cleaning of unpainted or painted steel surfaces by the use of abrasives. These requirements include the end condition of the surface and materials and procedures necessary to achieve and verify the end condition.

1.2 This joint standard allows random staining to remain on no more than 5 percent of each unit area of surface as defined in Paragraph 2.6.

1.3 The mandatory requirements are described in Sections 1 to 9. NOTE: Section 10, "Comments," and Appendix A, "Explanatory Notes," are not mandatory requirements of this standard.

Section 2: Definitions

2.1 A near-white metal blast cleaned surface, when viewed without magnification, shall be free of all visible oil, grease, dust, dirt, mill scale, rust, coating, oxides, corrosion products, and other foreign matter, except for staining as noted in Paragraph 2.2.

2.4 When a coating is specified, the surface shall be roughened to a degree suitable for the specified coating system.

2.2 Random staining shall be limited to no more than 5 percent of each unit area of surface as defined in Paragraph 2.6, and may consist of light shadows, slight streaks, or minor discolorations caused by stains of rust, stains of mill scale, or stains of previously applied coating.

2.5 Immediately prior to coating application, the entire surface shall comply with the degree of cleaning specified herein.

2.3 Acceptable variations in appearance that do not affect surface cleanliness as defined in Paragraph 2.1 include variations caused by the type of steel, original surface condition, thickness of the steel, weld metal, mill or fabrication marks, heat treating, heat-affected zones, blasting abrasives, and differences in the blast pattern.

2.6 Unit area for determinations shall be approximately 58 cm² (9.0 in.²) (i.e., a square 7.6 cm x 7.6 cm [3.0 in. x 3.0 in.]).

2.7 SSPC-VIS 1⁽⁸⁾ photographs A SP-10, B SP-10, C SP-10, or D SP-10 may be specified to supplement the written definition. In any dispute, the written standards shall take precedence over visual standards and comparators. Additional information on visual standards and comparators is available in Paragraph A4 of Appendix A.

Section 3: References

3.1 The documents referenced in this standard are listed in Paragraph 3.4.

3.4 SSPC: The Society for Protective Coatings Standards:

3.2 The latest issue, revision, or amendment of the referenced standards in effect on the date of invitation to bid shall govern unless otherwise specified.

- AB 1 Mineral and Slag Abrasives
- AB 2 Cleanliness of Recycled Ferrous Metallic Abrasives
- AB 3 Newly Manufactured or Re-Manufactured Steel Abrasives
- PA 3 A Guide to Safety in Paint Applications
- SP 1 Solvent Cleaning
- VIS 1 Visual Standard for Abrasive Blast Cleaned Steel

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

⁽⁸⁾ SSPC-VIS 1 (latest revision), "Visual Standard for Abrasive Blast Cleaning Steel" (Pittsburgh, PA: SSPC).

Section 4: Procedures Before Blast Cleaning

4.1 Before blast cleaning, visible deposits of oil, grease, or other contaminants shall be removed in accordance with SSPC-SP 1⁽⁴⁾ or other agreed-upon methods.

4.2 Before blast cleaning, surface imperfections such as sharp fins, sharp edges, weld spatter, or burning slag should be removed from the surface to the extent required by the procurement documents (project specification).

Additional information on surface imperfections is available in Paragraph A5 of Appendix A.

4.3 If a visual standard or comparator is specified to supplement the written standard, the condition of the steel prior to blast cleaning should be determined before the blasting commences. Additional information on visual standards and comparators is available in Paragraph A4 of Appendix A.

Section 5: Blast Cleaning Methods and Operation

5.1 Clean, dry compressed air shall be used for nozzle blasting. Moisture separators, oil separators, traps, or other equipment may be necessary to achieve this requirement.

5.2 Any of the following methods of surface preparation may be used to achieve a near-white metal blast cleaned surface:

5.2.1 Dry abrasive blasting using compressed air, blast nozzles, and abrasive.

5.2.2 Dry abrasive blasting using a closed-cycle, recirculating abrasive system with compressed air, blast nozzle, and abrasive, with or without vacuum for dust and abrasive recovery.

5.2.3 Dry abrasive blasting using a closed-cycle, recirculating abrasive system with centrifugal wheels and abrasive.

5.3 Other methods of surface preparation (such as wet abrasive blasting) may be used to achieve a near-white metal blast cleaned surface by mutual agreement between those parties responsible for establishing the requirements and those responsible for performing the work. NOTE: Information on the use of inhibitors to prevent the formation of rust immediately after wet blast cleaning is contained in Paragraph A9 of Appendix A.

Section 6: Blast Cleaning Abrasives

6.1 The selection of abrasive size and type shall be based on the type, grade, and surface condition of the steel to be cleaned, the type of blast cleaning system employed, the finished surface to be produced (cleanliness and roughness), and whether the abrasive will be recycled.

6.2 The cleanliness and size of recycled abrasives shall be maintained to ensure compliance with this standard.

6.3 The blast cleaning abrasive shall be dry and free of oil, grease, and other contaminants as determined by the test methods found in SSPC-AB 1,⁽⁵⁾ AB 2,⁽⁶⁾ and AB 3.⁽⁷⁾ It

should be noted that even though SSPC-AB 1 addresses only mineral and slag abrasives, the tests are applicable to most abrasives.

6.4 Any limitations on the use of specific abrasives, the quantity of contaminants, or the degree of allowable embedment shall be included in the procurement documents (project specification) covering the work, because abrasive embedment and abrasives containing contaminants may not be acceptable for some service requirements. NOTE: Additional information on abrasive selection is given in Paragraph A2 of Appendix A.

⁽⁴⁾ SSPC-SP 1 (latest revision), "Solvent Cleaning" (Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽⁵⁾ SSPC-AB 1 (latest revision), "Mineral and Slag Abrasives" (Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽⁶⁾ SSPC-AB 2 (latest revision), "Specification for Cleanliness of Recycled Ferrous Metallic Abrasives" (Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽⁷⁾ SSPC-AB 3 (latest revision), "Newly Manufactured or Re-Manufactured Steel Abrasives" (Pittsburgh, PA: SSPC).

Section 7: Procedures Following Blast Cleaning and Immediately Prior to Coating

7.1 Visible deposits of oil, grease, or other contaminants shall be removed according to SSPC-SP 1 or another method agreed upon by those parties responsible for establishing the requirements and those responsible for performing the work.

7.2 Dust and loose residues shall be removed from prepared surfaces by brushing, blowing off with clean, dry air, vacuum cleaning, or other methods agreed upon by those responsible for establishing the requirements and those responsible for performing the work. NOTE: The presence of toxic metals in the abrasives or paint being removed may place restrictions on the methods of cleaning permitted. The method chosen shall comply with applicable federal, state, and local regulations. Moisture separators, oil separators, traps, or other equipment may be necessary to achieve clean, dry air.

7.3 After blast cleaning, any remaining surface imperfections (e.g., sharp fins, sharp edges, weld spatter, burning slag, scabs, slivers, etc.) shall be removed to the extent required by the procurement documents (project specification). Any damage to the surface profile resulting from the removal of surface imperfections shall be corrected to meet the requirements of Paragraph 2.4. NOTE: Additional information on surface imperfections is contained in Paragraph A5 of Appendix A.

7.4 Any visible rust that forms on the surface of the steel after blast cleaning shall be removed by recleaning the rusted areas to meet the requirements of this standard before coating. NOTE: Information on rust-back (re-rusting) and surface condensation is contained in Paragraphs A6, A7, and A8 of Appendix A.

Section 8: Inspection

8.1 Work and materials supplied under this standard are subject to inspection by a representative of those responsible for establishing the requirements. Materials and work areas shall be accessible to the inspector. The procedures and times of inspection shall be as agreed upon by those responsible for establishing the requirements and those responsible for performing the work.

8.2 Conditions not complying with this standard shall be corrected. In the case of a dispute, an arbitration or

settlement procedure established in the procurement documents (project specification) shall be followed. If no arbitration or settlement procedure is established, then a procedure mutually agreeable to purchaser and supplier shall be used.

8.3 The procurement documents (project specification) should establish the responsibility for inspection and for any required affidavit certifying compliance with the specification.

Section 9: Safety and Environmental Requirements

9.1 Because abrasive blast cleaning is a hazardous operation, all work shall be conducted in compliance with applicable occupational and environmental health and

safety rules and regulations. NOTE: SSPC-PA 3⁽⁸⁾ addresses safety concerns for coating work.

Section 10: Comments

10.1 Additional information and data relative to this standard are contained in Appendix A. Detailed information and data are presented in a separate document, SSPC-SP COM, "Surface Preparation Commentary." The recommendations contained in Appendix A and SSPC-SP COM are believed

to represent good practice, but are not to be considered requirements of the standard. The sections of SSPC-SP COM⁽⁹⁾ that discuss subjects related to near-white blast cleaning are as follows.

⁽⁸⁾ SSPC-PA 3 (latest revision), "Guide to Safety in Paint Application" (Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽⁹⁾ SSPC-SP COM (latest revision), "Surface Preparation Specifications Surface Preparation Commentary" (Pittsburgh, PA: SSPC).

NACE No. 2/SSPC-SP 10

Subject	Commentary Section
Abrasive Selection	6
Film Thickness	10
Wet Abrasive Blast Cleaning	8.2
Maintenance Repainting	4.2
Rust-Back (Re-rusting)	8.3
Surface Profile	6.2
Visual Standards	11
Weld Spatter	4.4.1

Appendix A: Explanatory Notes

A1 FUNCTION: Near-White Metal Blast Cleaning (NACE No. 2/SSPC-SP 10⁽¹⁰⁾) provides a greater degree of cleaning than Commercial Blast Cleaning (NACE No. 3/SSPC-SP 6) but less than White Metal Blast Cleaning (NACE No. 1/SSPC-SP 5). It should be used when a high degree of blast cleaning is required. The primary functions of blast cleaning before coating are (a) to remove material from the surface that can cause early failure of the coating system and (b) to obtain a suitable surface roughness and to enhance the adhesion of the new coating system. The hierarchy of blasting standards is as follows: white metal blast cleaning, near-white metal blast cleaning, commercial blast cleaning, industrial blast cleaning, and brush-off blast cleaning.

A2 ABRASIVE SELECTION: Types of metallic and nonmetallic abrasives are discussed in SSPC-SP COM. It is important to recognize that blasting abrasives may become embedded in, or leave residues on, the surface of the steel during preparation. While normally such embedment or residues are not detrimental, care should be taken to ensure the abrasive is free from detrimental amounts of water-soluble, solvent-soluble, acid-soluble, or other soluble contaminants (particularly if the prepared steel is to be used in an immersion environment). Criteria for selecting and evaluating abrasives are given in SSPC-AB 1, AB 2, and AB 3.

A3 SURFACE PROFILE: Surface profile is the roughness of the surface that results from abrasive blast cleaning. The profile depth (or height) is dependent on the size, shape, type, and hardness of the abrasive, particle velocity and angle of impact, hardness of the surface, amount of recycling, and the proper maintenance of working mixtures of grit and/or shot.

The allowable minimum/maximum height of profile is usually dependent on the thickness of the coating to be applied. Large particle-sized abrasives (particularly metallic) can produce a profile that may be too deep to be adequately covered by a single thin-film coat. Accordingly, it is recommended that the use of larger abrasives be avoided in these cases. However, larger abrasives may be needed for thick-film coatings or to facilitate removal of thick coatings, heavy mill scale, or rust. If control of profile (minimum/maximum) is deemed to be significant to coating performance, it should be addressed in the procurement documents (project specification). Typical maximum profile heights achieved with commercial abrasive media are shown in Table 8 of SSPC-SP COM. Surface profile should be measured in accordance with NACE Standard RP0287,⁽¹¹⁾ "Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast Cleaned Steel Surfaces Using Replica Tape," or ASTM⁽¹²⁾ D 4417,⁽¹³⁾ "Test Method for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel."

A4 VISUAL STANDARDS: SSPC-VIS 1 provides color photographs for the various grades of surface preparation as a function of the initial condition of the steel. The series A-SP 10, B-SP 10, C-SP 10, and D-SP 10 photographs depicts surfaces cleaned to a near-white metal blast grade. Other available visual standards are described in Section 7 of SSPC-SP COM.

A5 SURFACE IMPERFECTIONS: Surface imperfections can cause premature failure when the service is severe. Coatings tend to pull away from sharp edges and projections, leaving little or no coating to protect the underlying steel. Other features that are difficult to properly cover and protect include crevices, weld porosities, laminations, etc. The high cost of the methods to remedy

⁽¹⁰⁾ NACE No. 2/SSPC-SP 10 (latest revision), "Near-White Metal Blast Cleaning" (Houston, TX: NACE, and Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽¹¹⁾ NACE Standard RP0287 (latest revision), "Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast Cleaned Steel Surface Using a Replica Tape" (Houston, TX: NACE).

⁽¹²⁾ ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

⁽¹³⁾ ASTM D 4417 (latest revision), "Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel" (West Conshohocken, PA: ASTM).

surface imperfections requires weighing the benefits of edge rounding, weld spatter removal, etc., against the costs of a potential coating failure.

Poorly adhering contaminants, such as weld slag residues, loose weld spatter, and some minor surface laminations may be removed during the blast cleaning operation. Other surface defects (steel laminations, weld porosities, or deep corrosion pits) may not be evident until the surface preparation has been completed. Therefore, proper planning for such surface repair work is essential because the timing of the repairs may occur before, during, or after the blast cleaning operation. Section 4 of SSPC-SP COM and NACE Standard RP0178,⁽¹⁴⁾ "Fabrication Details, Surface Finish Requirements, and Proper Design Considerations for Tanks and Vessels to Be Lined for Immersion Service," contain additional information on surface imperfections.

A6 CHEMICAL CONTAMINATION: Steel contaminated with soluble salts (e.g., chlorides and sulfates) develops rust-back rapidly at intermediate and high levels of humidity. These soluble salts can be present on the steel surface prior to blast cleaning as a result of atmospheric contamination. In addition, contaminants can be deposited on the steel surface during blast cleaning if the abrasive is contaminated. Therefore, rust-back can be minimized by removing these salts from the steel surface, and eliminating sources of recontamination during and after blast cleaning. Wet methods of removal are described in NACE No. 5/SSPC-SP 12,⁽¹⁵⁾ "Surface Preparation of Steel and Other Hard Materials by High- and Ultrahigh-Pressure Water Jetting Prior to Recoating." Identification of the contaminants along with their concentrations may be obtained from laboratory and field tests as described in SSPC-TU 4,⁽¹⁶⁾ "Technology Update on Field Methods for Retrieval and Analysis of Soluble Salts on Substrates."

A7 RUST-BACK: Rust-back occurs when freshly cleaned steel is exposed to moisture, contamination, or a corrosive atmosphere. The time interval between blast cleaning and rust-back varies greatly from one environment to another. Under mild ambient conditions, if chemical contamination is not present (see Paragraph A6), it is best to blast clean and coat a surface on the same day. Severe conditions may require more expedient coating application to avoid contamination from fallout. Chemical contamination should be removed prior to coating (see Paragraph A6).

A8 DEW POINT: Moisture condenses on any surface that is colder than the dew point of the surrounding air. It is, therefore, recommended that the temperature of the steel surface be at least 3°C (5°F) above the dew point during dry blast cleaning operations. It is advisable to visually inspect for moisture and periodically check the surface temperature and dew point during blast cleaning operations and to avoid the application of coating over a damp surface.

A9 WET ABRASIVE BLAST CLEANING: Steel that is wet abrasive blast cleaned may rust rapidly. Clean water should be used for rinsing. It may be necessary to add inhibitors to the water or apply them to the surface immediately after blast cleaning to temporarily prevent rust formation. The use of inhibitors or the application of coating over slight discoloration should be in accordance with the requirements of the coating manufacturer. **CAUTION:** Some inhibitive treatments may interfere with the performance of certain coating systems.

A10 FILM THICKNESS: It is essential that ample coating be applied after blast cleaning to adequately cover the peaks of the surface profile. The dry-film thickness of the coating above the peaks of the profile should equal the thickness known to be needed for the desired protection. If the dry-film thickness over the peaks is inadequate, premature rust-through or failure will occur. To assure that coating thicknesses are properly measured the procedures in SSPC-PA 2,⁽¹⁷⁾ "Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gauges," should be used.

A11 MAINTENANCE AND REPAIR PAINTING: When this standard is used in maintenance painting, specific instructions should be given on the extent of surface to be blast cleaned or spot blast cleaned to this degree of cleanliness. In these cases, the cleaning shall be performed across the entire specified area. For example, if all weld seams are to be cleaned in a maintenance operation, this degree of cleaning shall be applied 100% to all weld seams. If the entire structure is to be prepared, this degree of cleaning shall be applied to 100% of the entire structure. SSPC-PA 4,⁽¹⁸⁾ "Guide to Maintenance Repainting with Oil Base or Alkyd Painting Systems," provides a description of accepted practices for retaining old sound coating, removing unsound coating, feathering, and spot cleaning.

⁽¹⁴⁾ NACE Standard RP0178 (latest revision), "Fabrication Details, Surface Finish Requirements, and Proper Design Considerations for Tanks and Vessels to Be Lined for Immersion Service" (Houston, TX: NACE).

⁽¹⁵⁾ NACE No. 5/SSPC-SP 12 (latest revision), "Surface Preparation of Steel and Other Hard Materials by High- and Ultrahigh-Pressure Water Jetting Prior to Recoating" (Houston, TX: NACE, and Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽¹⁶⁾ SSPC-TU 4 (latest revision), "Field Methods for Retrieval and Analysis of Soluble Salts on Substrates" (Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽¹⁷⁾ SSPC-PA 2 (latest revision), "Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gages" (Pittsburgh, PA: SSPC).

⁽¹⁸⁾ SSPC-PA 4 (latest revision), "Guide to Maintenance Painting with Oil Base or Alkyd Painting Systems" (Pittsburgh, PA: SSPC).



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.

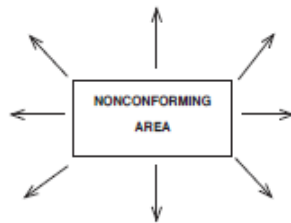


FIGURE 1
RADIATING SPOT MEASUREMENTS TO DETERMINE
EXTENT OF NONCONFORMING AREA

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.

