



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**APLICACIÓN DE LA NORMA AWS C2.16/C2.16M:2002 PARA LA
CALIFICACIÓN DE OPERADORES DE TERMOROCIADO: HVOF,
ARCO ELÉCTRICO Y FLAME SPRAY, EN LA EMPRESA IMETCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA MECÁNICA**

CEVALLOS RIOFRIO ANDREA MARINA
andrea.cevallos@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. BARRAGÁN CAMPOS GALO HOMERO
homero.barragan@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ing. VALAREZO GARCÉS ALFREDO GUILLERMO, Ph.D
avalarezo@usfq.edu.ec

Quito, diciembre 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **ANDREA MARINA CEVALLOS RIOFRIO**, bajo mi supervisión.

Ing. Galo Homero Barragán Campos

DIRECTOR DE PROYECTO

Alfredo Guillermo Valarezo Garcés Ph.D

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Andrea Marina Cevallos Riofrio**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Andrea Marina Cevallos Riofrio

DEDICATORIA

A Dios cuya fe me ha ayudado a lo largo de mi vida a creer que todo es posible.

A mis padres, Marita y Zenen gracias a su amor, esfuerzo y apoyo incondicional pude seguir mis sueños, y al mismo tiempo cumplir los suyos.

A mis hermanos Vanessa y Patricio

A mis sobrinos Mateo y Estefany espero que mi esfuerzo les sirva de ejemplo y sepan que todo en la vida es posible, hay que trabajar duro para alcanzar sus sueños y siempre van a poder contar con mi apoyo.

A Fabian quien estuvo apoyándome en cada etapa de la realización de este proyecto dándome palabras de apoyo y fuerza para continuar en los momentos más difíciles.

A mi grupo favorito Paramore, su música me ha acompañado en las noches de vela durante toda mi vida universitaria.

AGRADECIMIENTO

A mis padres quienes me han incentivado a obtener mi título universitario a pesar de las adversidades.

A Mamita Carmen quien me cuida desde el cielo.

A los Ingenieros Homero Barragán y Alfredo Valarezo por su guía durante la realización de este proyecto.

Al Ingeniero Juan Carlos Araujo por brindarme todo su apoyo, guía y especialmente su amistad a lo largo de la realización de todo el proyecto.

A la Empresa IMETCA S.A. por todo el apoyo que me brindaron y la paciencia durante todo este proceso.

A la Universidad San Francisco de Quito y en especial al Ing. Alfredo Valarezo y Javier Miranda por su ayuda, tiempo y guía para la realización de ensayos complementarios para la realización de mi proyecto de titulación.

A mi familia quienes han estado pendientes de mí y en especial a mi madrina quien me abrió las puertas de su casa.

Al Ing. Gabriel Velastegui y a Jorge Guzmán por brindarme su amistad.

A Don René y a la Ing. Patricia Proaño por su predisposición para conmigo durante la realización los ensayos, y por brindarme su amistad.

A mis amigos con quienes he compartido todas las experiencias durante nuestra formación profesional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Desarrollo histórico de los procesos de termorociado	3
1.2. Procesos de termorociado.....	3
1.2.1. Termorociado por flama	4
1.2.2. Termorociado de alta velocidad con combustible oxigenado (HVOF)	6
1.2.3. Termorociado por arco eléctrico	7
1.3. Ventajas y desventajas del proceso de termorociado	9
1.3.1. Ventajas [2].....	9
1.3.2. Desventajas [2]	10
1.4. Parámetros principales del proceso de termorociado.....	11
1.5. Propiedades del proceso de termorociado	12
1.5.1. Inclusiones de óxido	13
1.5.2. Porosidad.....	13
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1. Categorías de clasificación y métodos de aplicación	15
2.2. Factores esenciales para la prueba de calificación	17
2.3. Examinación y prueba	17
2.3.1. Prueba de conocimiento del trabajo	17
2.3.2. Prueba de habilidades (habilidad práctica).....	19
2.3.3. Recalificación.....	20
2.4. Preparación de probetas	20
2.4.1. Equipo para preparación de probetas	22
2.5. Ensayos.....	23
2.5.1. Ensayo de Adhesión y Cohesión	24
2.5.2. Ensayo de doblado	26
2.5.3. Ensayo metalográfico	28
2.5.4. Ensayo de micro dureza.....	32
2.5.5. Ensayo de tintas penetrantes	34
2.6. Criterios de aceptación y rechazo.....	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1. Resultados	38

3.1.1.	Resultados del aplicante Alexis Chulde AS-2: Manual	38
3.1.2.	Resultados del aplicante Jefferson Montesuma AS-2	44
3.1.3.	Resultados del aspirante Diego Cadena AS-2: Manual	48
3.1.4.	Resultados del aspirante Juan Carlos Corella HVOF-1: Manual	53
3.1.5.	Resultados del aspirante Diego Cadena HVOF-1: Manual	58
3.1.6.	Resultados del aspirante Diego Cadena FS-4: Manual	64
3.1.7.	Resultados del aspirante Jorge Carrera FS-4: Manual.....	66
3.1.8.	Resultados de la resistencia del agente aditivo	68
3.1.9.	Certificación de operadores de termorociado	68
3.2.	Discusión	68
3.2.1.	Análisis de los resultados de la evaluación de conocimientos	68
3.2.2.	Análisis del ensayo de espesor	70
3.2.3.	Análisis de los resultados del ensayo visual de calidad de textura y acabado de la pieza de barra redonda.	73
3.2.4.	Análisis del ensayo de doblado	75
3.2.5.	Análisis del ensayo de adherencia	76
3.2.6.	Análisis del ensayo metalográfico.....	79
3.2.7.	Análisis del ensayo de dureza	80
3.2.8.	Análisis del ensayo de tintas penetrantes	81
3.2.9.	Resumen de resultados por aplicante	82
4.	CONCLUSIONES	84
5.	BIBLIOGRAFÍA	87

Índice de Figuras

Figura 1.1. Sistema de termorociado de flama con alimentación de polvos.	5
Figura 1.2. Características de la antorcha de alta velocidad con combustible oxigenado.	6
Figura 1.3. Proceso de termorociado por arco eléctrico	7
Figura 1.4. Defectos típicos en recubrimientos termorociados.....	14
Figura 2.1. Probeta para recubrimientos mediante rociado de HVOF o de arco.	20
Figura 2.2. Probeta de doblado para recubrimientos mediante rociado de HVOF o de arco.	21
Figura 2.3. Probeta de doblado para recubrimientos mediante rociado de HVOF o de arco.	21
Figura 2.4. Probeta para rociado de flama para recubrimiento de aleación de metal auto- fundente.....	22
Figura 2.5. Ensayo de doblado del TSC: muestras para aprobar o rechazar.	27
Figura 3.1. Análisis comparativo de la evaluación de conocimientos.....	69
Figura 3.2. Análisis comparativo de sobre espesor de recubrimiento.....	71
Figura 3.3. Análisis comparativo del espesor en probetas de doblado.	76
Figura 3.4. Análisis comparativo de la adhesión del recubrimiento.	77
Figura 3.5. Resultados medición de dureza HRC	81

Índice de tablas

Tabla 1.1 Tasa de rociado por arco eléctrico para diferentes materiales.	8
Tabla 2.1 Clasificación procesos de rociado Térmico	15
Tabla 2.2 Clasificación de la aplicación de termorociado por movimiento de la antorcha y control de la pieza de trabajo.....	16
Tabla 2.3. Denominación de operadores a ser calificados.	16
Tabla 2.4. Muestras de prueba para evaluación de preparación superficial.	19
Tabla 2.5. Especificaciones técnicas del equipo para granallado.	23
Tabla 2.6. Especificaciones técnicas del equipo medidor de perfil de superficie.	23
Tabla 2.7. Especificaciones técnicas de cintas replica.	23
Tabla 2.8. Especificaciones técnicas de la máquina universal de ensayos.....	25
Tabla 2.9. Especificaciones técnicas de la cortadora de precisión.....	31
Tabla 2.10. Especificaciones técnicas de la pulidora semiautomática.....	31
Tabla 2.11. Especificaciones técnicas del microscopio metalográfico.....	31
Tabla 2.12. Especificaciones técnicas del durómetro Vickers.....	33
Tabla 2.13. Características equipo para tintas penetrantes.	35
Tabla 2.14. Criterios de aceptación TSOQT No. AS-2.....	36
Tabla 2.15. Criterios de aceptación TSOQT No. HVOF-1.....	36
Tabla 2.16. Criterios de aceptación TSOQT No. FS-4.	37
Tabla 3.1. Resultados de la prueba de conocimientos de Alexis Chulde.	39
Tabla 3.2. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Alexis Chulde.....	39
Tabla 3.3. Resultados de espesor en barra redonda de Alexis Chulde.	39
Tabla 3.4. Resultados ensayo de doblado de Alexis Chulde.	40
Tabla 3.5. Resultados del ensayo de tracción de Alexis Chulde (Intento #1).....	41
Tabla 3.6. Resultados del ensayo de tracción de Alexis Chulde (Intento #2).....	42
Tabla 3.7. Resultado metalografías de Alexis Chulde.	43
Tabla 3.8. Resultados de la prueba de conocimientos de Jefferson Montesuma.....	44
Tabla 3.9. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Jefferson Montesuma.	45
Tabla 3.10. Resultados de espesor en barra redonda de Jefferson Montesuma.....	45
Tabla 3.11. Resultados ensayo de doblado de Jefferson Montesuma.....	45
Tabla 3.12. Resultados del ensayo de tracción de Jefferson Montesuma.	47
Tabla 3.13. Resultado metalografías de Jefferson Montesuma.	48
Tabla 3.14. Resultados de la prueba de conocimientos de Diego Cadena.	49
Tabla 3.15. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Diego Cadena.	49
Tabla 3.16. Resultados de espesor en barra redonda de Diego Cadena.....	49
Tabla 3.17. Resultados ensayo de doblado de Diego Cadena.	50
Tabla 3.18. Resultados del ensayo de tracción de Diego Cadena.	51
Tabla 3.19. Resultado metalografías de Diego Cadena.	52
Tabla 3.20. Resultados de la prueba de conocimientos de Juan Carlos Corella.	53
Tabla 3.21. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Juan Carlos Corella.	54
Tabla 3.22. Resultados de espesor en barra redonda de Juan Carlos Corella.	54
Tabla 3.23. Resultados ensayo de doblado de Juan Carlos Corella.	54
Tabla 3.24. Resultados del ensayo de tracción de Juan Carlos Corella (Intento #1).	56
Tabla 3.25. Resultados del ensayo de tracción de Juan Carlos Corella (Intento #2).	57
Tabla 3.26. Resultado metalografías de Juan Carlos Corella.	58

Tabla 3.27. Resultados de la prueba de conocimientos de Diego Cadena.....	58
Tabla 3.28. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Diego Cadena.	59
Tabla 3.29. Resultados de espesor en barra redonda de Diego Cadena.....	59
Tabla 3.30. Resultados ensayo de doblado de Diego Cadena.	60
Tabla 3.31. Resultados del ensayo de tracción de Diego Cadena (Intento #1).	61
Tabla 3.32. Resultados del ensayo de tracción de Diego Cadena (Intento #2).	62
Tabla 3.33. Resultado metalografías de Diego Cadena.	63
Tabla 3.34. Resultados de la prueba de conocimientos de Diego Cadena.	64
Tabla 3.35. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Diego Cadena.	64
Tabla 3.36. Resultados de espesor en barra redonda de Diego Cadena.....	65
Tabla 3.37. Resultados del ensayo de dureza de Diego Cadena.	65
Tabla 3.38. Resultados ensayo de tintas penetrantes de Diego Cadena.	65
Tabla 3.39. Resultados de la prueba de conocimientos de Jorge Carrera.	66
Tabla 3.40. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Jorge Carrera.	66
Tabla 3.41. Resultados de espesor en barra redonda de Jorge Carrera.	67
Tabla 3.42. Resultados del ensayo de dureza de Jorge Carrera.....	67
Tabla 3.43. Resultados ensayo de tintas penetrantes de Jorge Carrera.	68
Tabla 3.44. Resultados resistencia a la cohesión MASTERBOND EP15ND-2.....	68
Tabla 3.45. Resultados sobre espesor de recubrimientos.	70
Tabla 3.46. Resultados de espesor en barra redonda para FS-4.....	72
Tabla 3.47. Resultados de la pieza de barra redonda.	74
Tabla 3.4. Cantidad de óxidos y poros.....	79
Tabla 3.45. Check list aplicante Alexis Chulde AS-2.....	82
Tabla 3.46. Check list aplicante Jefferson Montesuma AS-2	82
Tabla 3.47. Check list aplicante Diego Cadena AS-2	82
Tabla 3.48. Check list aplicante Juan Carlos Corella AS-2	83
Tabla 3.49. Check list aplicante Diego Cadena HVOF-1	83
Tabla 3.50. Check list aplicante Diego Cadena FS-4.....	83
Tabla 3.51. Check list aplicante Jorge Carrera FS-4	83

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal el calificar a los trabajadores de la Empresa IMETCA S.A. como operadores de termorociado por arco eléctrico, HVOF y flama siguiendo el procedimiento que dicta la norma AWS C2.16/C2.16M:2002, mediante la obtención de probetas y realización de ensayos para la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de propiedades como textura del recubrimiento, acabado, fuerza de enlace, adhesión, dureza, porcentaje de poros y óxidos, etc., y evaluar la correcta combinación de variables como preparación superficial, configuración del equipo y parámetros de rociado. Compararlos con los criterios de aceptación de la misma norma para determinar si los aplicantes son aptos o no para la aplicación del proceso de modo que se garantice que el recubrimiento va a cumplir el propósito para el cual fue aplicado. Como resultado de la evaluación de conocimientos y de habilidades a través de los ensayos realizados a las probetas rociadas de cada operador se concluyó que los operadores Alexis Chulde, Jefferson Montesuma y Diego Cadena aprobaron la calificación de operadores de termorociado por arco eléctrico de aleaciones metálicas para propósitos de ingeniería.

Palabras clave: Calificación de operadores de termorociado, HVOF, termorociado por arco eléctrico, termorociado por flama.

ABSTRACT

The main objective of this project is to qualify the IMETCA's workers as operators of arc spray, HVOF and flame spray following the procedure dictated by AWS C2.16 / C2.16M:2002, by obtaining test pieces and performing tests for qualitative and quantitative evaluation of properties such as texture quality, finishing, bond strength, adhesion, hardness, percentage of pores and oxides, etc., and evaluate the correct combination of variables such as surface preparation, equipment configuration and spray parameters. Compare them with the acceptance criteria of the standard to determine if the applicants are suitable for the application of process in such a way as to guarantee that the coating will fulfill the purpose for which it was applied. As a result of the evaluation of knowledge and skills through tests performed on the sprayed specimens of each operator, it was concluded that the operators Alexis Chulde, Jefferson Montesuma and Diego Cadena approved the qualification of operators of arc spraying metal alloys for engineering purposes.

Keywords: Thermal Spray Operator Qualification, HVOF, arc spray, flame spray.

APLICACIÓN DE LA NORMA AWS C2.16/C2.16M:2002 PARA LA CALIFICACIÓN DE OPERADORES DE TERMOROCIADO HVOF, ARCO ELÉCTRICO Y FLAME SPRAY EN LA EMPRESA IMETCA

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha existido una creciente necesidad de aumentar la calidad de los productos y servicios mediante el mejoramiento de procedimientos y procesos, como respuesta a los requerimientos de un mundo globalizado, cumplimiento de especificaciones y normativas e incluso con la intención de aumentar la productividad y disminuir costos.

El acabado superficial y las propiedades que pueda ofrecer el mismo en la vida útil de un elemento, son un tema de investigación, estudio y desarrollo para la ingeniería moderna, en donde las nuevas aplicaciones de la tecnología de rociado térmico, resaltan como una alternativa técnica, económica y competitiva para la industria, la cual permite mejorar la productividad de los procesos, contribuyendo a aumentar la funcionalidad de partes que trabajan bajo condiciones severas de desgaste.[1]

De acuerdo a la revista Welding Journal la información acerca de la tecnología de termorociado es a menudo incomprendida, por ejemplo, en Ecuador el conocimiento que se tiene del proceso de termorociado es limitado, con poca información e incluso sin mucha bibliografía. A pesar de esto existen en el país industrias que han desarrollado esta tecnología, la cual se ha convertido en un aporte revolucionario en la ingeniería de mantenimiento en la industria ecuatoriana. IMETCA es una empresa situada en el sector del parque industrial del sur de la ciudad de Quito, la cual ofrece este servicio desde hace más de 10 años, aportando soluciones a problemas de corrosión y desgaste que es el principal causal de fallas en elementos de máquinas. Esta empresa en su afán de continuar con el desarrollo del proceso de termorociado y aumentar su confiabilidad requiere de la calificación bajo normas, de operadores para procesos de termorociado por arco eléctrico (AS), flama spray (FS) y high velocity oxygen fuel (HVOF).

El presente proyecto tiene como finalidad realizar la calificación de los operadores de termorociado para HVOF, FS y AS, siguiendo el procedimiento que dicta la norma AWS C2.16/C2.16M:2002. La norma detalla la realización de ensayos para cada proceso, en los cuales se evalúa las propiedades de las probetas obtenidas en la aplicación de los mismos, tales como porosidad, dureza y espesor de recubrimiento, así como también contenido de impurezas, óxidos, etc. Es preciso comparar cada resultado obtenido en los ensayos

aplicados con los estándares mínimos que se encuentran establecidos en la norma, de tal manera que se conozca si los operadores son aptos o no para la aplicación del proceso en el cual sean calificados.

Objetivo general

Aplicar la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 para la calificación de operadores de termorociado: HVOF, arco eléctrico y por flama, en la empresa IMETCA

Objetivos específicos

- Calificar operadores de termorociado por HVOF, FS Y AS de acuerdo a la norma AWS C2.16/C2.16M:2002.
- Obtener probetas y realizar ensayos de acuerdo a la norma AWS C2.16/C2.16M:2002.
- Comparar resultados obtenidos con los parámetros mínimos aceptables que indica la norma de tal manera que se pueda conocer cuán óptimo es la aplicación del procedimiento que se maneja actualmente.
- Elaborar los formatos que esta tecnología usa como parte de la documentación para garantizar la calidad, TSOQT No. AS-2, TSOQT No. FS-4 y TSOQT No. HVOF-1 (TSOQT: Thermal-Spray Operator Qualification Test)

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Desarrollo histórico de los procesos de termorociado

El termorociado o también conocido como metalizado por proyección es un proceso de gran aplicación en la ingeniería de mantenimiento, ya que permite realizar recubrimientos superficiales a elementos desgastados para la recuperación de sus dimensiones, asimismo permite reforzar y mejorar las propiedades superficiales de los mismos. Básicamente el termorociado consiste en proyectar un material de aporte metálico o no metálico sobre el material base a alta velocidad.

Esta nueva tecnología tiene su inicio entre los años 1882 y 1889, siendo desarrollada por M.U. Schoop en la localidad de Zurich, Suiza. Es aquí donde se encontraron los primeros registros, los mismo que describen un proceso con alimentación de plomo y estaño mediante un soplete de soldadura oxiacetilénica modificado. Posterior a esto se desarrollan nuevos diseños en los que priman la utilización de materiales en polvo, el cual se toma como el primer proceso de termorociado, conocido como “rociado por flama”. [2]

El proceso de termorociado ha ido evolucionando en su aplicación a través del tiempo comenzando con el uso de revestimientos de hierro simple y aceros hasta abarcar la mayoría de los metales, aleaciones, cerámicos, cermets¹, polímeros, compuestos avanzados y nanomateriales. [2]

1.2. Procesos de termorociado

Los procesos de termorociado están agrupados en tres categorías: rociado por flama, rociado por arco eléctrico, y rociado por arco de plasma, dentro de los cuales existe una serie de subconjuntos dentro de cada categoría. En los últimos años se ha desarrollado el rociado en frío, por lo que es una reciente adición al conjunto de procesos de termorociado.

Dentro de la industria se tiene un desarrollo más importante de ciertos procesos de termorociado debido a su aplicación, acabado superficial y propiedades finales; dentro de esta categoría se encuentran los siguientes:

- Procesos de rociado por flama

¹ Cermets: materiales compuestos de cerámicos y metales. Acrónimo utilizado para designar una combinación heterogénea de metal con fase cerámica.

- Flama-polvo (FS)
- Flama-alambre (FS)
- Combustible oxigenado de alta velocidad (HVOF)
- Antorcha de detonación (D-Gun)
- Procesos por arco eléctrico
 - Arco eléctrico (AS)
- Procesos de arco de plasma
 - Plasma convencional (PSP)
 - Plasma al vacío (VPS)
- Procesos de energía cinética
 - Rociado frío

1.2.1. Termorociado por flama

El proceso utilizado para el presente proyecto es una combinación del proceso de termorociado por flama y el proceso conocido como Powder Spray Welding ya que se expone al sustrato a altas temperaturas y por la forma de aplicación, sin embargo, de ahora en adelante lo llamaremos como termorociado por flama.

El termorociado por flama también conocido como rociado por flama es un proceso que utiliza energía química como resultado de la combustión de gases para generar calor. El proceso usa como herramienta las torchas o antorchas oxiacetilénicas que son las más comunes dentro del mercado, estas hacen uso del gas acetileno como combustible principal y del gas oxígeno como complemento, generando de esta manera temperaturas de combustión más altas.[2]

El material a ser rociado puede venir de diferentes formas, los más utilizados son polvos y alambres o varillas, los cuales son introducidos axial o radialmente hacia el sustrato a través de la parte posterior de la boquilla y luego hacia el interior de la llama a la salida de la boquilla. El material de alimentación es fundido o semifundido y las partículas o pequeñas gotas son aceleradas mediante un flujo de gas en expansión y por chorros de aire hacia la superficie del sustrato.[2]

La diferencia de los alambres y varillas sobre los polvos es que la temperatura de fusión es significativamente mayor, lo que a su vez se traduce en recubrimientos más densos, siendo esta una ventaja de acuerdo al tipo de acabado requerido y la función final del

elemento. El aire atomizado obtenido de los polvos produce gotas más finas, que a su vez producen recubrimientos más finos y lisos. [2]

Con este proceso generalmente se obtienen velocidades del chorro de gas menores a 100 m/s, y esto genera velocidades de partículas hasta de 80 m/s antes del impacto. También es posible depositar un amplio rango de materiales, los cuales abarcan desde polímeros hasta cerámicos y materiales refractarios.[2]

La figura 1.1 representa la configuración típica de una antorcha para termorociado por flama con alimentación de polvo y combustible oxiacetilénico.

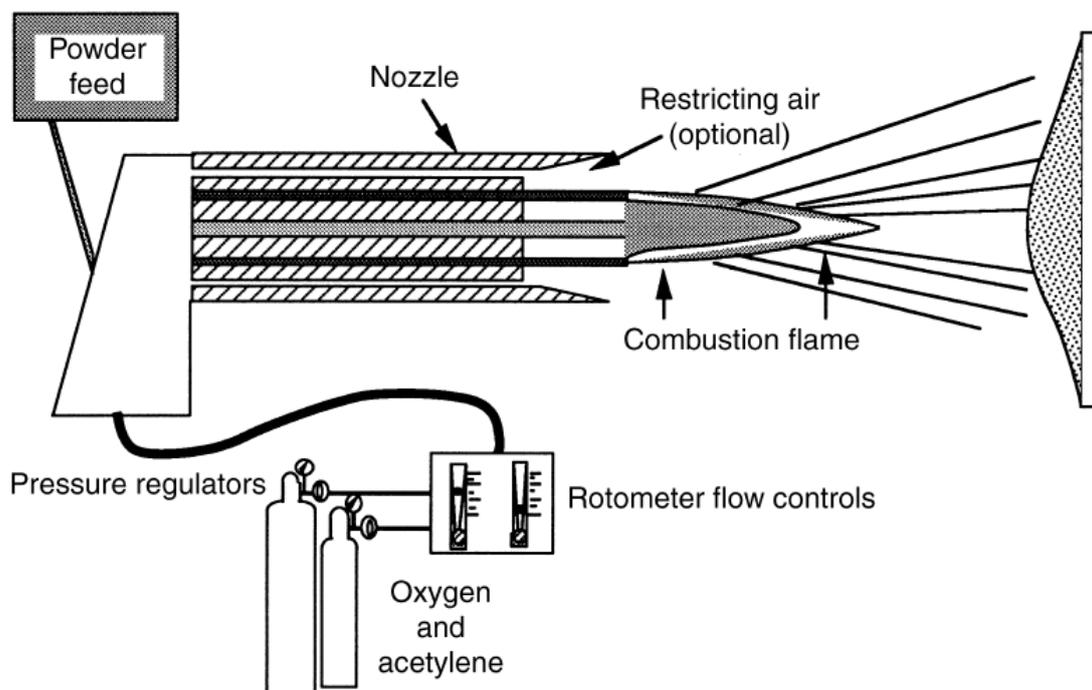


Figura 1.1. Sistema de termorociado de flama con alimentación de polvos.