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

or

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

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

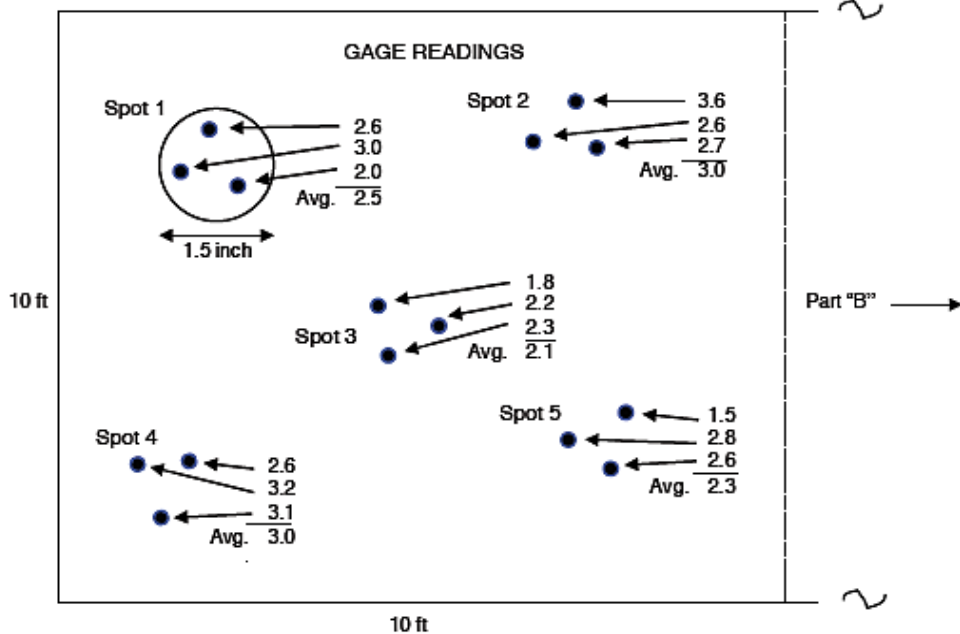
Considering the U.S. Customary Measurements: The average, 2.6 mils, exceeds the specified minimum of 2.5 mils and thus satisfies the specification. Next, determine if the lowest spot measurement, 2.1 mils, is within 80% of the

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.

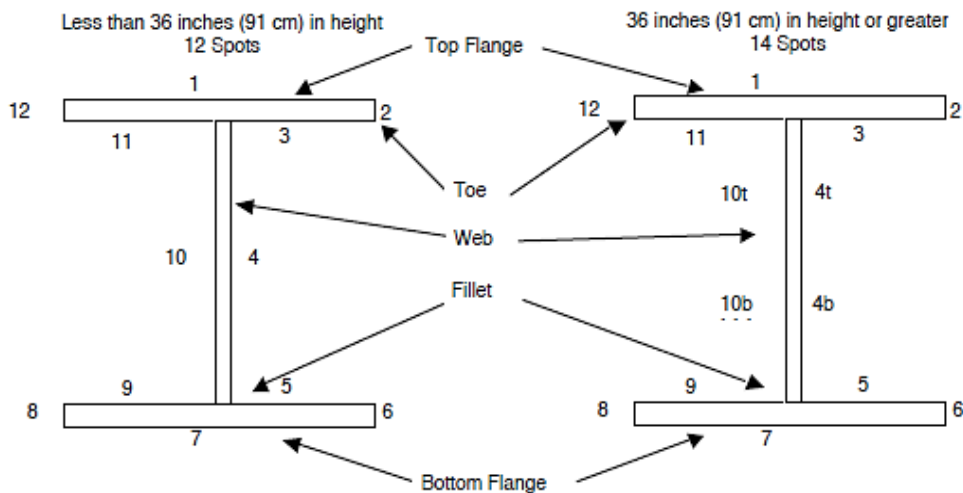
The number of spot measurements in these protocols may far exceed the "5 spot measurement per 100 ft² (10 m²)" required in the standard. The full DFT determination, described in Section A3.2, provides a very thorough inspection of the beam. The sample DFT determination, described in Section

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 ½ inch (12 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 ½ 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 $250\text{-}\mu\text{m}$ (10-mil) shim is between 9.6 mils ($240\text{ }\mu\text{m}$) and 10.4 mils ($260\text{ }\mu\text{m}$), 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 ($100\text{ }\mu\text{m}$) then a shim of approximately 4.0 mil ($100\text{ }\mu\text{m}$) 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 ($100\text{ }\mu\text{m}$) then shims of 10.0 mil ($250\text{ }\mu\text{m}$) and 2.0 mil ($50\text{ }\mu\text{m}$) 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 ($100\text{ }\mu\text{m}$) 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 ($25\text{ }\mu\text{m}$) 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 ($10\text{ }\mu\text{m}$) but for coarse profiles it could be as high as 1.6 mil ($40\text{ }\mu\text{m}$). 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.

ASTM D3359-09



Designation: D3359 – 09^{e2}

Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test¹

This standard is issued under the fixed designation D3359; 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.

^{e1} *NOTE*—Footnote 5 and 5.2 were corrected editorially in June 2010.

^{e2} *NOTE*—Footnote 5 and 5.2 were corrected editorially and moved into Note 4 in 5.3 in July 2010.

1. Scope*

1.1 These test methods cover procedures for assessing the adhesion of coating films to metallic substrates by applying and removing pressure-sensitive tape over cuts made in the film.

NOTE 1—This test method has been reported being used to measure adhesion of organic coatings on soft substrates (for example, wood and plastic). Issues with plastic substrates are noted in [Appendix X1](#). A similar test method, [ISO 2409](#), permits tests on soft substrates (for example, wood and plaster). Precision and bias data on the later is lacking. Test Methods D3359 was developed with metal as the substrate and, in the absence of supporting precision and bias data, is so limited.

1.2 Test Method A is primarily intended for use at job sites while Test Method B is more suitable for use in the laboratory. Also, Test Method B is not considered suitable for films thicker than 5 mils (125 μ m).

NOTE 2—Subject to agreement between the purchaser and the seller, Test Method B can be used for thicker films if wider spaced cuts are employed.

1.3 These test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at a generally adequate level. They do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required.

NOTE 3—It should be recognized that differences in adherability of the coating surface can affect the results obtained with coatings having the same inherent adhesion.

1.4 This test method is similar in content (but not technically equivalent) to [ISO 2409](#).

1.5 In multicoat systems adhesion failure may occur between coats so that the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

1.6 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.7 *This standard does not purport to address 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 Standards:²

- D609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products
- D823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels
- D1000 Test Methods for Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications
- D1730 Practices for Preparation of Aluminum and Aluminum-Alloy Surfaces for Painting
- D2092 Guide for Preparation of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting³
- D2370 Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings
- D3330/D3330M Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape
- D3924 Specification for Environment for Conditioning and Testing Paint, Varnish, Lacquer, and Related Materials
- D4060 Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D01 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and are the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved June 1, 2009. Published June 2009. Originally approved in 1974. Last previous edition approved in 2008 as D3359 – 08. DOI: 10.1520/D3359-09E02.

² 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.

³ Withdrawn. The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Copyright ASTM International
Provided by IHS under license with ASTM
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Sold to NVP PA Rec Plans and Dev Co. 698804
Not for Resale 08/23/2011 11:20:37 EDT

2.2 Other Standard:

ISO 2409 Paint and Varnishes — Cross-cut test⁴

3. Summary of Test Methods

3.1 *Test Method A*—An X-cut is made through the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the cut and then removed, and adhesion is assessed qualitatively on the 0 to 5 scale.

3.2 *Test Method B*—A lattice pattern with either six or eleven cuts in each direction is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the lattice and then removed, and adhesion is evaluated by comparison with descriptions and illustrations.

4. Significance and Use

4.1 If a coating is to fulfill its function of protecting or decorating a substrate, it must adhere to it for the expected service life. Because the substrate and its surface preparation (or lack of it) have a drastic effect on the adhesion of coatings, a method to evaluate adhesion of a coating to different substrates or surface treatments, or of different coatings to the same substrate and treatment, is of considerable usefulness in the industry.

4.2 The limitations of all adhesion methods and the specific limitation of this test method to lower levels of adhesion (see 1.3) should be recognized before using it. The intra- and inter-laboratory precision of this test method is similar to other widely-accepted tests for coated substrates (for example, Test Method D2370 and Test Method D4060), but this is partly the result of it being insensitive to all but large differences in adhesion. The limited scale of 0 to 5 was selected deliberately to avoid a false impression of being sensitive.

TEST METHOD A—X-CUT TAPE TEST

5. Apparatus and Materials

5.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting devices. It is of particular importance that the cutting edges be in good condition.

5.2 *Cutting Guide*—Steel or other hard metal straightedge to ensure straight cuts.

5.3 *Tape*—25-mm (1.0-in.) wide semitransparent pressure-sensitive tape with an adhesion strength agreed upon by the supplier and the user is needed. Because of the variability in adhesion strength from batch-to-batch and with time, it is essential that tape from the same batch be used when tests are to be run in different laboratories. If this is not possible the test method should be used only for ranking a series of test coatings.

NOTE 4—Permacel P99 tape, previously identified as suitable for this purpose, was withdrawn from manufacture in July 2009. Current supplies of Permacel 99 on the market at this time have a shelf life that runs out in July 2010. Subcommittee D01.23 is assessing alternative tapes and a new interlaboratory study is planned to take place in 2010. Alternative tapes with specifications similar to that of Permacel P99 tape are available. Users of alternative tapes should check whether the alternative tapes give

comparable results to the Permacel P99 tape. If more information is required about the tapes being evaluated in the D01.23 interlaboratory study, please contact the Committee D01 staff manager.

5.4 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

5.5 *Illumination*—A light source is helpful in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

6. Test Specimens

6.1 When this test method is used in the field, the specimen is the coated structure or article on which the adhesion is to be evaluated.

6.2 For laboratory use apply the materials to be tested to panels of the composition and surface conditions on which it is desired to determine the adhesion.

NOTE 5—Applicable test panel description and surface preparation methods are given in Practice D609 and Practices D1730 and D2092.

NOTE 6—Coatings should be applied in accordance with Practice D823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 7—If desired or specified, the coated test panels may be subjected to a preliminary exposure such as water immersion, salt spray, or high humidity before conducting the tape test. The conditions and time of exposure will be governed by ultimate coating use or shall be agreed upon between the purchaser and seller.

7. Procedure

7.1 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections. For tests in the field, ensure that the surface is clean and dry. Extremes in temperature or relative humidity may affect the adhesion of the tape or the coating.

7.1.1 For specimens which have been immersed: After immersion, clean and wipe the surface with an appropriate solvent which will not harm the integrity of the coating. Then dry or prepare the surface, or both, as agreed upon between the purchaser and the seller.

7.2 Make two cuts in the film each about 40 mm (1.5 in.) long that intersect near their middle with a smaller angle of between 30 and 45°. When making the incisions, use the straightedge and cut through the coating to the substrate in one steady motion.

7.3 Inspect the incisions for reflection of light from the metal substrate to establish that the coating film has been penetrated. If the substrate has not been reached make another X in a different location. Do not attempt to deepen a previous cut as this may affect adhesion along the incision.

7.4 At each day of testing, before initiation of testing, remove two complete laps of the pressure-sensitive tape from the roll and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 75 mm (3 in.) long.

7.5 Place the center of the tape at the intersection of the cuts with the tape running in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place by finger in the area of the incisions and then rub firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the transparent tape is a useful indication of when good contact has been made.

7.6 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and pulling it off rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

7.7 Inspect the X-cut area for removal of coating from the substrate or previous coating and rate the adhesion in accordance with the following scale:

- 5A No peeling or removal.
- 4A Trace peeling or removal along incisions or at their intersection.
- 3A Jagged removal along incisions up to 1.6 mm (1/16 in.) on either side.
- 2A Jagged removal along most of incisions up to 3.2 mm (1/8 in.) on either side.
- 1A Removal from most of the area of the X under the tape, and
- 0A Removal beyond the area of the X.

7.8 Repeat the test in two other locations on each test panel. For large structures make sufficient tests to ensure that the adhesion evaluation is representative of the whole surface.

7.9 After making several cuts examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone before using again. Discard cutting tools that develop nicks or other defects that tear the film.

8. Report

8.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

8.2 For field tests report the structure or article tested, the location and the environmental conditions at the time of testing.

8.3 For test panels report the substrate employed, the type of coating, the method of cure, and the environmental conditions at the time of testing.

8.4 If the adhesion strength of the tape has been determined in accordance with Test Methods D1000 or D3330/D3330M, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

8.5 If the test is performed after immersion, report immersion conditions and method of sample preparation.

9. Precision and Bias⁵

9.1 In an interlaboratory study of this test method in which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.33 and the between-laboratories 0.44. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

9.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 1 rating unit for two measurements.

9.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than 1.5 rating units.

9.2 Bias cannot be established for these test methods.

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D01-1008.

TEST METHOD B—CROSS-CUT TAPE TEST

10. Apparatus and Materials

10.1 *Cutting Tool*⁶—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting device having a cutting edge angle between 15 and 30° that will make either a single cut or several cuts at once. It is of particular importance that the cutting edge or edges be in good condition.

10.2 *Cutting Guide*—If cuts are made manually (as opposed to a mechanical apparatus) a steel or other hard metal straight-edge or template to ensure straight cuts.

10.3 *Rule*—Tempered steel rule graduated in 0.5 mm for measuring individual cuts.

10.4 *Tape*, as described in 5.3.

10.5 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

10.6 *Illumination*, as described in 5.5.

10.7 *Magnifying Glass*—An illuminated magnifier to be used while making individual cuts and examining the test area.

11. Test Specimens

11.1 Test specimens shall be as described in Section 6. It should be noted, however, that multitip cutters⁷ provide good results only on test areas sufficiently plane that all cutting edges contact the substrate to the same degree. Check for flatness with a straight edge such as that of the tempered steel rule (10.3).

12. Procedure

12.1 Where required or when agreed upon, subject the specimens to a preliminary test before conducting the tape test (see Note 5). After drying or testing the coating, conduct the tape test at room temperature as defined in Specification D3924, unless D3924 standard temperature is required or agreed.

12.1.1 For specimens which have been immersed: After immersion, clean and wipe the surface with an appropriate solvent which will not harm the integrity of the coating. Then dry or prepare the surface, or both, as agreed upon between the purchaser and the seller.

12.2 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections, place on a firm base, and under the illuminated magnifier, make parallel cuts as follows:

12.2.1 For coatings having a dry film thickness up to and including 2.0 mils (50 µm) space the cuts 1 mm apart and make eleven cuts unless otherwise agreed upon.

⁶ Multiblade cutters are available from a few sources that specialize in testing equipment for the paint industry.

⁷ The sole source of supply of the multitip cutter for coated pipe surfaces known to the committee at this time is Paul N. Gardner Co., 316 NE First St., Pompano Beach, FL 33060. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.

12.2.2 For coatings having a dry film thickness between 2.0 mils (50 μm) and 5 mils (125 μm), space the cuts 2 mm apart and make six cuts. For films thicker than 5 mils (125 μm), use Test Method A.⁸

12.2.3 Make all cuts about 20 mm (¾ in.) long. Cut through the film to the substrate in one steady motion using just sufficient pressure on the cutting tool to have the cutting edge reach the substrate. When making successive single cuts with the aid of a guide, place the guide on the uncut area.

12.3 After making the required cuts brush the film lightly with a soft brush or tissue to remove any detached flakes or ribbons of coatings.

12.4 Examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone. Make the additional number of cuts at 90° to and centered on the original cuts.

12.5 Brush the area as before and inspect the incisions for reflection of light from the substrate. If the metal has not been reached make another grid in a different location.

12.6 At each day of testing, before initiation of testing, remove two complete laps of tape and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 75 mm (3 in.) long.

12.7 Place the center of the tape over the grid and in the area of the grid smooth into place by a finger. To ensure good contact with the film rub the tape firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the tape is a useful indication of when good contact has been made.

12.8 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

12.9 Inspect the grid area for removal of coating from the substrate or from a previous coating using the illuminated magnifier. Rate the adhesion in accordance with the following scale illustrated in Fig. 1:

- 5B The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.
- 4B Small flakes of the coating are detached at intersections; less than 5% of the area is affected.
- 3B Small flakes of the coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15% of the lattice.
- 2B The coating has flaked along the edges and on parts of the squares. The area affected is 15 to 35% of the lattice.
- 1B The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and whole squares have detached. The area affected is 35 to 65% of the lattice.
- 0B Flaking and detachment worse than Grade 1.

12.10 Repeat the test in two other locations on each test panel.

13. Report

13.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred, that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

⁸ Test Method B has been used successfully by some people on coatings greater than 5 mils (0.13 mm) by spacing the cuts 5 mm apart. However, the precision values given in 14.1 do not apply as they are based on coatings less than 5 mils (0.13 mm) in thickness.

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

FIG. 1 Classification of Adhesion Test Results

13.2 Report the substrate employed, the type of coating and the method of cure.

13.3 If the adhesion strength has been determined in accordance with Test Methods D1000 or D3330/D3330M, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

13.4 If the test is performed after immersion, report immersion conditions and method of sample preparation.

14. Precision and Bias⁵

14.1 On the basis of two interlaboratory tests of this test method in one of which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion and in the other operators in six laboratories made three measurements on two panels each of four different coatings applied over two other coatings, the pooled standard deviations for within- and between-laboratories were found to be 0.37 and 0.7. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95% confidence level:

14.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be

considered suspect if they differ by more than one rating unit for two measurements.

14.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of duplicates or triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than two rating units.

14.2 Bias cannot be established for these test methods.

15. Keywords

15.1 adhesion; crosscut adhesion test method; tape; tape adhesion test method; X-cut adhesion test method

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. COMMENTARY

X1.1 Introduction

X1.1.1 Given the complexities of the adhesion process, can adhesion be measured? As Mittal (1)⁹ has pointed out, the answer is both yes and no. It is reasonable to state that at the present time no test exists that can precisely assess the actual physical strength of an adhesive bond. But it can also be said that it is possible to obtain an indication of relative adhesion performance.

X1.1.2 Practical adhesion test methods are generally of two types: “*implied*” and “*direct*.” “*Implied*” tests include indentation or scribe techniques, rub testing, and wear testing. Criticism of these tests arises when they are used to quantify the strength of adhesive bonding. But this, in fact, is not their purpose. An “*implied*” test should be used to assess coating performance under actual service conditions. “*Direct*” measurements, on the other hand, are intended expressly to measure adhesion. Meaningful tests of this type are highly sought after, primarily because the results are expressed by a single discrete quantity, the force required to rupture the coating/substrate bond under prescribed conditions. Direct tests include the Hesiometer and the Adherometer (2). Common methods which approach the direct tests are peel, lap-shear, and tensile tests.

X1.2 Test Methods

X1.2.1 In practice, numerous types of tests have been used to attempt to evaluate adhesion by inducing bond rupture by different modes. Criteria deemed essential for a test to warrant large-scale acceptance are: use of a straightforward and unambiguous procedure; relevance to its intended application; repeatability and reproducibility; and quantifiability, including a meaningful rating scale for assessing performance.

X1.2.2 Test methods used for coatings on metals are: peel adhesion or “tape testing;” Gardner impact flexibility testing; and adhesive joint testing including shear (lap joint) and direct tensile (butt joint) testing. These tests do not strictly meet all the criteria listed, but an appealing aspect of these tests is that in most cases the equipment/instrumentation is readily available or can be obtained at reasonable cost.

X1.2.3 A wide diversity of tests methods have been developed over the years that measure aspects of adhesion (1-5).

There generally is difficulty, however, in relating these tests to basic adhesion phenomena.

X1.3 The Tape Test

X1.3.1 By far the most prevalent test for evaluating coating “adhesion” is the tape-and-peel test, which has been used since the 1930’s. In its simplest version a piece of adhesive tape is pressed against the paint film and the resistance to and degree of film removal observed when the tape is pulled off. Since an intact film with appreciable adhesion is frequently not removed at all, the severity of the test is usually enhanced by cutting into the film a figure X or a cross hatched pattern, before applying and removing the tape. Adhesion is then rated by comparing film removed against an established rating scale. If an intact film is peeled cleanly by the tape, or if it debonds just by cutting into it without applying tape, then the adhesion is rated simply as poor or very poor, a more precise evaluation of such films not being within the capability of this test.

X1.3.2 The current widely-used version was first published in 1974; two test methods are covered in this standard. Both test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at an adequate level; however they do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required. Major limitations of the tape test are its low sensitivity, applicability only to coatings of relatively low bond strengths, and non-determination of adhesion to the substrate where failure occurs within a single coat, as when testing primers alone, or within or between coats in multicoat systems. For multicoat systems where adhesion failure may occur between or within coats, the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

X1.3.3 Repeatability within one rating unit is generally observed for coatings on metals for both methods, with reproducibility of one to two units. The tape test enjoys widespread popularity and is viewed as “simple” as well as low in cost. Applied to metals, it is economical to perform, lends itself to job site application, and most importantly, after decades of use, people feel comfortable with it.

X1.3.4 When a flexible adhesive tape is applied to a coated rigid substrate surface and then removed, the removal process has been described in terms of the “peel phenomenon,” as illustrated in Fig. X1.1.

X1.3.5 Peeling begins at the “toothed” leading edge (at the right) and proceeds along the coating adhesive/interface or the

⁹ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

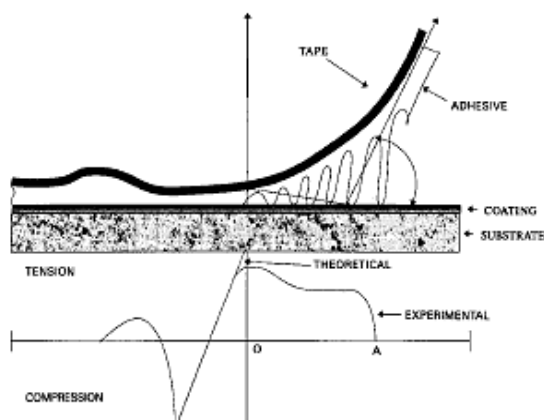


FIG. X1.1 Peel Profile (6)

coating/substrate interface, depending on the relative bond strengths. It is assumed that coating removal occurs when the tensile force generated along the latter interface, which is a function of the rheological properties of the backing and adhesive layer materials, is greater than the bond strength at the coating-substrate interface (or cohesive strength of the coating). In actuality, however, this force is distributed over a discrete distance (O-A) in Fig. X1.1, which relates directly to the properties described, not concentrated at a point (O) in Fig. X1.1 as in the theoretical case—though the tensile force is greatest at the origin for both. A significant compressive force arises from the response of the tape backing material to being stretched. Thus both tensile and compressive forces are involved in adhesion tape testing.

X1.3.6 Close scrutiny of the tape test with respect to the nature of the tape employed and certain aspects of the procedure itself reveal several factors, each or any combination of which can dramatically affect the results of the test as discussed (6).

X1.4 Peel Adhesion Testing on Plastic Substrates

X1.4.1 Tape tests have been criticized when used for substrates other than metal, such as plastics. The central issues are that the test on plastics lacks reproducibility and does not relate to the intended application. Both concerns are well founded: poor precision is a direct result of several factors intrinsic to the materials employed and the procedure itself. More importantly, in this instance the test is being applied beyond its intended scope. These test methods were designed for relatively ductile coatings applied to metal substrates, not for coatings (often brittle) applied to plastic parts (7). The unique functional requirements of coatings on plastic substrates cause the usual tape tests to be unsatisfactory for measuring adhesion performance in practice.

X1.5 The Tape Controversy

X1.5.1 With the withdrawal from commerce of the tape specified originally, 3M No. 710, current test methods no longer identify a specific tape. Differences in tapes used can

lead to different results as small changes in backing stiffness and adhesive rheology cause large changes in the tension area. Some commercial tapes are manufactured to meet minimum standards. A given lot may surpass these standards and thus be suitable for general market distribution; however, such a lot may be a source of serious and unexpected error in assessing adhesion. One commercially available tape test kit had included a tape with adhesion strength variations of up to 50 % claimed by the manufacturer. Also, because tapes change on storage, bond strengths of the tape may change over time (7, 8).

X1.5.2 While there are tapes available that appear to deliver consistent performance, a given tape does not adhere equally well to all coatings. For example, when the peel removal force of the tape (from the coating) used earlier by Task Group D01.23.10 to establish precision of the method, by 3M No. 710 was examined with seven different electromagnetic interference/radio frequency interference (EMI/RFI) coatings, it was found that, while peel was indeed consistent for a given coating, the value varied by 25 % between the highest and lowest ratings among coatings. Several factors that contribute to these differences include coating composition and topology: as a result, no single tape is likely to be suitable for testing all coatings. Further, the tape test does not give an absolute value for the force required for bond rupture, but serves only as an indicator that some minimum value for bond strength was met or exceeded (7, 8).

X1.6 Procedural Problems

X1.6.1 The tape test is operator intensive. By design it was made as simple as possible to perform, and requires a minimum of specialized equipment and materials that must meet certain specifications. The accuracy and precision depend largely upon the skill of the operator and the operator's ability to perform the test in a consistent manner. Key steps that directly reflect the importance of operator skill include the angle and rate of tape removal and the visual assessment of the tested sample. It is not unexpected that different operators might obtain different results (7, 8).

X1.6.2 Peel Angle and Rate:

The standard requires that the free end of the tape be removed rapidly at as close to a 180° angle as possible. If the peel angle and rate vary, the force required to remove the tape can change dramatically. Nearly linear increases were observed in peel force approaching 100 % as peel angle was changed from 135 to 180, and similar large differences can be expected in peel force as peel rate varies. These effects are related as they reflect certain rheological properties of the backing and adhesive that are molecular in origin. Variation in pull rate and peel angle can effect large differences in test values and must be minimized to assure reproducibility (9).

X1.6.3 Visual Assessment:

The final step in the test is visual assessment of the coating removed from the specimen, which is subjective in nature, so that the coatings can vary among individuals evaluating the same specimen (9).

X1.6.3.1 Performance in the tape test is based on the amount of coating removed compared to a descriptive scale. The exposure of the substrate can be due to factors other than coating adhesion, including that arising from the requirement

that the coating be cut (hence the synonym “cross-hatch adhesion test”). Justification for the cutting step is reasonable as cutting provides a free edge from which peeling can begin without having to overcome the cohesive strength of the coating layer.

X1.6.3.2 Cutting might be suitable for coatings applied to metal substrates, but for coatings applied to plastics or wood, the process can lead to a misleading indication of poor adhesion due to the unique interfacial zone. For coatings on soft substrates, issues include how deep should this cut penetrate, and is it possible to cut only to the interface?

X1.6.3.3 In general, if adhesion test panels are examined microscopically, it is often clearly evident that the coating removal results from substrate failure at or below the interface, and not from the adhesive failure between the coating and the substrate. Cohesive failure within the coating film is also frequently observed. However, with the tape test, failures within the substrate or coating layers are rare because the tape adhesive is not usually strong enough to exceed the cohesive strengths of normal substrates and organic coatings. Although some rather brittle coatings may exhibit cohesive failure, the tape test adhesion method does not make provision for giving failure locality (7, 8).

X1.6.4 Use of the test method in the field can lead to variation in test results due to temperature and humidity changes and their effect upon tape, coating and substrate.

X1.6.5 Test Method B has been used successfully, without affecting adhesion test results, by some coil coating users on coatings up to and including 2.0 mils (50 µm) by spacing the cuts 2 mm apart. While this may be an agreement between purchaser and seller, the precision values given in 14.1 do not apply, as they are based on cuts 1 mm apart.

X1.6.6 Some have found that the use of a suitable mechanical device is helpful in minimizing some of the variables in placing the tape onto the coatings (see 7.5 and 12.7) and removing the tape from the coatings (see 7.6 and 12.8) which maintains consistent pressure on the tape during application and ensures a 180° pull off.¹⁰

X1.7 Conclusion

X1.7.1 All the issues aside, if these test methods are used within the Scope Section and are performed carefully, some insight into the approximate, relative level of adhesion can be gained.

¹⁰ The sole source of supply of a suitable mechanical device for laying down and removal of tape known to the committee at this time is ReliaPull, a registered trademark of Random Logic LLC, manufactured by Random Logic LLC, Cincinnati, OH 45245. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.

REFERENCES

- (1) Mittal, K. L., “Adhesion Measurement: Recent Progress, Unsolved Problems, and Prospects,” *Adhesion Measurement of Thin Films, Thick Films, and Bulk Coatings, ASTM STP 640*, ASTM, 1978, pp. 7–8.
- (2) Corcoran, E. M., “Adhesion,” Chapter 5.3, *Paint Testing Manual*, 13th ed., *ASTM STP 500*, ASTM, 1972, pp. 314–332.
- (3) Gardner, H. A., and Sward, G. G., *Paint Testing Manual*, 12th ed., Chapter 7, Gardner Laboratory, Bethesda, MD, 1962, pp. 159–170.
- (4) Mittal, K. L., *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol 1, No. 3, 1987, pp. 247–259.
- (5) Stoffer, J. O., and Gadodia, S. K., *American Paint and Coatings Journal*, Vol 70, Nos. 50 and 51, 1991, pp. 36–40 and 36–51, respectively.
- (6) Souheng, Wu, *Polymer Interface and Adhesion*, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1982, p. 531.
- (7) Nelson, G. L., Gray, K. N., and Buckley, S. E., *Modern Paint and Coatings*, Vol 75, No. 10, 1985, pp. 160–172.
- (8) Nelson, G. L., and Gray, K. N., “Coating Adhesion to Plastics,” *Proceedings, Waterborne and Higher Solids Coatings Symposium*, Vol 13, New Orleans, LA, February 5–7, 1986, pp. 114–131.
- (9) K. L. Mittal, ed., “Symposium on Adhesion Aspects of Polymeric Coatings,” *Proceedings*, The Electrochemical Society, 1981, pp. 569–582.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D3359 - 08) that may impact the use of this standard. (Approved June 1, 2009.)

- | | |
|--------------------------------------|--|
| (1) X1.6.6 was added to Appendix X1. | (2) Footnote 11 was added to identify a source of equipment. |
|--------------------------------------|--|

Committee D01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D3359 - 07) that may impact the use of this standard. (Approved February 1, 2008.)

- (1) X1.6.5 was added to Appendix X1.



ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).

ASTM D4541-09



Designation: D4541 – 09^{e1}

www.polymer.ir

Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers¹

This standard is issued under the fixed designation D4541; 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 approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

¹ NOTE—Practice D3980 was deleted from Section 2 in August 2010.

1. Scope*

1.1 This test method covers a procedure for evaluating the pull-off strength (commonly referred to as adhesion) of a coating system from metal substrates. Pull-off strength of coatings from concrete is described in Test Method D7234. The test determines either the greatest perpendicular force (in tension) that a surface area can bear before a plug of material is detached, or whether the surface remains intact at a prescribed force (pass/fail). Failure will occur along the weakest plane within the system comprised of the test fixture, adhesive, coating system, and substrate, and will be exposed by the fracture surface. This test method maximizes tensile stress as compared to the shear stress applied by other methods, such as scratch or knife adhesion, and results may not be comparable.

NOTE 1—The procedure in this standard was developed for metal substrates, but may be appropriate for other rigid substrates such as plastic and wood. Factors such as loading rate and flexibility of the substrate must be addressed by the user/specifier.

1.2 Pull-off strength measurements depend upon both material and instrumental parameters. Results obtained by each test method may give different results. Results should only be assessed for each test method and not be compared with other instruments. There are five instrument types, identified as Test Methods B-F. It is imperative to identify the test method used when reporting results.

NOTE 2—Method A, which appeared in previous versions of this standard, has been eliminated as its main use is for testing on concrete substrates (see Test Method D7234).

1.3 This test method uses a class of apparatus known as portable pull-off adhesion testers.² They are capable of applying a concentric load and counter load to a single surface so that coatings can be tested even though only one side is accessible. Measurements are limited by the strength of adhe-

sion bonds between the loading fixture and the specimen surface or the cohesive strengths of the adhesive, coating layers, and substrate.

1.4 This test can be destructive and spot repairs may be necessary.

1.5 The values stated in MPa (inch-pound) units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *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 Standards:³

D2651 Guide for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding

D3933 Guide for Preparation of Aluminum Surfaces for Structural Adhesives Bonding (Phosphoric Acid Anodizing)

D7234 Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ANSI Standard:

N512 Protective Coatings (Paints) for the Nuclear Industry⁴

2.3 ISO Standard:

ISO 4624 Paints and Varnish—Pull-Off Test for Adhesion⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The general pull-off test is performed by securing a loading fixture (dolly, stud) normal (perpendicular) to the

¹ This test method 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.

Current edition approved Feb. 1, 2009. Published April 2009. Originally approved in 1993. Last previous edition approved in 2002 as D4541 – 02. DOI: 10.1520/D4541-09E01.

² The term adhesion tester may be somewhat of a misnomer, but its adoption by two manufacturers and at least two patents indicates continued usage.

³ 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.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Aug 4 02:26:39 EDT 2015 1

Downloaded/printed by

Petrofac (Petrofac) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

surface of the coating with an adhesive. After the adhesive is cured, a testing apparatus is attached to the loading fixture and aligned to apply tension normal to the test surface. The force applied to the loading fixture is then gradually increased and monitored until either a plug of material is detached, or a specified value is reached. When a plug of material is detached, the exposed surface represents the plane of limiting strength within the system. The nature of the failure is qualified in accordance with the percent of adhesive and cohesive failures, and the actual interfaces and layers involved. The pull-off strength is computed based on the maximum indicated load, the instrument calibration data, and the original surface area stressed. Pull-off strength results obtained using different devices may be different because the results depend on instrumental parameters (see [Appendix X1](#)).

4. Significance and Use

4.1 The pull-off strength of a coating is an important performance property that has been used in specifications. This test method serves as a means for uniformly preparing and testing coated surfaces, and evaluating and reporting the results. This test method is applicable to any portable apparatus meeting the basic requirements for determining the pull-off strength of a coating.

4.2 Variations in results obtained using different devices or different substrates with the same coating are possible (see [Section 10](#)). Therefore, it is recommended that the type of apparatus and the substrate be mutually agreed upon between the interested parties.

4.3 The purchaser or specifier shall designate a specific test method, that is, B, C, D, E, or F when calling out this standard.

5. Apparatus

5.1 *Adhesion Tester*, commercially available, or comparable apparatus specific examples of which are listed in [Annex A1 – Annex A5](#).

5.1.1 *Loading Fixtures*, having a flat surface on one end that can be adhered to the coating and a means of attachment to the tester on the other end.

5.1.2 *Detaching Assembly* (adhesion tester), having a central grip for engaging the fixture.

5.1.3 *Base*, on the detaching assembly, or an annular bearing ring if needed for uniformly pressing against the coating surface around the fixture either directly, or by way of an intermediate bearing ring. A means of aligning the base is needed so that the resultant force is normal to the surface.

5.1.4 Means of moving the grip away from the base in as smooth and continuous a manner as possible so that a torsion free, co-axial (opposing pull of the grip and push of the base along the same axis) force results between them.

5.1.5 *Timer*, or means of limiting the loading rate to 1 MPa/s (150 psi/s) or less for a 20 mm loading fixture so that the test is completed in about 100 s or less. A timer is the minimum equipment when used by the operator along with the force indicator in [5.1.6](#).

5.1.6 *Force Indicator and Calibration Information*, for determining the actual force delivered to the loading fixture.

5.2 *Solvent*, or other means for cleaning the loading fixture surface. Finger prints, moisture, and oxides tend to be the primary contaminants.

5.3 *Fine Sandpaper*, or other means of cleaning the coating that will not alter its integrity by chemical or solvent attack. If any light sanding is anticipated, choose only a very fine grade abrasive (400 grit or finer) that will not introduce flaws or leave a residue.

5.4 *Adhesive*⁵, for securing the fixture to the coating that does not affect the coating properties. Two component epoxies and acrylics have been found to be the most versatile.

5.5 *Magnetic or Mechanical Clamps*, if needed, for holding the fixture in place while the adhesive cures.