(Fuente: Davis, 2004)

En el sistema de la figura 1.1 el polvo puede ser alimentado en la antorcha de dos formas: por gases conductores o por gravedad. En los dispositivos que son alimentados por gravedad es necesario que posean un depósito de polvo o botellas montadas encima de la antorcha para que por medio de una válvula de pinza se controle la velocidad de avance del polvo, la cual medirá el polvo en el cuerpo de la antorcha, en donde será aspirado por los gases que fluyen a través de la misma.[2]

1.2.2. Termorociado de alta velocidad con combustible oxigenado (HVOF)

El proceso de termorociado HVOF opera de manera continua ya que se genera a través de una combustión interna prolongada. Los gases combustibles de gran volumen son introducidos en una cámara de combustión, para después ingresar a una boquilla de confinamiento de 8 a 30 cm a través de la cual los gases de combustión salen del dispositivo generando altas temperaturas de combustión, esto produce velocidades del gas entre 1525 a 1825 m/s en la salida de la boquilla de la antorcha. Los polvos a ser depositados sobre el sustrato son llevados por un gas conductor hacia la boquilla, donde son arrastrados dentro de la llama-chorro de alta presión.[2]

En la figura 1.2 se muestra la configuración de una antorcha típica para la aplicación del termorociado de alta velocidad con combustible oxigenado.

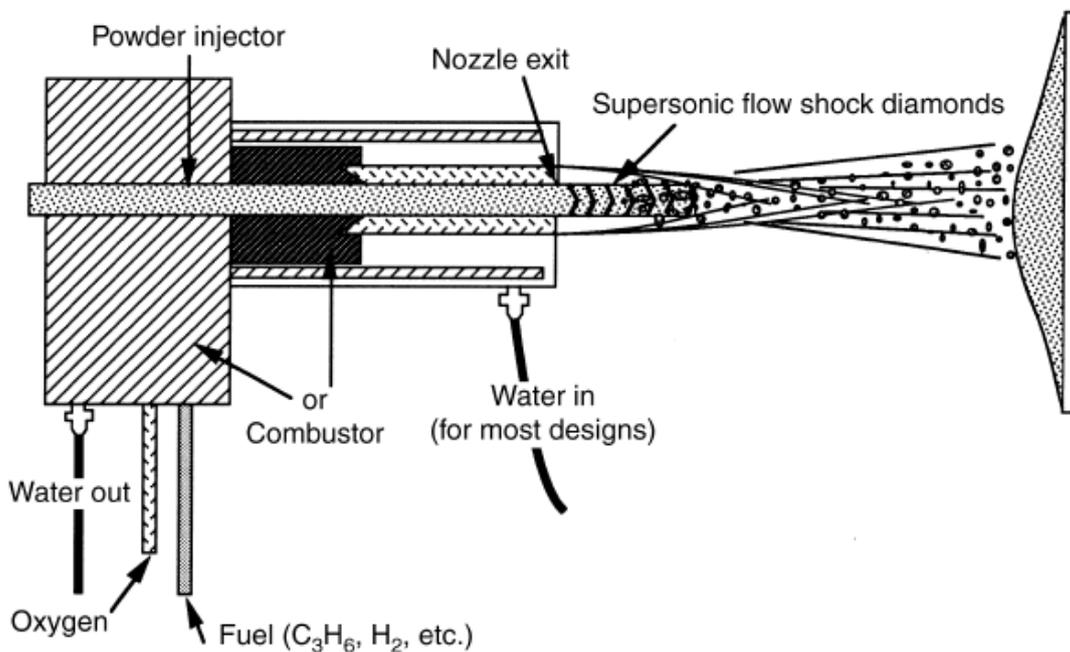


Figura 1.2. Características de la antorcha de alta velocidad con combustible oxigenado.

(Fuente: Davis, 2004)

Como se indica en la figura 1.2, las pistolas para el proceso HVOF cuentan con cámaras de combustión que poseen sistemas de enfriamiento, los cuales pueden utilizar aire o agua; dentro de la cámara se combustiona oxígeno-combustible bajo presión lo que produce que el flujo de llama-gas resultante sea acelerado hacia un tubo o boquilla refrigerada y

confinada. Entre los gases oxi-combustibles más utilizados se encuentran hidrógeno(H₂), propileno(C₃H₆), propano (C₃H₈), acetileno(C₂H₂) y queroseno.[2]

Las antorchas para HVOF también incorporan en su diseño la inyección de partículas y boquillas que producen una expansión supersónica de los gases de combustión. En general el proceso de HVOF se usa para la deposición de recubrimientos cermet densos y recubrimientos duros de WC/Co o Cr₂C₃/NiCr, etc.[2]

1.2.3. Termorociado por arco eléctrico

El proceso de termorociado por arco eléctrico es también conocido como termorociado por arco de alambre gemelo o termorociado de arco de alambre, el cual utiliza un arco eléctrico de corriente directa (DC) como fuente de calor. El arco eléctrico se genera en el espacio entre dos electrodos consumibles que son alimentados continuamente, de tal manera que se efectúe la fundición directa del material de aporte, como se muestra en la Figura 1.3. El metal fundido es cortado y acelerado hacia la superficie del sustrato por un flujo de aire que oscila entre 0.8 y 1.8 m³/min, el mismo que está ubicado detrás de la intersección de los alambres y produce una fina distribución de gotas de metal fundido a medida que se separa el metal fundido del alambre, para formar un recubrimiento al impactar, deformar y solidificarse las partículas fundidas sobre el sustrato.[2]

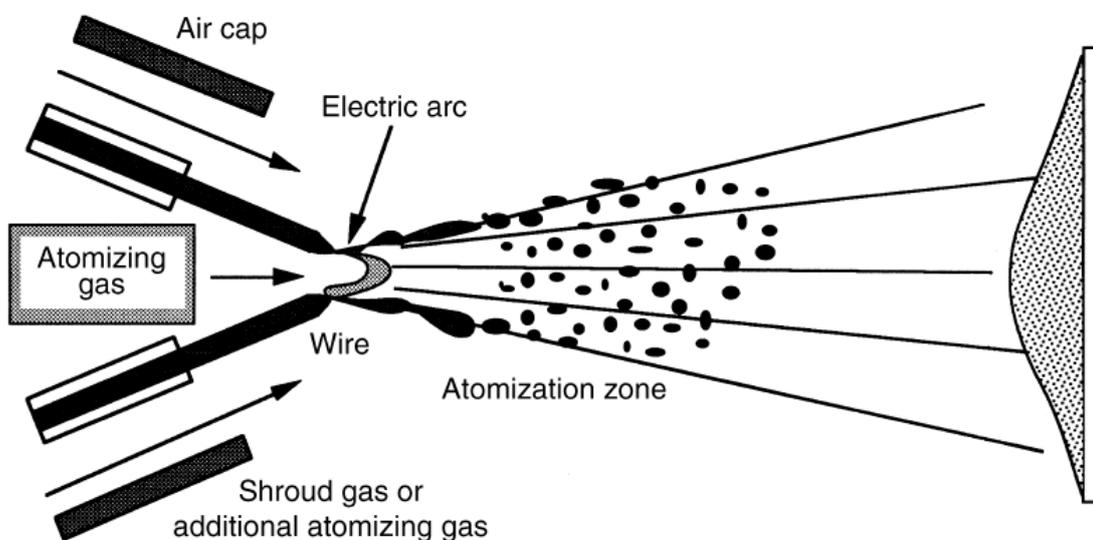


Figura 1.3. Proceso de termorociado por arco eléctrico.

(Fuente: Davis, 2004)

Una de las ventajas que tiene este proceso es la eficiencia térmica, ya que es considerablemente alta en comparación a los otros procesos de termorociado, esto se debe a que los alambres son fundidos directamente por el arco eléctrico. Además, este proceso transfiere la menor cantidad de calor al sustrato, en comparación con el resto de procesos de termorociado, dado que solo existe una única entrada de calor el cual es proporcionado a las partículas de material de aporte y también por la ausencia de una llama o chorro de plasma. Esta característica del proceso permite no solo la deposición de recubrimientos en sustratos metálicos sino también en polímeros, fibras de vidrio, madera y productos de papel y vidrio, haciéndolo un proceso bastante versátil.[2]

El tamaño y distribución de las partículas que se desprenden del alambre son similares a las materias primas en polvo, pero sesgadas hacia el extremo superior más grueso de la distribución. Sin embargo, éstas varían dependiendo de diferentes parámetros, siendo la variación de forma proporcional con la variación de la corriente y el tamaño del alambre e inversamente proporcional a la variación de la presión del flujo de aire y la tensión. El tamaño de las partículas va a depender de los parámetros del proceso y estos tamaños oscilan entre submicrométricos a 200 μm .[2]

En el termorociado por arco eléctrico las velocidades de alimentación del material dependen de las propiedades del mismo material de acuerdo a como se indica en la tabla 1.1, la misma que muestra las típicas tasas de alimentación para los alambres de rociado más comunes. Las tasas de rociado de acuerdo al material son relativamente altas en comparación a otros procesos de termorociado.[2]

Tabla 1.1. Tasa de rociado por arco eléctrico para diferentes materiales.

Alambre	g/min (lb/h)/100 A dc
Aluminio	45(6)
Babbit	379(50)
Latón	83(11)
Cobre	83(11)
Molibdeno	76(10)
Acero	76(10)
Acero inoxidable	76(10)
Lata	341(45)
Titanio	23(3)
zinc	182(24)

(Fuente: Davis, 2004)

Los materiales para el proceso de termorociado por arco eléctrico están limitados por aquellos cuyas propiedades le permitan ser conformados en forma de alambres además de que posea características conductivas del metal de aporte. Sin embargo, esto no ha sido un impedimento para la utilización de materiales no metálicos como materiales cerámicos, carburos o aleaciones amorfas gracias al uso de alambres tubulares con núcleo. [2]

Para la protección del arco eléctrico de impurezas en el aire, así como también para propulsar el material fundido hacia el sustrato se requiere de un gas limpio, seco y comprimido que le permita imprimir velocidad al material. Este sirve a su vez como un sistema de enfriamiento para las guías de alambre o puntas de contacto, prolongando así su vida útil. En la mayoría de sistemas se requiere una alimentación de aire de 690 kPa (100 psi) a una velocidad de flujo de hasta 1.8 m³/min.[2]

1.3. Ventajas y desventajas del proceso de termorociado

Los recubrimientos en el termorociado son formados por partículas de diferentes tamaños, las cuales impactan sobre el sustrato pudiendo estar estas fundidas y semi fundidas, a una velocidad de aproximadamente un millón de partículas por segundo de tal forma que se acumula una encima de la otra, formando una microestructura laminar es decir por capas, la misma que presenta una arquitectura microestructural única, obteniendo ciertas ventajas y desventajas del proceso.

1.3.1. Ventajas [2]

- Mediante los diferentes procesos de termorociado se puede depositar una gran variedad de materiales, como metales, aleaciones, carburos, cerámicos, materiales refractarios, plásticos, cermets, etc., es decir puede ser usado cualquier material que pueda fundirse sin descomponerse. Otros procesos de recubrimientos no ofrecen esta versatilidad.
- Se atribuyen bajos costos de procesamiento a altas tasas de rociado y de deposición del recubrimiento (entre 1 a 45 kg/h).
- La mayoría de los procesos de termorociado tienen la habilidad de aplicar los revestimientos al sustrato sin la necesidad de un aporte de calor significativo. Aquellos materiales con un alto punto de fusión, como el tungsteno, pueden ser

aplicados a piezas finamente maquinadas, totalmente tratadas térmicamente sin cambiar las propiedades de una pieza y sin distorsión térmica excesiva de la pieza.

- En la mayoría de los casos, estos procesos tienen la habilidad de recubrir y quitar revestimientos desgastados o dañados sin cambiar las dimensiones o propiedades de la pieza.
- Los recubrimientos termorociados tienen un amplio rango de aplicaciones como resistencia al desgaste, recubrimientos multicapa de barrera térmica, control de corrosión atmosférico y acuoso, resistencia a la oxidación a altas temperaturas, resistencia eléctrica y conductividad, etc.
- El costo de un equipo básico de termorociado es relativamente bajo (entre USD \$7000 y USD \$10000 para equipos de baja velocidad), es pequeño y portátil capaz de realizar trabajos in situ, exceptuando los equipos de termorociado por plasma y sistemas de oxi-combustible de alta velocidad (HVOF).
- Existe un mínimo riesgo de degradación térmica o fatiga del sustrato durante el rociado, ya que el termorociado es un proceso considerado relativamente frío, en donde el sustrato se mantiene a temperaturas menores a 150°C. Se puede hacer uso de temperaturas más altas tomando las debidas medidas para controlar la oxidación.

1.3.2. Desventajas [2]

- Los recubrimientos termorociados presentan una baja resistencia a la adhesión en comparación con otros procesos de recubrimientos.
- La porosidad en los recubrimientos provoca que tanto gases como líquidos puedan pasar a través de la interfaz recubrimiento/sustrato. Esta es controlable hasta ciertos niveles, sin embargo, lograr un recubrimiento sin poros requiere de procesos post deposición tales como fusión o prensado isostático en caliente, así como también mediante el uso de procesos HVOF y VPS (Vacuum plasma spray), y la porosidad superficial puede ser sellada mediante la aplicación de sellantes líquidos. Los procesos competitivos, como la deposición de vapor, el enchapado y el revestimiento duro, normalmente están libres de poros.

- Los recubrimientos termorociados tienen propiedades anisotrópicas, es decir tienen una alta resistencia a la tracción, pero no resisten cargas de impacto a menos que sean sometidos a un tratamiento térmico posterior a la aplicación del recubrimiento.

1.4. Parámetros principales del proceso de termorociado

Para poder producir recubrimientos óptimos es necesario seguir ciertos pasos claves, como por ejemplo es de vital importancia que el sustrato esté completamente limpio para asegurar una unión adecuada del recubrimiento, además de tener cierta rugosidad después de la limpieza con granallado o algún otro medio.

La calidad del recubrimiento también depende de ciertas variables o parámetros del proceso, como el patrón de rociado, acumulación del revestimiento, variaciones del proceso, control de la temperatura, el movimiento de la antorcha y del sustrato, y la eficiencia de la deposición.[2]

Existe un gran número de combinaciones de las variables de termorociado mediante las cuales se logra conseguir un buen recubrimiento. Sin embargo, para obtener un proceso estable, ciertos parámetros deben mantenerse constantes, estos pueden ser reducidos a los que afectan directamente a las características del recubrimiento como son la manipulación, el tiempo, la temperatura y la masa.[2]

Entre las variables del parámetro de manipulación tenemos:[2]

- Distancia de separación: distancia desde la cara de la antorcha a la parte a ser recubierta también llamada sustrato.
- Velocidad de superficie: velocidad relativa entre la antorcha y la pieza.
- Paso o incremento: distancia que la antorcha se movió con cada golpe posterior de la manipulación de la antorcha o la revolución de la pieza.
- Ángulo de choque: variación de la corriente de rociado desde 90° a la superficie de la pieza.

El tiempo es controlado por los siguientes parámetros [2]:

- Diseño de la pistola
- Flujo de gas de arco llama

- Características del gas de arco
- Energía disponible, eléctrica o química, actuando sobre los gases del arco o llama

La temperatura es controlada por los siguientes parámetros:[2]

- Flujo de gas de arco o llama
- Energía disponible que actúa sobre el sistema

Una de las variables más complejas de controlar es la masa y se podría considerar una de las más importantes. Las variables del material para termorociado dependen del tipo de material de aporte ya sea alambre, varilla o polvo. Sin embargo, podemos resumir las variables comunes a todas las materias primas en químicas, punto de fusión, propiedades termofísicas y coeficiente de expansión térmica.[2]

1.5. Propiedades del proceso de termorociado

Los recubrimientos de termorociado se utilizan para hacer frente a una variedad cada vez mayor de necesidades de acabado superficial con mejores propiedades mecánicas. Sus propiedades se expresan generalmente en términos de:[2]

- Fuerza de enlace
- Dureza
- Resistencia a la corrosión/oxidación
- Propiedades térmicas
- Propiedades eléctricas, como conductividad, resistividad, y resistencia dieléctrica.
- Propiedades magneto-ópticas, como absorptividad y reflectividad.
- Maquinabilidad para acabado

La importancia de cada una de estas propiedades va a depender de la función que va a cumplir el recubrimiento. Las características del recubrimiento como porosidad, cohesión de las placas y contenido de óxidos tienen una influencia significativa sobre estas propiedades.

1.5.1. Inclusiones de óxido

Las inclusiones de óxido en los recubrimientos aparecen como cordones en la sección transversal del mismo, paralelas al sustrato, como fases oscuras y alargadas como se observa en la figura 1.4. Estos se producen por la interacción partícula-atmósfera-y/o calentamiento de la superficie del recubrimiento durante la deposición, produciendo películas de óxido y/o nitruro en la superficie de la partícula.[2]

Las inclusiones de óxidos a menudo son consideradas perjudiciales para los recubrimientos, pero en ciertas circunstancias se recurre a ella como un método para aumentar la resistencia al desgaste o para disminuir la conductividad térmica de los mismos.[2]

El aumento de inclusiones de óxido se refleja en el aumento de la dureza del recubrimiento, es decir, la combinación de metal de aporte con los óxidos metálicos produce un recubrimiento con mayor dureza que el mismo recubrimiento metálico. Sin embargo, esta dureza se traduce en recubrimientos frágiles ya que los óxidos tienden a fracturarse fácilmente. Además, presenta una reducción en la resistencia cohesiva del recubrimiento al interferir en el nivel de cohesión de los splats² si las inclusiones están demasiado concentradas.[2]

1.5.2. Porosidad

Las porosidades en los recubrimientos se atribuyen a partículas no fundidas o resolidificadas, es decir, que se solidificaron antes de impactar contra el sustrato, como se indica en la figura 1.4 provocando una baja cohesión del recubrimiento afectando a la resistencia al desgaste, ya que produce una disminución de la dureza del mismo y, aumentando las tasas de corrosión al permitir que elementos corrosivos ataquen al material base o sustrato. Como resultado de la baja cohesión, los recubrimientos se fracturan prematuramente, delaminan o desprenden y provocan malos acabados superficiales.[2]

² Splat: denominación dada a una gota/partícula de material de aporte impactada sobre el sustrato.

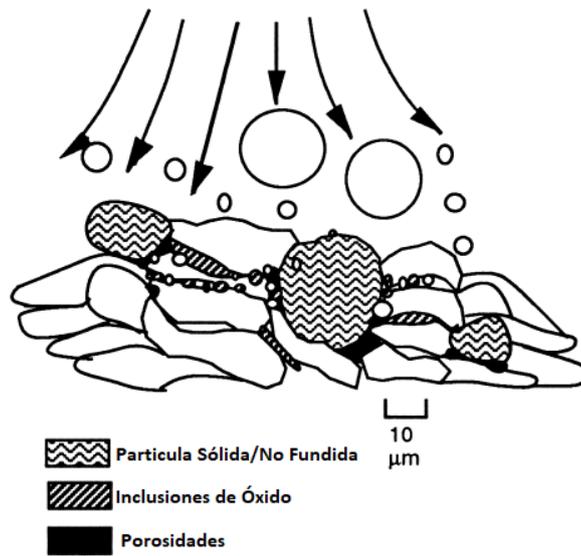


Figura 1.4. Defectos típicos en recubrimientos por termorociado.

(Fuente: Davis, 2004)

Concluyendo con la revisión de los fundamentos de los procesos de termorociado de los cuales se va a realizar la calificación, en el siguiente capítulo se procederá a la revisión de la metodología que será utilizada para la siguiente etapa.

2. METODOLOGÍA

Para la calificación de operadores de termorociado se debe seguir la metodología que dicta la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 Guide for Thermal-Spray Operator Qualification, la misma que indica los requerimientos de conocimientos y habilidades necesarias para la calificación en cada uno de los procesos.

De igual forma, dependiendo del proceso de termorociado, la norma indica los ensayos destructivos y no destructivos a aplicar en cada una de las probetas obtenidas en la aplicación de cada proceso, así como los rangos de aceptación los cuales serán necesarios para la valoración de los resultados de cada operador. Entre los ensayos no destructivos que se debe realizar constan las inspecciones visuales y tintas penetrantes, mientras que para los ensayos destructivos se tiene ensayos de dureza, tracción, doblado, metalografías, y golpeteo, de tal manera que se pueda obtener resultados cualitativos y cuantitativos que, al comparar con los rangos establecidos en la norma, muestren si el operador está apto o no para la aplicación del método.

2.1. Categorías de clasificación y métodos de aplicación

Para calificar a operadores de termorociado es necesario utilizar las tablas 2.1 y 2.2, las mismas que contienen la clasificación de los procesos de termorociado, así como el método de aplicación del mismo.

Tabla 2.1 Clasificación procesos de rociado Térmico

Tabla 1 Clasificación de Procesos de Rociado Térmico		
Clasificación del proceso	Método de rociado	Clase de la materia prima
FS-1	Rociado de Flama	Zn, Al, y sus aleaciones materiales compuestos para protección de corrosión
FS-2	Rociado de Flama	Alambres de aleación de metal, y varillas cerámicas para propósitos de ingeniería
FS-3	Rociado de Flama	Metal, aleaciones, y polvos cerámicos para propósitos de ingeniería
FS-4	Rociado de Flama	Aleaciones autofundentes para propósitos de ingeniería
AS-1	Rociado por Arco	Zn, Al, y sus aleaciones materiales compuestos para protección de corrosión
AS-2	Rociado por Arco	Metal, aleaciones, y polvos cerámicos para propósitos de ingeniería
A&FS-1	Rociado por Arco y Flama	Rociado de arco y flama con alambre de zinc sobre hormigón armado
APS-1	Rociado de plasma de aire	Materiales para propósitos de ingeniería: metales y aleaciones
APS-2	Rociado de plasma de aire	Materiales para propósitos de ingeniería: cerámicos
APS-3	Rociado de plasma de aire	Materiales para propósitos de ingeniería: carburos a base de metal
HVOF-1	Alta Velocidad Combustible Oxigenado	Materiales para propósitos de ingeniería: metales y aleaciones

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

Tabla 2.2 Clasificación de la aplicación de termorociado por movimiento de la antorcha y control de la pieza de trabajo

Tabla 2			
Clasificación de Aplicación de Rociado Térmico por Movimiento de la Pistola y Control de la Pieza de Trabajo			
Método de aplicación	Movimiento de la antorcha	Movimiento de la pieza de trabajo	Cambio de pieza de trabajo
Manual	Manual	Manual o Mecanizado	Manual o Mecanizado
Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado	Manual o Mecanizado
Automático	Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

La designación para la calificación de operadores se la realiza de la siguiente manera:

[Tabla 1 **Clasificación del proceso**] : [Tabla 2 **Método de Aplicación**]

Por ejemplo, FS-4: manual significa que el operador de termorociado es calificado para rociado por flama (método de rociado), para aleaciones auto fundentes para propósitos de ingeniería (clase de materia prima): manual (método de aplicación), movimiento manual de la antorcha y movimiento manual o mecanizado de la pieza de trabajo y del cambio de la misma.[3]

La tabla 2.3 especifica la cantidad de operadores por proceso, los nombres de los operadores a ser calificados y la clasificación del proceso de termorociado junto al método de aplicación. Esta tabla será de gran importancia en el desarrollo del estudio, así como en los resultados finales ya que permitirá evaluar a cada operador en su respectivo proceso y bajos los parámetros que gobiernan a los mismos.

Tabla 2.3. Denominación de operadores a ser calificados.

Cantidad de operadores	Nombre de operador	Designación
2	Diego Cadena	FS-4: manual
	Jorge Carrera	FS-4: manual
2	Diego Cadena	HVOF-1: manual
	Juan Carlos Corella	HVOF-1: manual
3	Diego Cadena	AS-2: manual
	Alexis Chulde	AS-2: manual
	Jefferson Montesuma	AS-2: manual

(Fuente: Propia)

2.2. Factores esenciales para la prueba de calificación

De acuerdo al numeral 6 de la guía para calificación de operadores de termorociado que se encuentra en el ANEXO I los criterios designados en dicha sección deben ser examinados para identificar la habilidad del aplicante, entre los cuales incluyen operación de equipos de termorociado, procedimiento de enmascaramiento y preparación de la superficie.

La prueba de conocimientos del aplicante incluye:

- 1) Conocimiento básico del trabajo de termorociado[3]
- 2) Conocimiento requerido en el TSOQT³ específico [3]:
 - a. Equipo para el método de termorociado y clase de materia prima para el cual él o la aplicante es evaluado.
 - b. Habilidad para completar y usar la tabla 1 del TSOQT correspondiente al proceso de termorociado para el que está siendo calificado ANEXO XII.

Para la elaboración de la prueba de conocimiento se debe tomar en cuenta los parámetros establecidos en el TSOQT No. JK-1 adjunto en el ANEXO II el mismo que detalla los requerimientos de conocimiento del trabajo, entre los cuales incluye equipo y procesos de termorociado, materiales del sustrato y materia prima consumible, seguridad y prevención de accidentes, y métodos de prueba de recubrimientos de termorociado.[3]

Además, durante la calificación, los aplicantes deben demostrar conocimiento sobre la interacción de la limpieza, desengrasado y métodos mecánicos de rugosidad de la superficie, precalentamiento, y almacenamiento, de tal modo que sea capaz de evaluar y medir la preparación de la superficie del sustrato, como se especifica en el ANEXO I.[3]

La prueba de habilidades debe cumplir con el TSOQT correspondiente para cada proceso los mismos que se encuentran en los anexos III, IV y V.

2.3. Examinación y prueba

2.3.1. Prueba de conocimiento del trabajo

El aplicante debe completar satisfactoriamente la prueba de conocimiento en:

³ TSOQT: Thermal Spray Operator Qualification Test

- 1) Conceptos básicos y terminología del termorociado. [3]
- 2) Todos los aspectos de conocimientos y habilidades correspondiente al TSOQT para el cual está siendo calificado. Esto incluye identificar y registrar el proceso requerido y los parámetros de aplicación de la preparación de superficie, equipo de termorociado, e información técnica del fabricante de la materia prima. [3]

En acuerdo con la empresa IMETCA S.A. se estableció un porcentaje mínimo que los aspirantes deben alcanzar en su evaluación de conocimientos, una vez aprobada dicha evaluación, se continua con el proceso de calificación mediante la realización de las pruebas de habilidades; el porcentaje acordado, para la evaluación de conocimientos, es del 70% del puntaje total.