5.6 *Cotton Swabs*, or other means for removing excess adhesive and defining the adhered area. Any method for removing excess adhesive that damages the surface, such as scoring (see [6.7](#)), must generally be avoided since induced surface flaws may cause premature failure of the coating.

5.7 *Circular Hole Cutter* (optional), to score through to the substrate around the loading fixture.

6. Test Preparation

6.1 The method for selecting the coating sites to be prepared for testing depends upon the objectives of the test and agreements between the contracting parties. There are, however, a few physical restrictions imposed by the general method and apparatus. The following requirements apply to all sites:

6.1.1 The selected test area must be a flat surface large enough to accommodate the specified number of replicate tests. The surface may have any orientation with reference to gravitational pull. Each test site must be separated by at least the distance needed to accommodate the detaching apparatus. The size of a test site is essentially that of the secured loading fixture. At least three replications are usually required in order to statistically characterize the test area.

6.1.2 The selected test areas must also have enough perpendicular and radial clearance to accommodate the apparatus, be flat enough to permit alignment, and be rigid enough to support the counter force. It should be noted that measurements close to an edge may not be representative of the coating as a whole.

6.2 Since the rigidity of the substrate affects pull-off strength results and is not a controllable test variable in field measurements, some knowledge of the substrate thickness and composition should be reported for subsequent analysis or laboratory comparisons. For example, steel substrate of less than 3.2 mm (1/8 in.) thickness usually reduces pull-off strength results compared to 6.4 mm (1/4-in.) thick steel substrates.

6.3 Subject to the requirements of [6.1](#), select representative test areas and clean the surfaces in a manner that will not affect integrity of the coating or leave a residue. To reduce the risk of glue failures, the surface of the coating can be lightly abraded to promote adhesion of the adhesive to the surface. If the

⁵ Scotch Weld 420, available from 3M, Adhesives, Coatings and Sealers Div., 3M Center, St. Paul, MN 55144, was used in the round robin.

surface is abraded, care must be taken to prevent damage to the coating or significant loss of coating thickness. Solvent clean the area to remove particulates after abrading. Select a solvent that does not compromise the integrity of the coating.

6.4 Clean the loading fixture surface as indicated by the apparatus manufacturer. Failures at the fixture-adhesive interface can often be avoided by treating the fixture surfaces in accordance with an appropriate ASTM standard practice for preparing metal surfaces for adhesive bonding.

Nom 3—Guides D2651 and D3933 are typical of well-proven methods for improving adhesive bond strengths to metal surfaces.

6.5 Prepare the adhesive in accordance with the adhesive manufacturer's recommendations. Apply the adhesive to the fixture or the surface to be tested, or both, using a method recommended by the adhesive manufacturer. Be certain to apply the adhesive across the entire surface. Position fixture on the surface to be tested. Carefully remove the excess adhesive from around the fixture. (**Warning**—Movement, especially twisting, can cause tiny bubbles to coalesce into large holidays that constitute stress discontinuities during testing.)

Nom 4—Adding about 1 percent of #5 glass beads to the adhesive assists in even alignment of the test fixture to the surface.

6.6 Based on the adhesive manufacturer's recommendations and the anticipated environmental conditions, allow enough time for the adhesive to set up and reach the recommended cure. During the adhesive set and early cure stage, a constant contact pressure should be maintained on the fixture. Magnetic or mechanical clamping systems work well, but systems relying on tack, such as masking tape, should be used with care to ensure that they do not relax with time and allow air to intrude between the fixture and the test area.

6.7 Scoring around the fixture violates the fundamental in situ test criterion that an unaltered coating be tested. If scoring around the test surface is employed, extreme care is required to prevent micro-cracking in the coating, since such cracks may cause reduced adhesion values. Scored samples constitute a different test, and this procedure should be clearly reported with the results. Scoring is only recommended for thicker-film coatings, that is, thicknesses greater than 500 μm (20 mils), reinforced coatings and elastomeric coatings. Scoring, if performed, shall be done in a manner that ensures the cut is made normal to the coating surface and in a manner that does not twist or torque the test area and minimizes heat generated and edge damage or microcracks to the coating and the substrate. For thick coatings it is recommended to cool the coating and substrate during the cutting process with water lubrication.

Nom 5—A template made from plywood with a hole of the same size drilled through it has been found to be an effective method to limit sideways movement of the drill bit.

6.8 Note the approximate temperature and relative humidity during the time of test.

7. Test Procedure

7.1 Test Methods:

7.1.1 Test Method A (discontinued).

7.1.2 Test Method B — Fixed Alignment Adhesion Tester Type II:

7.1.2.1 Operate the instrument in accordance with Annex A1.

7.1.3 Test Method C — Self-Alignment Adhesion Tester Type III:

7.1.3.1 Operate the instrument in accordance with Annex A2.

7.1.4 Test Method D — Self-Alignment Adhesion Tester Type IV:

7.1.4.1 Operate the instrument in accordance with Annex A3.

7.1.5 Test Method E — Self-Alignment Adhesion Tester Type V:

7.1.5.1 Operate the instrument in accordance with Annex A4.

7.1.6 Test Method F — Self-Alignment Adhesion Tester Type VI:

7.1.6.1 Operate the instrument in accordance with Annex A5.

7.2 Select an adhesion-tester with a detaching assembly having a force calibration spanning the range of expected values along with its compatible loading fixture. Mid-range measurements are usually the best, but read the manufacturer's operating instructions before proceeding.

7.3 If a bearing ring or comparable device (5.1.3) is to be used, place it concentrically around the loading fixture on the coating surface. If shims are required when a bearing ring is employed, place them between the tester base and bearing ring rather than on the coating surface.

7.4 Carefully connect the central grip of the detaching assembly to the loading fixture without bumping, bending, or otherwise prestressing the sample and connect the detaching assembly to its control mechanism, if necessary. For nonhorizontal surfaces, support the detaching assembly so that its weight does not contribute to the force exerted in the test.

7.5 Align the device according to the manufacturer's instructions and set the force indicator to zero.

Nom 6—Proper alignment is critical, see Appendix X1. If alignment is required, use the procedure recommended by the manufacturer of the adhesion tester and report the procedure used.

7.6 Increase the load to the fixture in as smooth and continuous a manner as possible, at a rate of 1 MPa/s (150 psi/s) or less for a 20 mm loading fixture so that the test is completed in about 100 s or less.

7.7 Record the force attained at failure or the maximum force applied.

7.8 If a plug of material is detached, label and store the fixture for qualification of the failed surface in accordance with 8.3.

7.9 Report any departures from the procedure such as possible misalignment, hesitations in the force application, etc.

8. Calculation or Interpretation of Results

8.1 If instructed by the manufacturer, use the instrument calibration factors to convert the indicated force for each test into the actual force applied.

8.2 Either use the calibration chart supplied by the manufacturer or compute the relative stress applied to each coating sample as follows:

$$X = 4F/\pi d^2 \quad (1)$$

where:

- X = greatest mean pull-off stress applied during a pass/fail test, or the pull-off strength achieved at failure. Both have units of MPa (psi),
- F = actual force applied to the test surface as determined in 8.1, and
- d = equivalent diameter of the original surface area stressed having units of inches (or millimetres). This is usually equal to the diameter of the loading fixture.

8.3 For all tests to failure, estimate the percent of adhesive and cohesive failures in accordance to their respective areas and location within the test system comprised of coating and adhesive layers. A convenient scheme that describes the total test system is outlined in 8.3.1 through 8.3.3. (See ISO 4624.)

NOTE 7—A laboratory tensile testing machine is used in ISO 4624.

8.3.1 Describe the specimen as substrate *A*, upon which successive coating layers *B*, *C*, *D*, etc., have been applied, including the adhesive, *Y*, that secures the fixture, *Z*, to the top coat.

8.3.2 Designate cohesive failures by the layers within which they occur as *A*, *B*, *C*, etc., and the percent of each.

8.3.3 Designate adhesive failures by the interfaces at which they occur as *A/B*, *B/C*, *C/D*, etc., and the percent of each.

8.4 A result that is very different from most of the results may be caused by a mistake in recording or calculating. If either of these is not the cause, then examine the experimental circumstances surrounding this run. If an irregular result can be attributed to an experimental cause, drop this result from the analysis. However, do not discard a result unless there are valid nonstatistical reasons for doing so or unless the result is a statistical outlier. Valid nonstatistical reasons for dropping results include alignment of the apparatus that is not normal to the surface, poor definition of the area stressed due to improper application of the adhesive, poorly defined glue lines and boundaries, holidays in the adhesive caused by voids or inclusions, improperly prepared surfaces, and sliding or twisting the fixture during the initial cure. Scratched or scored samples may contain stress concentrations leading to premature fractures.

8.5 Disregard any test where glue failure represents more than 50 % of the area. If a pass/fail criterium is being used and a glue failure occurs at a pull-off strength greater than the criterium, report the result as “pass with a pull-off strength > [value obtained]...”

8.6 Further information relative to the interpretation of the test results is given in [Appendix X1](#).

9. Report

9.1 Report the following information:

9.1.1 Brief description of the general nature of the test, such as, field or laboratory testing, generic type of coating, etc.

9.1.2 Temperature and relative humidity and any other pertinent environmental conditions during the test period.

9.1.3 Description of the apparatus used, including: apparatus manufacturer and model number, loading fixture type and dimensions, and bearing ring type and dimensions.

9.1.4 Description of the test system, if possible, by the indexing scheme outlined in 8.3 including: product identity and generic type for each coat and any other information supplied, the substrate identity (thickness, type, orientation, etc.), and the adhesive used.

9.1.5 Test results.

9.1.5.1 Date, test location, testing agent.

9.1.5.2 For pass/fail tests, stress applied along with the result, for example, pass or fail and note the plane of any failure (see 8.3 and ANSI N512).

9.1.5.3 For tests to failure, report all values computed in 8.2 along with the nature and location of the failures as specified in 8.3, or, if only the average strength is required, report the average strength along with the statistics.

9.1.5.4 If corrections of the results have been made, or if certain values have been omitted such as the lowest or highest values or others, reasons for the adjustments and criteria used.

9.1.5.5 For any test where scoring was employed, indicate it by placing a footnote superscript beside each data point affected and a footnote to that effect at the bottom of each page on which such data appears. Note any other deviations from the procedure.

10. Precision and Bias^{6,7}

10.1 The precision of this test method is based on an interlaboratory study of Test Method D4541 conducted in 2006. Analysts from seven laboratories tested six different coatings applied to ¼ in. thick hot-rolled carbon steel plates using five different adhesion testers. Every “test result” represents an individual determination. In order to standardize and balance the data, any pull which exceeded the tester’s upper limit with the available accessories at the time of testing was eliminated from the statistical analysis. Any pull in which there was 50 % or more glue failure was also eliminated from the statistical analysis. If four valid pulls were obtained from one operator for a given material, the fourth was eliminated and the first three valid replicate test results (from one operator) for each material were included in the statistical analysis. Practice E691 was followed for the design and analysis of the data; the details are given in Research Report No. D01-1147.

NOTE 8—The pull-off strength of two of the coatings, identified during the round robin as Coating A and Coating F, exceeded the measurement limits of the testers with the accessories available at the time of testing, and were therefore eliminated from the statistical analysis.

10.1.1 *Repeatability*—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the “*r*” value for that material; “*r*” is the interval

⁶ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D01-1094. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.

⁷ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D01-1147. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.

TABLE 1 Adhesion Testing Method B, Pull-Off Strength (psi)

Coating	Average	Repeatability Standard Deviation		Reproducibility Standard Deviation		Repeatability Limit		Reproducibility Limit	
		\bar{x}	sr	sR	r	R	r	R	
B	1195	278	330	777	925				
C	549	109	117	305	326				
D	1212	412	483	1155	1351				
E	1385	192	276	537	774				
Coating Average		Repeatability Limit			Reproducibility Limit				
	\bar{x}	r	% of average	R	% of average				
B	1195	777	69.1	925	77.4				
C	549	305	55.6	326	59.0				
D	1212	1155	95.3	1351	111.5				
E	1385	537	38.8	774	55.9				
Avg.			64.7		76.0				

TABLE 2 Adhesion Testing Method C, Pull-Off Strength (psi)

Coating	Average	Repeatability Standard Deviation		Reproducibility Standard Deviation		Repeatability Limit		Reproducibility Limit	
		\bar{x}	sr	sR	r	R	r	R	
B	1974	261	324	732	907				
C	1221	136	548	382	1535				
D	2110	252	316	706	886				
E	2012	239	359	669	1004				
Coating Average		Repeatability Limit			Reproducibility Limit				
	\bar{x}	r	% of average	R	% of average				
B	1974	732	37.1	907	45.9				
C	1221	382	31.3	1535	125.7				
D	2110	706	33.5	886	42.0				
E	2012	669	33.3	1004	49.9				
Avg.			30.4		70.5				

TABLE 3 Adhesion Testing Method D, Pull-Off Strength (psi)

Coating	Average	Repeatability Standard Deviation		Reproducibility Standard Deviation		Repeatability Limit		Reproducibility Limit	
		\bar{x}	sr	sR	r	SR	r	SR	
B	2458	146	270	408	755				
C	1232	31	116	87	324				
D	2707	155	233	434	651				
E	2354	163	273	456	764				
Coating Average		Repeatability Limit			Reproducibility Limit				
	\bar{x}	r	% of average	R	% of average				
B	2458	408	16.6	755	30.7				
C	1232	87	7.1	324	26.3				
D	2707	434	16.0	651	24.0				
E	2354	456	19.4	764	32.5				
Avg.			14.8		28.4				

representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

10.1.1.1 Repeatability limits are listed in Tables 1-5.

10.1.2 *Reproducibility*—Two test results shall be judged not equivalent if they differ by more than the “R” value for that material; “R” is the interval representing the difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

TABLE 4 Adhesion Testing Method E, Pull-Off Strength (psi)

Coating	Average	Repeatability Standard Deviation		Reproducibility Standard Deviation		Repeatability Limit		Reproducibility Limit	
		\bar{x}	sr	sR	r	SR	r	SR	
B	2210	173	215	483	601				
C	1120	115	155	321	433				
D	2481	361	422	1011	1181				
E	2449	173	198	485	555				
Coating Average		Repeatability Limit			Reproducibility Limit				
	\bar{x}	r	% of average	R	% of average				
B	2210	483	21.9	601	27.2				
C	1120	321	28.7	433	38.7				
D	2481	1011	40.7	1181	47.6				
E	2449	485	19.8	555	22.7				
Avg.			27.8		34.1				

TABLE 5 Adhesion Testing Method F, Pull-Off Strength (psi)

Coating	Average	Repeatability Standard Deviation		Reproducibility Standard Deviation		Repeatability Limit		Reproducibility Limit	
		\bar{x}	sr	sR	r	SR	r	SR	
B	2070	102	125	287	351				
C	1106	60	108	169	304				
D	2368	124	160	347	449				
E	2327	217	237	609	664				
Coating Average		Repeatability Limit			Reproducibility Limit				
	\bar{x}	r	% of average	R	% of average				
B	2070	287	13.9	351	17.0				
C	1106	169	15.3	304	27.5				
D	2368	347	14.7	449	19.0				
E	2327	609	26.2	664	28.5				
Avg.			17.5		23.0				

10.1.2.1 Reproducibility limits are listed in Tables 1-5.

10.1.3 Any judgment in accordance with these two statements would have an approximate 95 % probability of being correct.

10.2 *Bias*—At the time of the study, there was no accepted reference material suitable for determining the bias for this test method, therefore no statement is being made.

10.3 The precision statement was determined through statistical examination of 394 results, produced by analysts from seven laboratories, on four coatings, using five different instruments. Different coatings were used as a means to achieve a range of pull-off strengths covering the operating range of all the instruments.

10.3.1 Results obtained by the same operator using instruments from the same Method should be considered suspect if they differ in percent relative by more than the Intralaboratory values given in Table 6. Triplicate results obtained by different operators using instruments from the same Method should be considered suspect if they differ in percent relative by more than the Interlaboratory values given in Table 6.

11. Keywords

11.1 adhesion; coatings; field; metal substrates; paint; portable; pull-off strength; tensile test

TABLE 6 Precision of Adhesion Pull-Off Measurements (averaged across coating types for each instrument)

Intralaboratory	Maximum Recommended Difference, %	Interlaboratory	Maximum Recommended Difference, %
Method B	64.7	Method B	76.0
Method C	33.8	Method C	65.9
Method D	14.8	Method D	28.4
Method E	27.8	Method E	34.1
Method F	17.5	Method F	23.0

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. FIXED-ALIGNMENT ADHESION TESTER TYPE II (TEST METHOD B)

A1.1 Apparatus:

A1.1.1 This is a fixed-alignment portable tester, as shown in Fig. A1.1.^{8,9}

Note: A1.1—Precision data for Type II instruments shown in Table 6 were obtained using the devices described in Fig. A1.1.

A1.1.2 The tester is comprised of detachable aluminum loading fixtures having a flat conic base that is 20 mm (0.8 in.) in diameter on one end for securing to the coating, and a circular T-bolt head on the other end, a central grip for engaging the loading fixture that is forced away from a tripod base by the interaction of a hand wheel (or nut), and a coaxial bolt connected through a series of Belleville washers, or springs in later models, that acts as both a torsion relief and a spring that displaces a dragging indicator with respect to a scale.

A1.1.3 The force is indicated by measuring the maximum spring displacement when loaded. Care should be taken to see that substrate bending does not influence its final position or the actual force delivered by the spring arrangement.

A1.1.4 The devices are available in four ranges: From 3.5, 7.0, 14, and 28 MPa (0 to 500, 0 to 1000, 0 to 2000, and 0 to 4000 psi).

A1.2 Procedure:

⁸ The sole source of supply of the Elcometer, Model 106, adhesion tester known to the committee at this time is Elcometer Instruments, Ltd., Edge Lane, Droylston, Manchester M35 6UB, United Kingdom, England.

⁹ If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.

A1.2.1 Center the bearing ring on the coating surface concentric with the loading fixture. Turn the hand wheel or nut of the tester counterclockwise, lowering the grip so that it slips under the head of the loading fixture.

A1.2.2 Align or shim the three instrument swivel pads of the tripod base so that the instrument will pull perpendicularly to the surface at the bearing ring. The annular ring can be used on flexible substrates.

A1.2.3 Take up the slack between the various members and slide the dragging (force) indicator located on the tester to zero.

A1.2.4 Firmly hold the instrument with one hand. Do not allow the base to move or slide during the test. With the other hand, turn the hand wheel clockwise using as smooth and constant motion as possible. Do not jerk or exceed a stress rate of 150 psi/s (1 MPa/s) that is attained by allowing in excess of 7 s/7 MPa (7 s/1000 psi), stress. If the 14 or 28 MPa (2000 or 4000 psi) models are used, the hand wheel is replaced with a nut requiring a wrench for tightening. The wrench must be used in a plane parallel to the substrate so that the loading fixture will not be removed by a shearing force or misalignment, thus negating the results. The maximum stress must be reached within about 100 s.

A1.2.5 The pulling force applied to the loading fixture is increased to a maximum or until the system fails at its weakest locus. Upon failure, the scale will rise slightly, while the dragging indicator retains the apparent load. The apparatus scale indicates an approximate stress directly in pounds per square inch, but may be compared to a calibration curve.

A1.2.6 Record the highest value attained by reading along the bottom of the dragging indicator.

A2. SELF-ALIGNING ADHESION TESTER TYPE III (TEST METHOD C)

A2.1 Apparatus:

A2.1.1 This is a self-aligning tester, as shown in Fig. A2.1.^{10,9}

Note: A2.1—Precision data for Type III instruments shown in Table 6 were obtained using the devices described in Fig. A2.1.

A2.1.2 Load is applied through the center of the loading fixture by a hydraulic piston and pin. The diameter of the piston bore is sized so that the area of the bore is equal to the net area of the loading fixture. Therefore, the pressure reacted by the loading fixture is the same as the pressure in the bore and is transmitted directly to a pressure gauge.

A2.1.3 The apparatus is comprised of: a loading fixture, 19 mm (0.75 in.) outside diameter, 3 mm (0.125 in.) inside diameter, hydraulic piston and pin by which load is applied to the loading fixture, hose, pressure gauge, threaded plunger and handle.

A2.1.4 The force is indicated by the maximum hydraulic pressure as displayed on the gauge, since the effective areas of the piston bore and the loading fixture are the same.

A2.1.5 The testers are available in three standard working ranges: 0 to 10 MPa (0 to 1500 psi), 0 to 15 MPa (0 to 2250 psi), 0 to 20 MPa (0 to 3000 psi). Special loading fixtures shaped to test tubular sections are available.

A2.2 Procedure:

A2.2.1 Follow the general procedures described in Sections 6 and 7. Procedures specific to this instrument are described in this section.

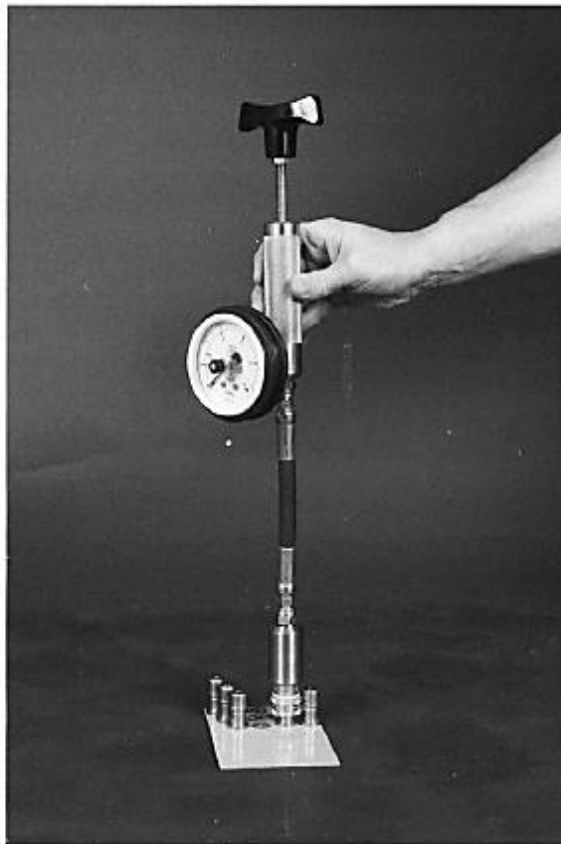
A2.2.2 Insert a decreased TFE-fluorocarbon plug into the loading fixture until the tip protrudes from the surface of the loading fixture. When applying adhesive to the loading fixture, avoid getting adhesive on the plug. Remove plug after holding the loading fixture in place for 10 s.

A2.2.3 Ensure that the black needle of the tester is reading zero. Connect a test loading fixture to the head and increase the pressure by turning the handle clockwise until the pin protrudes from the loading fixture. Decrease pressure to zero and remove the test loading fixture.

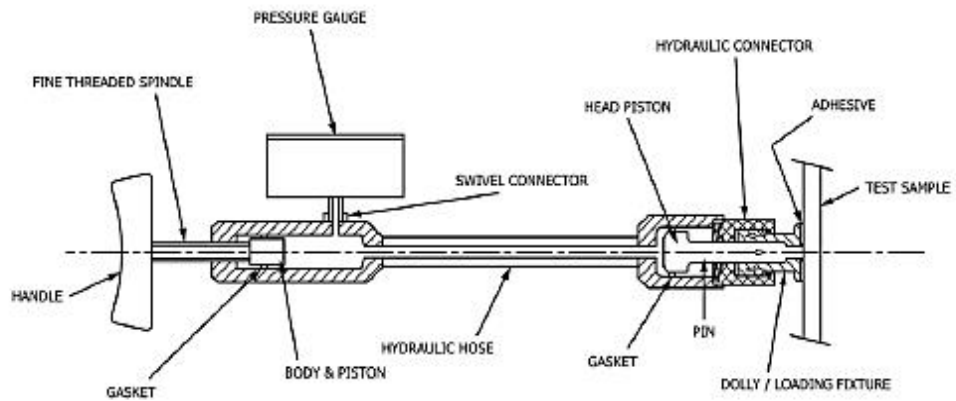
A2.2.4 Connect the head to the loading fixture to be tested, by pulling back the snap-on ring, pushing the head and releasing the snap-on ring. Ensure the tester is held normal to the surface to be tested and that the hose is straight.

A2.2.5 Increase the pressure slowly by turning the handle clockwise until either the maximum stress or failure is reached.

¹⁰ The sole source of supply of the Hate Mark VII adhesion tester known to the committee at this time is Hydraulic Adhesion Test Equipment, Ltd., 629 Inlet Rd., North Palm Beach, FL 33408.



(a)



HYDRAULIC ADHESION TESTER

(b)

FIG. A2.1 Photograph (a) and Schematic (b) of Type III, Self-Alignment Tester

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. STRESS CALCULATION

X1.1 The stress computed in 8.2 is equal to the uniform pull-off strength of the analogous rigid coating system if the applied force is distributed uniformly over the critical locus at the instant of failure. For any given continuous stress distribution where the peak-to-mean stress ratio is known, the uniform pull-off strength may be approximated as:

$$U = XR_o \quad (X1.1)$$

where:

- U = uniform pull-off strength, representing the greatest force that could be applied to the given surface area, psi (MPa),
- X = measured in situ pull-off strength calculated in 8.2, psi (MPa), and
- R_o = peak-to-mean stress ratio for an aligned system.

It is important to note that a difference between these pull-off strengths does not necessarily constitute an error; rather the

in-situ measurement simply reflects the actual character of the applied coating system with respect to the analogous ideal rigid system.

X1.2 An error is introduced if the alignment of the apparatus is not normal to the surface. An approximate correction by the peak-to-mean stress ratio is:

$$R = R_o(1 + 0.14 az/d) \quad (X1.2)$$

where:

- z = distance from the surface to the first gimbal or the point at which the force and counter force are generated by the action of the driving mechanism, in. (mm),
- d = diameter of the loading fixture, in. (mm),
- a = angle of misalignment, degrees (less than 5), and
- R = maximum peak-to-mean stress ratio for the misaligned rigid system.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D4541 - 02) that may impact the use of this standard. (Approved February 1, 2009.)

- | | |
|--|---|
| <p>(1) The scope was modified to describe the types of substrates covered by the test method.</p> <p>(2) Test Method A was discontinued. Test Method F and Annex F were added.</p> | <p>(3) Section 10 — The precision and bias statement was revised based on the results of a new round-robin study.</p> <p>(4) Editorial changes were made throughout the document.</p> |
|--|---|

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

NACE Standard SP0188-2006



NACE Standard RP0188-99
Item No. 21038

Standard Recommended Practice

Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates

This NACE International standard represents a consensus of those individual members who have reviewed this document, its scope, and provisions. Its acceptance does not in any respect preclude anyone, whether he has adopted the standard or not, from manufacturing, marketing, purchasing, or using products, processes, or procedures not in conformance with this standard. Nothing contained in this NACE International standard is to be construed as granting any right, by implication or otherwise, to manufacture, sell, or use in connection with any method, apparatus, or product covered by Letters Patent, or as indemnifying or protecting anyone against liability for infringement of Letters Patent. This standard represents minimum requirements and should in no way be interpreted as a restriction on the use of better procedures or materials. Neither is this standard intended to apply in all cases relating to the subject. Unpredictable circumstances may negate the usefulness of this standard in specific instances. NACE International assumes no responsibility for the interpretation or use of this standard by other parties and accepts responsibility for only those official NACE International interpretations issued by NACE International in accordance with its governing procedures and policies which preclude the issuance of interpretations by individual volunteers.

Users of this NACE International standard are responsible for reviewing appropriate health, safety, environmental, and regulatory documents and for determining their applicability in relation to this standard prior to its use. This NACE International standard may not necessarily address all potential health and safety problems or environmental hazards associated with the use of materials, equipment, and/or operations detailed or referred to within this standard. Users of this NACE International standard are also responsible for establishing appropriate health, safety, and environmental protection practices, in consultation with appropriate regulatory authorities if necessary, to achieve compliance with any existing applicable regulatory requirements prior to the use of this standard.

CAUTIONARY NOTICE: NACE International standards are subject to periodic review, and may be revised or withdrawn at any time without prior notice. NACE International requires that action be taken to reaffirm, revise, or withdraw this standard no later than five years from the date of initial publication. The user is cautioned to obtain the latest edition. Purchasers of NACE International standards may receive current information on all standards and other NACE International publications by contacting the NACE International Membership Services Department, P.O. Box 218340, Houston, Texas 77218-8340 (telephone +1 [281]228-6200).

Revised 1999-01-15
Reaffirmed September 1990
Approved 1988
NACE International
P.O. Box 218340
Houston, Texas 77218
+1 281/228-6200

ISBN 1-57590-074-2
©1999, NACE International

Foreword

A coating is applied to a substrate to prevent corrosion, reduce abrasion, and/or reduce product contamination. The degree of coating continuity required is dictated by service conditions. Discontinuities in a coating are frequently very minute and not readily visible. This standard recommended practice provides a procedure for electrical detection of minute discontinuities in new coating systems that are applied to conductive substrates. The user should refer to NACE Standards RP0274,¹ RP0490,² and/or TM0384³ for procedures specific to electrical inspection of pipeline coatings. This standard describes procedures for determining discontinuities using two types of test equipment: low-voltage wet sponge testers and high-voltage spark testers.

This standard is intended for reference in coating specifications or other documents and may be used by specifiers, applicators, and coating inspectors if a specification requires holiday detection on conductive substrates. For the purposes of this standard, the term "coating" is defined as a nonconductive film in either atmospheric or immersion service.

This standard was originally prepared in 1988 by Task Group T-6A-37, a component of Unit Committee T-6A on Coating and Lining Materials for Immersion Service. It was reaffirmed without revisions in 1990 and technically revised in 1999. This standard is issued by NACE International under the auspices of Group Committee T-6 on Protective Coatings and Linings. It combines the input of representatives of coating manufacturers, applicators, inspection agencies, architectural engineers, equipment manufacturers, and general consumers.

<p>In NACE standards, the terms <i>shall</i>, <i>must</i>, <i>should</i>, and <i>may</i> are used in accordance with the definitions of these terms in the <i>NACE Publications Style Manual</i>, 3rd ed., Paragraph 8.4.1.8. <i>Shall</i> and <i>must</i> are used to state mandatory requirements. <i>Should</i> is used to state that which is considered good and is recommended but is not mandatory. <i>May</i> is used to state that which is considered optional.</p>

**NACE International
Standard
Recommended Practice**

**Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings
on Conductive Substrates**

Contents

1. General.....	1
2. Definitions.....	1
3. Low-Voltage Wet Sponge Testing.....	1
4. High-Voltage Spark Testing.....	3
5. Testing of Repaired Area.....	5
6. Safety.....	5
References.....	5

Section 1: General

1.1 This standard provides procedures for low-voltage wet sponge testing and high-voltage spark testing of new coatings on conductive substrates.

1.2 Electrical testing to determine the presence and number of discontinuities in a coating film is performed on a nonconductive coating applied to a conductive substrate. The allowable number of discontinuities should be determined prior to conducting this test, because the acceptable number of discontinuities varies depending on coating film thickness, design, and service conditions.

1.3 This standard is not intended to provide data on service life, adhesion, or film thickness of an applied coating system. Electrical testing does not detect areas where the coating is thin (even as thin as 25 µm [1.0 mil]).

1.4 This standard is intended for use only with new coatings applied to conductive substrates. Inspecting a coating previously exposed to an immersion condition could result in damage to the coating or could produce an erroneous detection of discontinuities due to permeation or moisture absorption of the coating. Deposits may also be present on the surface, causing telegraphing.

The use of a high-voltage spark tester on previously exposed coatings can result in a spark that damages an otherwise sound coating. A low-voltage wet sponge tester may be used without damaging the coating but can produce erroneous readings.

1.5 To prevent damage to a coating film if a high-voltage spark tester is being used, the total film thickness and dielectric strength of the coating system shall be considered in selecting the appropriate voltage for detection of discontinuities.

1.6 The coating manufacturer shall be consulted to obtain the following information, which can affect the accuracy of the tests described in this standard to determine discontinuities:

(a) The length of time required to adequately dry or cure the applied coating film prior to testing. Solvents retained in an uncured coating film may form an electrically conductive path through the film to the substrate.

(b) Whether the coating contains electrically conductive fillers or pigments that may affect the normal dielectric properties.

Section 2: Definitions

Discontinuity: A void, crack, thin spot, foreign material inclusion, or contamination in the coating film that significantly lowers the electrical resistance of the coating. May also be identified as a holiday or pinhole.

Holiday: A discontinuity in a protective coating that exposes unprotected surface to the environment; a term used interchangeably with discontinuity.

Holiday Detector: A device that locates discontinuities

in a coating film applied to a conductive substrate.

Pinholes: Small, porelike flaws in the coating which, if extended entirely through the film, are discontinuities. A pinhole in a single coat of a multicoat system might not be detected.

Telegraphing: Current that travels through a moisture patch to a discontinuity, causing an erroneous discontinuity test result.

Section 3: Low-Voltage Wet Sponge Testing

3.1 Equipment

3.1.1 A low-voltage wet sponge tester is an electronic device powered by a self-contained battery with voltages ranging from 5 to 90 V DC, depending on the manufacturer's circuit design. It is used to

locate discontinuities in a nonconductive coating applied to a conductive substrate. Operation includes the use of an open-cell sponge electrode saturated with a solution for exploring the coating surface, a ground connection, and an audible and/or visual indicator for signaling a point of coating discontinuity.

3.1.2 The operating voltage of a low-voltage wet sponge tester is a function of the particular electronic circuit design and does not affect the sensitivity of the device.

3.1.3 A number of industry-accepted, low-voltage wet sponge testers are commercially available. The following electronic principles describe two types of devices generally used; others may be available but are not described in this standard.

3.1.3.1 One type of low-voltage wet sponge tester is a lightweight, self-contained, portable device based on the electrical principle of an electromagnetic-sensitive relay or solid-state electronic relay circuit that energizes an audible or visual indicator when a coating discontinuity is detected. Generally, this type of tester can be recalibrated in the field by the user.

3.1.3.2 Another type of low-voltage wet sponge tester is a lightweight, self-contained, portable device based on the principle of an electronic relaxation oscillator circuit that reacts significantly to the abrupt drop in electrical resistance between the high dielectric value of the coating film and the conductive substrate at the point of coating-film discontinuity. This results in a rise in oscillator frequency as well as in the audible signal from the device. Generally, this type of tester cannot be recalibrated in the field by the user.

3.2 Procedures for Use

3.2.1 Sufficient drying or curing of the coating shall be allowed prior to conducting a test. The length of time required for drying or curing shall be obtained from the coating manufacturer. Solvents retained in the coating film could produce erroneous indications.

3.2.2 The film thickness of the coating shall be measured with a nondestructive dry-film thickness gauge. If the coating film exceeds 500 μm (20 mils), the procedures for high-voltage spark testing described in Section 4 shall be used. A low-voltage wet sponge tester shall not be used for determining the existence of discontinuities in coating films having a total thickness greater than 500 μm (20 mils), due to the relative inaccuracy and lack of sensitivity of low-voltage wet sponge testers.

3.2.3 The tester shall be tested for sensitivity in accordance with Paragraph 3.3.

3.2.4 The ground wire from the tester ground output terminal shall be attached to the conductive substrate, and positive electrical contact shall be ensured.

3.2.5 The exploring sponge lead shall be attached to the output terminal.

3.2.6 The sponge shall be saturated with tap water. The sensitivity of the test may be increased by adding a low-sudsing wetting agent (such as that used in photographic film development), combined at a ratio of 30 mL (1 fl oz) wetting agent to 4 L (1 gal) water. The sponge shall be wetted sufficiently to barely avoid dripping while it is moved over the coating.

3.2.7 If a wetting agent is used, it must be completely removed by rinsing the holiday area prior to repair. Additives can leave contaminants on the surface that can interfere with adhesion of topcoats or repair coats and may contaminate stored product.

3.2.8 If a test is conducted between coats of a multicoat system, a wetting agent shall not be used.

3.2.9 Sodium chloride (salt) shall not be added to the water because it can cause erroneous indications of discontinuities. The salt, after drying on the coated surface, can form a continuous path of conductivity. It also interferes with intercoat adhesion of additional coats.