De acuerdo a lo establecido anteriormente se han desarrollado las pruebas de conocimientos para cada uno de los procesos, tomando en cuenta todos los campos de conocimiento que han sido establecidos tanto en el TSOQT No. JK-1, como en el TSOQT correspondiente a cada proceso de termorociado para los cuales van a ser calificados cada uno de los aplicantes, estas pruebas se encuentran adjuntas en el anexo VI.

Como complemento a estas pruebas es necesario desarrollar cinco probetas, las cuales son granalladas con un distinto nivel de limpieza superficial y servirán para la identificación y valoración del conocimiento de los operadores acerca de la limpieza superficial y perfil de anclaje. Estas probetas serán entregadas a cada operador, el cual se encargará de aprobar o rechazar las mismas de acuerdo a su criterio y conocimiento.

En la tabla 2.4 se puede observar las cinco probetas con un distinto nivel de limpieza, que se utilizará para la evaluación de cada operador. Cada probeta fue granallada de acuerdo a las especificaciones de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002, asimismo cada muestra se encuentra identificada de acuerdo a la correcta o incorrecta limpieza superficial y perfil de anclaje de la superficie del sustrato, además se detallan las características de la preparación superficial de cada una. Cada aplicante es sometido a la evaluación de reconocimiento de preparación superficial, la misma que consiste en identificar a cada una de las probetas y emitir un juicio de si es aceptable o no y las razones que fundamenten aceptación o rechazo. Esta evaluación forma parte de la prueba de conocimiento que debe aprobar cada aplicante para su respectiva calificación.

Tabla 2.4. Muestras de prueba para evaluación de preparación superficial.

Placa granallada		Justificación
	Correcta	Superficie granallada correctamente, con una superficie limpia casi blanca o de metal blanco con un perfil angular apropiado. SP-10
	Incorrecta	Superficie contaminada con aceite, grasa, suciedad material suelto o polvo.
	Incorrecta	Superficie granallada por muy poco tiempo, dejando excesiva contaminación o un perfil de anclaje muy superficial, o ambas.
	Incorrecta	Superficie granallada con granalla redonda para proveer una superficie limpia, pero sin perfil angular.
	Incorrecta	Superficie demasiado granallada y pulida a medida que es reducido el perfil.

(Fuente: Propia)

2.3.2. Prueba de habilidades (habilidad práctica)

La aplicación de esta prueba permite determinar si el aplicante tiene las habilidades prácticas necesarias para realizar el proceso de termorociado, adicional a esto durante la prueba se debe revisar que cada aplicante cuente con su identificación y realice la verificación de equipo de seguridad, ajustes de maquinaria, verificación del material, enmascaramiento, preparación superficial, manipulación y fijación, y testificación, de acuerdo a la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 que se encuentra en el ANEXO I.

2.3.3. Recalificación

La recalificación se dará de acuerdo al criterio del supervisor y en caso de que el aplicante incumpla con los requisitos de la guía. Se debe realizar una capacitación adicional previa a la aplicación de las pruebas de recalificación.

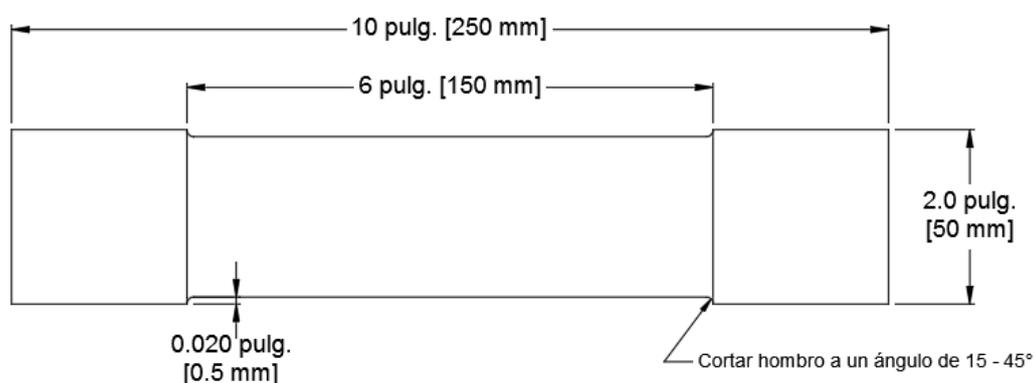
Si durante la calificación el aplicante puede demostrar la existencia de alguna falla en la pieza de prueba, que le impida rociar de forma correcta, se le podrá permitir un nuevo intento cuando se haya corregido la falla.[3]

2.4. Preparación de probetas

De acuerdo a la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 adjunta en el ANEXO I, en cada TSOQT se encuentra especificado las dimensiones y materiales de las probetas que son requeridas para la aplicación práctica o prueba de habilidades de cada proceso de termorociado. Para la calificación de operadores de termorociado para arco eléctrico, HVOF y por flama el material de las probetas es de acero de bajo contenido de carbono.

En el TSOQT No.AS-2 y TSOQT No. HVOF-1 correspondientes a los procesos de termorociado por arco eléctrico y HVOF respectivamente, las piezas de ensayos especificadas son las siguientes para cada uno de los aspirantes:

- Una barra redonda de 2 pulgadas de diámetro x 10 pulgadas de largo (50 x 250 mm) con un entalle de 0.020 pulgadas (0.5 mm) de acuerdo a la figura 2.1 el mismo que se lo obtuvo mediante mecanizado sustractivo en torno.



Todas las dimensiones ± 0.002 pulg. [0.05 mm]

Figura 2.1. Probeta para recubrimientos mediante rociado de HVOF o de arco.

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

- Cinco probetas de tracción de 1 pulgada de diámetro x 1.5 pulgadas de longitud (24.5 x 38.1 mm) y roscada de acuerdo a la norma ASTM C 633 como se indica en la figura 2.2, las mismas fueron mecanizadas en torno.

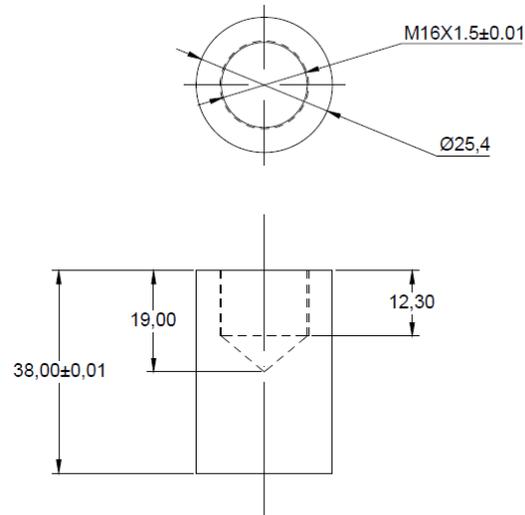


Figura 2.2. Probeta de doblado para recubrimientos mediante rociado de HVOF o de arco.

(Fuente: ASTM C633-13)

- Seis probetas de doblado de 2x6x0.050 pulgadas (50x152.4x1.25 mm) las cuales son utilizadas para ensayos de doblado y análisis metalográfico como se observa en la figura 2.3.

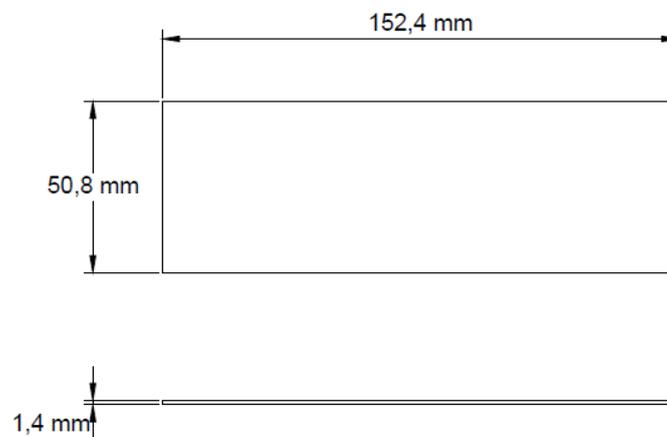


Figura 2.3. Probeta de doblado para recubrimientos mediante rociado de HVOF o de arco.

(Fuente: Propia)

En el TSOQT No. FS-4 correspondiente al proceso de termorociado por flama se especifica una pieza de ensayo que se conforma de una barra redonda de 3 pulgadas de diámetro x 10 pulgadas de longitud (75x250 mm), los extremos deben ser reducidos a 2 pulgadas (50 mm) de acuerdo a la figura 2.4; se realiza la mecanización en torno para la obtención de la geometría dada.

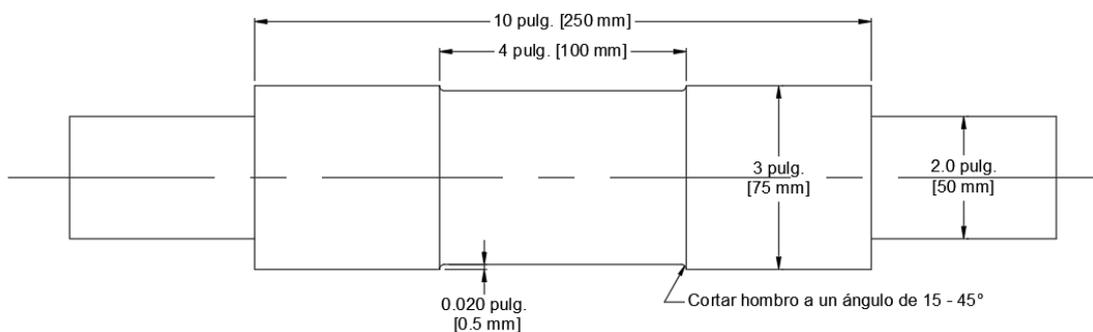


Figura 2.4. Probeta para rociado de flama para recubrimiento de aleación de metal auto-fundente.

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

La preparación superficial de las probetas se realiza de acuerdo a las especificaciones del respectivo TSOQT, así como el procedimiento del termorociado, los mismos que se encuentran desglosados en los ANEXOS III, IV y V. De acuerdo a la norma la medición de la profundidad del perfil debe realizarse siguiendo la norma NACE RO0278 o ASTM D4417 método C (cinta réplica) o método B (galga de profundidad de perfil).

Luego de que los operadores aprueben la prueba escrita que establece la norma y después de que las probetas hayan sido maquinadas y preparadas superficialmente para la prueba de habilidad, de acuerdo a las especificaciones de la respectiva norma, se procede a realizar la aplicación del procedimiento de termorociado con el correspondiente material de aporte y proceso.

2.4.1. Equipo para preparación de probetas

El proceso de preparación de probetas se lo realizó en las instalaciones de la empresa IMETCA S.A con el equipo proporcionado por la misma. A continuación, en las tablas 2.5, 2.6 y 2.7 se detallan las especificaciones técnicas de los equipos utilizados para la preparación superficial y medición de la profundidad del perfil de anclaje de todas las probetas que van a ser rociadas mediante arco eléctrico, flama y HVOF.

Tabla 2.5. Especificaciones técnicas del equipo para granallado.

Parámetro	Especificación técnica
Marca	SCHMIDT
Modelo	3.5 C.F.
Presión máx. de trabajo	150 psi @250 F°
Min. temperatura del metal	-20 F°@150 psi
Diámetro tubería	1 ¼"
Granalla	AMASTEEL
Tipo y tamaño de granalla	Angular #24



(Fuente: Propia)

Tabla 2.6. Especificaciones técnicas del equipo medidor de perfil de superficie.

Parámetro	Especificación técnica
Marca	Elcometer
Modelo	224T
Versión	1.65/01.23
Rango de medición	0-600 μm
Punta de la sonda	Punta de carburo de tungsteno ángulo 60°; Radio de la punta: 50 μm (2mil)
Temperatura de Funcionamiento	-10 a 50°C (14 a 122°F)
Temperatura de almacenaje	-10 a 60°C (14 a 140°F)
Precisión y resolución	Precisión*: $\pm 5\%$ a $\pm 5\mu\text{m}$ ($\pm 0.2\text{mil}$); Resolución: 1 μm (0.1mil)



(Fuente: Propia)

Tabla 2.7. Especificaciones técnicas de cintas replica.

Parámetro	Especificación técnica
Marca	Testex
Modelo	X-Coarse HT
Margen de perfiles	38 - 115 μm (1.5 - 4.5mils)



(Fuente: Propia)

2.5. Ensayos

En el apartado 2.6 de este documento se especifican los ensayos que se deben realizar a las probetas para la calificación de los operadores y los criterios de aceptación.

2.5.1. Ensayo de Adhesión y Cohesión

El ensayo consiste en rociar térmicamente una cara de la probeta de tracción, unir este recubrimiento a la cara de un accesorio de carga y someter este conjunto a una carga de tracción en dirección normal al plano del recubrimiento. Este ensayo está adaptado especialmente para aplicar sobre recubrimientos rociados térmicamente.[4]

Por lo general este método de ensayo se lo realiza a temperatura ambiente. Pruebas de altas temperaturas están restringidas por el agente adhesivo. Las especificaciones de la máquina de tracción se encuentran detalladas en la norma ASTM C633 "Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings".[4]

Cada muestra de prueba es un conjunto que está formado por un accesorio de sustrato, cuya superficie debe ser preparada y rociada térmicamente el correspondiente recubrimiento, y además un dispositivo de carga el cual es preparado superficialmente pero no rociado.[4]

El espesor del recubrimiento no debe ser menor a 0.015 pulg. (0.38 mm); en caso de que el recubrimiento vaya a ser esmerilado o maquinado el espesor debe ser aproximadamente 0.005 pulg (0.13 mm) más grueso para permitir la remoción de material. El espesor del recubrimiento no debe variar más de 0.001 pulg. (0.025 mm).[4]

En el numeral 7 de la norma ASTM C633 establece el procedimiento para el ensayo de adhesión y cohesión que se aplica a las probetas de tracción el mismo que se lo detalla a continuación:

1. Preparar la cantidad establecida de accesorios de sustrato o probetas de tracción y aplicar el recubrimiento termorociado a cada uno. De ser necesario mecanizar la superficie del recubrimiento.
2. Preparar el agente adhesivo de unión. Fijar los accesorios de carga con la debida preparación superficial a los accesorios de sustrato revestido esencialmente al mismo tiempo. Adicionalmente se debe preparar una muestra de prueba no revestidos para medir la fuerza de adhesión del agente de unión.
3. Aplicar una carga de tracción a cada muestra de prueba a una velocidad constante de recorrido de la cabeza entre 0.030 pulg/min (0.013mm/s) y 0.05 pulg/min (0.021 mm/s) hasta que se produzca la rotura.

Para la aplicación y curado del agente adhesivo se siguió el siguiente procedimiento:

- Limpiar las superficies de la muestra de prueba con alcohol para eliminar cualquier residuo de polvo y dejar secar.
- Con la ayuda de un pincel esparcir el agente adhesivo sobre cada accesorio de la muestra de prueba de manera uniforme.
- Unir los accesorios de manera que queden alineados verticalmente y aplicar presión sobre ellos para eliminar por los bordes el exceso de resina e intentar que la alineación de las caras de los accesorios sea paralela, ya que al no serlo se generan concentradores de esfuerzos al momento de aplicar la carga de tracción.
- Curar la resina en el horno a una temperatura entre 300 y 350°F durante un intervalo de tiempo de 60 a 90 min.
- Dejar enfriar la muestra de prueba.

2.5.1.1. Equipo para el ensayo de tracción

El ensayo de tracción se lo realizó en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad San Francisco de Quito. Para la realización del ensayo se hizo uso de la resina MASTERBOND EP15ND-2 para la unión de la probeta rociado con el accesorio de carga. Las especificaciones técnicas de la maquina universal de ensayos se encuentra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Especificaciones técnicas de la máquina universal de ensayos.

Parámetro	Especificación técnica	
Marca	Tinius Olsen	
Modelo	Super "L"	
Capacidad	3000kN	
Carrera	6 in (152 mm)	
Velocidad de ensayo	0-3 in/min (0-76 mm/min)	
Peso	1180 kg	
Software	HORIZON	

(Fuente: Propia)

2.5.2. Ensayo de doblado

El ensayo de doblado se lo realiza de acuerdo a las especificaciones de la norma NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00.

El ensayo de doblado es una prueba cualitativa de la ductilidad y resistencia a la tracción del recubrimiento termorociado. La prueba de doblez es una prueba de macro-sistema de preparación de la superficie, configuración del equipo, parámetros de rociado y procedimientos de aplicación.[5]

En la sección 4 de la norma NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 especifica el procedimiento para la aplicación del recubrimiento termorociado TSC (Thermal Spray Coating) para la protección contra la corrosión del acero el mismo que incluye:

- a) La preparación adecuada de la superficie del sustrato de acero
- b) La aplicación adecuada del TSC, y
- c) La aplicación adecuada del sellador o sellador y capa superior.

El procedimiento incluye el uso de chorreado abrasivo adecuado, rociado térmico, equipo de sellado/recubrimiento superior y puntos de control de calidad en proceso. Los requisitos del sistema TSC y las pruebas de inspección y aceptación para aplicaciones de taller y campo. El material del sistema TSC, el grosor, la fuerza de adhesión y el sellador o sellador y la capa superior deben estar relacionados con el servicio requerido.

De acuerdo a la sección 5 de la norma NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00, se establece los requerimientos de terminado superficial que se describen a continuación:

1. Acabado de superficie

1.1. El sustrato de acero debe ser preparado de la siguiente manera:

- 1.1.1. Terminado de metal blanco, de acuerdo a la norma NACE No. 1/SSPC-SP5, para servicios marinos y de inmersión, o
- 1.1.2. El mínimo acabado de metal casi blanco, de acuerdo a la norma NACE No. 2/SSPC-SP10, para otras aplicaciones de servicio.
- 1.1.3. El nivel de contaminación con sales solubles en la superficie debe cumplir con las especificaciones del contrato.

1.2. El acabado y la limpieza superficial se confirmarán de acuerdo con SSPC-VIS.

2. Profundidad del perfil angular

2.1. El sustrato de acero debe tener como mínimo una profundidad de perfil angular $\geq 65 \mu\text{m}$ (2.5 mils) con una forma angular nítida.

3. Registro de la medición de la profundidad de perfil angular

3.1. La profundidad del perfil debe ser medido acorde a la norma NACE Standard RO0287 o ASTM D 4417, método C o método D, o ambos.

3.1.1. Granallado manual. Como mínimo tomar una medición de profundidad del perfil cada 1 o 2 m² de superficie granallada.

3.1.2. Granallado automático. Como mínimo tomar una medición de profundidad de perfil cada 100 a 200 m² de superficie granallada.

3.1.3. Medios de granallado angular. Usar medios de limpieza angulares, limpios y secos. Los abrasivos minerales y de escoria se seleccionan y evalúan de acuerdo con SSPC-AB 1, los abrasivos ferrosos reciclados serán evaluados con SSPC-AB 2 y la arenilla de acero con SSPC-AB 3. La ausencia de contaminación con aceite se confirmará usando la prueba para aceite en la especificación apropiada del abrasivo. La medición de sal soluble se la evalúa con la ASTM D 4940.

En el ensayo de doblado se somete al TSC a un esfuerzo de tensión, para el mismo se utiliza un mandril cuyo diámetro para el umbral de craqueo va a depender del espesor del sustrato y del recubrimiento.[5] El mismo se visualiza en la figura 2.5.

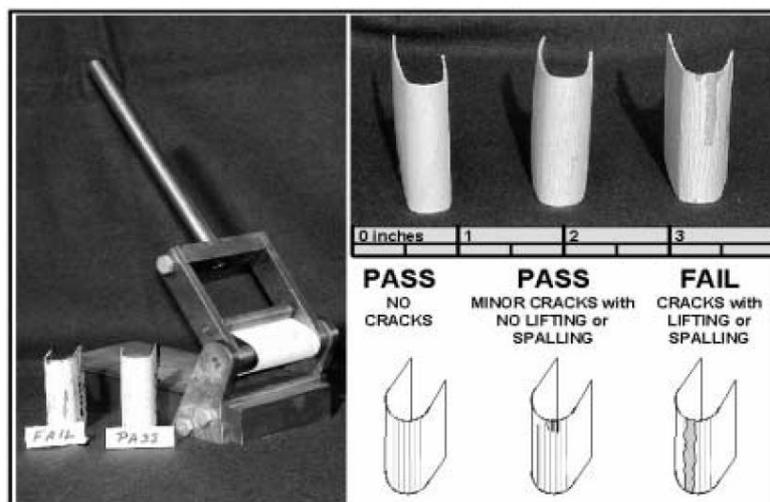


Figura 2.5. Ensayo de doblado del TSC: muestras para aprobar o rechazar.

(Fuente: NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00)

En el numeral 6.5.3 de la NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 se describe el procedimiento a seguir para espesores de TSC en un rango entre 175 a 300 μ (7 a 12 mils), entre los cuales se especifican la preparación de las probetas y los espesores a ser rociados. Y los límites de aceptación y rechazo de los ensayos que se distinguen en la figura 2.5 describen que:

Las probetas pasan el ensayo de doblado si:

- a) No existen grietas o desprendimientos
- b) Existe la presencia de grietas mínimas, es decir, que no pueden ser desprendidas del sustrato con una cuchilla.

Las probetas no pasan el ensayo de doblado si existen grietas que evidencien el sustrato y se desprendan del mismo.

De acuerdo al numeral 6.6 de la NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 el TSC debe ser uniforme sin ampollas, grietas, partículas sueltas, ni acero expuesto al ser examinado con una magnificación 10X.

La sección 7 detalla el procedimiento de aplicación del TSC, así como también la temperatura superficial del sustrato, el periodo de espera entre preparación superficial y aplicación del recubrimiento, aplicación de una capa flash de recubrimiento, y su procedimiento de validación.

Para la aplicación del recubrimiento se debe verificar que la temperatura de la superficie del sustrato debe ser mayor a 5°C sobre la temperatura del punto de rocío. Además, el tiempo de espera entre la preparación superficial del sustrato y la aplicación del recubrimiento no debe sobrepasar las seis horas, siempre y cuando se realice una correcta protección de la superficie y también dependiendo de las variaciones de humedad del ambiente. En caso de requerir la extensión del tiempo de espera por cuatro horas más, se puede aplicar una capa flash de recubrimiento el mismo que debe ser validado. [5]

2.5.3. Ensayo metalográfico

Desde un punto de vista científico y técnico el microscopio se ha convertido en la herramienta más importante de la metalurgia, aportando herramientas para el estudio de la metalografía o también llamado microscopía. Esta herramienta ha permitido el estudio microscópico de las características estructurales de un metal o de una aleación pudiendo

determinar así el tamaño de grano, inclusiones y las distintas fases en las que se encuentra las mismas, lo que afecta las propiedades mecánicas del metal y que, bajo ciertas condiciones dadas, se podrá predecir su comportamiento.[6]

Con el afán de visualizar la condición de la interfase de unión, poros, inclusiones de óxido, fisuras, porosidades, partículas sin fusionar y uniformidad de constituyentes del recubrimiento, se recurre al ensayo metalográfico el cual es un estudio micro estructural del recubrimiento que permite evidenciar todas estas indicaciones mencionadas anteriormente, como también observar la morfología de los splats y como estos se adhieren al sustrato.

La preparación de la probeta juega un rol importante en el estudio microscópico, ya que al preparar deficientemente las probetas todos los defectos que se encuentren presentes en la misma no podrán ser observadas y evidenciadas ni con el microscopio más fino. El propósito es obtener una superficie plana semejante a un espejo, que no posea ralladuras las cuales dificulten la visualización de la superficie.[6] Sin embargo el procedimiento para la preparación de las muestras es bastante sencillo y con el avance tecnológico este ha podido ser automatizado disminuyendo tiempos en preparación y facilitando la misma.

Este ensayo se lo debe realizar en la sección transversal de la probeta termorociada para poder visualizar el recubrimiento y la interfase de unión con el sustrato. El procedimiento para la preparación de las muestras es el siguiente:

- Extracción de la muestra: Con el objetivo de seleccionar una sección de la muestra en donde se puedan encontrar la mayor cantidad de defectos en el recubrimiento y de acuerdo a la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 se eligieron los bordes de las probetas de doblado. Para el corte de las muestras se usó un disco de corte con punta de diamante, para evitar el sobrecalentamiento de las muestras se usó agua como refrigerante y el corte se lo realizó desde el lado del recubrimiento hacia el sustrato para así evitar el desprendimiento del mismo. La velocidad de giro del disco fue de 700 rpm.
- Montaje: Debido a que las muestras son pequeñas y delgadas estas deben ser montadas dentro de una capsula, la misma que es rellena con una mezcla de resina poliéster, catalizador y acelerante. Posterior a la mezcla se debe esperar hasta que esta se endurezca completamente y desmontar de la capsula.
- Desbaste grueso: Para este proceso se hizo uso de la máquina pulidora semiautomática con lija N°240, proceso que permite uniformizar la superficie de la

baquelita y eliminar residuos debido al corte de las probetas. Los parámetros de la máquina se establecieron en velocidad de giro de cabezal 125 rpm, velocidad de giro del plato porta lija 200 rpm, carga sobre la probeta de 16 libras.