3.2.10 A bare spot on the conductive substrate shall be contacted with the wetted sponge to verify that the tester is properly grounded. This procedure shall be repeated periodically during the test.

3.2.11 The sponge shall be moved over the surface of the coating at a moderate rate of approximately 0.3 m/s (1 ft/s), using a double pass over each area. Sufficient pressure shall be applied to maintain a wet surface. If a discontinuity is detected, the sponge should be turned on end to determine the exact location of the discontinuity.

3.2.12 Discontinuities that require repair shall be identified with a marker that is compatible with the repair coating or one that is easily removable.

3.2.13 To prevent telegraphing, care should be taken to ensure that the solution is wiped dry from a previously detected discontinuity before continuing the test.

3.3 Verifying Sensitivity of Equipment

3.3.1 The tester shall be tested for sensitivity prior to initial use on each project and periodically thereafter during the project, in accordance with the manufacturer's instructions.

3.3.2 The battery shall be tested for proper voltage output according to the manufacturer's instructions.

3.3.3 The ground cable shall be connected to the tester ground output terminal.

3.3.4 The tester shall be switched to the "on" position, if necessary.

3.3.5 The sponge shall be saturated with a wetting solution consisting of tap water and a wetting agent (see Paragraph 3.2.6).

3.3.6 The ground-cable alligator clip shall be touched to the wetted sponge. The tester signal should actuate in accordance with the manufacturer's instructions.

3.3.7 If the tester fails to signal, it shall be considered inoperative.

3.4 Verifying Tester Calibration or Sensitivity

3.4.1 The following procedures shall be used to verify calibrations of testers having an electromagnetic-sensitive relay or solid-state electronic relay:

3.4.1.1 Test the battery for proper voltage output. Refer to the manufacturer's instructions.

3.4.1.2 Switch the tester to "on" or "calibrate," if necessary.

3.4.1.3 Connect an 80,000-ohm resistor with an accuracy tolerance of $\pm 5\%$ across the output terminals. The alarm should actuate.

3.4.1.4 Connect a 100,000-ohm resistor with an accuracy tolerance of $\pm 5\%$ across the output terminals. The alarm should not actuate if properly calibrated.

3.4.1.5 If the tester fails to perform as outlined in Paragraphs 3.4.1.3 and 3.4.1.4, adjust the alarm circuit or return it to the manufacturer.

3.4.2 The following procedures shall be used to verify sensitivity of testers having an electronic relaxation oscillator circuit:

3.4.2.1 Test the battery for proper voltage output. Refer to the manufacturer's instructions.

3.4.2.2 Switch the tester to "on."

3.4.2.3 At different intervals, a 10-megohm, 1-megohm, 100,000-ohm, and 10,000-ohm resistor should be connected across the output terminals.

3.4.2.4 A discernible increase in frequency should be detected as the resistance is decreased.

3.4.2.5 If the tester fails to indicate a frequency change, it shall be considered inoperative.

Section 4: High-Voltage Spark Testing

4.1 High-voltage spark testers are suitable for determining the existence of discontinuities in coating films of all thicknesses. The coating manufacturer should be consulted for proper test equipment and inspection voltage. Suggested starting voltages are provided in Table 1.

CAUTION: Coatings that are applied at thicknesses of less than 500 μm (20 mils) may be susceptible to damage if tested with a high-voltage spark tester.

4.2 A high-voltage spark tester may be used to determine discontinuities in coatings on conductive

concrete substrates. The conductivity of concrete varies depending on moisture content, type, density, and location of rebars. Conductivity shall be tested by attaching a ground wire to the rebar or another metallic ground permanently installed in the concrete and touching the electrode to the bare concrete. If the metallic ground is not visible, the ground wire shall be placed directly against the bare concrete surface and weighted with a damp cloth or wet sand-filled paper bag. If the test indicates that the concrete is not conductive, determining discontinuities with a high-voltage spark tester will be ineffective.

TABLE 1
Suggested Voltages for High-Voltage Spark Testing

Total Dry Film Thickness		Suggested Inspection (V)
(μm)	(mils)	
200 to 280	8 to 11	1,500
300 to 380	12 to 15	2,000
400 to 500	16 to 20	2,500
530 to 1,000	21 to 40	3,000
1,010 to 1,390	41 to 55	4,000
1,420 to 2,000	56 to 80	6,000
2,060 to 3,180	81 to 125	10,000
3,200 to 4,700	126 to 185	15,000

4.3 Equipment

4.3.1 A high-voltage (in excess of 800 V) spark tester is an electronic device used to locate discontinuities in a nonconductive protective coating. It consists of an electrical energy source, an exploring electrode, and a ground connection from the indicator signaling current flow through a coating-film discontinuity to the substrate.

4.3.2 The exploring electrode shall be of the type capable of maintaining continuous contact with the surface being inspected, including bolts, raised areas, etc. It shall be kept clean and free of coating material.

4.3.3 A high-voltage spark tester can be identified as either a pulse-type tester or a direct-current tester. A pulse-type tester discharges a cycling, high-voltage pulse. A direct-current tester discharges continuous voltage.

4.4 Procedures for Use

4.4.1 Sufficient drying or curing of the coating shall be allowed prior to conducting a holiday test. The length of time required for drying or curing shall be obtained from the coating manufacturer. Solvents retained in the coating film could produce erroneous results, as well as an explosive environment.

4.4.2 The thickness of the coating shall be measured with a nondestructive dry-film thickness gauge. If the coating film is less than 500 μm (20 mils), using procedures for low-voltage testing should be considered (see Section 3). Although the high-voltage spark tester is suitable for determining discontinuities in coating films of less than 500 μm (20 mils), it is recommended that the coating manufacturer be consulted before using this test. Certain coatings can be damaged if tested with this equipment.

4.4.3 The high-voltage spark tester shall be calibrated in accordance with Paragraph 4.6.

4.4.4 The high-voltage spark tester shall be adjusted to the proper voltage for the coating thickness being tested. In selecting the inspection voltage, sufficient voltage shall be provided to break the air gap that exists at the holiday. This air gap varies depending on the total applied film thickness. Excessive voltage may produce a holiday in the coating film. The maximum voltage for the applied coating shall be obtained from the coating manufacturer. Table 1 contains suggested voltages that may be used as guides.

4.4.5 The ground wire from the high-voltage spark tester ground output terminal shall be attached to the conductive substrate, and positive electrical contact shall be ensured. When testing concrete surfaces, the ground wire shall be attached to the rebars. If the rebars are not visible, the ground wire shall be placed directly against the bare concrete surface and weighted with a damp cloth or wet sand-filled paper bag.

4.4.6 Contact shall be made with the exploring electrode on the conductive substrate to verify that the tester is properly grounded. This test shall be conducted periodically during the testing of the coating.

4.4.7 The exploring electrode shall be moved over the surface of the dry coating at a rate of approximately 0.3 m/s (1 ft/s) using a single pass. Moisture on the coating surface can cause erroneous indications. If moisture exists, it shall be removed or allowed to dry before the test is conducted.

4.4.8 Discontinuities that require repair shall be identified with a marker that is compatible with the repair coating or one that is easily removable.

4.5 Verifying Operation of Equipment

4.5.1 The following procedures shall be used to verify operation of high-voltage spark testers:

4.5.1.1 Test the energy source (battery) for proper voltage output according to the manufacturer's instructions.

4.5.1.2 Connect the exploring electrode and grounding cable to the terminals of the testers.

4.5.1.3 Switch the tester to the "on" position.

4.5.1.4 Touch the exploring electrode to the ground-cable alligator clip. The tester signal should actuate in accordance with the manufacturer's operating instructions.

4.5.1.5 If the tester fails to signal, it shall be considered inoperative.

4.6 Calibration

4.6.1 Before the initial tests, the tester shall be calibrated to the specified voltage to be used for holiday detection. The tester shall be recalibrated periodically thereafter. The following procedure shall be used:

4.6.1.1 Connect a high-voltage voltmeter between the probe and the ground lead.

4.6.1.2 Switch the tester to the "on" position.

4.6.1.3 Compare the voltage of the voltmeter with the output voltage of the tester. Depending on the type of tester, adjust to the specified voltage ($\pm 5\%$) using either the variable regulator or predetermined selector switch.

4.6.1.4 Switch the tester to the "off" position.

4.6.1.5 Disconnect the voltmeter.

Section 5: Testing of Repaired Area

5.1 Sufficient drying or curing of the repair coating shall be allowed prior to retesting. The length of time required for drying or curing shall be obtained from the coating manufacturer.

5.2 The test shall be conducted following the procedures previously outlined in this standard for the type of tester selected.

5.3 Only those areas that have been repaired shall be retested, unless otherwise specified.

Section 6: Safety

6.1 Precautions shall be taken to prevent electrical shock. This is particularly important if the tester is powered by line voltage. The manufacturer's safety instructions shall be followed to prevent electrical shock.

whether the enclosure is safe for entry, including testing for flammable or explosive gas. Solvents retained in the coating film can produce an explosive environment.

6.2 Prior to conducting high-voltage tests in an enclosure, an inspection shall be conducted to indicate

6.3 If testing is being conducted with a high-voltage spark tester, complete, proper electrical grounding (to earth) of the substrate shall be ensured.

References

1. NACE Standard RP0274 (latest revision), "High-Voltage Electrical Inspection of Pipeline Coatings" (Houston, TX: NACE).
 2. NACE Standard RP0490 (latest revision), "Holiday Detection of Fusion-Bonded Epoxy External Pipeline

Coatings of 250 to 760 μm (10 to 30 mils)" (Houston, TX: NACE).
 3. NACE Standard TM0384 (latest revision), "Holiday Detection of Internal Tubular Coatings of Less than 250 μm (10 mils) Dry Film Thickness" (Houston, TX: NACE).

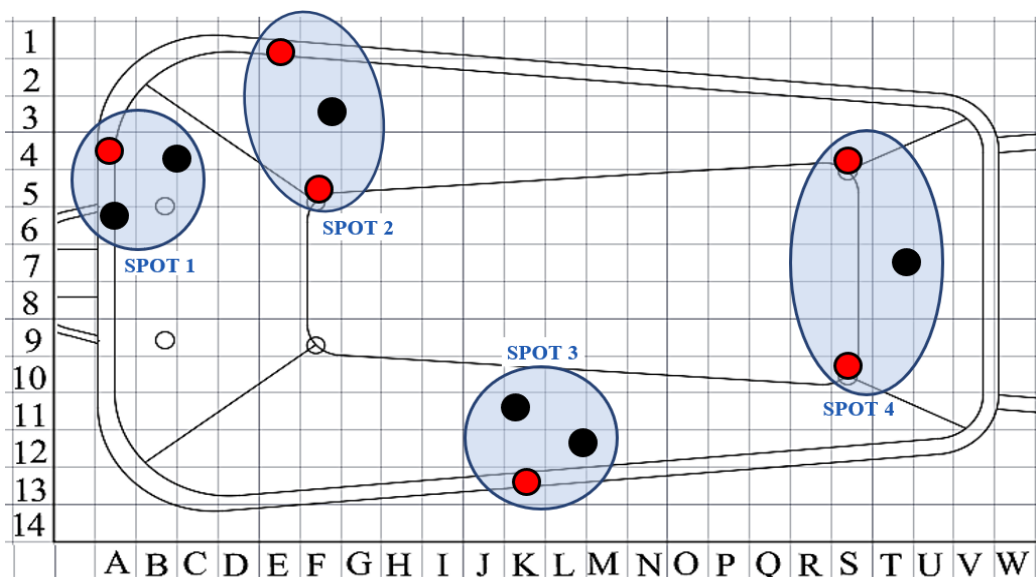
ANEXO D:

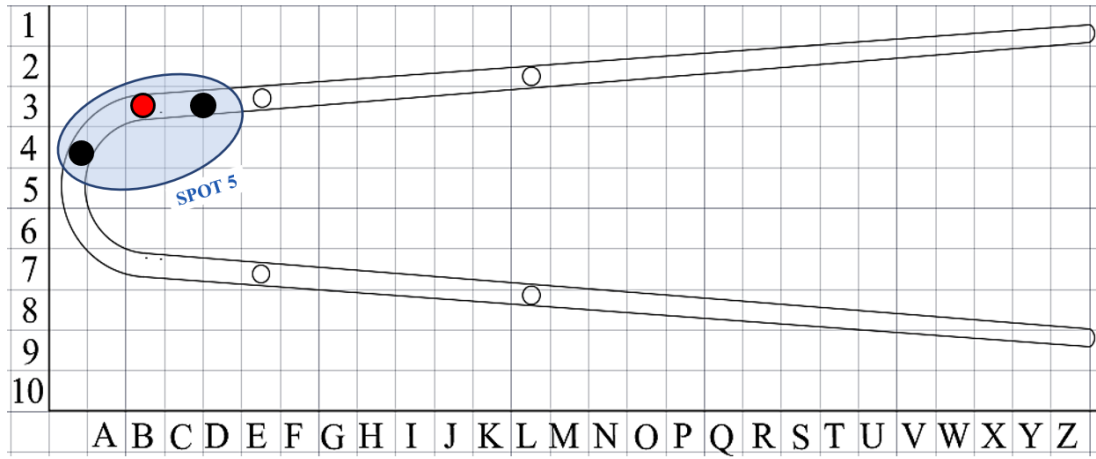
Datos de medición de espesores de recubrimiento y de discontinuidades para las superficies lisa y rugosa

No. PUNTO	V.L. PROCESO DE RECUBRIMIENTO	SPOT	No. MEDICIÓN	ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO (Mils)	CRITERIO ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO (2.5 – 3.5 Mils)	V.D. CALIDAD SUPERFICIAL DISCONTINUIDADES
1	Superficie Lisa	1	1	1.36	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
2	Superficie Lisa		2	2.15	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
3	Superficie Lisa		3	2.89	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
4	Superficie Lisa	2	1	2.42	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
5	Superficie Lisa		2	2.56	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
6	Superficie Lisa		3	3.75	No aprueba Exceso de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
7	Superficie Lisa	3	1	1.05	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
8	Superficie Lisa		2	0.89	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
9	Superficie Lisa		3	1.30	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
10	Superficie Lisa	4	1	2.85	Aprueba	Alerta auditiva de discontinuidad
11	Superficie Lisa		2	1.65	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
12	Superficie Lisa		3	1.20	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
13	Superficie Lisa	5	1	2.92	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
14	Superficie Lisa		2	1.02	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
15	Superficie Lisa		3	0.76	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
16	Superficie Rugosa	1	1	2.54	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
17	Superficie Rugosa		2	3.46	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
18	Superficie Rugosa		3	3.72	No aprueba Exceso de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad

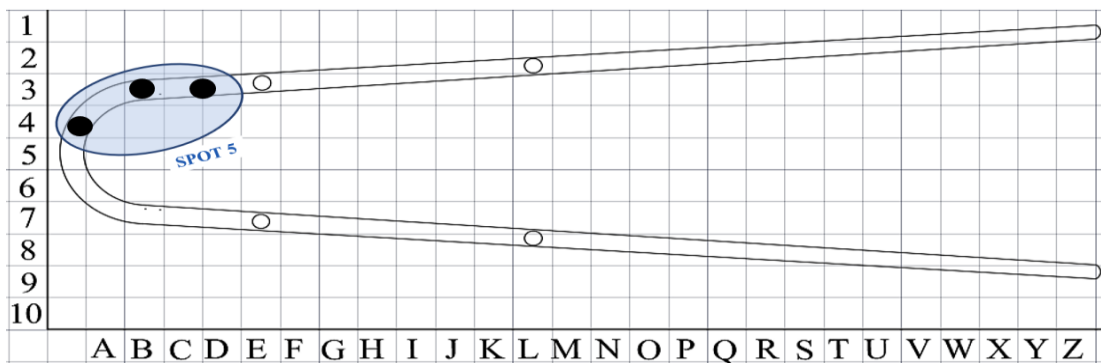
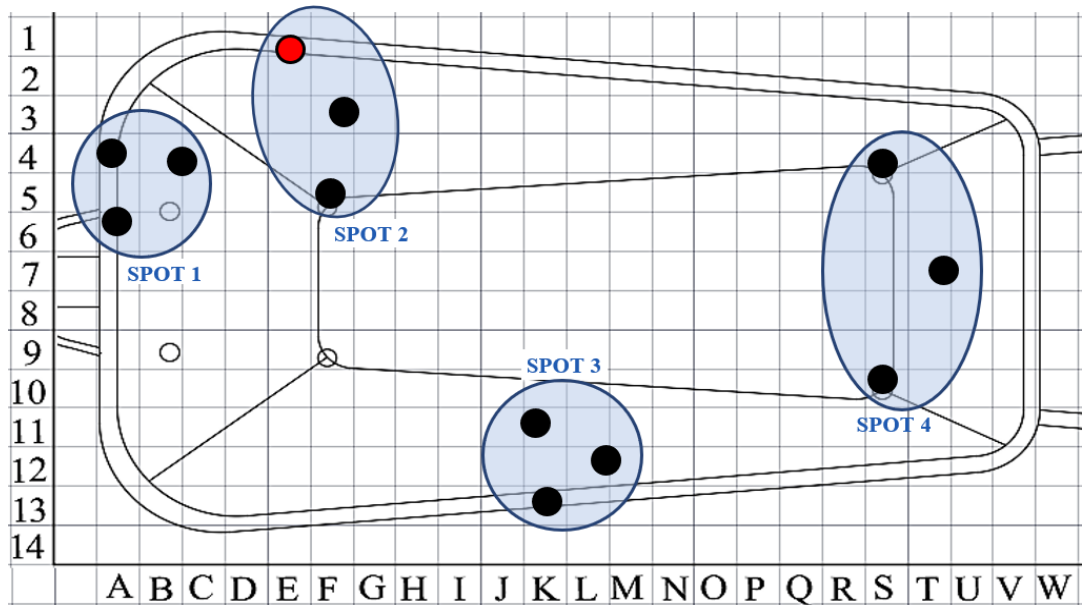
No. PUNTO	V.L. PROCESO DE RECUBRIMIENTO	SPOT	No. MEDICIÓN	ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO (Mils)	CRITERIO ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO (2.5 – 3.5 Mils)	V.D. CALIDAD SUPERFICIAL DISCONTINUIDADES
19	Superficie Rugosa	2	1	2.42	No aprueba Déficit de Recubrimiento	Alerta auditiva de discontinuidad
20	Superficie Rugosa		2	3.20	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
21	Superficie Rugosa		3	3.00	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
22	Superficie Rugosa	3	1	3.05	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
23	Superficie Rugosa		2	2.70	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
24	Superficie Rugosa		3	3.25	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
25	Superficie Rugosa	4	1	2.85	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
26	Superficie Rugosa		2	3.15	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
27	Superficie Rugosa		3	3.65	No aprueba Exceso de Recubrimiento	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
28	Superficie Rugosa	5	1	2.92	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
29	Superficie Rugosa		2	3.10	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad
30	Superficie Rugosa		3	3.35	Aprueba	Sin alerta, ausencia de discontinuidad

Superficie Lisa





Superficie Rugosa



Leyenda: ● Color rojo Alerta auditiva de discontinuidad.