- Desbaste fino: En este paso se mantienen los parámetros de la máquina pulidora del paso anterior, pero se hace uso de lija N°600. Mediante este paso se deben eliminar las líneas producidas en el desbaste grueso, y se debe mantener el desbaste hasta que las líneas de la superficie tengan una dirección definida.
- Pulido grueso: los parámetros anteriormente establecidos siguen constantes, se cambia a una lija N°1200 y se pule hasta que las líneas del proceso anterior hayan desaparecido
- Pulido fino: para este último paso se utiliza un paño de microfibra con alúmina de 0,3 μm y jabón neutro, se cambia la velocidad de giro del plato a 160 rpm y con una carga de 10 libras.
- Ataque químico: Este paso no se lo realizó ya que para la calificación no se requiere ver las fases del material, sino se desea ver poros, inclusiones de óxidos, grietas y la forma de los splats del recubrimiento.

2.5.3.1. Equipo para ensayo metalográfico

El corte de las probetas para metalografías se lo realizó en la Universidad San Francisco de Quito con el equipo IsoMet 1000 que es una cortadora de precisión con disco de punta de diamante especificado en la tabla 2.9.

La continuación del ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Escuela Politécnica Nacional. Se hizo uso de la pulidora semiautomática y el microscopio metalográfico de los cuales se muestran las especificaciones en las tablas 2.10 y 2.11 respectivamente.

Tabla 2.9. Especificaciones técnicas de la cortadora de precisión.

Parámetro	Especificación técnica
Marca	BUEHLER
Modelo	IsoMet 1000
Voltaje	85-264 V
Frecuencia	50/60 Hz
Peso	56 lbs (25 Kg)
Dimensiones	15.5x21x12 in (394 x 533 x 305mm)
Potencia del motor	1/8 Hp (90 W)
Velocidad del disco	100-975 rpm



(Fuente: Propia)

Tabla 2.10. Especificaciones técnicas de la pulidora semiautomática.

Parámetro	Especificación técnica
Marca	metkon
Modelo	FORCIMAT
Fabricado	2016
N° serie	N20160961
Peso	27 kg
Voltaje	230
Frecuencia	50/60 Hz
Potencia	150 W



(Fuente: Propia)

Tabla 2.11. Especificaciones técnicas del microscopio metalográfico.

Parámetro	Especificación técnica
Marca	OLYMPUS
Modelo	GX41
N° Serie	4D41167
Año	2016
Voltaje	100-200/230-240 V
Frecuencia	50/60 Hz



(Fuente: Propia)

2.5.4. Ensayo de micro dureza

La dureza se define como la resistencia de un material a ser indentado o rayado, por lo cual el ensayo de dureza nos permite medir de forma cuantitativa la resistencia que presenta el recubrimiento. Este valor es también usado como indicador de la resistencia al desgaste, tenacidad y ductilidad, así como también la maquinabilidad del recubrimiento. [7]

El ensayo de micro dureza también llamado micro indentación consiste en que a un indentador de punta de diamante con una geometría específica se le aplique una cierta carga sobre el material que se desea evaluar mediante el uso de una máquina calibrada, en donde se procede a medir las diagonales marcadas por la indentación mediante un microscopio óptico de luz, luego de que la carga haya sido removida. Para la medición de micro dureza las cargas a ser aplicadas se encuentra dentro del rango de 1 a 1000gr, además se asume que no existe una recuperación elástica del material indentado luego de que la carga haya sido removida.[8]

El indentador utilizado para la medición de micro dureza se denomina indentador Vickers, el cual es un indentador con forma piramidal de diamante y está formado de una base cuadrada y sus caras forman un ángulo de 136° . [8]

Además, es necesario durante la aplicación de la carga, evitar cualquier tipo de contacto con la máquina y evitar cualquier tipo de vibración que puedan afectar la confiabilidad del ensayo. Así como que el indentador se encuentre completamente alineado de forma paralela con la superficie de la probeta para que la huella de las diagonales tengas el mismo ángulo del indentador y por ende la misma longitud.[8]

El procedimiento para la medición de durezas en las probetas de flama se describe a continuación:[9]

1. Es usual que la superficie del material que va a ser ensayado cuente con un buen acabado superficial y, mientras menor sea la carga con la cual se va a realizar el ensayo mejor debe ser la preparación superficial para que así se pueda evidenciar fácilmente la huella y esta pueda ser medida lo más preciso posible. Razón por la cual se realiza un desbaste grueso, fino y pulido grueso con el uso de lijas N°240, 320, 400, 600, 800, y 1200 con la ayuda de la pulidora semiautomática y pulido fino con alúmina de $1\mu\text{m}$ y así obtener una superficie lisa y plana.

2. La probeta debe ser montada sobre el microscopio. Para evitar errores en la medición la misma debe realizarse en un rango de temperatura entre 10 y 35°C.
3. Enfocar la pieza de prueba con el microscopio y determinar donde se encuentra ubicado el recubrimiento para realizar la aplicación de la carga de prueba.
4. Establecer la carga a ser aplicada y el tiempo de permanencia en el durómetro y seleccionar START.
5. Cambiar a una lente adecuada para realizar la medición de las diagonales dejadas por el indentador.

2.5.4.1. Equipo para ensayo de dureza

El ensayo de dureza se lo realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Escuela Politécnica Nacional. Para la preparación de las probetas se utilizó la pulidora semiautomática especificado anteriormente y el durómetro Vickers cuyas especificaciones técnicas se encuentran detalladas en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Especificaciones técnicas del durómetro Vickers.

Parámetro	Especificación técnica	
Marca	METKON	
Modelo	DUROLINE-M	
Ampliación del microscopio	400X, 100X	
Capacidad de carga	10,25,50,100,200,300,500,1000gf	
Mecanismo de carga	Método automático de carga y descarga 50 $\mu\text{m/s}$	
Tiempo de permanencia	5-99 s	
Escalas de dureza	HV, HK	
Microscopio de medición	Electronic (Auto D1/D2)	
Fuente de luz	12V 50W	

(Fuente: Propia)

2.5.5. Ensayo de tintas penetrantes

El ensayo de tintas penetrantes pertenece al grupo de ensayos no destructivos aplicable a procesos finales y de mantenimiento, con el afán de detectar discontinuidades como poros, grietas, laminaciones, fugas, falta de fusión, etc., siempre y cuando estas se encuentren abiertas a la superficie y el material no sea poroso y tenga poca rugosidad. Este ensayo se lo puede realizar en materiales metálicos y no metálicos tales como cerámica vidriada no porosa, ciertos plásticos no porosos y vidrio.

Para la aplicación de las tintas penetrantes es importante que tanto las tintas como la superficie del elemento a ser ensayado estén a una temperatura entre 4 a 52°C. Al tratarse de una probeta de barra redonda esta fue dividida en cuatro secciones iguales.

El procedimiento para la realización del ensayo se describe a continuación:

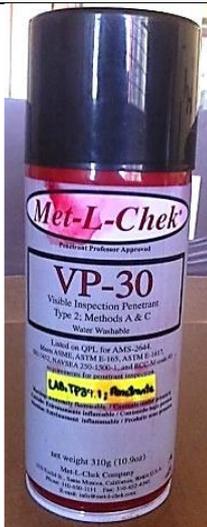
1. Limpiar la probeta y retirar cualquier tipo de contaminante como aceites, grasas polvos, etc. y secar la probeta con un paño de algodón.
2. Agitar el líquido penetrante antes de aplicarlo, rociar sobre la superficie suficiente líquido para que este penetre sobre las discontinuidades abiertas. Dejar durante al menos 5 minutos para que el líquido pueda penetrar.
3. Una vez transcurrido el tiempo indicado en el ítem anterior, remover el exceso de penetrante con un paño de algodón de manera que el líquido que ingreso por las indicaciones no se absorbido por el mismo.
4. Aplicar el revelador tomando en cuenta que capas finas de revelador no extraen al penetrante y capas muy gruesas pueden enmascarar la información, esperar hasta que se seque sobre la superficie de tal manera que se revelen las indicaciones.
5. Evaluar las indicaciones de las probetas mediante la ayuda de luz natural, interpretarlas y evaluarlas.
6. Realizar la limpieza final de la pieza con solvente y lavarla con agua.

2.5.5.1. Equipo para ensayo de tintas penetrantes

El ensayo de tintas penetrantes se lo realizó en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la Escuela Politécnica Nacional. Los materiales usados para dicho ensayo fueron: penetrante tipo II método A y C, revelador húmedo tipo I y II métodos A, B, C y D, y

removedor. Las características de los materiales usados para el ensayo se los detalla en la tabla 2.13.

Tabla 2.13. Características equipo para tintas penetrantes.

Líquido penetrante	Revelador	Removedor
Líquido penetrante con tinta visible lavable con agua Met-L-Chek VP-30 Type 2 Methods A&C Water Washable	Revelador húmedo no acuoso Met-L-Chek D70 Type 1&2 Methods A, B, C & D, Forms d & e.	Solvente Met-L-Chek E-59A Types 1&2 Method C Class 2.
		

(Fuente: Propia)

2.6. Criterios de aceptación y rechazo

El supervisor es el único encargado de observar todos los elementos de la calificación de desempeño y a la vez es el encargado de inspeccionar y aceptar las piezas de acuerdo a las especificaciones expuestas en el numeral 6 de cada TSOQT.

La tabla 2.14, 2.15 y 2.16 muestra los criterios de aceptación en probetas resultantes del proceso TSOQT, a las cuales se les realiza el ensayo respectivo para obtener resultados que serán aceptados o rechazados según corresponda.

Tabla 2.14. Criterios de aceptación TSOQT No. AS-2.

Pieza de prueba	Ensayo	Criterio de aceptación	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Liso y sin grumos, polvo, inclusiones de partículas abrasivas o sopladuras.	
	Espesor	(1) Por pase: Espesor de acuerdo con las instrucciones del proceso. (2) Diámetro total previo acabado: +0.003-0.006 pulg. [0.08-0.15 mm] sobre el diámetro original de la barra. (3) Medición del espesor total en cuatro sitios a lo largo de la barra redonda.	
	Acabado	Maquinar el recubrimiento termorociado hasta el diámetro original de la barra redonda utilizando métodos apropiados. El recubrimiento termorociado debe limpiar delicadamente sin desprendimientos de partículas, sobre toda la superficie.	
Probeta de tracción	ASTM C 633	6000 psi [41.4 Mpa] promedio de las cinco probetas sin tensión < 5000 psi [34.4 Mpa].	
Probeta de flexión	AWS C2.18 MIL-STD-1687	Sin separación; fisuras mínimas que no puedan ser removidas con cuchilla están permitidas.	
Metalografía		Examinación de la condición de la interfaz, fisuras, porosidades, óxidos, alineamiento de óxidos, partículas globulares, partículas sin reaccionar y uniformidad de constituyentes.	

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

Tabla 2.15. Criterios de aceptación TSOQT No. HVOF-1.

Pieza de prueba	Ensayo	Criterio de aceptación	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Liso y sin grumos, polvo, inclusiones de partículas abrasivas o sopladuras.	
	Espesor	(1) Por pase: Espesor de acuerdo con las instrucciones del proceso. (2) Diámetro total acabado: +0.004-0.008 pulg. [+0.1-0.2 mm]. (3) Medición del espesor total en cuatro sitios a lo largo de la barra redonda.	
	Acabado	Maquinar el recubrimiento termorociado hasta el diámetro original de la barra. El recubrimiento termorociado debe limpiar delicadamente sin desprendimientos de partículas, sobre toda la superficie.	
Probeta de tracción	ASTM C 633	> 10.000 psi [69 Mpa] (Falla adhesiva) para espesores de 0.012 - 0.015 pulg. [0.3 - 0.4 mm]	
Probeta de flexión	AWS C2.18 MIL-STD-1687	Para espesores de 0.003 - 0.005 pulg. [0.08 - 0.13 mm], sin separación; fisuras mínimas que no puedan ser removidas con cuchilla están permitidas.	
Metalografía		Microestructura por la hoja técnica del fabricante para material de aporte WC-CO, 83,17%	

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

Tabla 2.16. Criterios de aceptación TSOQT No. FS-4.

Pieza de prueba	Ensayo	Criterio de aceptación	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de la textura	Liso y uniforme sin grumos, fisuras, partículas sin fundir, excedentes o inclusiones de partículas abrasivas. La superficie no debe tener apariencia de "naranja pelada".	
	Espesor	Total: Diámetro final +0.010-0.015 pulg. [0.25-0.4 mm] uniforme sin partículas sin fundir, excedentes o abolladuras.	
	Adherencia	<p>(1) Ensayo de adhesión de flama. Sin puntos calientes o evidencia de delaminación. <i>El ensayo de adhesión de flama debe ser realizado de acuerdo con el siguiente procedimiento:</i> Utilizar un soplete oxiacetilénico con cualquiera de las dos boquillas, nacional #10 o #12 (o equivalentes), empleando una ligera reducción de flama (como se define en AWS A3.0) y aplicar la flama perpendicular a la superficie recubierta. Mantener la flama aproximadamente a 1/2 pulg. [12 mm] de la superficie recubierta y mover el soplete a una velocidad moderada (aproximadamente 1 pulg. [25 mm] por segundo). No permitir que la flama se concentre en una sola área. Un área con una mala adherencia desarrollará un "punto caliente" como evidencia por una incandescencia a rojo vivo en un área. La temperatura de la pieza no deberá exceder los 350°F [180°C] cuando el ensayo es efectuado correctamente.</p> <p>(2) Ensayo de golpeteo. Sin evidencia de delaminaciones. <i>El ensayo de golpeteo debe ser realizado de acuerdo al siguiente procedimiento:</i> Áreas con relieves o áreas recubiertas que no han alcanzado una incandescencia a rojo vivo al ser sometidas al ensayo de flama deben ser golpeteadas ligeramente con un martillo de bola. Cuando la adhesión es insuficiente el recubrimiento se "descamará".</p>	
	Acabado	<p>(1) Maquinar el recubrimiento fundido utilizando una herramienta de corte de un solo filo hasta 3.080 ± 0.002 pulg. [78 ± 0.05 mm] y 2.080 ± 0.002 pulg. [53 ± 0.05 mm], respectivamente para confirmar un espesor de recubrimiento adecuado. Recubrimiento abrasivo como una opción.</p> <p>(2) El recubrimiento de termorociado debe limpiarse suavemente sin arranque de partículas o fisuras sobre toda la superficie.</p> <p>(3) Ausencia de sobre calentamientos, porosidades excesivas, fisuras y desprendimiento, teniendo en cuenta la diferencia entre los efectos del rociado y del maquinado.</p>	
	Dureza	38 - 42 HRC	
	Tintas penetrantes	Sin evidencia de indicaciones lineales o redondas como se especifica por la hoja de instrucciones del proceso. <i>Nota: Los ensayos de tintas penetrantes están disponibles en ASME BPVC Sección IX y los criterios de aceptación pueden ser establecidos por el cliente.</i>	

(Fuente: AWS C2.16/C2.16M:2002)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos en los ensayos tanto cualitativos como cuantitativos como producto de la aplicación del termorociado por cada uno de los aplicantes para los procesos de arco eléctrico, HVOF y flame spray, los mismos que serán comparados de acuerdo a las normas AWS C2.16/C2.16M:2002 y NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00.

3.1. Resultados

La codificación de las probetas se la realizo de la siguiente manera:

- Las primeras siglas se refieren al tipo de probeta como se detalla a continuación:

PBR: Probeta de Barra Redonda

PD: Probeta de doblado

PT: Probeta de Tracción

PM: Probeta de Metalografía

- Las siguientes siglas se refieren al proceso de termorociado.

AS: termorociado por arco eléctrico

HVOF: Termorociado por HVOF

FS: Termorociado por flama

- Las dos últimas siglas son las iniciales del aplicante que realizó el termorociado sobre las probetas.

3.1.1. Resultados del aplicante Alexis Chulde AS-2: Manual

3.1.1.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de conocimientos del aplicante Alexis Chulde para termorociado por arco eléctrico se detallan en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Resultados de la prueba de conocimientos de Alexis Chulde.

Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita / 22	20
Prueba de preparación superficial / 5	4,5
Total / 27	24,5
Total (porcentaje)	90,7%

(Fuente: Propia)

3.1.1.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.2 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.2. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Alexis Chulde.

Identificación	Imagen	Observación	Calificación parcial
PBRASAC		No se observa grumos, polvos o cualquier tipo de inclusiones de partículas	Aprueba
		No hay evidencia de desprendimiento del recubrimiento luego del maquinado, la superficie es lisa	Aprueba

(Fuente: Propia)

Tabla 3.3. Resultados de espesor en barra redonda de Alexis Chulde.

D1	D2	D3	D4
50,9 mm	51 mm	50,94 mm	50.98

(Fuente: Propia)

3.1.1.3. Resultados del ensayo de doblado

En la tabla 3.4 se muestra los resultados del ensayo de doblado, cada probeta se encuentra con su respectiva identificación, imagen de la probeta ensayada, la descripción del análisis visual del recubrimiento, su respectiva calificación individual y total.

Tabla 3.4. Resultados ensayo de doblado de Alexis Chulde.

Identificación	Imagen	Espesor (mm)	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDASAC1		0,178	Superficie de recubrimiento sin ampollas, y fisuras mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	Aprobado
PDASAC2		0,191	Superficie de recubrimiento sin ampollas, y fisuras mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASAC3		0,178	Superficie de recubrimiento sin ampollas, y fisuras mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASAC4		0,162	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	

Continuación tabla 3.4

Identificación	Imagen	Espesor	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDASAC5		0,179	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASAC6		0,198	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	

(Fuente: Propia)

3.1.1.4. Resultados del ensayo de tracción

En la tabla 3.5 se indican los resultados de la resistencia a la tracción del recubrimiento por arco eléctrico con acero inoxidable 710 (ANEXO VIII) con su respectiva imagen y observaciones. En la tabla 3.6 se encuentran los resultados de la repetición del ensayo de tracción.

Tabla 3.5. Resultados del ensayo de tracción de Alexis Chulde (Intento #1).

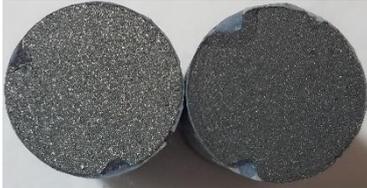
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASAC1	4400		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASAC2	3000		Falla del agente adhesivo

Continuación tabla 3.5

Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASAC3	2410		Falla del agente adhesivo
PTASAC4	3410		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASAC5	4849		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
Media	3613,8		

(Fuente: Propia)

Tabla 3.6. Resultados del ensayo de tracción de Alexis Chulde (Intento #2).

Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASAC1	2870		Falla del agente adhesivo
PTASAC2	6240		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASAC3	6940		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento

Continuación tabla 3.6

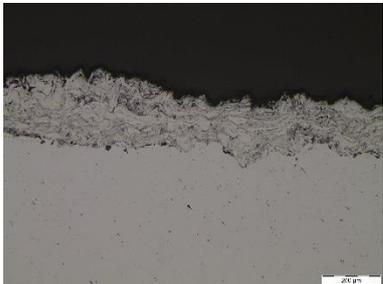
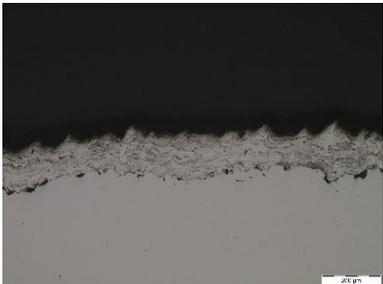
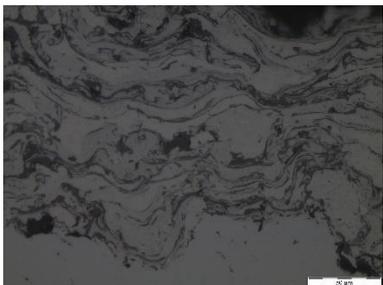
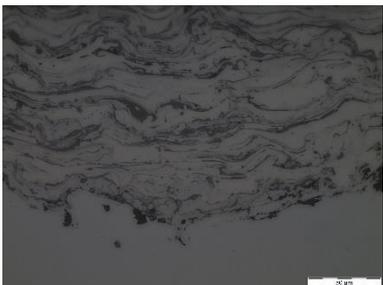
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASAC4	8560		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASAC5	6910		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
Media	6304		

(Fuente: Propia)

3.1.1.5. Resultados de la metalografía

Para el ensayo metalográfico se tomaron dos muestras a cada una y, se le dio una amplificación 100X y 500X, la tabla 3.7 muestra los resultados del ensayo con su respectiva identificación, amplificación e imágenes.

Tabla 3.7. Resultado metalografías de Alexis Chulde.

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PMASAC	100X		
	500X		

Continuación tabla 3.7

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
	Porcentaje de porosidades	0,56%	0,44%
	Porcentaje de óxidos	15,71%	14,05%

(Fuente: LMDF, 2018)

3.1.2. Resultados del aplicante Jefferson Montesuma AS-2

3.1.2.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de conocimientos del aplicante Jefferson Montesuma para temerociado por arco eléctrico se detallan en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Resultados de la prueba de conocimientos de Jefferson Montesuma.

Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita/22	18
Prueba de preparación superficial/5	5
Total/27	23
Total (porcentaje)	85,2%

(Fuente: Propia)

3.1.2.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.9 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.10

Tabla 3.9. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Jefferson Montesuma.

Identificación	Imagen	Observación	Calificación parcial
PBRASJM		No se observa grumos, polvos o cualquier tipo de inclusiones de partículas	Aprueba
		No hay evidencia de desprendimiento del recubrimiento luego del maquinado, la superficie es lisa	Aprueba

(Fuente: Propia)

Tabla 3.10. Resultados de espesor en barra redonda de Jefferson Montesuma.

D1	D2	D3	D4
51 mm	50,9 mm	50,9 mm	51,1 mm

(Fuente: Propia)

3.1.2.3. Resultados del ensayo de doblado

En la tabla 3.11 se muestra los resultados del ensayo de doblado cada probeta se encuentra con su respectiva identificación, imagen de la probeta ensayada y la descripción del análisis visual del recubrimiento.

Tabla 3.11. Resultados ensayo de doblado de Jefferson Montesuma.

Identificación	Imagen	Espesor	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDASJM1		0,237	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	

Continuación tabla 3.11

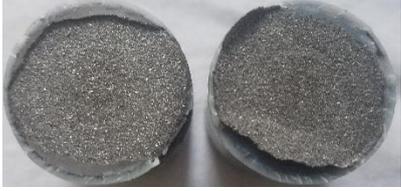
Identificación	Imagen	Espesor	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDASJM2		0,186	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	Aprueba
PDASJM3		0,227	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASJM4		0,211	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASJM5		0,226	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASJM6		0,231	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	

(Fuente: Propia)

3.1.2.4. Resultados del ensayo de tracción

En la tabla 3.12 se indican los resultados de la resistencia a la tracción del recubrimiento por arco eléctrico con su respectiva imagen y observaciones y el cálculo de la resistencia media.

Tabla 3.12. Resultados del ensayo de tracción de Jefferson Montesuma.

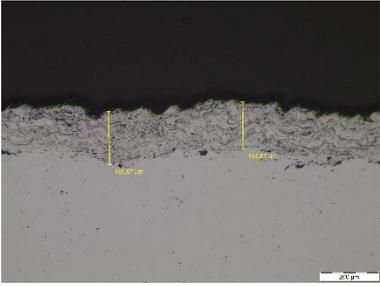
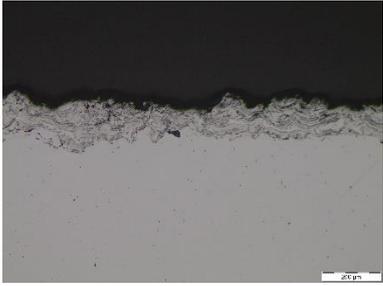
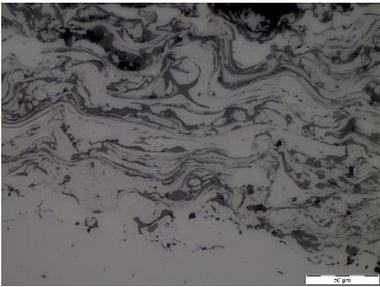
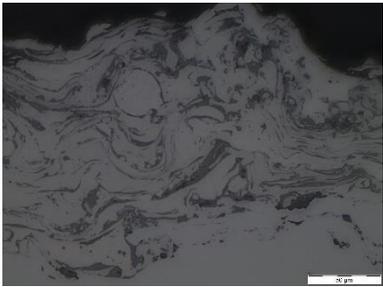
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASJM1	4420		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASJM2	4550		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASJM3	5100		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASJM4	6140		Falta de anclaje del agente adhesivo
PTASJM5	4930		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
Media	5028		

(Fuente: Propia)

3.1.2.5. Resultados de la metalografía

Para el ensayo metalográfico se tomaron dos muestras a cada una se le dio una amplificación 100X y 500X, la tabla 3.13 muestra los resultados del ensayo con su respectiva identificación, amplificación e imágenes.

Tabla 3.13. Resultado metalografías de Jefferson Montesuma.

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PMASJM	100X		
	500X		
	Porcentaje de porosidades	0,52%	0,85%
		19,4%	18,6%

(Fuente: LMDF, 2018)

3.1.3. Resultados del aspirante Diego Cadena AS-2: Manual

3.1.3.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de la evaluación de conocimientos del aplicante Diego Cadena para termorociado por arco eléctrico se detallan en la tabla 3.14

Tabla 3.14. Resultados de la prueba de conocimientos de Diego Cadena.

Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita/22	18
Prueba de preparación superficial/5	5
Total/27	23
Total (porcentaje)	85,2%

(Fuente: Propia)

3.1.3.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.15 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.16

Tabla 3.15. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Diego Cadena.

Identificación	Imagen	Observación	Calificación parcial
PBRASDC		No se observa grumos, polvos o cualquier tipo de inclusiones de partículas	Aprueba
		No hay evidencia de desprendimiento del recubrimiento luego del maquinado, la superficie es lisa	Aprueba

(Fuente: Propia)

Tabla 3.16. Resultados de espesor en barra redonda de Diego Cadena.

D1	D2	D3	D4
51,1 mm	50,96 mm	51 mm	51,04

(Fuente: Propia)

3.1.3.3. Resultados del ensayo de doblado

En la tabla 3.17 se muestra los resultados del ensayo de doblado cada probeta se encuentra con su respectiva identificación, imagen de la probeta ensayada y la descripción del análisis visual del recubrimiento.

Tabla 3.17. Resultados ensayo de doblado de Diego Cadena.

Identificación	Imagen	Espesor	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDASDC1		0,259	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	Aprueba
PDASDC2		0,186	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASDC3		0,202	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASDC4		0,177	Superficie de recubrimiento sin ampollas, ni fisuras y sin evidencia del material base.	Aprobado	

Continuación tabla 3.17

Identificación	Imagen	Espesor	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDASDC5		0,204	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDASDC6		0,196	Superficie de recubrimiento sin ampollas, fisuras mínimas y sin evidencia del material base.	Aprobado	

(Fuente: Propia)

3.1.3.4. Resultados del ensayo de tracción

En la tabla 3.18 se indican los resultados de la resistencia a la tracción del recubrimiento por arco eléctrico con su respectiva imagen y observaciones.

Tabla 3.18. Resultados del ensayo de tracción de Diego Cadena.

Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASDC1	5150		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASDC2	5850		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento

Continuación tabla 3.18

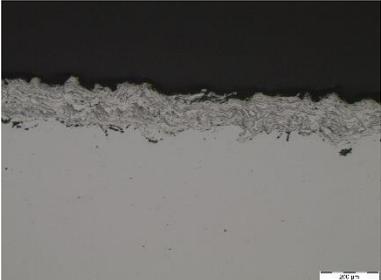
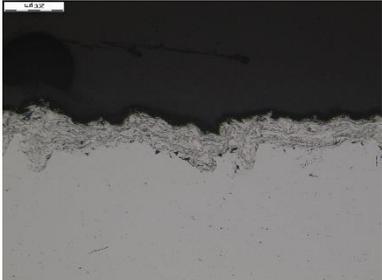
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTASDC3	4710		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASDC4	6470		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTASDC5	5710		Falta de anclaje del agente adhesivo
Media	5578		

(Fuente: Propia)

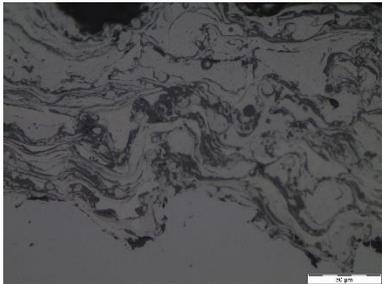
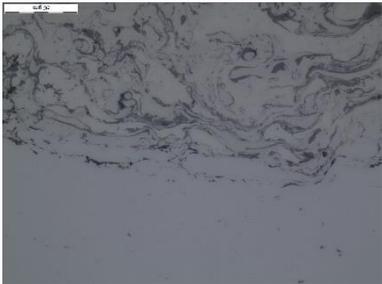
3.1.3.5. Resultados de la metalografía

Para el ensayo metalográfico se tomaron dos muestras a cada una se le dio una amplificación 100X y 500X, la tabla 3.19 muestra los resultados del ensayo con su respectiva identificación, amplificación e imágenes.

Tabla 3.19. Resultado metalografías de Diego Cadena.

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PMASDC	100X		

Continuación tabla 3.19

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
	500X		
	Porcentaje de porosidades	0,28%	0,37%
	Porcentaje de óxidos	20.74%	18,47%

(Fuente: LMDF, 2018)

3.1.4. Resultados del aspirante Juan Carlos Corella HVOF-1: Manual

3.1.4.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de conocimientos del aplicante Juan Carlos Corella para termorociado por arco eléctrico se detallan en la tabla 3.20.

Tabla 3.20. Resultados de la prueba de conocimientos de Juan Carlos Corella.

Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita / 22	21
Prueba de preparación superficial / 5	5
Total / 27	26
Total (porcentaje)	96,3%

(Fuente: Propia)

3.1.4.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.21 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.22

Tabla 3.21. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Juan Carlos Corella.

Identificación	Imagen	Observación	Calificación parcial
PBRHVOFJC		No se observa grumos, polvos o cualquier tipo de inclusiones de partículas	Aprueba
		No hay evidencia de desprendimiento del recubrimiento luego del maquinado, la superficie es lisa	Aprueba

(Fuente: Propia)

Tabla 3.22. Resultados de espesor en barra redonda de Juan Carlos Corella.

D1	D2	D3	D4
51 mm	51 mm	50,98 mm	51.06 mm

(Fuente: Propia)

3.1.4.3. Resultados del ensayo de doblado

En la tabla 3.23 se muestra los resultados del ensayo de doblado cada probeta se encuentra con su respectiva identificación, imagen de la probeta ensayada y la descripción del análisis visual del recubrimiento.

Tabla 3.23. Resultados ensayo de doblado de Juan Carlos Corella.

Identificación	Imagen	Espesor (mm)	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDHVOFJC1		0,228	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	

Continuación tabla 3.23

Identificación	Imagen	Espesor	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDHVOFJC2		0,153	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	Aprueba
PDHVOFJC3		0,188	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDHVOFJC4		0,233	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDHVOFJC5		0,147	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDHVOFJC6		0,248	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	

(Fuente: Propia)

3.1.4.4. Resultados del ensayo de tracción

En la tabla 3.24 se indican los resultados de la resistencia a la tracción del recubrimiento por arco eléctrico con su respectiva imagen y observaciones. En la tabla 3.25 se encuentran los resultados de la repetición del ensayo de tracción.

Tabla 3.24. Resultados del ensayo de tracción de Juan Carlos Corella (Intento #1).

Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTHVOFJC1	9070		Falla del agente adhesivo
PTHVOFJC2	7270		Falla del agente adhesivo
PTHVOFJC3	3970		Falla del agente adhesivo
PTHVOFJC4	6830		Falla del agente adhesivo
PTHVOFJC5	1730		Falla del agente adhesivo
Media	5774		

(Fuente: Propia)

Tabla 3.25. Resultados del ensayo de tracción de Juan Carlos Corella (Intento #2).

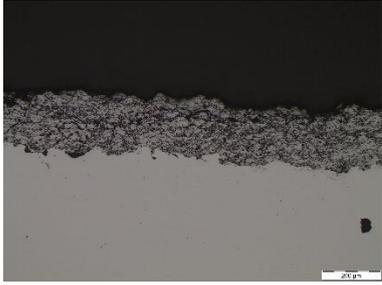
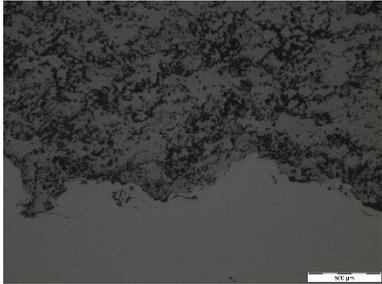
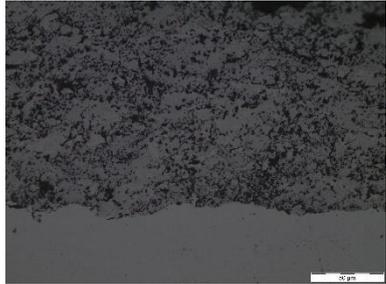
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTHVOFJC1	6950		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTHVOFJC2	8930		Falla del agente adhesivo
PTHVOFJC3	8630		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTHVOFJC4	7260		Falla del agente adhesivo
PTHVOFJC5	4590		Falla del agente adhesivo
Media	7272		

(Fuente: Propia)

3.1.4.5. Resultados de la metalografía

Para el ensayo metalográfico se tomaron dos muestras a cada una se le dio una amplificación 100X y 500X, la tabla 3.26 muestra los resultados del ensayo con su respectiva identificación, amplificación e imágenes.

Tabla 3.26. Resultado metalografías de Juan Carlos Corella.

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PMHVOFJC	100X		
	500X		
	Porcentaje de porosidades	0,74%	0,68%

(Fuente: LMDF, 2018)

3.1.5. Resultados del aspirante Diego Cadena HVOF-1: Manual

3.1.5.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de conocimientos del aplicante Diego Cadena para termorociado por arco eléctrico se detallan en la tabla 3.27.

Tabla 3.27. Resultados de la prueba de conocimientos de Diego Cadena.

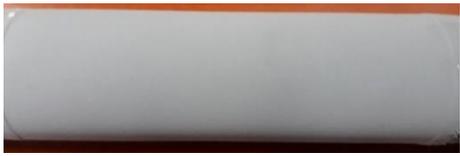
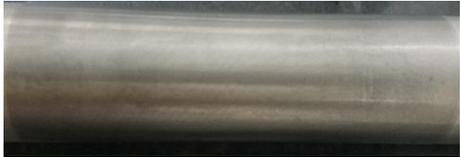
Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita / 22	18
Prueba de preparación superficial / 5	5
Total / 27	23
Total (porcentaje)	85,2%

(Fuente: Propia)

3.1.5.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.28 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.29.

Tabla 3.28. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Diego Cadena.

Identificación	Imagen	Observación	Calificación parcial
PBRDCHVOF		No se observa grumos, polvos o cualquier tipo de inclusiones de partículas	Aprueba
		No hay evidencia de desprendimiento del recubrimiento luego del maquinado, la superficie es lisa	Aprueba

(Fuente: Propia)

Tabla 3.29. Resultados de espesor en barra redonda de Diego Cadena.

D1	D2	D3	D4
51,02 mm	50,98 mm	50,98 mm	51 mm

(Fuente: Propia)

3.1.5.3. Resultados del ensayo de doblado

En la tabla 3.30 se muestra los resultados del ensayo de doblado cada probeta se encuentra con su respectiva identificación, imagen de la probeta ensayada y la descripción del análisis visual del recubrimiento.

Tabla 3.30. Resultados ensayo de doblado de Diego Cadena.

Identificación	Imagen	Espesor (mm)	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDDCHVOF1		0,130	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	Aprueba
PDDCHVOF2		0,281	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDDCHVOF3		0,233	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDDCHVOF4		0,193	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	
PDDCHVOF5		0,184	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	

Continuación tabla 3.28

Identificación	Imagen	Espesor (mm)	Descripción	Calificación parcial	Calificación total
PDDCHVOF6		0,187	Superficie de recubrimiento sin ampollas, grietas mínimas sin evidencia del material base.	Aprobado	

(Fuente: Propia)

3.1.5.4. Resultados del ensayo de tracción

En la tabla 3.31 se indican los resultados de la resistencia a la tracción del recubrimiento por arco eléctrico con su respectiva imagen y observaciones. La tabla 3.32 muestra los resultados de la repetición del ensayo de tracción.

Tabla 3.31. Resultados del ensayo de tracción de Diego Cadena (Intento #1).

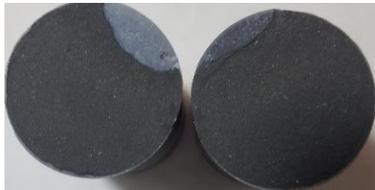
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTHVOFDC1	9810		Falla del agente adhesivo
PTHVOFDC2	8200		Falla del agente adhesivo
PTHVOFDC3	5570		Falla del agente adhesivo

Continuación tabla 3.31

Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTHVOFDC4	6340		Falla del agente adhesivo
PTHVOFDC5	5690		Falla del agente adhesivo y desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
Media	7122		

(Fuente: Propia)

Tabla 3.32. Resultados del ensayo de tracción de Diego Cadena (Intento #2).

Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTHVOFDC1	5580		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTHVOFDC2	6020		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTHVOFDC3	5770		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
PTHVOFDC4	5530		Desprendimiento en la interfaz del recubrimiento

Continuación tabla 3.32

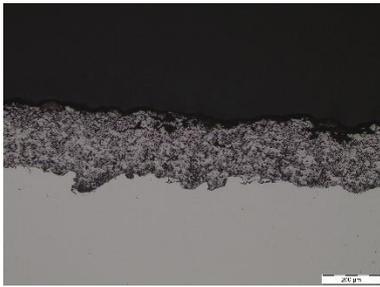
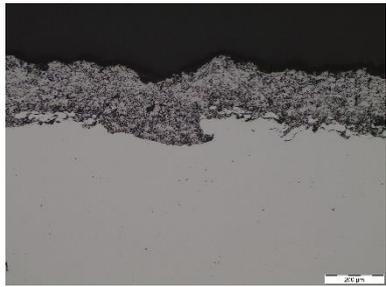
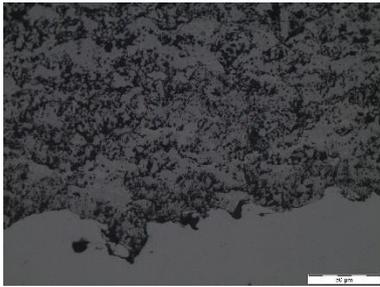
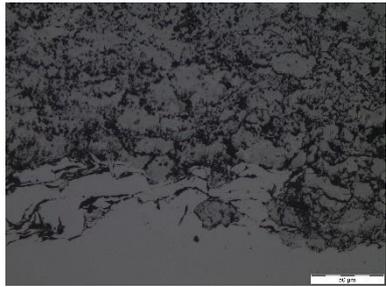
Identificación	Resistencia a la tracción (Psi)	Imagen	Observaciones
PTHVOFDC5	6770		Falla del agente adhesivo y desprendimiento en la interfaz del recubrimiento
Media	5934		

(Fuente: Propia)

3.1.5.5. Resultados de la metalografía

Para el ensayo metalográfico se tomaron dos muestras a cada una se le dio una amplificación 100X y 500X, la tabla 3.33 muestra los resultados del ensayo con su respectiva identificación, amplificación e imágenes.

Tabla 3.33. Resultado metalografías de Diego Cadena.

Identificación	Amplificación	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PMDCHVOF	100X		
	500X		
	Porcentaje de porosidad	1.04%	1.2%

(Fuente: LMDF, 2018)

3.1.6. Resultados del aspirante Diego Cadena FS-4: Manual

3.1.6.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de conocimientos del aplicante Diego Cadena para termorociado por flama se detallan en la tabla 3.34.

Tabla 3.34. Resultados de la prueba de conocimientos de Diego Cadena.

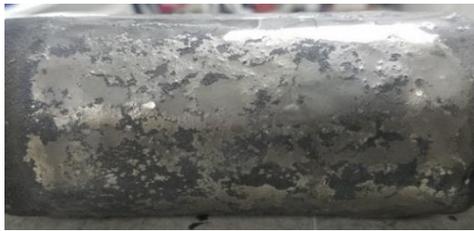
Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita / 22	17
Prueba de preparación superficial / 5	5
Total / 27	22
Total (porcentaje)	81,48%

(Fuente: Propia)

3.1.6.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.35 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.36

Tabla 3.35. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Diego Cadena.

Identificación	Imagen	Calificación parcial
PBRFSDC		Rechazado
		Rechazado

(Fuente: Propia)

Tabla 3.36. Resultados de espesor en barra redonda de Diego Cadena.

D1	D2	D3
77,4 mm	77,5 mm	77,1 mm

(Fuente: Propia)

3.1.6.3. Resultados del ensayo de dureza

Los resultados de la medición de dureza tanto en escala Vickers como en escala Rockwell C y la media se encuentran descritos en la tabla 3.37.

Tabla 3.37. Resultados del ensayo de dureza de Diego Cadena.

	HV ₂₀₀	HRC
Medida 1	514,29	51
Medida 2	354,14	37
Medida 3	518,52	51
Media	462,32	46,33

(Fuente: Propia)

3.1.6.4. Resultado de tintas penetrantes

Los resultados del ensayo de tintas penetrantes de la probeta PBRDCF con su criterio de aceptación y su calificación se detalla en la tabla 3.38.

Tabla 3.38. Resultados ensayo de tintas penetrantes de Diego Cadena.

Identificación	Ensayo de tintas penetrantes (PT)		
	Sección	Criterio ASME IX	A/R
PBRFSDC	1	Sin indicaciones relevantes	A
	2	Sin indicaciones relevantes	A
	3	Sin indicaciones relevantes	A
	4	Sin indicaciones relevantes	A

(Fuente: Propia)

3.1.7. Resultados del aspirante Jorge Carrera FS-4: Manual

3.1.7.1. Resultados de la prueba de conocimientos

Los resultados de conocimientos del aplicante Jorge Carrera para termorociado por flama se detallan en la tabla 3.39.

Tabla 3.39. Resultados de la prueba de conocimientos de Jorge Carrera.

Descripción	Nota
Prueba de conocimientos escrita / 22	15
Prueba de preparación superficial / 5	4
Total / 27	19
Total (porcentaje)	70,3%

(Fuente: Propia)

3.1.7.2. Resultados de la pieza de prueba de barra redonda

En la tabla 3.40 se detallan los resultados de inspección visual para la calidad de la textura de la barra redonda y acabado de la misma luego del maquinado. Los resultados del espesor final previo acabado se muestran en la tabla 3.41.

Tabla 3.40. Resultados inspección visual y acabado de barra redonda de Jorge Carrera.

Identificación	Imagen	Calificación parcial
PBRFSJC		Rechazado

Continuación tabla 3.40

Identificación	Imagen	Calificación parcial
		Rechazado

(Fuente: Propia)

Tabla 3.41. Resultados de espesor en barra redonda de Jorge Carrera.

D1	D2	D3
77,5 mm	77 mm	77,3 mm

(Fuente: Propia)

3.1.7.3. Resultados del ensayo de dureza

Los resultados de la medición de dureza tanto en escala Vickers como en escala Rockwell C y la media se encuentran descritos en la tabla 3.42.

Tabla 3.42. Resultados del ensayo de dureza de Jorge Carrera.

	HV ₂₀₀	HRC
Medida 1	367,32	38
Medida 2	477,19	48
Medida 3	555,31	53
Media	466,61	46,33

(Fuente: Propia)

3.1.7.4. Resultados ensayo de tintas penetrantes

Los resultados del ensayo de tintas penetrantes de la probeta PBRJCF con su criterio de aceptación y su calificación se detalla en la tabla 3.43.

Tabla 3.43. Resultados ensayo de tintas penetrantes de Jorge Carrera.

Identificación		Ensayo de tintas penetrantes (PT)	
	Sección	Criterio ASME IX	A/R
PBRJCF	1	Sin indicaciones relevantes	A
	2	Sin indicaciones relevantes	A
	3	Sin indicaciones relevantes	A
	4	Sin indicaciones relevantes	A

(Fuente: Propia)

3.1.8. Resultados de la resistencia del agente aditivo

La tabla 3.44 muestra la resistencia a la adhesión y cohesión de la resina MASTERBOND EP15ND-2 sobre probetas que fueron limpiadas mecánicamente y sin aplicación de recubrimiento.

Tabla 3.44. Resultados resistencia a la cohesión MASTERBOND EP15ND-2.

Identificación	Resistencia a la tracción (psi)
B1	4583
B2	11037
B3	8400
B4	8830
B5	11600
B6	10700
Media	9161,66

(Fuente: Propia)

3.1.9. Certificación de operadores de termorociado

Siguiendo el procedimiento dictado por la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 para la aplicación y evaluación del recubrimiento termorociado y, en base a los criterios de aceptación establecidos en la misma, se creó un formato para el registro de la calificación de los operadores de termorociado los mismos que se encuentran en el ANEXO XIII.

3.2. Discusión

3.2.1. Análisis de los resultados de la evaluación de conocimientos

La empresa IMETCA como parte de su interés en capacitar a su personal, en conjunto con la Universidad San Francisco de Quito, realizó un curso de Termorociado que contó con la participación de cada uno de ellos.

La norma ASW C2.16/C2.16M establece que el aplicante debe cumplir con los requerimientos tanto de conocimientos, como de habilidades que dicta el TSOQT correspondiente al proceso de termorociado al cual van a ser calificados, por lo que para complementar el área de conocimientos de los aplicantes se realizó un proceso de preparación en conjunto con la empresa, en donde se reforzaron temas de conceptos y principios básicos del termorociado, seguridad, preparación superficial, parámetros de rociado, etc.

Para la prueba de conocimientos se formularon preguntas de opción múltiple, como resultado de la investigación de métodos de evaluación y de acuerdo con Leuba (1986-a y 1986-b) concluye que este tipo de evaluaciones permite comprobar si se ha logrado una comprensión básica de la disciplina y una habilidad adecuada para la resolución de problemas.

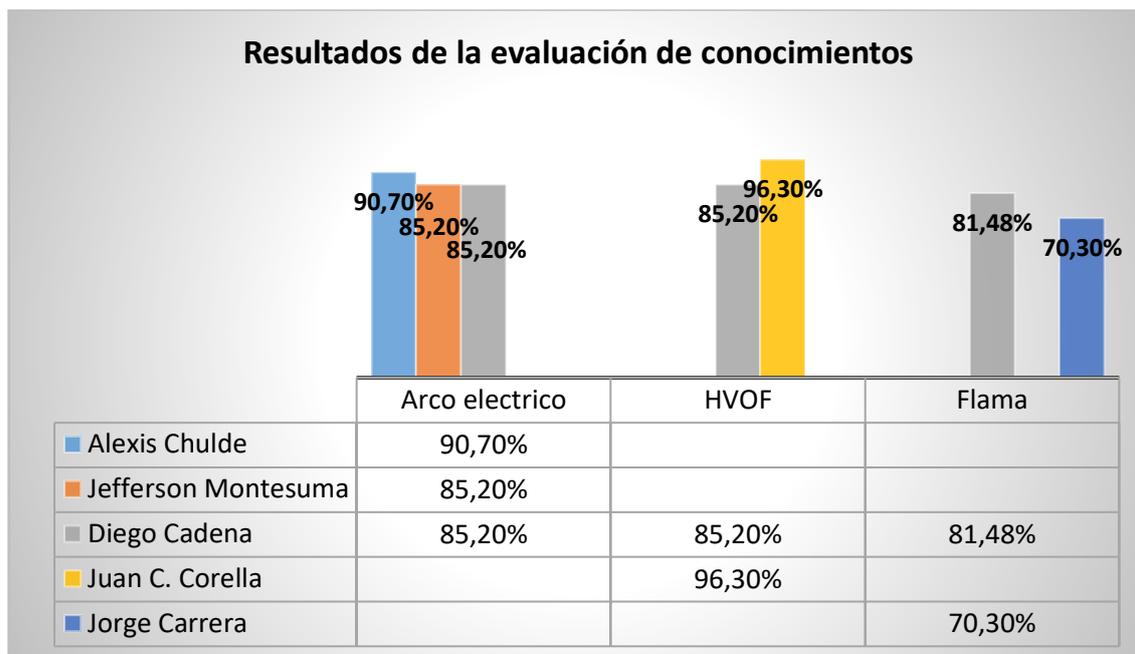


Figura 3.1. Análisis comparativo de la evaluación de conocimientos
(Fuente: Propia)

De acuerdo a lo establecido en la metodología, el puntaje mínimo para aprobar la evaluación de conocimientos es del 70%. Como se observa en la Figura 3.1 la calificación

más baja fue en la evaluación del aplicante Jorge Carrera para el proceso de termorociado por flama cuyo puntaje fue de 70,3%. Este resultado puede deberse a la edad que tiene el aplicante y el tiempo que ha transcurrido desde la última vez que sus conocimientos fueron evaluados. Otro dato a resaltar es que el operador con más experiencia, Diego Cadena, no fue el que obtuvo el mayor puntaje, sino el de menor experiencia, Juan Carlos Corella, una razón que explique este resultado puede centrarse en que el primero se confió de su experiencia mientras que el segundo se preparó más para rendir las evaluaciones. Una segunda razón puede ser que el aplicante Diego Cadena fue el único operador que rindió evaluaciones para los tres procesos de termorociado, obteniendo más del 80% de la nota total en cada uno de ellos, tomando en cuenta que las evaluaciones fueron realizadas el mismo día, puede haber existido confusión en la resolución de cada una de las mismas.

Finalmente, se establece que todos los aplicantes en cuestión han aprobado la evaluación de conocimientos y por consiguiente quedan aptos para continuar con la evaluación de habilidades.

3.2.2. Análisis del ensayo de espesor

Las probetas de barra redonda luego de la aplicación del recubrimiento termorociado presentan una superficie uniforme a simple vista, sin embargo, al realizar las mediciones del diámetro estas revelan ciertas variaciones del orden de las décimas y centésimas de milímetro como se observa en la tabla 3.45.

Tabla 3.45. Resultados sobre espesor de recubrimientos.

Proceso de termorociado	Aplicante	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	Promedio (mm)
Arco eléctrico	Alexis Chulde	0,10	0,14	0,18	0,20	0,155
	Jefferson Montesuma	0,2	0,1	0,1	0,3	0,175
	Diego Cadena	0,28	0,16	0,2	0,24	0,22
HVOF	Juan C. Corella	0,2	0,2	0,18	0,26	0,21
	Diego Cadena	0,22	0,18	0,18	0,2	0,195

(Fuente: Propia)

Estas variaciones se producen debido a que el método de aplicación del recubrimiento es manual, es decir, el movimiento de la antorcha de rociado se da por el pulso y la habilidad de cada aplicante y por lo tanto es él quien imprime la velocidad de avance a la misma, por

lo que la uniformidad del espesor de material aportado depende únicamente de la habilidad del mismo para realizar un avance constante, haciendo que el aumento en el espesor sea lo más uniforme posible.