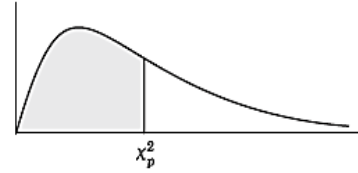
● Color negro Sin alerta auditiva, ausencia de discontinuidad.

ANEXO E:

Datos de la Distribución Chi cuadrado

Apéndice IV

**Valores percentiles (χ^2_p)
correspondientes
a la distribución ji cuadrada
con ν grados de libertad
(área sombreada = p)**



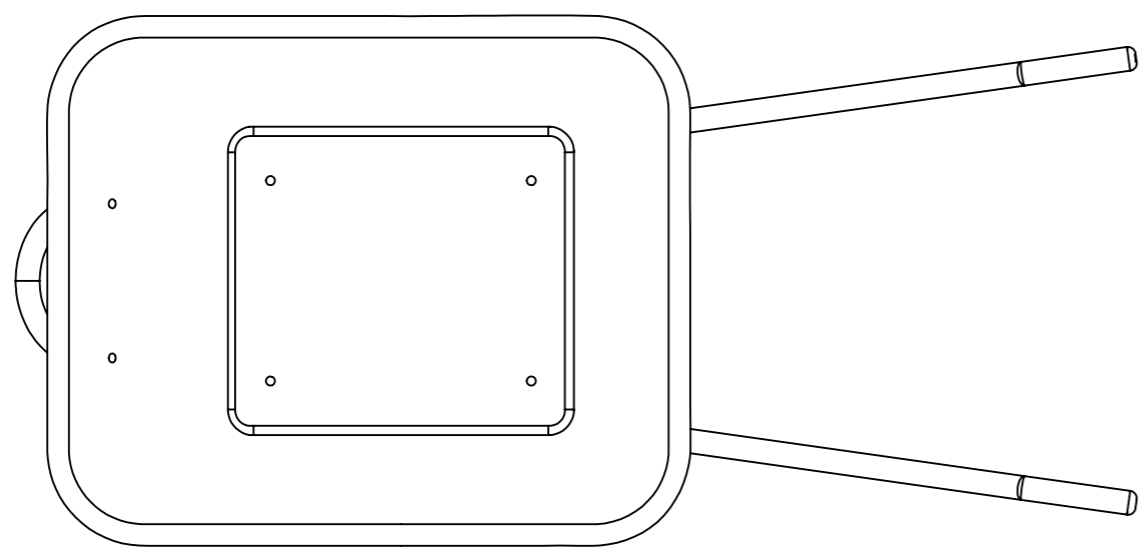
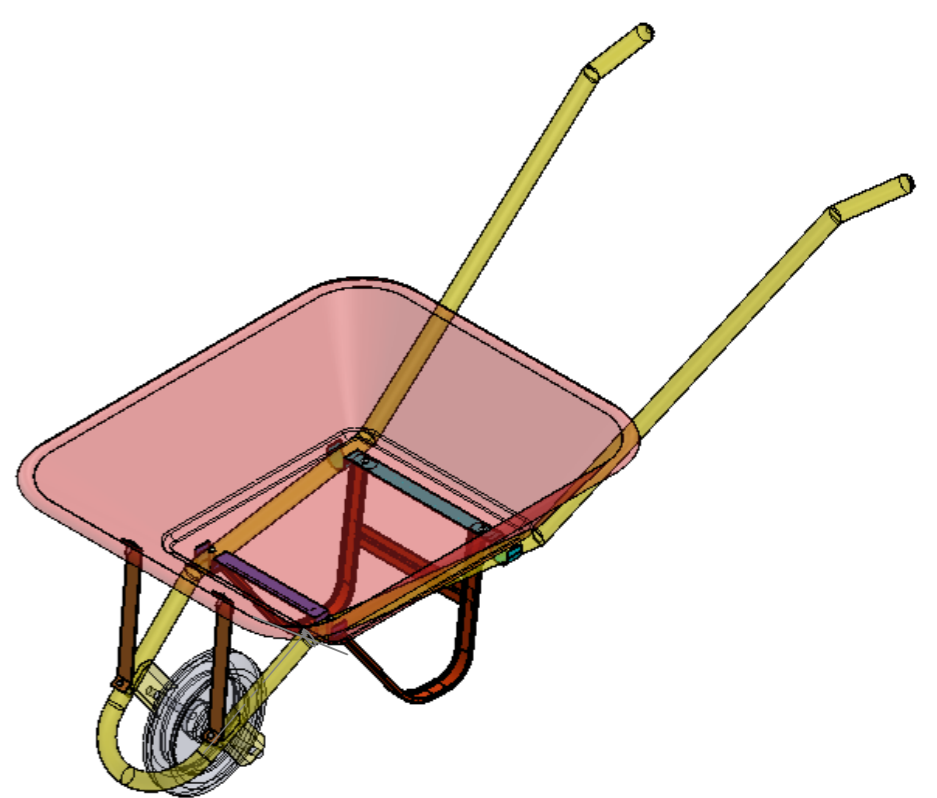
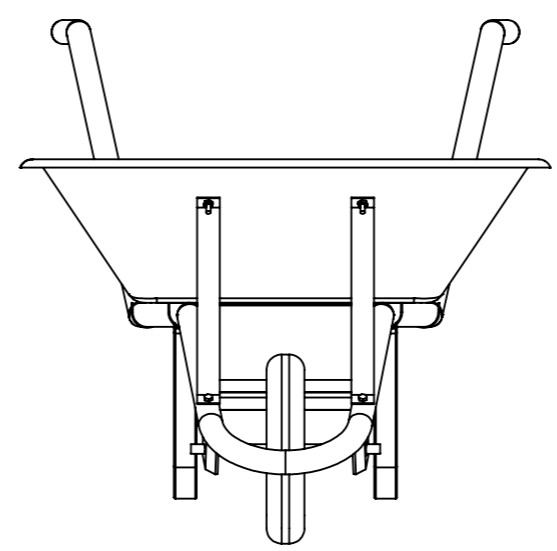
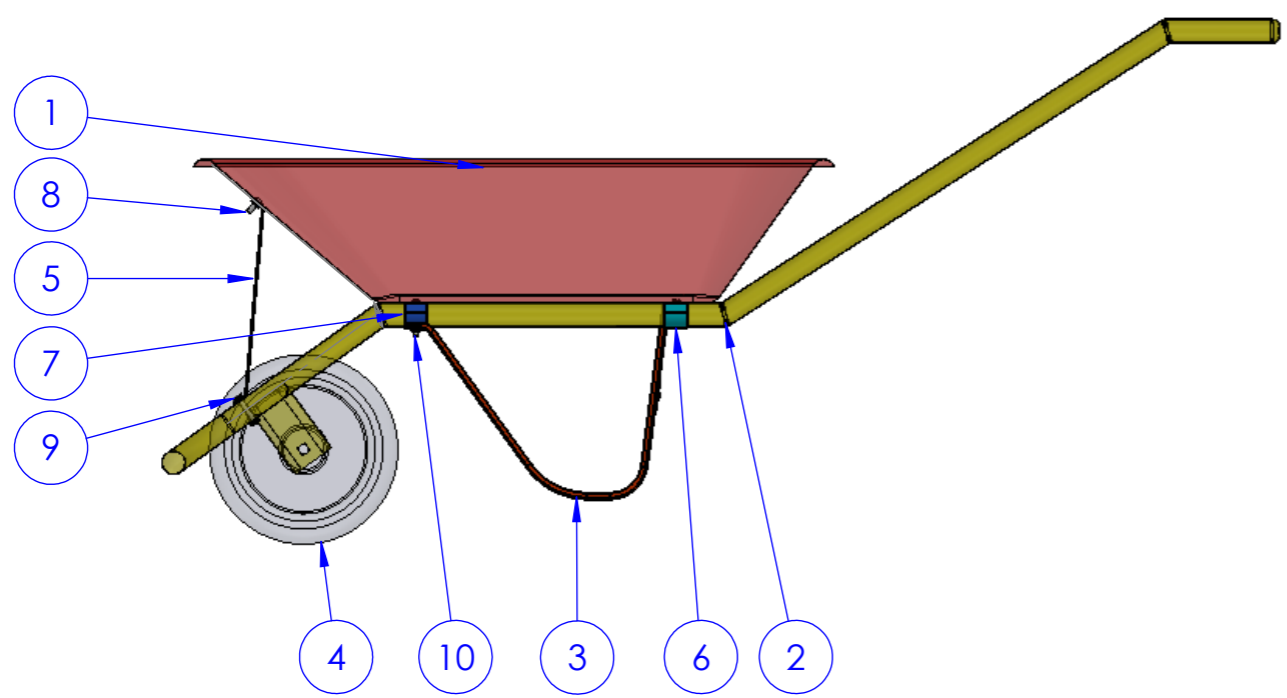
ν	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	.455	.102	.0158	.0039	.0010	.0002	.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	.575	.211	.103	.0506	.0201	.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	.584	.352	.216	.115	.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	.711	.484	.297	.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	.831	.554	.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	.872	.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84

ANEXO F:**Costos de aplicación de recubrimientos y de control de calidad**

COSTOS					
Rubro		Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo (USD)
Preparación	Lavado químico con desoxidante fosfatizante	m ²	2.15	7.68	16.51
	Limpieza abrasiva con granalla mineral	m ²	2.15	15.75	34.08
Recubrimiento	Wesco Duraplast Pintura electrostática en polvo Híbrida (Epoxi + Poliéster) serie 7000	25kg	0.29 kg	168	1.93
	Aplicación de recubrimiento (mano de obra)	h	0.167	2.19	0.37
	Aplicación de recubrimiento (consumo energético y consumibles)	kW/h	-	-	0.08
Control de calidad	Alquiler de equipos (Espesores, adherencia y discontinuidades)	día	4	125	600
	Placas testigo para pruebas de adherencia (plancha)	-	-	-	20
	Adquisición de normas y códigos	-	-	-	125
Total			-	-	797.97

ANEXO H

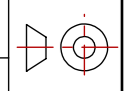
PLANOS



11	Tuerca Hexagonal	$\phi 1/4"$	8
10	Perno Coche Largo	$\phi 1/4" \times 1 3/4"$	2
9	Perno Hexagonal	$\phi 1/4" \times 1 1/2 "$	2
8	Perno Coche Corto	$\phi 1/4" \times 3/4"$	4
7	Templador Medio		1
6	Templador Posterior		1
5	Templador Delantero		2
4	Eje y Rueda		1
3	Soporte tipo V		1
2	Chasis Tubular		1
1	Tolva		1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
		TOLERANCIA:	PESO:
		MATERIAL: ACERO ASTM A36	
		FECHA:	NOMBRE:
		DIB: 10/09/2018	C. TIRADO
		REV: 10/09/2018	J. GUAMANQUISPE
		APRO:	
		TÍTULO: CARRETILLA	
		ESCALA: 1:10	
		NÚMERO DE LÁMINA: 1 DE 7	
		SUSTITUCIÓN:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE

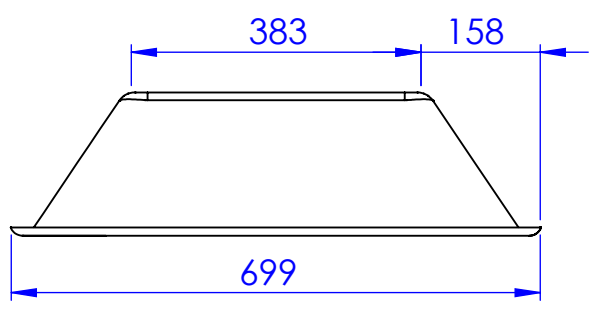
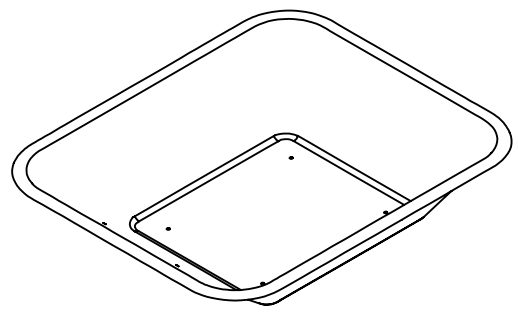
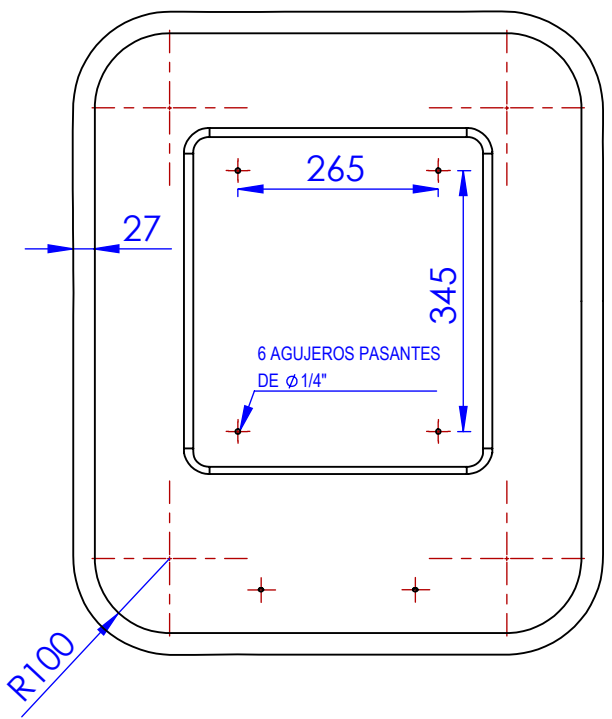
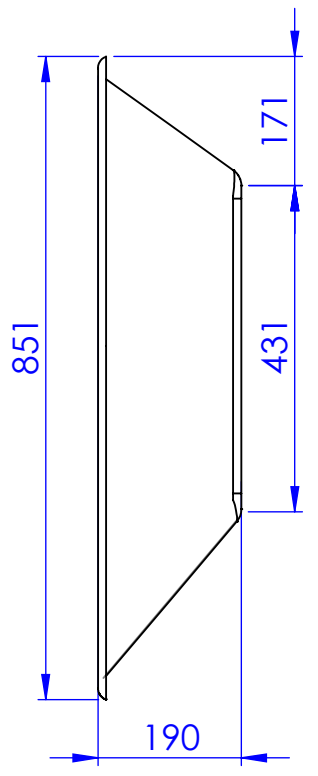
U.T.A.
INGENIERÍA MECÁNICA