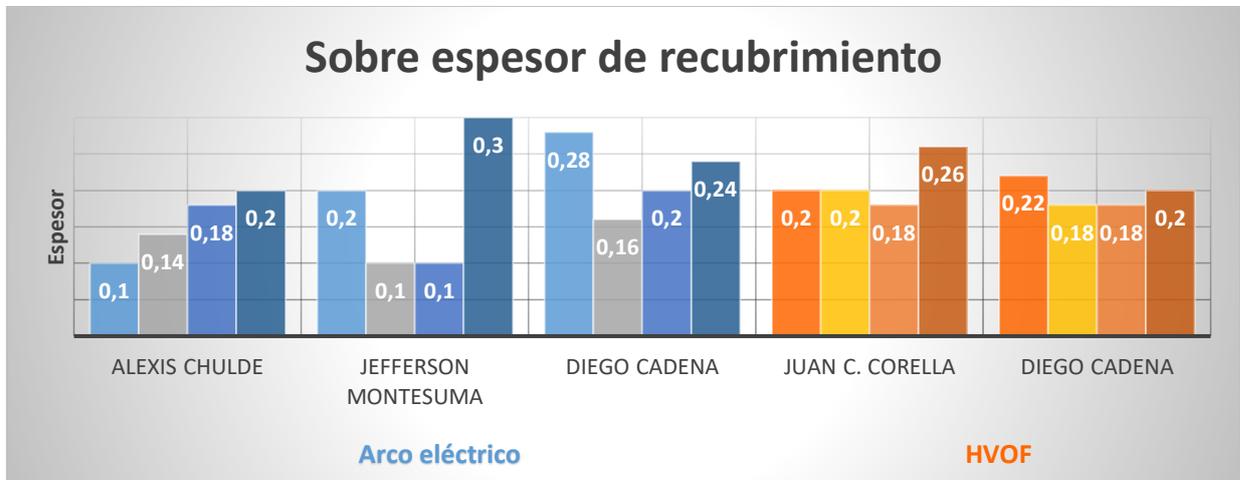


Figura 3.2. Análisis comparativo de sobre espesor de recubrimiento.

(Fuente: Propia)

De acuerdo al criterio de aceptación del TSOQT No. AS-2, se establece que el diámetro final de la pieza de barra redonda debe tener un sobre espesor de 0.08 a 0.15 mm sobre el diámetro original para el proceso de termorociado por arco eléctrico. Como se observa en la figura 3.2 existen valores que se encuentran dentro del rango establecido y otros que están fuera del mismo, pero por sobre el valor máximo del rango, por lo cual no se los descarta.

Este sobre espesor es permitido debido a que al tomar las mediciones del diámetro solo se toma la distancia entre los puntos más altos del recubrimiento, sin poder tomar las mediciones en los valles, de esta manera podemos asegurar que el espesor en los intersticios del recubrimiento va a ser el adecuado, para que después del maquinado se obtenga una probeta cuya superficie sea completamente lisa y uniforme, sin áreas que indiquen falta de material.

Para el proceso de termorociado por HVOF en el TSOQT No. HVOF-1 el criterio de aceptación indica que el diámetro final de la pieza de barra redonda debe presentar un sobre espesor entre 0,1 y 0,2 mm sobre el diámetro original. De igual manera se observa que existen valores que se encuentran dentro del rango del criterio de aceptación y otros

que se encuentran por sobre el mismo, este sobre espesor es para asegurar que en los intersticios del recubrimiento no se presenten espesores por debajo del establecido en el criterio de aceptación, ya que los instrumentos de medición disponibles solo nos permiten tomar medidas de los puntos más altos del recubrimiento más no en los intersticios del mismo. Sin embargo, esto puede incurrir en un aumento de costos de operación de la empresa ya que en la mayoría de casos estos recubrimientos deben ser rectificadas, lo que significa pérdida de material de aporte.

Evaluando los resultados obtenidos de estas probetas con los establecidos en el TSOQT de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002, ninguna de las mediciones se encuentra por debajo del rango permitiendo y se acepta los valores por sobre el rango, por consiguiente, todas las probetas de los aplicantes aprueban el ensayo de espesor.

Por otro lado, al hacer un análisis comparativo de la variación de los espesores en la pieza de barra redonda se evidencia que el operador con mayor habilidad es el aplicante Diego Cadena como se observa en la figura 3.2 ya que logró obtener mayor uniformidad en el espesor de recubrimiento aportado tanto en el proceso de arco eléctrico como en HVOF, el aplicante en cuestión es el que tiene mayor tiempo de experiencia realizando estos procesos de termorociado y esto se evidencia en su habilidad de realizar aportaciones de material más precisos.

Tabla 3.46. Resultados de espesor en barra redonda para FS-4

Aplicante	Diámetro final (mm)	Diámetro original (mm)	Espesor (mm)	Promedio (mm)
Diego Cadena	77,4	76,2	1,2	1,13
	77,5		1,3	
	77,1		0,9	
Jorge Carrera	77,5	76,2	1,3	1,06
	77		0,8	
	77,3		1,1	

(Fuente: Propia)

De acuerdo al criterio de aceptación de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 en el TSOQT No. FS-4, establece que el sobre espesor de recubrimiento debe encontrarse en un rango entre 0,24 a 0,4 mm sobre el diámetro original de la pieza de barra redonda. Como se indica en la tabla 3.46 el promedio de espesor depositado sobre la pieza de barra redonda es de alrededor 3 veces superior al establecido por la norma para ambos aplicantes.

La temperatura de fusión del polvo metálico en base de níquel, que indica la norma como material de rociado y que se encontró disponible en el mercado nacional para la aplicación de este proceso es de 1050°C. Al aplicar el polvo en la probeta de barra redonda precalentada y que se encuentra girando, no se obtiene la temperatura necesaria para que este se funda y se adhiera al sustrato, debido a esto la aplicación se la debe realizar de forma localizada, de tal manera que el polvo quede unido correctamente al sustrato. Sin embargo, la desventaja de aplicar el recubrimiento de esta manera es que las probetas de barra redonda no tendrán una superficie uniforme.

Por lo tanto, En base al criterio de aceptación de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 TSOQT No. FS-4 y a los resultados obtenidos la pieza de barra redonda, ninguna aprueba el ensayo de espesor.

3.2.3. Análisis de los resultados del ensayo visual de calidad de textura y acabado de la pieza de barra redonda.

Como se visualiza en los resultados de las probetas de barra redonda de los procesos de termorociado por arco eléctrico y HVOF, estas muestran una superficie sin grumos ni polvos, es decir, que no existe evidencia de partículas del material de aporte no fundidas sobre la superficie, ni tampoco se observan inclusiones de partículas ajenas al material de aporte. En cambio, en las dos probetas que fueron rociadas mediante el proceso de termorociado por flama presentan muchas irregularidades sobre su superficie, existen áreas en donde se evidencia exceso de material de aporte y en otras donde existe la incertidumbre si el espesor de material aportado es el adecuado para obtener una superficie lisa y uniforme después del maquinado.

De acuerdo a los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS C2.16/C2.16M:2002, en los TSOQT No. AS-2, TSOQT No. HVOF-1 Y TSOQT No. FS-4 que se encuentran transcritas en las tablas 2.14, 2.15 y 2.16 respectivamente, la superficie de la probeta debe estar lisa y sin grumos, polvos, inclusiones de partículas abrasivas o sopladuras para poder ser aceptada. Al comparar los resultados de las probetas con los criterios ya establecidos se determina que las probetas de barra redonda rociadas mediante los procesos de arco eléctrico y HVOF aprueban el ensayo visual de calidad de textura. Por otra parte, para el proceso de termorociado por flama las piezas de barra redonda son rechazadas como se resumen en la tabla 3.47.

Tabla 3.47. Resultados de la pieza de barra redonda.

Proceso de termorociado	Aplicante	Identificación	Ensayo	Resultado
Arco eléctrico	Alexis Chulde	PBRASAC	Visual de calidad de textura	Aprueba
			Acabado	Aprueba
	Jefferson Montesuma	PBRASJM	Visual de calidad de textura	Aprueba
			Acabado	Aprueba
	Diego Cadena	PBRASDC	Visual de calidad de textura	Aprueba
			Acabado	Aprueba
HVOF	Juan C. Corella	PBRHVOFJC	Visual de calidad de textura	Aprueba
			Acabado	Aprueba
	Diego Cadena	PBRHVOFDC	Visual de calidad de textura	Aprueba
			Acabado	Aprueba
Flama	Jorge Carrera	PBRFSJC	Visual de calidad de textura	Rechaza
			Acabado	Rechaza
	Diego Cadena	PBRFSDC	Visual de calidad de textura	Rechaza
			Acabado	Rechaza

(Fuente: Propia)

Luego de analizar las piezas de barra redonda para el ensayo visual de calidad de textura y el ensayo de espesor se procedió a maquinadas hasta las dimensiones establecidas en el TSOQT correspondiente a cada proceso. Mediante el maquinado de las piezas también se puede comprobar si el espesor de recubrimiento aportado fue el suficiente sobre toda el área recubierta.

Como se observa en los resultados de inspección visual y acabado (tabla 3.2, 3.9, 3.15, 3.21, 3.28, 3.35 y 3.40) las probetas de barra redonda correspondientes a los procesos de termorociado por arco eléctrico y HVOF no presentan desprendimiento o delaminación sobre la superficie, además el acabado superficial es uniforme, liso, sin evidencia de poros ni grietas que puedan comprometer la integridad del recubrimiento y finalmente se constata que el espesor del recubrimiento aportado es el adecuado. Como se evidencia en los resultados de las probetas para el proceso de flama, después de maquinar las probetas hasta el diámetro que especifica la norma, estas presentan falta de material en varios

sectores por lo tanto no aprueban el ensayo de espesor, comprobado así que la aplicación de recubrimiento en las áreas de incertidumbre no fueron las adecuadas.

3.2.4. Análisis del ensayo de doblado

En referencia al ensayo de doblado, cuyos resultados se encuentran detallados en las tablas 3.4, 3.11, 3.17, 3.23 y 30.30, los criterios de aceptación correspondientes a cada proceso (tabla 2.14, 2.16 y 2.16) dictan que, luego de realizar el ensayo de doblado a un ángulo de 180° con la ayuda de un mandril, la probeta debe presentar una superficie sin separación del recubrimiento, además que se encuentran permitidas fisuras mínimas que no puedan ser removidas con cuchilla. Este ensayo permite determinar si la combinación de parámetros usados para aplicar el recubrimiento, así como el procedimiento seguido, configuración del equipo y la preparación superficial, son adecuados para producir recubrimientos de calidad.

En base a lo estipulado en dichos criterios tenemos los siguientes resultados: no se generó desprendimiento del recubrimiento en ninguna de las probetas, sin embargo, se encontraron fisuras mínimas que no se desprenden del sustrato al introducir una cuchilla, ni tampoco se observa el sustrato a través de ellas, excepto en la probeta PDASDC4, en la cual no se observan fisuras sobre la superficie producto del ensayo de doblado. Las probetas PDHVOFJC1, PDHVOFJC3, PDHVOFJC4 en cambio presentan una tonalidad más oscura en su superficie del recubrimiento y fisuras un poco más grandes que el resto de probetas, esto se produce debido a que el movimiento de la antorcha fue más lento, por lo tanto, se generó una mayor concentración de calor sobre las mismas afectando así al recubrimiento, pero a pesar de esto, al intentar desprender el recubrimiento con una cuchilla como lo especifica la norma, este no se desprendió.

En comparación con el límite de aceptación descrito en la norma AWS C2. 16/C2.16M y evaluando visualmente las probetas en base a la norma AWS C2.18 como se indica en la figura 2.5, las probetas del ensayo de doblado aprueban satisfactoriamente.

Otra forma de analizar la habilidad del operador es mediante la comparación de los espesores de las probetas de doblado, debido a que al analizar la variación del mismo se puede tener una idea de la capacidad del operador para repetir los mismos resultados en varias aplicaciones. Como se observa en la figura 3.3 el aplicante que logró obtener resultados más precisos fue Alexis Chulde, para el proceso de termorociado por arco eléctrico, seguido por Diego Cadena y Jefferson Montesuma.

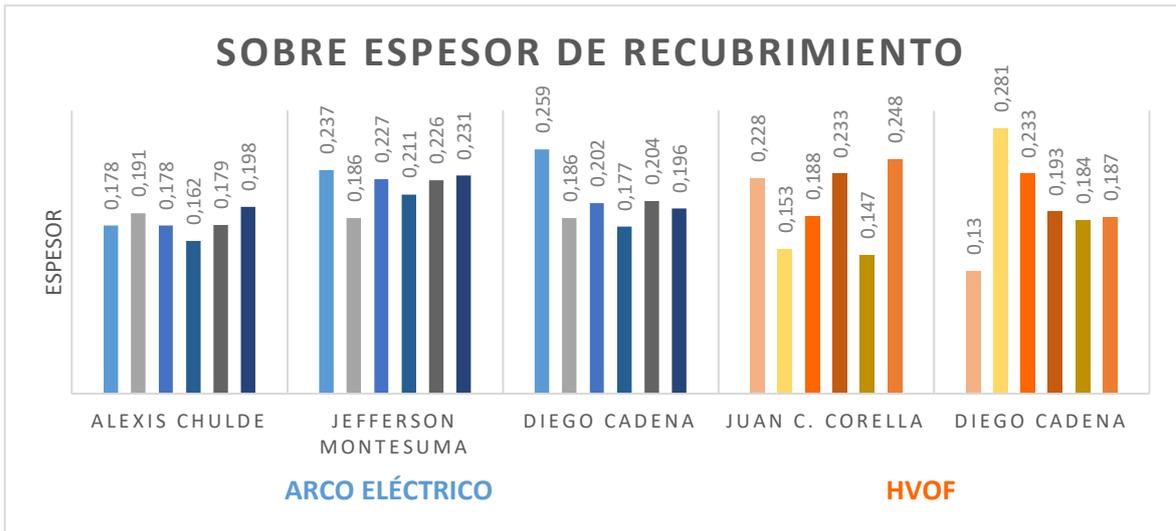


Figura 3.3. Análisis comparativo del espesor en probetas de doblado.

(Fuente: Propia)

Durante la realización del ensayo también se pudo observar que las probetas que tienen un mayor espesor de recubrimiento aportado, muestran fisuras más definidas o más grandes que las probetas en donde el espesor depositado se encontraba más cerca del límite inferior del rango establecido en los criterios de aceptación. Esto se observa sobre todo en la probeta PDASDC4 la misma que no presenta fisuras visibles en la superficie y posee un espesor de 0,177 mm superando por milésimas de milímetro el límite inferior. Por otra parte, este no es un factor decisivo en la calidad del recubrimiento ya que como se observa en la figura 3.3 existen medidas cercanas a este espesor y presentan fisuras mínimas, también se observan medidas que se encuentran por sobre el rango establecido por lo tanto presentan fisuras más grandes, pero no hay desprendimiento del recubrimiento.

3.2.5. Análisis del ensayo de adherencia

La norma AWS C2.16/C2.16M:2002 TSOQT No. AS-2 establece que la media de la resistencia a la tracción del recubrimiento debe ser 6000 psi y ninguno de los valores de la resistencia debe ser menor a 5000 psi para el alambre W-FeCrNi-1 acero inoxidable (30416L). Sin embargo, el alambre usado fue el alambre PMET 710 que es un acero inoxidable 304 con una resistencia de 4650 psi de acuerdo a la hoja técnica (ANEXO VIII), por lo tanto, se toma como referencia el valor de la resistencia del alambre utilizado. Para el proceso de HVOF el recubrimiento debe soportar un esfuerzo último a la tracción mayor a 10000 psi y este se generará por falla adhesiva del recubrimiento, cuando el espesor aplicado sobre la probeta es de 0.3 a 0.4 mm.

El agente adhesivo debe soportar un esfuerzo mayor a 12000 psi cuando este es sometido a fuerzas netamente de tracción, sin embargo, existieron esfuerzos de torsión generados durante el ensayo al no estar las probetas bien alineadas, por lo que se obtuvo una resistencia media de 9161,66 psi como se observa en la tabla 3.44.

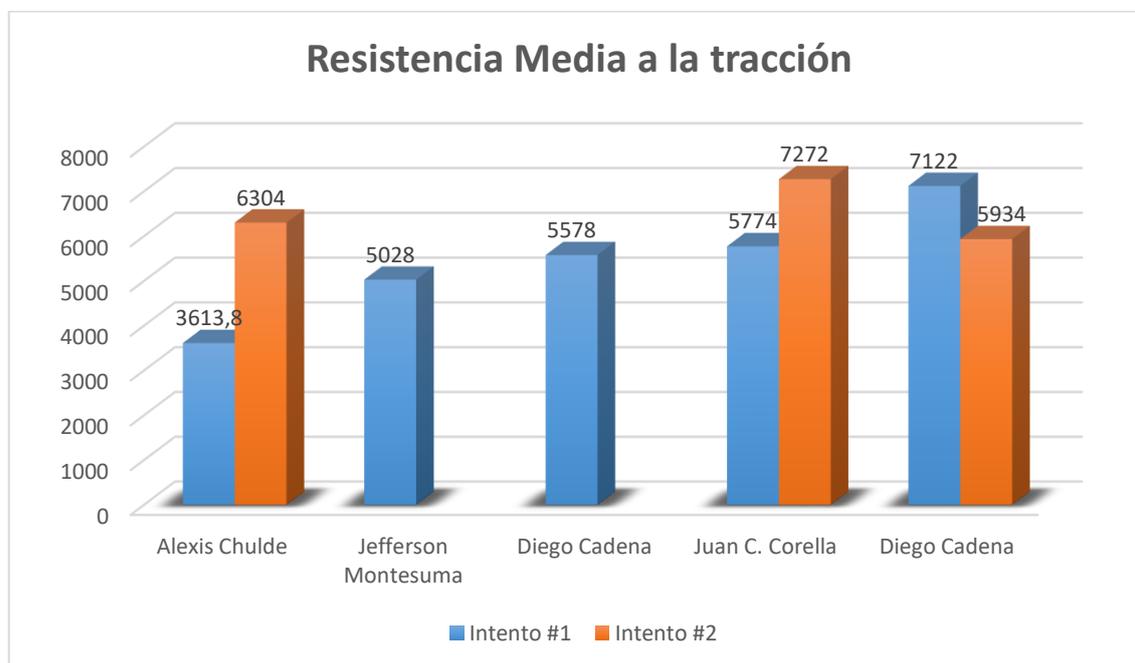


Figura 3.4. Análisis comparativo de la adhesión del recubrimiento.

(Fuente: Propia)

Como se observa en la figura 3.4 se realizaron 2 ensayos de adhesión para tres de los cinco aplicantes; la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 determina que el aplicante tiene la posibilidad de repetir el termorociado si estos no cumplen el criterio de aceptación.

El aplicante Alexis Chulde en su primera aplicación no alcanzó la resistencia media mínima requerida, como resultado de la falta de perfil de anclaje de la resina con el recubrimiento. Este fue rectificado y por lo tanto la superficie no presentó la rugosidad suficiente para que se genere la unión necesaria con el recubrimiento. En el segundo intento se corrigió la desalineación de las probetas y como resultado se obtuvo una resistencia media de 6304 psi con una falla sobre la interfaz, superando por aproximadamente el 35% la resistencia mínima establecida.

Para el proceso de termorociado por arco eléctrico en su primer intento el operador Diego Cadena obtuvo la máxima adhesión del recubrimiento poniendo en evidencia su experiencia en el rociado. Por otra parte, el aplicante Alexis Chulde obtuvo la mayor adhesión del recubrimiento para el proceso de termorociado por arco eléctrico.

Para el proceso de termorociado por HVOF los dos aplicantes repitieron las probetas debido a la mala alineación de las mismas por el defecto en el roscado. Esto se determinó debido a que la separación de las probetas se produjo como una falla en la cohesión de la resina, más no se produjo una falla sobre la interfaz recubrimiento-sustrato. Sin embargo, a pesar de haber eliminado la desalineación de las probetas estas no soportaron la resistencia mínima que dicta la norma y en este caso se produjo la falla en la interfaz, por lo cual estas probetas no cumplen con la adhesión mínima requerida para aprobar el ensayo de adhesión.

Durante la realización del ensayo de tracción se observó que las probetas no estaban alineadas, luego de unir la muestra rociada con el dispositivo de carga, como consecuencia de una desalineación durante la realización del roscado, por lo que al medir la resistencia de la resina no se alcanzó el valor mínimo que esta debería soportar de acuerdo a los datos técnicos de la misma. Sin embargo, la resistencia de la resina fue suficiente para generar una falla en la interfaz con lo que se obtiene un valor real de la adherencia del recubrimiento.

Para determinar la adherencia del recubrimiento de las probetas del proceso de flama se calentó la pieza de barra redonda como se especifica en la tabla 2.16, sin permitir que la llama se concentre en una sola área. Al someter a las piezas al calentamiento hasta una temperatura no mayor a 180°C, estas no presentan puntos calientes lo que es un indicador de una inadecuada adherencia, de tal manera que aprueban el ensayo de adhesión de flama.

Para culminar con el ensayo de adherencia se sometió a las probetas a un ensayo de golpeteo, con la ayuda de un martillo de bola que impacta en la superficie del recubrimiento sin producirse desprendimiento del mismo. Al comparar con el criterio de aceptación de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 TSOQT No. FS-4, las probetas aprueban el ensayo de golpeteo y por lo tanto el ensayo de adherencia del recubrimiento.

3.2.6. Análisis del ensayo metalográfico

Las probetas de metalografía que fueron analizadas en la sección transversal del recubrimiento de acero inoxidable 710 (ANEXO VIII) poseen una microestructura laminar típica de termorociado por arco eléctrico, los splats tienen una forma ondulada y no paralela a la interfase, lo que produce un aumento en la resistencia a la delaminación del recubrimiento. En la interfase sustrato-recubrimiento hay evidencia de inclusiones de escoria las mismas que se observan en tonalidad negra, producidas por falta de control de las variables durante el proceso de granallado. Las probetas del operador Alexis Chulde mostraron mayor cantidad de inclusiones de granalla, lo que afecta a la adherencia del recubrimiento al sustrato, razón por la cual en el primer ensayo de tracción los valores obtenidos fueron en promedio bajos.

Tabla 3.48. Cantidad de óxidos y poros

Proceso de termorociado	Aplicante	Porcentaje de poros		Porcentaje de óxidos	
Arco eléctrico	Alexis Chulde	0,56%	0,44%	15,71%	14,05%
	Jefferson Montesuma	0,52%	0,85%	19,4%	18,6%
	Diego Cadena	0,28%	0,37%	20,74	18,47%
HVOF	Juan C. Corella	0,74%	0,68%	-	-
	Diego Cadena	1,04%	1.2%	-	-

(Fuente: Propia)

En todos los recubrimientos existe presencia de óxidos que se muestran en tonalidad gris, producto de la interacción del aire atmosférico y de propulsión con las partículas fundidas. Además, se encontraron pequeñas porosidades que poseen un contraste negro. Como se observa en la tabla 3.48 para el proceso de arco eléctrico los porcentajes de poros son menores al 1%, las cuales se consideran que son mínimas y no perjudiciales, en comparación con los datos encontrados en la investigación "Wear mechanisms of 13Cr steel thermally sprayed coatings" con un 7% de porosidad.

Las capas de óxido se forman en la superficie superior del splat, es decir, la superficie que se encuentra en contacto con los gases de propulsión. La presencia de óxidos en el recubrimiento produce un aumento en la dureza del mismo aumentando su resistencia al desgaste, sin embargo, estos también pueden ser perjudiciales ya que disminuye la cohesión del mismo, por lo que la estructura laminar al ser paralela a la interfase aumenta el riesgo de la delaminación del recubrimiento.

La presencia de altas cantidades de partículas no fundidas, re solidificadas y porosidades afectan en la resistencia al desgaste y corrosión.

En el proceso de termorociado por HVOF, el análisis metalográfico de la sección transversal del recubrimiento arrojó resultados no satisfactorios, debido a que la calidad de la imagen del recubrimiento no es lo suficientemente buena para determinar la densidad del mismo, así como también el tipo de microestructura que forman los splats.

Sin embargo, con la ayuda de un software de análisis de imagen (Adobe Photoshop) se hizo un balance de contraste y de color de la imagen obtenida mediante un microscopio óptico, para determinar un valor aproximado de porosidades dentro del recubrimiento. Los resultados del aplicante Juan C. Corella están por debajo de 1%, valor que se considera representativo para los recubrimientos de alta densidad de acuerdo a los resultados del trabajo "Corrosion mechanism of HVOF thermal sprayed WC-CoCr coatings in acidic chloride media".

Por otro lado, los resultados del aplicante Diego Cadena están sobre el 1%, valores que son representativos para procesos de alta velocidad como lo es el proceso de termorociado por HVOF, que genera recubrimientos densos con porcentajes de porosidades menores a 0,5%. [10] Sin embargo, los resultados obtenidos son aproximados y no constituyen resultados verídicos por la de calidad de imagen, por lo tanto para analizar este tipo de recubrimiento se debe utilizar un equipo SEM (Scanning Electron Microscopy).

3.2.7. Análisis del ensayo de dureza

De acuerdo a la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 TSOQT No. FS-4, se debe realizar un ensayo de dureza sobre la sección transversal del recubrimiento, los resultados del mismo se observan en la figura 3.5; se tomaron las mediciones en tres lugares diferentes del recubrimiento, la dureza de la probeta del aplicante Diego Cadena presenta dos valores mayores al rango, que pueden ser producto de un enfriamiento rápido, formación de óxidos o carburos y un valor menor al valor mínimo del rango. Al calcular la media se obtuvo una dureza de 46 HRC. De igual manera para la probeta del aplicante Jorge Carrera, se tiene dos valores por sobre el valor máximo del rango y uno igual al valor mínimo del mismo; al calcular el valor medio de dureza se obtiene 46 HCR.



Figura 3.5. Resultados medición de dureza HRC

(Fuente: Propia)

De acuerdo al criterio de aceptación (tabla 2.16) el recubrimiento debe presentar una dureza entre 38 y 42 HCR. En la medición de la media de la dureza se obtuvo un valor superior al del criterio de aceptación de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 TSOQT No. FS-4, por lo tanto, las probetas no aprueban el ensayo.

3.2.8. Análisis del ensayo de tintas penetrantes

Para el análisis de tintas penetrantes se dividieron a las probetas en 4 secciones, facilitando así la penetración de la tinta en las discontinuidades y la visualización de las indicaciones. En el informe de los resultados del ensayo (ANEXO XI) solo se detallan las discontinuidades encontradas, mas no su tamaño ni criterio de aceptación y rechazo. En las tablas 3.38 y 3.42 correspondientes a los aplicantes Diego Cadena y Jorge Carrera respectivamente, se detalla si las indicaciones descritas en el informe son relevantes y si bajo el criterio de aceptación de la norma ASME sección IX estas son aceptables o rechazadas. Sobre ambas probetas se encontraron pequeños poros menores a 1/16" y en base a la norma estas indicaciones no son relevantes y por lo tanto aceptadas. Sin embargo, el criterio de aceptación de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 TSOQT No. FS-4 dicta que los criterios de aceptaciones de las indicaciones encontradas pueden ser establecidos por el cliente, por lo tanto, la probeta no presenta poros relevantes ni fisuras que puedan comprometer la integridad del recubrimiento, aprobando el ensayo de tintas.

3.2.9. Resumen de resultados por aplicante

Las tablas 3.48, 3.50, 3.51, 3.52, 3.53, 3.54 y 3.55 resumen los resultados de los ensayos de cada operador.

Tabla 3.49. Check list aplicante Alexis Chulde AS-2

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Acepta
	Espesor	Acepta
	Acabado	Acepta
Probeta de tracción	ASTM C 633	Acepta
Probeta de flexión	AWS C2.18 MIL-STD-1687	Acepta
Metalografía	N/A	Acepta

(Fuente: Propia)

Tabla 3.50. Check list aplicante Jefferson Montesuma AS-2

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Acepta
	Espesor	Acepta
	Acabado	Acepta
Probeta de tracción	ASTM C 633	Acepta
Probeta de flexión	AWS C2.18 MIL-STD-1687	Acepta
Metalografía	N/A	Acepta

(Fuente: Propia)

Tabla 3.51. Check list aplicante Diego Cadena AS-2

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Acepta
	Espesor	Acepta
	Acabado	Acepta
Probeta de tracción	ASTM C 633	Acepta
Probeta de flexión	AWS C2.18 MIL-STD-1687	Acepta
Metalografía	N/A	Acepta

(Fuente: Propia)

Tabla 3.52. Check list aplicante Juan Carlos Corella AS-2

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Acepta
	Espesor	Acepta
	Acabado	Acepta
Probeta de tracción	ASTM C 633 MIL-STD-1687	Rechaza
Probeta de flexión	AWS C2.18	Acepta
Metalografía	N/A	Rechaza

(Fuente: Propia)

Tabla 3.53. Check list aplicante Diego Cadena HVOF-1

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de textura	Acepta
	Espesor	Acepta
	Acabado	Acepta
Probeta de tracción	ASTM C 633 MIL-STD-1687	Rechaza
Probeta de flexión	AWS C2.18	Acepta
Metalografía	N/A	Rechaza

(Fuente: Propia)

Tabla 3.54. Check list aplicante Diego Cadena FS-4

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de la textura	Rechaza
	Espesor	Rechaza
	Adherencia	Acepta
	Acabado	Rechaza
	Dureza	Acepta
	Tintas penetrantes	Acepta

(Fuente: Propia)

Tabla 3.55. Check list aplicante Jorge Carrera FS-4

Pieza de prueba	Ensayo	Acepta/Rechaza
Barra redonda	Visual para la calidad de la textura	Rechaza
	Espesor	Rechaza
	Adherencia	Acepta
	Acabado	Rechaza
	Dureza	Acepta
	Tintas penetrantes	Acepta

(Fuente: Propia)

4. CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo de este trabajo de titulación se lograron cumplir con los objetivos planteados inicialmente, los cuales consisten en capacitar, evaluar y calificar a los operadores de la Empresa IMETCA S.A. en los distintos procesos de termorociado que ofrecen a la industria; tanto las probetas como los procedimientos, parámetros y ensayos se realizaron siguiendo las normas pertinentes, con lo que se pudo obtener los datos necesarios para la elaboración de los formatos e información base para que el proceso pueda ser reproducido cuantas veces sea necesario.
- Después de obtener y analizar los diferentes resultados de los ensayos realizados y al comparar los mismos con los criterios de aceptación establecidos por la norma AWS C2.16/C2.16M:2002, se determina que los operadores Alexis Chulde, Jefferson Montesuma y Diego Cadena aprueban todas las evaluaciones para calificación de operadores de termorociado por arco eléctrico de aleaciones metálicas para propósitos de ingeniería.
- En el ensayo de tracción de las probetas de HVOF (Intento #1) no hubo desprendimiento del recubrimiento, sino que se produjo una falla en la cohesión de la resina debido a una mala alineación del roscado, lo que crea esfuerzos tanto de tracción como de torsión sobre las probetas haciendo que el elemento más débil falle, sin embargo al no haber alcanzado el esfuerzo mínimo de 10000 psi dictado por la norma no se puede aprobar o rechazar los resultados del ensayo, ya que no se tiene la certeza que el recubrimiento va a soportar una resistencia a la adherencia mayor a 10000 psi.
- El ensayo de tracción permite determinar la adhesión del recubrimiento al sustrato, al aplicar el mismo en las probetas de arco eléctrico el desprendimiento se produce netamente en la interfase recubrimiento-sustrato, por lo que se concluye que la fuerza de enlace del recubrimiento es mayor a la fuerza de adhesión del mismo sobre el sustrato.
- El ensayo metalográfico sirve para determinar las características, tanto en la interfaz como en el recubrimiento mismo. Al aplicar este ensayo en todas las probetas de arco eléctrico se detectó la presencia de inclusiones de granalla en la superficie del sustrato, lo que disminuye la adherencia del recubrimiento a este; por otro lado, los recubrimientos mostraron muy bajos porcentajes de poros por lo cual no se encontraron fracturas sobre el recubrimiento, ya que la presencia de altas cantidades de poros, partículas no fundidas o re solidificadas y óxidos tienen un alto impacto sobre las

propiedades del recubrimiento, afectando tanto a la fuerza de unión de los splats como en la dureza, resistencia al desgaste, etc. Finalmente se observó que los splats se distribuyeron uniformemente produciendo una microestructura laminar, por lo que se determina que los parámetros usados para la aplicación del recubrimiento son adecuados.

- En la medición de dureza del recubrimiento NiCrBSi para termorociado por flama se observó aumento en la dureza del mismo por lo que se recomienda hacer un análisis de composición para determinar las causas del aumento en la dureza.
- La norma AWS C2.16/C2.16M:2002 presenta parámetros tanto cualitativos como cuantitativos para la aceptación o rechazo de los resultados obtenidos, por lo tanto, en el análisis cualitativo va a depender del supervisor y su criterio de evaluación.
- En el análisis metalográfico no se especifican rangos o criterios de aceptación simplemente se realiza una observación de cómo se encuentra la interfaz, si existen fisuras e inclusive se pueden cuantificar las cantidades de poros y óxidos, pero no existen rangos mínimos o máximos que puedan rechazar las probetas, y los porcentajes de poros y óxidos aceptables quedan a criterio del cliente o del trabajo al cual van a ser sometidos los recubrimientos.
- Actualmente esta tecnología no presenta formatos como los de la tecnología de soldadura (WPS, WPQ) razón por la cual se hizo uso de tablas dadas por la norma como forma de WPS, y se hicieron modificaciones a formatos usados en soldadura (WPQ) para realizar la certificación de los operadores. Además, esta tecnología no presenta normas para la calificación del procedimiento de ninguno de los procesos de termorociado.
- La velocidad de aplicación del recubrimiento, la distancia de separación y el espesor de recubrimiento son los parámetros más importantes que deben ser controlados al momento de manipular la antorcha para la aplicación del proceso, esto se evidenció en los resultados del ensayo de doblado de las probetas de HVOF del aplicante Juan Carlos Corella, las cuales tuvieron una aplicación a muy baja velocidad de avance obteniendo una tonalidad oscura debido a una posible oxidación o descomposición del carburo por la alta concentración de calor, además estas probetas presentaron fisuras más grandes y marcadas que el resto de probetas tanto de arco eléctrico como de HVOF.

- Durante la aplicación del proceso de termorociado por flama se percibió que el principal inconveniente es que el polvo usado para el recubrimiento tiene un punto de fusión por sobre los mil grados centígrados y la temperatura que alcanza el proceso es de alrededor de los 600 grados centígrados, por lo tanto, el polvo no se funde por completo y la aplicación no es homogénea sobre toda la longitud de la probeta. La muestra principal es que no se tiene un espesor continuo, ya que en varios sectores de la probeta se tuvo falta de recubrimiento.
- Una vez obtenido los resultados de cada aplicante y comparando los mismo con las directrices de la norma se determina que: Juan Carlos Corella y Diego Cadena aplicantes de termorociado por HVOF y Jorge Carrera y Diego Cadena aplicantes de termorociado por flama no aprueban la calificación para operadores de termorociado, debido a esto deberán capacitarse nuevamente para realizar una nueva calificación.
- Así como los procesos de soldadura requiere de operadores certificados, los procesos de termorociado requieren también de operadores cuya habilidad de aplicar cada método sea el correcto y sus trabajos cumplan con los estándares internacionales. En el país no existen registros de que las pequeñas y medianas empresas que realizan procesos de termorociado tengan operadores calificados que puedan certificar la eficacia del proceso, por lo que calificar a los operadores de la empresa IMETCA S.A., le permite aumentar su grado de competitividad dentro del mercado.

TRABAJOS FUTUROS

- Análisis de la microestructura del recubrimiento por flama del material PMET710.
- Estudio de los parámetros óptimos para la realización de limpieza mecánica mediante granallado.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. L. Marulanda Arévalo, J. L. Tristancho Reyes, y H. Á. González B, «La tecnología de recuperación y protección contra el desgaste está en el rociado térmico», *Prospectiva*, vol. 12, n.º 1, pp. 70-78, ene. 2014.
- [2] A. I. T. S. S. T. C. J.R. Davis & Associates, *Handbook of Thermal Spray Technology*. Materials Park, OH: ASM International, 2004.
- [3] ANSI y AWS, «AWS C2.16/C2.16M:2002 Guide for Thermal-Spray Operator Qualification». 23-jul-2002.
- [4] ASTM International, «ASTM C633-13(2017) Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings.», 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/C0633-13R17>.
- [5] American Welding Society, SSPC: The Society for Protective Coatings, y NACE International, «NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 Specification for the Application of Thermal Spray Coatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, and Their Alloys and Composites for the Corrosion Protection of Steel». jul-2003.
- [6] AVNER, *INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA*, SEGUNDA EDICION. MEXICO: McGRAW-HILL, 1995.
- [7] ASTM International, «ASTM A370-17: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products», 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/A0370-17>.
- [8] ASTM International, «ASTM E384-17 Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials», 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/E0384-17>.
- [9] C. Hardin y M. Morales, «Normas ASTM aplicadas a la dureza Brinell, Rockwell y Vickers». .
- [10] SULZER, «An Introduction to Thermal Spray». [En línea]. Disponible en: https://www.upc.edu/sct/es/documents_equipment/d_324_id-804-2.pdf.
- [11] WELDING JOURNAL, «PROYECCION TERMICA», pp. 40-42, 2016.
- [12] X. Chen, X. Qin, Z. Zhu, y K. Gao, «Microstructural evolution and wear properties of the continual local induction cladding NiCrBSi coatings», *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 262, pp. 257-268, dic. 2018.
- [13] «ASTM E3-11(2017) Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens», 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/E0003-11R17>.
- [14] «ASTM B578-87(2015) Standard Test Method for Microhardness of Electroplated Coatings», 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/B0578-87R15>.
- [15] «ASTM E1920-03(2014) Standard Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings», 2014. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/E1920-03R14>.
- [16] ASTM International, «ASTM D4417-11 Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel.», 2011. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/D4417-11>.
- [17] NACE International, «NACE Standard RP0287-2002 Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast-Cleaned Steel Surfaces Using a Replica Tape». 2002.
- [18] ASTM International, «ASTM E140-12be1 Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness», 2012. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1520/E0140-12BE01>.
- [19] «ASTM E1418-16 Standard Practice for Visible Penetrant Testing Using the Water-Washable Process», 2016. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/bvirtual.epn.edu.ec/10.1520/E1418-16>.

- [20] «ASTM E165/E165M-12 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry», 2012. [En línea]. Disponible en:
https://doi.org.bvirtual.epn.edu.ec/10.1520/E0165_E0165M-12.
- [21] «ASTM E18-18a Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials», 2018. [En línea]. Disponible en:
<https://doi.org.bvirtual.epn.edu.ec/10.1520/E0018-18A>.
- [22] R. LAKHDARI, Y. MEBDOUA, H. LAHMAR, M. LEGOUERA, y A. TRICOTEAUX, «Wear mechanisms of 13Cr steel thermally sprayed coatings», presentado en 22ème Congrès Français de Mécanique, Lyon, 2015.
- [23] L. Rachid, Y. Lahmar Mebdoua, M. Legouera, y B. Guedouar, «Wire arc sprayed stainless steel coating : microstructure and wear mechanism», *Mod. Arab. Rev. Fundam. Appl. Phys.*, vol. 1, pp. 4-12, 2016.
- [24] Z. Geng, S. Li, D. L. Duan, y Y. Liu, «Wear behaviour of WC–Co HVOF coatings at different temperatures in air and argon», *Wear*, vol. 330-331, pp. 348-353, may 2015.
- [25] J. A. Picas, M. Punset, E. Rupérez, S. Menargues, E. Martin, y M. T. Baile, «Corrosion mechanism of HVOF thermal sprayed WC-CoCr coatings in acidic chloride media», *Surf. Coat. Technol.*, oct. 2018.

ANEXO I. AWS C2.16/C2.16M:2002

AWS C2.16/C2.16M:2002

Guide for Thermal-Spray Operator Qualification

1. Scope

This guide recommends the knowledge and skill requirements for thermal-spray operator qualification.

These recommendations include:

- (1) Rules for thermal-spray operator knowledge
- (2) Performance qualifications
- (3) Specific Thermal-Spray Operator Qualification Tests (TSOQT) for flame, arc, plasma, and high velocity oxygen fuel (HVOF) spray methods.

The term qualified thermal-spray operator is used synonymously with thermal-spray technician.

1.1 Exclusion. AWS C2.16/C2.16M does not supersede an employer or contractor from continuing to qualify thermal-spray operators in accordance with the following AWS and other standards and references such as:

- (1) MIL-STD-1687, *Thermal Spray Processes for Naval Ship Machinery Applications*.
- (2) MIL-STD-2138, *Metal Sprayed Coatings for Corrosion Protection Aboard Naval Ships* (Metric).
- (3) Various original equipment manufacturer's (OEM) or after-market repair, thermal-spray process, and spray parameter specifications.
- (4) Material Safety Data Sheets (MSDSs) for abrasive blasting and thermal-spray feedstock materials.
- (5) ISO 14917, *Thermal Spraying—Terminology, Classification*.
- (6) ISO 14918, *Thermal Spraying—Approval Testing of Thermal Sprayers*.

Employers of thermal-spray operators may impose supplementary requirements to this guide.

1.2 Safety Considerations. Thermal-spray operators must have the basic knowledge and skills to include: safe assembly, setting up, operating, and closing down procedures of equipment; personal protection; fire hazards; dust explosions; electrical hazard; flash backs; leak detection; ultraviolet radiation; and noise. Annex A summarizes safety information for thermal spraying.

1.3 Units of Measure and Rounding-Off Procedures.

This specification makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units [SI]. The measurements are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other without combining in any way. The specification with the designation C2.16 uses U.S. Customary Units. The specification C2.16M uses SI Units. The latter are shown in appropriate columns in tables or within brackets [] when used in the text.

For the purposes of determining conformance with this specification, an observed or calculated value shall be rounded to the nearest unit in the last right-hand place of figures used in expressing the limiting values in accordance with the rounding-off method given in ASTM E 29, *Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications*.

1.4 Referenced Documents

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this AWS standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this AWS standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the documents shown below. For undated references, the latest edition of the standard referred to applies.

- (1) Thermal Spraying, Chapter 28, *AWS Welding Handbook*, Vol. 2, 1991.¹
- (2) *AWS Thermal Spraying, Practice, Theory, and Applications*, 1985.
- (3) AWS C2.18, *Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites*.
- (4) AWS C2.20-0X, *Specification for Zinc Thermal-Spray Coatings for Reinforced Concrete*, in preparation.

¹ AWS standards are published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

(5) AWS C2.23-0X/SSPC CS 23.00A-0X/NACE TG 146-0X, *Specification for the Application of Thermal Spray Coatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, and Their Alloys and Composites for the Corrosion Protection of Steel*, in preparation.

(6) AWS C2.25, *Specification for Alloy Wires, Cored Wires, and Ceramic Rods for Thermal Spraying*.

(7) ASTM C 633, *Standard Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings*.²

(8) ASTM D 4417, *Test Method for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel*.

(9) ASTM D 4541, *Test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers*.

(10) SSPC-Guide to Vis 1-89, *Visual Standard for Abrasive Blast Cleaned Steel*.³

(11) SSPC-SP 5, *White Metal Blast Cleaning*.

(12) SSPC-SP 10, *Near-White Blast Cleaning*.

(13) MIL-STD-1687, *Thermal-Spray Processes for Naval Ship Machinery Applications*.⁴

(14) MIL-STD-2138, *Metal Sprayed Coatings for Corrosion Protection Aboard Naval Ships (Metric)*.⁵

(15) NACE No. 1, *White Metal Blast Cleaning*.⁶

(16) NACE No. 2, *Near-White Blast Cleaning*

(17) Equipment manufacturer's instructions (technical manual and bulletins) including spray parameters for selected feedstock.

(18) Abrasive blasting media and feedstock Material Safety Data Sheets.

(19) ISO 14917, *Thermal Spraying—Terminology, Classification*.⁷

(20) ISO 14918, *Thermal Spraying—Approval Testing of Thermal Sprayers*.

(21) ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*.⁷

2. Abbreviations and Definitions

The abbreviations and definitions used in this guide are defined in AWS 3.0:2001, *Standard Welding Terms and Definitions*, and as follows:

2. ASTM standards are published by the American Society of Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

3. SSPC standards are published by the Society of Protective Coatings, 40 24th Street, Pittsburgh, PA 15222-4643.

4. Available from the DoD Publications and Forms Center, 5801 Taber Avenue, Philadelphia, PA 19120.

5. Available from Naval Publication and Forms Center, 5801 Taber Avenue, Philadelphia, PA, 19120.

6. Published by NACE International, 1440 S. Creek Drive, Houston, TX 77084-4906.

7. ISO standards are published by American National Standards Institute, 11 W. 42nd Street, New York, NY 10036-9002.

arc spraying (ASP). A thermal-spray process using an arc between two consumable electrodes of surfacing materials as a heat source and a compressed gas to atomize and propel the surfacing material to the substrate.

automatic thermal spraying. Thermal spraying with equipment that requires only occasional or no observation of the thermal spraying, and no manual adjustment of the equipment controls (see Table 2).

flame spraying (FLSP). The thermal spray process in which an oxyfuel gas flame is the source of heat for melting the surfacing material. Compressed gas may or may not be used for atomizing and propelling the surfacing material to the substrate.

high velocity oxygen fuel (HVOF). A thermal spraying process using a high pressure, oxyfuel mixture to heat and propel a powdered surfacing material to a substrate.

manual thermal spraying. Where the spraying gun is manipulated by hand (see Table 2).

mechanized thermal spraying. Thermal spraying with equipment that requires manual adjustment of the equipment controls in response to visual observation of the thermal spraying. Where some aspects of the process are mechanized, with the gun not manipulated by hand (see Table 2).

plasma spraying (PSP). The thermal-spray process in which a non-transferred arc is used to create an arc plasma for melting and propelling the surfacing material to the substrate.

All of the terms listed below are used in various parts of this document and are required to correctly interpret this document.

Employer. The term is used collectively to mean contractor, fabricator, or manufacturer.

process instruction. A document detailing the equipment and procedures to perform an industrial operation to include safety, operator qualifications, materials, equipment, proceduralized method, quality control, and records.

qualified thermal-spray coating contractor (QTSCC). Thermal-spray coating contractor certified or experienced to apply thermal-spray coatings in accordance with specific application standards.

specific acceptance criteria. A document providing in detail the criteria that can test an applicant to be approved for a particular technique or application area.

test. A series of operations that includes knowledge and skill for applying a thermal-spray coating on a thermal-spray test piece and subsequent non-destructive, or destructive testing, or both, and reporting the results.

test piece. The thermal-spray workpiece used for the TSOQT.

test specimen. A portion cut from the test piece in order to perform a specified analytical test.

Test Supervisor. A person qualified to examine and qualify thermal-spray operator applicants in accordance with this guide.

Thermal-Spray Operator Qualification Test (TSOQT). The knowledge or skill tests in this guide used to evaluate the qualification of an applicant to be designated as a **thermal-spray operator qualified to AWS-C2.16/C2.16M:2002, Classification** (*insert appropriate classification designation (from Table 1) and spray method (from Table 2).*)

thermal-spray equipment operator. A person qualified to operate mechanized or automatic thermal-spray equipment. A thermal-spray equipment operator should be knowledgeable and skilled in the operation of the mechanized or automatic equipment assigned. He or she is not required to meet the thermal-spray operator qualification requirements of this guide.

thermal-spray operator. A person who performs thermal spraying with a manual or mechanized system per Table 2.

TSC. Thermal-spray coating.

TSCC. Thermal-spray coating contractor.

TSTF. Thermal-spray test facility.

3. Provision of Testing

3.1 Thermal-Spray Operator Qualification Test (TSOQT). Applicants should be qualified using the TSOQTs of this guide. Qualified production thermal-spray procedures should be used in the TSOQT.

3.2 Thermal-Spray Employer Test Shop or Facility. The thermal-spray employer should have a thermal-spray shop or facility with equipment that meets the requirements of TSOQT for which the applicant is being qualified. The thermal-spray shop or facility is required to provide the thermal-spray operator applicant with his or her process instruction of the TSOQT for which he or she is being tested.

3.3 Test Supervisor. The Test Supervisor should be a person qualified to examine and qualify thermal-spray operator applicants in accordance with this guide. If the same company employs the applicant, the Test Supervisor should be from the Quality Control or Quality Assurance Department of the thermal-spray operator's employer. The Test Supervisor should not be a person in the applicant's line of supervision.

4. Qualification Requirements

4.1 Qualification Test. The thermal-spray operator applicant should meet the knowledge and skill requirements of the TSOQT for which he or she is to be qualified. The Job Knowledge requirements are detailed in TSOQT No. JK-1.

The skill requirements are detailed in the specific TSOQT for the qualification classification listed in Table 1, for which he or she is being tested.

The applicant should:

(1) Prepare the *thermal-spray process and spray parameters data sheet* (Table 1 of the respective TSOQTs) from the thermal-spray-equipment manufacturers and feedstock information. The Test Supervisor will review, correct as appropriate, and approve the applicant's process and parameters data sheet prior to conducting the thermal-spraying test, Section 5 of the TSOQT.

(2) Prepare and thermal-spray the test specimens in accordance Sections 4 and 5 respectively, of the TSOQT.

(3) Meet the examination requirements, Section 6 of the TSOQT.

4.2 Test Supervisor. Qualification testing should be performed under the direction of a person designated as the Test Supervisor by the management of the Thermal-Spray Employer.

(1) The Test Supervisor should be responsible for the performance qualification in accordance with this guide and should make the final decision on the successful completion of the knowledge and skill tests of AWS C2.16/C2.16M.

(2) If during qualification testing, the Test Supervisor determined that the applicant does not exhibit the knowledge and skill to perform the test satisfactorily, the test may be terminated. The Test Supervisor will terminate the test immediately for safety discrepancies.

(3) The Test Supervisor, during qualification testing, may allow an applicant to retest immediately or may require additional training or practice prior to retesting in accordance with 8.3, Retests.

(4) The Test Supervisor should be responsible for enforcement of test shop safety rules, procedures, and cleanliness, as established by the Test Shop or Facility Quality Assurance (QA) Manual.

4.3 Test Shop or Facility. The Test Shop or Facility conducts the qualification tests and prepares the test reports. The Thermal-Spray Employer issues the qualification certificate and maintains appropriate records.

5. Classification Categories and Application Method

The thermal-spray operator qualification is designated by:

[Table 1 **Process Classification**]:
[Table 2 **Application Method**]

For example, **FS-3:manual** signifies that the thermal-spray operator is qualified for *flame spraying (spray method) metal, alloy, and ceramic powders for engineering purposes (feedstock class): manual (application method), manual gun movement and manual or mechanized workpiece movement and changeover.*

Table 1 defines eleven Thermal-Spray Operator Qualification Classifications. Table 2 defines three application methods.