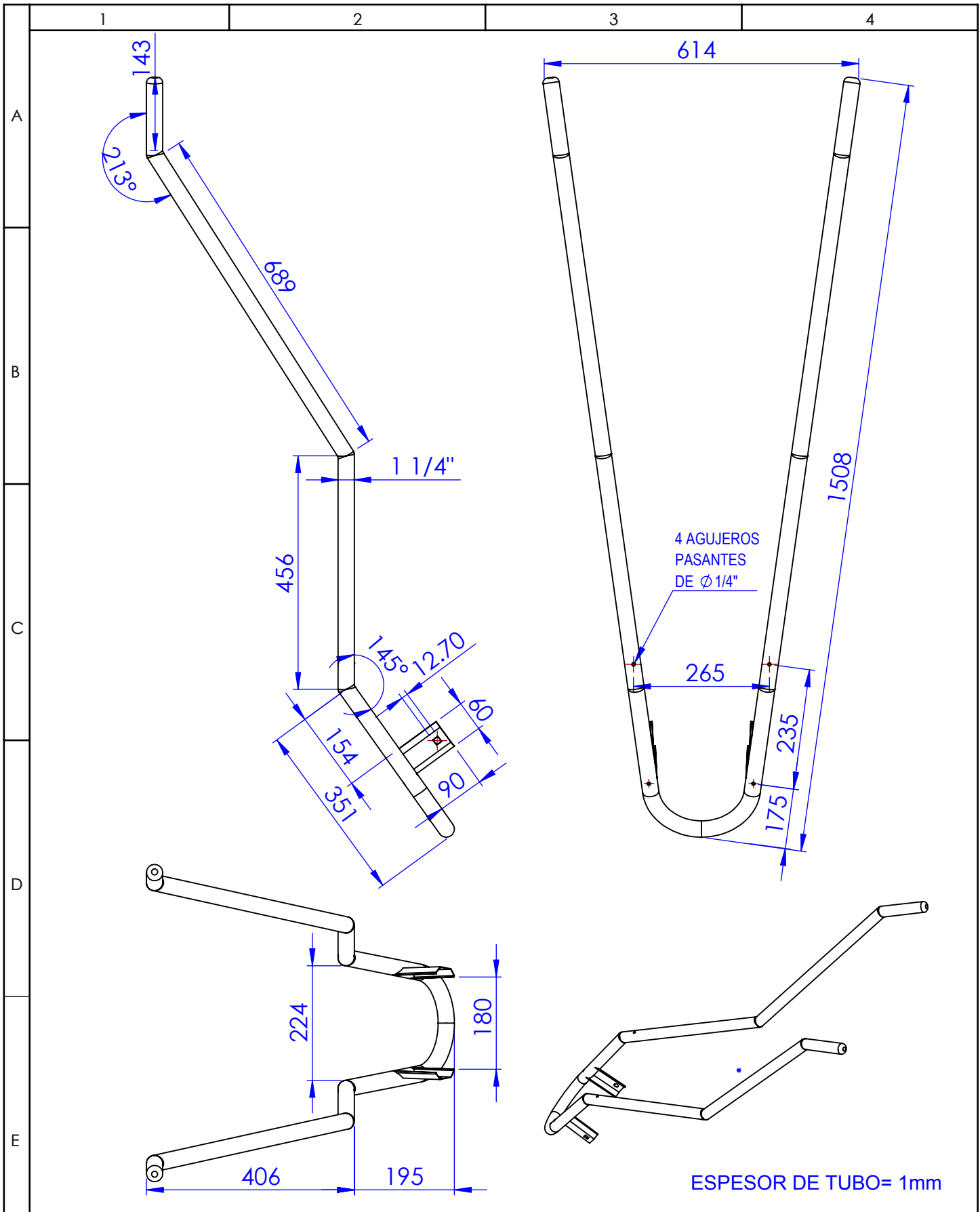
1 2 3 4

A
B
C
D
E

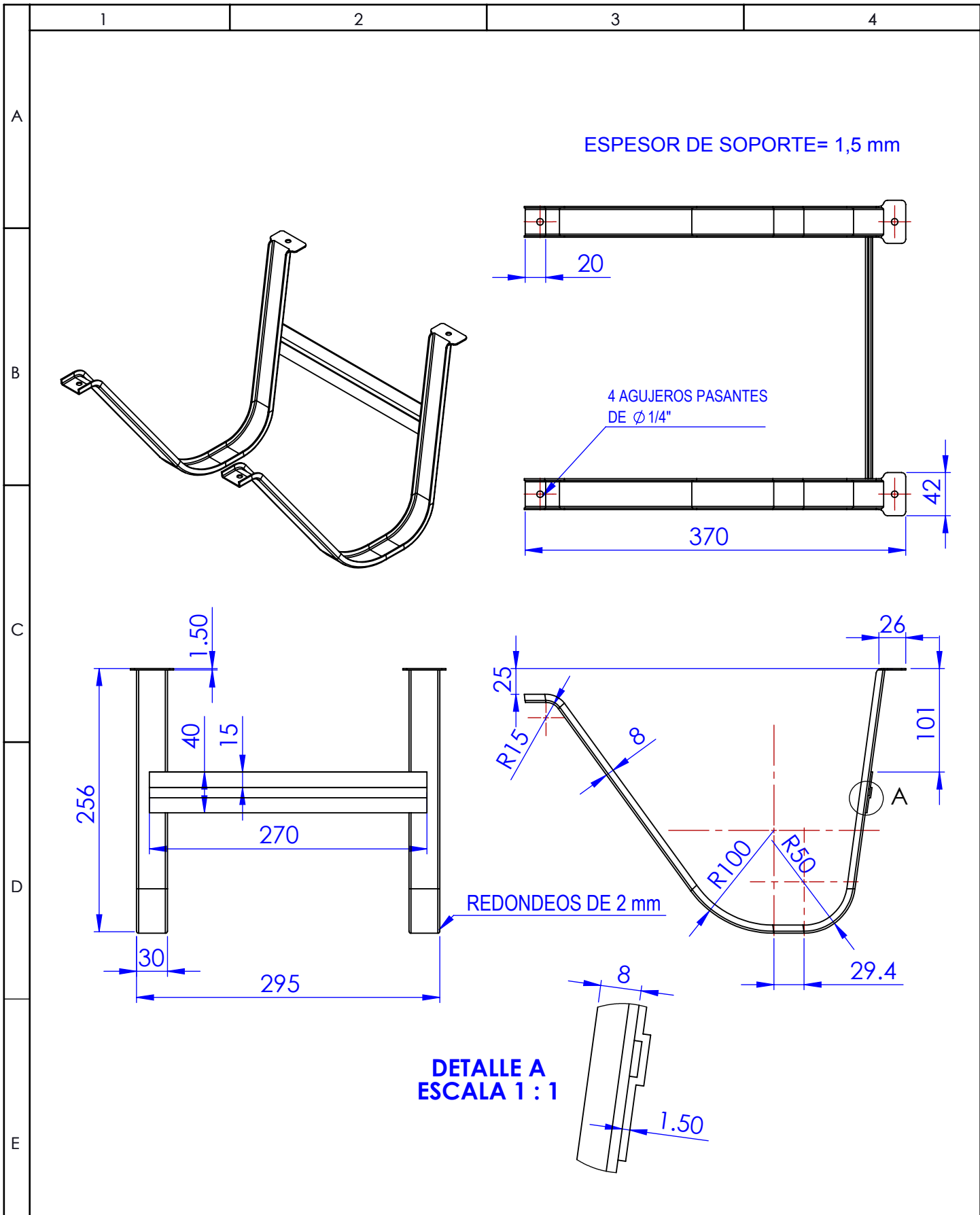
ESPEJOR DE LA PLANCHA= 1mm



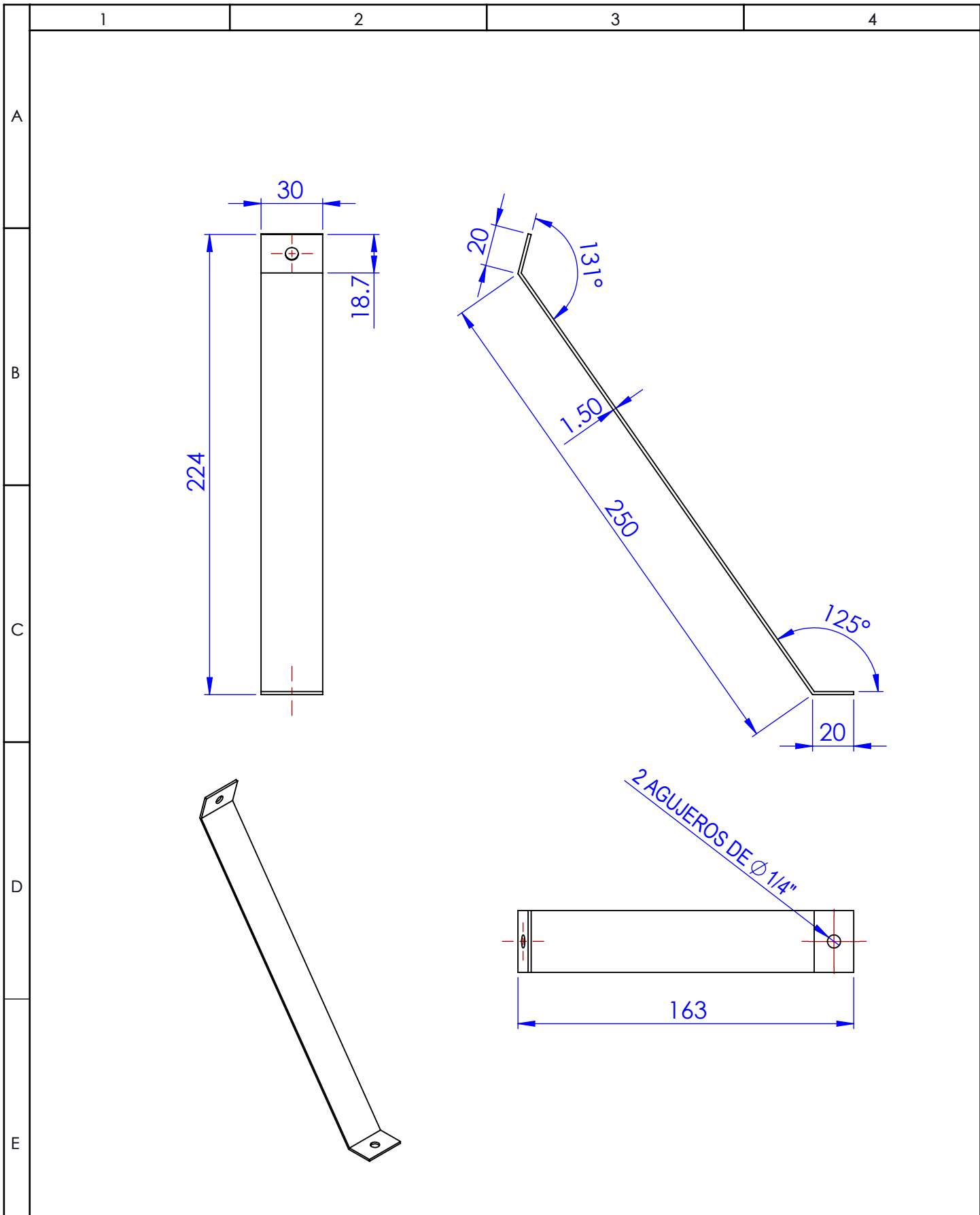
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						ACERO ASTM A36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO	ESCALA:
				DIB.	10/09/2018	C. TIRADO	TOLVA	1:10
				REV.	10/09/2018	J. GUAMANQUISPE		
				APRO.				
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA	2 DE 7	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:		



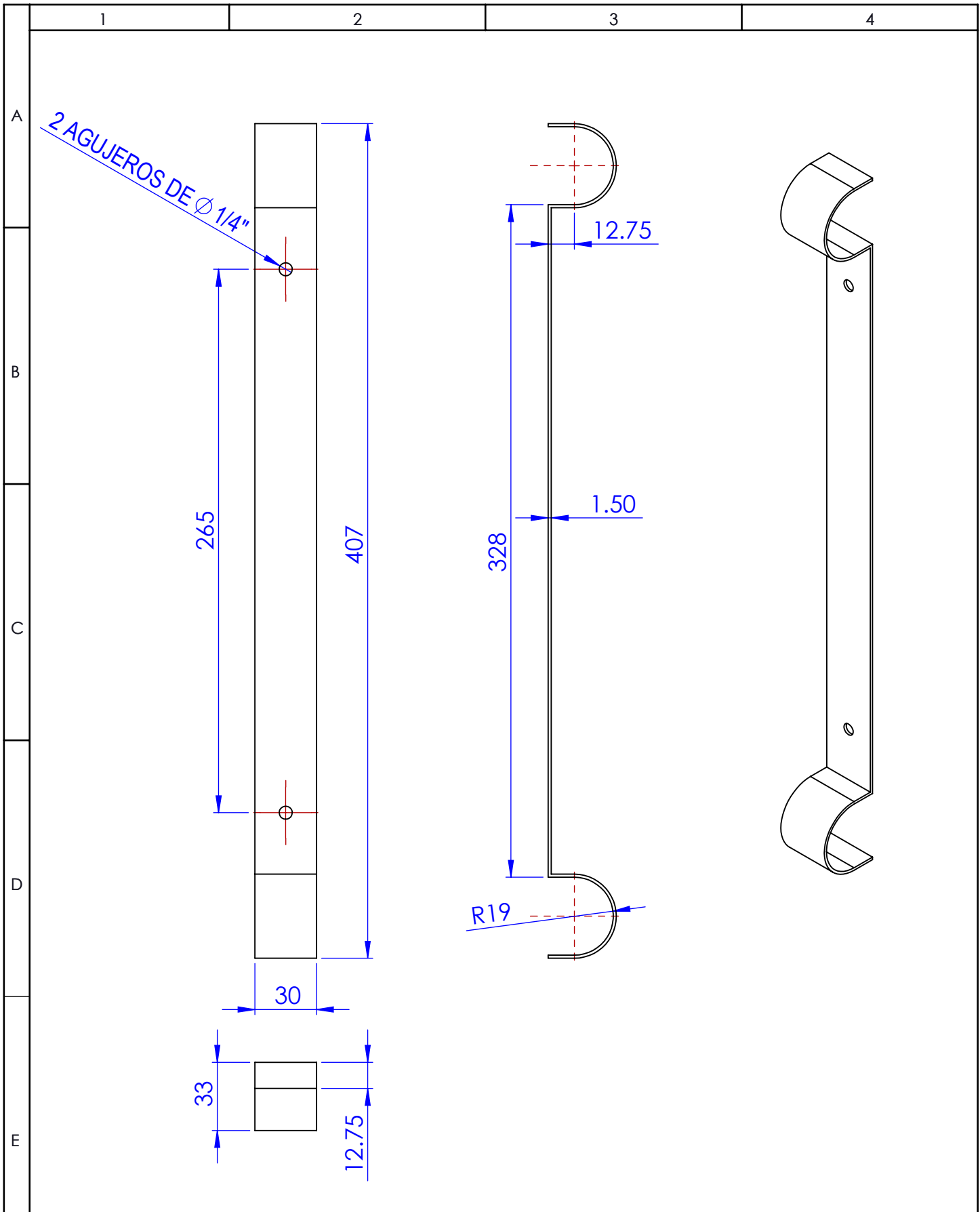
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						ACERO ASTM A36		
				DIB.	FECHA	NOMBRE	TÍTULO	ESCALA:
				REV.	10/09/2018	C. TIRADO	CHASIS TUBULAR	1:10
				APRO.	10/09/2018	J. GUAMANQUISPE		
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA	3 DE 7	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:		



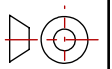
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						ACERO ASTM A36		
				DIB.	FECHA	NOMBRE	TÍTULO	ESCALA:
				10/09/2018	10/09/2018	C. TIRADO	SOPORTE TIPO V	1:5
				10/09/2018	10/09/2018	J. GUAMANQUISPE		
				APRO.				
				U.T.A.			NÚMERO DE LÁMINA:	4 DE 7
				INGENIERÍA MECÁNICA			SUSTITUCIÓN:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					

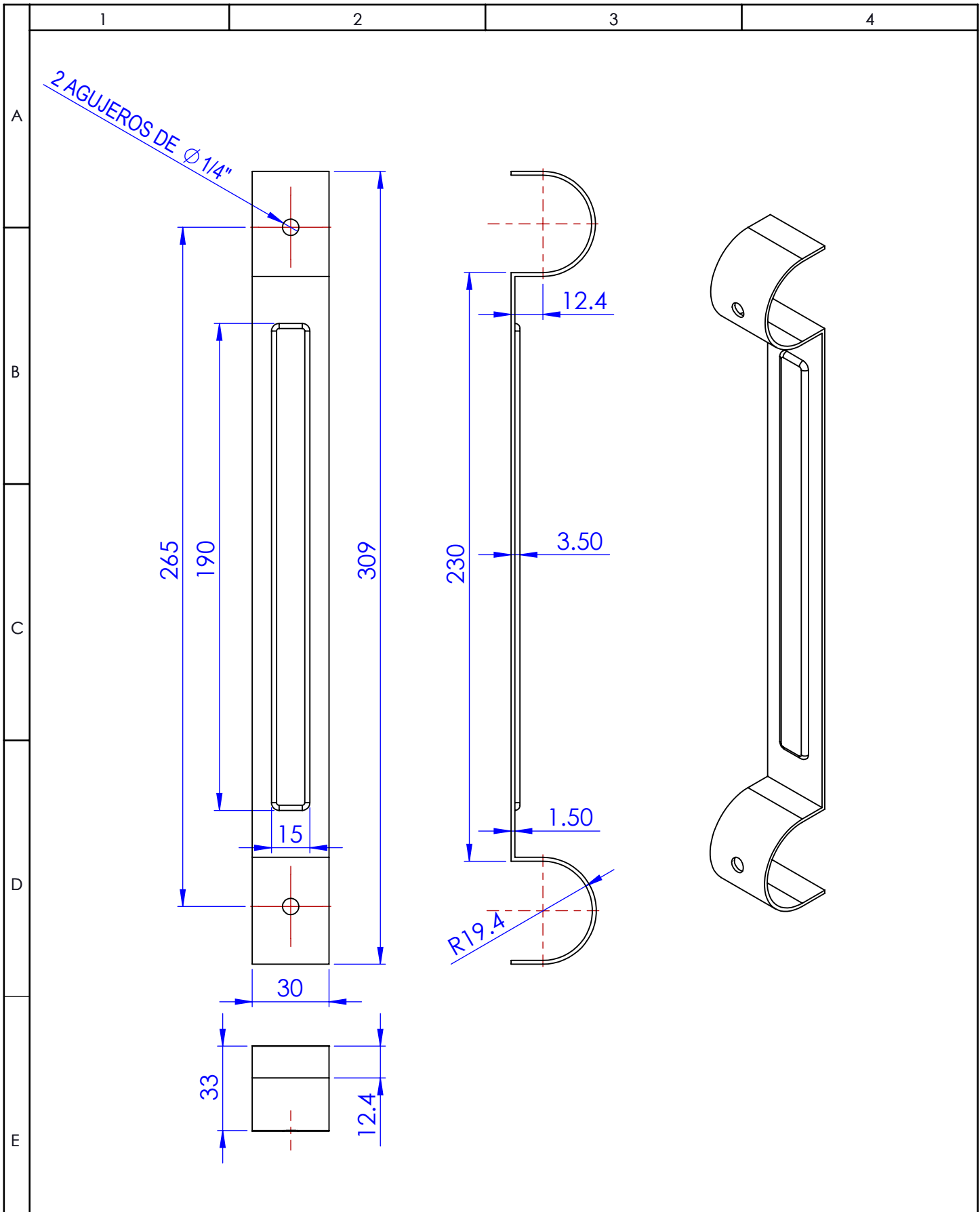


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						ACERO ASTM A36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO	
				DIB.	10/09/2018	C. TIRADO	TEMPLADOR DELANTERO	
				REV.	10/09/2018	J. GUAMANQUISPE		
				APRO.				
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			NÚMERO DE LÁMINA:	5 DE 7
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUCIÓN:	
							ESCALA: 1:2,5	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						ACERO ASTM A36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO	ESCALA:
				DIB.	10/09/2018	C. TIRADO	TEMPLADOR POSTERIOR	1:2,5
				REV.	10/09/2018	J. GUAMANQUISPE		
				APRO.				
				U.T.A.			NÚMERO DE LÁMINA:	6 DE 7
				INGENIERÍA MECÁNICA			SUSTITUCIÓN:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						ACERO ASTM A36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO	ESCALA:
				DIB.	10/09/2018	C. TIRADO	TEMPLADOR MEDIO	1:2
				REV.	10/09/2018	J. GUAMANQUISPE		
				APRO.				
				U.T.A.			NÚMERO DE LÁMINA:	7 DE 7
				INGENIERÍA MECÁNICA			SUSTITUCIÓN:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					