6. Essential Factors for Qualification Testing

The criteria specified in this section should be examined in order to identify the ability of the applicant in these areas. The applicant's Qualification test should be carried out on test pieces specified in the TSOQT.

The applicant **knowledge test** should include:

- (1) Basic job knowledge of thermal spraying.
- (2) Required knowledge on the specific TSOQT to include:
 - (a) Equipment for the thermal-spray method and feedstock class in Table 1, for which he or she is being tested.

Table 1
Thermal-Spray Qualification Process Classifications

Process Classification	Spray Method	Feedstock Class
FS-1	Flame Spray	Zn, Al, and their alloys and composites for corrosion protection
FS-2	Flame Spray	Metal alloy wires, and ceramic rods for engineering purposes
FS-3	Flame Spray	Metal, alloy, and ceramic powders for engineering purposes
FS-4	Flame Spray	Self fluxing alloys for engineering purposes
AS-1	Arc Spray	Zn, Al, and their alloys and composites for corrosion protection
AS-2	Arc Spray	Metal, alloy, and cored wires for engineering purposes
A&FS-1	Arc and Flame Spray	Arc and flame spraying zinc wire on reinforced concrete
APS-1	Air Plasma Spray	Materials for engineering purposes: Metals and alloys
APS-2	Air Plasma Spray	Materials for engineering purposes: Ceramics
APS-3	Air Plasma Spray	Materials for engineering purposes: Metal based carbides
HVOF-1	High Velocity Oxygen Fuel	Materials for engineering purposes: Metal and alloys

Table 2
Thermal-Spray Application Classification by Gun Movement and Workpiece Control

Application Method	Gun Movement	Workpiece Movement	Workpiece Changeover
Manual	Manual	Manual or Mechanized ⁽¹⁾	Manual or Mechanized
Mechanized	Mechanized	Mechanized	Manual
Automatic	Mechanized	Mechanized	Mechanized

Note:

(1) Mechanized means the mechanical movement of the part to be sprayed.

(b) Ability to complete and use Table 1 of the TSOQT.

TSOQT No. JK-1 details the job knowledge requirements.

The Thermal-Spray Employer's Test Shop or Facility will develop the knowledge test and obtain the Qualification of the applicant's employer as required.

The **skill test** should, at the minimum, conform to the applicable TSOQT.

6.1 Thermal-Spray Equipment Operation. The applicant should be tested to determine his or her knowledge of the equipment as detailed in 4.3, TSOQT No. JK-1. He or she should put into operation thermal-spray equipment according to the procedures and operating manual provided by the equipment manufacturer (or the contractor's refinement thereto). The applicant's knowledge should not be limited to normal operations; rather he or she should be sufficiently skillful to recognize when equipment is not functioning properly and to take the proper corrective actions.

6.2 Masking Procedure. The applicant should be tested to determine their knowledge of proper masking procedures for both surface preparation and spraying.

6.3 Surface Preparation. The applicant should be tested on his or her understanding of the interactions of cleaning, degreasing, pressure-pot and mechanical surface roughening methods, preheating, and storage, so that he or she is able to assess and measure the quality and adequacy of prepared substrate surfaces. He or she should be able to recognize the suitability, or non-suitability, of a surface to accept the proposed thermal-spray coating system.

6.4 Application Hardware. Test results, gained from samples sprayed with actual production hardware, or equipment similar to it in the view of the Test Supervisor, should be utilized for applicant qualification.

7. Range of Qualification

7.1 General. The applicant should be qualified by categories as related to the thermal-spray method and feedstock material class (see Table 1). The applicant qualified in a specific classification should be deemed qualified to spray comparable thermal-spray feedstock on comparable thermal-spray equipment. An applicant must pass the specific TSOQT for qualification in that classification. The period of validity of the qualification and recertification should be made in accordance with the applicable TSOQT.

Thermal-spray operator employers may impose and subdivide their classification requirements to group their qualification classes by substrate material, feedstock composition types, manual, mechanized, or automatic thermal spraying, etc.

7.2 Application Method. This guide covers manual and mechanized application methods for thermal spraying (see Table 2). An operator who is qualified at either the manual or mechanized thermal spraying is qualified to monitor automatic equipment in any classification for which he or she is qualified. Operation and qualification to operate automatic thermal-spray equipment is not a part of this guide.

7.3 Feedstock Composition Types. Table 3 lists the feedstock classes and the feedstock to be sprayed for specific TSOQTs. The applicant can elect to be tested in any one of these classifications but the specific material to be used and the coating properties to be obtained within that category are fixed in the specific TSOQT. For example, a plasma applicant may choose to be tested spraying *ceramics*. In the ceramics category, the specific TSOQT specifies *aluminum oxide/titanium oxide* as the actual material to be used.

7.4 Qualification Scope. The requirements for initial applicant qualification will be different for each of the thermal-spray classification categories in Table 1. Qualification in one classification (spray method and feedstock class) does not imply any ability or experience in applying the specific thermal-spray technique in any other category.

7.5 Supervision. The Test Supervisor should witness the thermal spraying and testing of the test pieces.

7.6 Shapes and Dimensions of Test Pieces and Specimens. Shapes and dimensions of test pieces and test specimens are as detailed in each TSOQT.

7.7 Test Methods and Sample Testing. Test methods and sample testing should be as detailed in each TSOQT. When samples are metallographically examined, they should be compared to samples, which are known to be satisfactory, which have been mounted and polished in the same way and at the same time, to avoid preparation discrepancies.

7.8 Acceptance Requirements for Test Pieces. Acceptance requirements for test pieces and specimens are detailed in each TSOQT. Test pieces should be evaluated according to the acceptance requirements specified for each spray classification and spray method and feedstock class as specified in the TSOQT.

Table 3
Feedstock Class for TSOQT

TSOQT No.	Spray Method	Feedstock Class	TSOQT Feedstock	Tensile ⁽¹⁾		Porosity (%) ⁽⁴⁾	Oxides (%) ⁽⁴⁾
				psi [MPa] avg. ⁽²⁾	psi [MPa] min. ⁽³⁾		
APS-1	Air Plasma Spray	Metal and alloy powders	NiCrAlMoFe (73+, 9, 7, 5.5, 5%) self-bonding SS ⁽⁶⁾	4000 [27.6]	3500 [24.1]	≤ 6	≤ 20
APS-2	Air Plasma Spray	Ceramic powders	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ (87, 13%) alumina titania ⁽⁶⁾	3500 [24.1]	2500 [17.2]	≤ 4	—
APS-3	Air Plasma Spray	Metal based carbide powders	WC-Co (83, 17%) tungsten-carbide cobalt alloy ⁽⁶⁾	6000 [41.4]	4500 [31.0]	—	—
AS-1	Arc Spray	Zn, Al, and their alloys and composites	W-Al-1100	1500 ⁽⁵⁾ [10.3]	1000 ⁽⁵⁾ [6.70]	—	—
	---	---	W-Zn-1	750 ⁽⁵⁾ [5.2]	1500 ⁽⁵⁾ [3.5]	—	—
AS-2	Arc Spray	Metal, alloy, and cored wires	W-FeCrNi-1 stainless steel (304)	6000 [41.4]	5000 [34.5]	—	—
A&FS-1	Arc and Flame Spray	Zinc wire	W-Zn-1	1000 ⁽⁵⁾ [6.9]	800 ⁽⁵⁾ [5.5]	—	—
FS-1	Flame Spray	Zn, Al, and their alloys and composites	W-Al-1100	1500 ⁽⁵⁾ [10.3]	1000 ⁽⁵⁾ [6.70]	—	—
	—	—	W-Zn-1	750 ⁽⁵⁾ [5.17]	500 ⁽⁵⁾ [4.38]	—	—
FS-2	Flame Spray	Metal and alloy wires, and ceramic rods	W-FeCrNi-1 stainless steel (304)	3000 [20.7]	2000 [13.8]	—	—
FS-3	Flame Spray	Metal, alloy, and ceramic powders	CuAlFe (89+, 9.5, 1.0) aluminum bronze ⁽⁶⁾	4000 [27.6]	3000 [20.7]	≤ 6	≤ 20
FS-4	Flame Spray	Self-fluxing alloy powders	Ni based self-fluxing alloy ⁽⁶⁾ RHC 40-50 range	—	—	—	—
HVOF-1	High Velocity Oxygen Fuel	Metals and alloys powders	WC-Co (83, 17%) ⁽⁶⁾	>10,000 [69] (adhesive failure)	—	—	—

Notes:

- (1) Tensile bond per ASTM C 633 except for AS-1, FS-1, and A&FS-1, in which case per ASTM D 4541 using a portable self-aligning tester.
- (2) Average tensile of five specimens.
- (3) Minimum tensile of the five specimens.
- (4) Per metallographic examination. Establish the minimum acceptable porosity and oxide values from the feed stock manufacturers technical information for the spray method used. Values for porosity and oxide values per MIL-STD-1687.
- (5) Per ASTM D 4541 using self-aligning adhesion tester. The portable test instrument should be calibrated against the ASTM C 633 method. Annex B gives a procedure for relating the portable instrument measurement to that of the ASTM C 633 method.
- (6) Commercial nomenclature.

8. Examination and Testing

The applicant should be tested for:

- (1) Job knowledge test to determine his or her knowledge of the process.
- (2) Practical test to demonstrate his or her skill in the appropriate areas.

8.1 Job Knowledge Test. The applicant should satisfactorily complete knowledge tests on:

- (1) Basic concepts and terminology of the thermal-spray technology.
- (2) All aspects of the knowledge and skill appropriate to the TSOQT for which qualification is being sought. This includes identifying and recording the required process and application parameters from the applicable surface-preparation, thermal-spray equipment, and feedstock information from the manufacturer's technical information or the Test Facility's database. The required information is summarized in the "thermal-spray process and spray parameters" table(s) of each TSOQT.

The written test should be prepared by the Test Supervisor and approved by the employer as applicable. See TSOQT No. JK-1 for the particular knowledge aspects to be tested.

8.2 Skill (Practical Ability) Test. The applicant should be tested to determine whether he or she has the practical skills necessary for the thermal-spray procedure as detailed in the specific TSOQT listed in Table 1. Additionally, the following should be included in the TSOQT:

- (1) **Identification.** The applicant should be assigned an identification letter, symbol, or number, and this identification should be marked on the test materials and records.
- (2) **Verification.** Prior to the initiation of thermal spraying, the Test Supervisor should verify the applicant's photographic identification.
- (3) **Safety equipment.** The applicant should use personal safety equipment applicable for the thermal-spray process. The safety requirements of the Test Shop or Facility should conform to the requirements of ANSI Z49.1 and Annex A.
- (4) **Machine adjustments.** Before starting the qualification test, the applicant should adjust the machine settings to meet those stated in the TSOQT.

(5) **Material check.** The test piece shape and material and the feedstock material(s) should conform to the TSOQT.

(6) **Masking.** The applicant will mask the test piece in accordance with the TSOQT.

- (7) **Surface preparation.** The applicant will either:
 - (a) Prepare the surface of the test piece and measure the surface cleanliness and angular profile depth in accordance with the TSOQT, or

(b) Inspect and accept the surface preparation condition of the test piece when prepared by others, by measuring the surface cleanliness and angular profile depth in accordance with the TSOQT.

(8) **Handling and fixturing.** The applicant will handle and mount the test piece in accordance with the TSOQT; manual or mechanized, as appropriate.

(9) **Witnessing.** The Test Supervisor will witness and validate the applicant performing the TSOQT.

8.3 Retests

8.3.1 General. In the event of the applicant's failure to meet the requirements of this guide, a retest may be rescheduled at the discretion of the Test Supervisor in accordance with the specific TSOQT criteria. Normally, retests are not given without additional training and not within three months of the last test.

8.3.2 Additional Tests. If during spraying the applicant can show that there is some extraneous fault that prevents spraying a good test piece, a new attempt may be made when the fault has been corrected.

9. Documentation of Thermal-Spray Operator Performance Qualification

The performance qualification data and results of the TSOQT should be recorded in the Thermal-Spray Employer's Personnel File of the Applicant. A record copy should be given to the employee.

9.1 Period of Validity for Qualification. The period of validity for a thermal-spray operator Qualification begins on the date when all the required tests are satisfactorily completed.

The thermal-spray operator's Qualification should be continuous as long as:

(1) He or she has worked satisfactorily in a thermal-spray station in shop or field facility within a six-month period.

(2) He or she maintains the qualification by performing all the work to the criteria in the TSOQT for which he or she is qualified including at least 8 hours of thermal spraying in the qualification categories in the six-month period. If the 8-hr requirement is not met, he or she should satisfactorily prepare and spray bend-test coupons for the TSOQT for which he or she is qualified (see 9.2).

(3) The employer may not revoke the Operator's qualification, unless the conditions to 13 are met.

The thermal-spray operator is responsible for the maintenance of his or her qualification per Section 11.

9.2 Prolongation. If 9.1(2) above have not been met, two weeks before the expiration of the six-month qualification interval, the thermal-spray operator should satisfactorily prepare and spray bend-test specimens for the TSOQT in which he or she is qualified. Note: The bend test is not applicable for APS-1 and FS-4. For APS-1, prepare and spray five ASTM C 633 tensile specimens and pass their tests specified in Section 6. For FS-4, (1) prepare and spray one 10 in. [250 mm] × 3 in. [75 mm] round steel bar and fuse coat the center 6 in. [150 mm] center surface area, and (2) pass the adherence tests of Section 6.

9.3 Scheduling. Scheduling of requalification should be the responsibility of the QA or test supervisor. However, it is the responsibility of the thermal-spray operator and the employer to ensure that the thermal-spray operator appears for requalification as scheduled.

9.4 Thermal-Spray Operators with Expired or Canceled Qualification Status. Thermal-spray operator with an expired or canceled qualification status should not be permitted to perform thermal-spray operations in categories covered by this guide.

9.5 Requalification. The Shop QA Supervisor or Test Supervisor may request requalification at any time either has reason to doubt the proficiency of the thermal-spray operator and the quality of their workmanship.

9.6 Interruption Periods in Thermal-Spray Work. A thermal-spray operator who has not carried out production spraying for a period of six months should follow the initial applicant qualification procedure to regain a qualified status.

10. Identification/Qualification Documents

The thermal-spray operator qualification certificate is issued by the thermal-spray operator's employer.

11. Maintenance of Qualification

The thermal-spray operator should be responsible for notifying his or her employer or the Test Supervisor for their 6-month qualification renewal (see 9.1).

12. Renewal of Qualification

When a thermal-spray operator's qualification has expired, renewal of qualification for each specific classification of Table 1 should be through testing as outlined in Section 8. Testing should be accomplished in the Thermal-Spray Employer's Test Shop or Testing Facility and verified by the Test Supervisor.

13. Revocation

The employer may revoke the qualification of a thermal-spray operator under the following conditions if:

(1) The Operator's work does not meet the criteria of the TSOQT for which he or she is qualified including at least 8 hours of thermal spraying in the Operator's qualification categories in the six-month period following prior qualification period.

(2) The evidence of the thermal-spray operator's performance required by Section 9 is not recorded and maintained by the individual's employer.

(3) Reasonable and appropriate physical requirements established by the employer cannot be met.

(4) There is a specific reason to question the ability of a thermal-spray operator to meet the requirements for qualification.

14. Reinstatement

The individual whose Qualification has been revoked may be retested for the qualification sought. Reinstatement of Qualification shall require the individual to demonstrate ability and skills to the same or the current qualification test. The final authority for retest frequency, training requirements, and overall evaluation of the individual's qualification in accord with this document, and granting of certification or reinstatement of certification, rests with the employer (fabricator).

ANEXO II. TSOQT JK-1

TSOQT NO. JK-1

AWS C2.16/C2.16M:2002

TSOQT No. JK-1—Job Knowledge for the Thermal-Spray Operator Qualification Tests

1. General

The test of job knowledge is required for the initial and continuing qualification of the applicant. This Thermal-Spray Operator Qualification Test (TSOQT) outlines the job knowledge that an applicant should have to ensure that the procedures and common practices are followed. The actual tests of an applicant's job knowledge may be given by any of the following methods or combination of these methods:

- Written tests
- Oral examination following a set of written questions
- Computer testing
- Hands-on demonstration by the applicant to the examiner by doing actual samples, following a written set of criteria

The test of job knowledge should include:

- (1) The concepts and principles of thermal spraying.
- (2) The specific knowledge required for safety and environmental compliance, surface preparation, equipment operations and spray parameters, the production processes and quality control check points for the thermal-spray process for which the applicant is seeking qualification.

Information standards and references for the job knowledge test include:

- (1) ASM Thermal Spray Society, *Thermal Spray Terminology and Company Origins*.⁷
- (2) Thermal Spraying, Chapter 28, *AWS Welding Handbook*, Vol. 2, 1991.
- (3) *AWS Thermal Spraying, Practice, Theory, and Applications*, 1985.
- (4) AWS C2.18, *Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites*.
- (5) AWS C2.25, *Specification for Alloy Wires, Cored Wires, and Ceramic Rods for Thermal Spraying*.

⁷ ASM standards are published by ASM International, 9639 Kisman Road, Materials Park, OH 44073.

(6) AWS C2.20-0X, *Specification for Zinc Thermal-Spray Coatings for Reinforced Concrete*, in preparation.

(7) ASTM C 633, *Standard Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings*.

(8) ASTM D 4417 *Test Method for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel*.

(9) ASTM D 4541, *Test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers*.

(10) SSPC-Guide to Vis 1-89, *Visual Standard for Abrasive Blast Cleaned Steel*.

(11) MIL-STD-1687, *Thermal Spray Processes for Naval Ship Machinery Applications*.

(12) MIL-STD-2138, *Metal Sprayed Coatings for Corrosion Protection Aboard Naval Ships* (Metric).

(13) Equipment manufacture's instructions (technical manual and bulletins) including spray parameters for selected feedstock.

(14) Abrasive blasting media and feedstock Material Safety Data Sheets.

(15) ISO 14917, *Thermal Spraying—Terminology, Classification*.

(16) ISO 14918, *Thermal Spraying—Approval Testing of Thermal Sprayers*.

2. Requirements

2.1 Job Knowledge Test. The applicant should be specifically tested for job knowledge in the following areas applicable to the thermal-spray equipment, processes, and feedstock materials for which he or she is to be certified. The Job Knowledge Test should be prepared and administered by the Thermal-Spray Test Supervisor; see 4.2, main body.

2.2 Thermal-Spray Equipment. Basics should include: safety, gas and electrical energy supply devices, essential components, and cooling systems.

2.3 Thermal-Spray Process. Basics should include: safety, preparation of the workpiece, geometrical aspects,

masking, measurement methods during spraying, control of parameters, workpiece handling and storage, and post spraying treatments. The applicant should demonstrate the ability to develop a process and spray parameter table, comparable to Table 1, of the applicable TSOQT, from the equipment and feedstock manufacturer's information.

2.4 Substrate Materials and Feedstock Consumables. Basics should include: safety, identification, handling, and storage.

2.5 Safety and Accident Prevention. Basics to should include: safe assembly, setting up, operating, and closing down procedures of the equipment, personal protection, fire hazards, dust explosions, electrical hazard, flash backs, leak detection, ultraviolet radiation, and noise.

2.6 Method of Testing Thermal-Spray Coatings. Basics should include: thermal-spray coating structure, visual inspection, knowledge about metallographic results and the consequence of improper spray parameters, adhesion testing, bend testing, cut testing, and imperfections in thermal-spray coatings.

3. Surface Preparation During the Qualification Test

The applicant should demonstrate an understanding of the interactions of cleaning, degreasing, pressure-pot and mechanical surface roughening methods, preheating, and storage, so that he or she is able to assess and measure the quality and adequacy of prepared substrate surfaces. He or she should be able to recognize and measure the suitability, or non-suitability, of a surface to accept the proposed thermal-spray coating system.

3.1 Angular Grit Blasting and Angular Profile Depth. The applicant should demonstrate an awareness of the effects of blast media cleanliness, angular profile, and the degree of cleanliness and angular profile depth required for different types of thermal-spray coatings. For instance, a near-white metal finish with a ≥ 0.0025 in. [63 μm] angular profile depth is adequate for most anti-corrosion zinc and aluminum coatings. However, true white metal finish is required for marine and offshore aluminum coatings.

3.2 Examination Test Samples. For examination test purposes, the following five inadequate, adequate, and good sample surfaces should be prepared as follows:

- (1) Surface blasted with ball shot to provide clean surface but without angular profile.
- (2) Surface blasted for too short a time, leaving excessive contamination or too shallow a profile depth, or both. *Note: Near white metal calls for a maximum of 5%*

visible rust contamination, without oil, grease, dirt, and loose material or grease.

(3) Surface blasted too much peening back and polishing as the profile is reduced.

(4) Surface contaminated with oil, grease, dirt, and loose material or dust.

(5) Surface blasted correctly, giving a clean near-white or white metal surface with an angular profile appropriate to the coating type. The surface as prepared should be free of dust arising from other spraying operations, broken down blast media, etc.

The applicant should be questioned on which of the samples is acceptable and why. He or she should also be questioned on the reasons behind the acceptability, e.g., effect of contamination, too shallow or too deep profile, etc. The applicant should also be aware of other surface-preparation factors that will degrade the bond of the thermal-spray coating to the substrate.

4. Other Factors to be Tested During the Qualification Test

4.1 Feedstock Material Storage. The applicant has to demonstrate his or her knowledge concerning conditions of handling and storage of feedstock materials and their influence on coating quality.

4.2 Masking Procedure. The applicant should be tested to determine his or her knowledge of proper masking procedures for both surface preparation and thermal spraying. Where certain areas of workpiece are not to be sprayed (e.g., fit and function surfaces), they should be masked. This can be done using a variety of techniques that may be appropriate depending upon the geometry of the piece and the type of coating being applied. For example, paper tape can be used to mask off zinc spray only but cannot be used for high-melting-point materials or as protection against blasting. Masking material should not leave any residue on the surfaces to be thermal sprayed.

4.3 Equipment Operation. The applicant should be tested to determine his or her knowledge of the equipment. He or she should put into operation thermal-spray equipment according to the procedures and operating manual provided by the equipment manufacturer (or the contractor's refinement thereto). The applicant's knowledge should not be limited to normal operations; rather he or she should be sufficiently skillful to recognize when equipment is not functioning properly and to take the proper corrective actions.

4.4 Application of Coating. The applicant has to show that he or she is able to properly:

- (1) Assess surface preparation of the part to be sprayed, considering geometrical factors such as holes, fasteners, edges, angles, etc.
- (2) Apply masking.
- (3) Handle the workpiece for manual spraying.
- (4) Fixture or mount the workpiece for mechanized spraying.
- (5) Operate the equipment by setting up the proper spray parameters and spraying the coating in accordance with the process instruction.
- (6) Make the in-process quality control measurements.
- (7) Apply post-spraying sealer.
- (8) Finish in accordance with the process instruction.

(9) Apply post-finishing sealer as specified by the process instruction.

(10) Assess the quality of the final coating on the workpiece (accept or reject).

(11) Select adequate safety gear.

4.5 Safety and Environmental Compliance. The applicant should show his or her knowledge of the safety aspects concerning personal, health, safe handling of the thermal-spray feedstock and equipment, and environmental safety requirements during the practical testing. Particular attention should be given to the proper handling of all electrical, gas, and air connections as historically, most accidents involving thermal-spray equipment derive from these connections.

ANEXO III. TSOQT AS-2

TSOQT NO. AS-2

AWS C2.16/C2.16M:2002

TSOQT No. AS-2—Arc Spraying Metal Alloys for Engineering Purposes

1. Scope

Knowledge and skill performance test for arc spraying stainless steel on carbon steel round stock.

Factors to be Tested During Qualification Test	Knowledge* Skill	
1.1 Safety and Environmental Compliance	✓	✓
1.2 Feedstock and Material Handling	✓	✓
1.3 Masking	✓	✓
1.4 Surface Preparation	✓	✓
1.5 Equipment Operation	✓	✓
1.6 Production Thermal Spraying	✓	✓
1.7 Quality Control Requirements	✓	✓
1.8 Record Keeping	✓	✓

*See TSOQT No. JK-1 for the job knowledge requirements.

2. Information and Material Requirements

2.1 Standards and References

- (1) Arc spray parameters and process instruction for equipment and feedstock provided by the Testing Facility in this TSOQT. Append to this TSOQT.
- (2) MIL-STD-1687, *Thermal Spray Processes for Naval Ship Machinery Applications*.
- (3) ASTM C 633, *Standard Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings*.
- (4) AWS *Thermal Spraying, Practice, Theory, and Applications*, 1985.
- (5) Thermal Spraying, Chapter 28, *AWS Welding Handbook*, Vol. 2, 1991.

(6) Equipment manufacturer's technical manuals and instructions.

(7) Abrasive blasting and thermal-spray feedstock Material Safety Data Sheets.

(8) SSPC-SP 5/NACE No. 1, "White Metal Blast Cleaning."

(9) NACE Standard RP0287, "Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast Cleaned Steel Surfaces Using a Replica Tape."

2.2 Test Pieces

(1) One round bar (low carbon steel) = 2 in. diameter × 10 in. long (50 × 250 mm) undercut 0.020 in. [0.5 mm] for a length of 6 in. [(150 mm)] centrally; see Figure 1 of this TSOQT.

(2) Five tensile specimens 1 in. diameter × 1.5 in. long [25.4 × 38.1 mm] and threaded per ASTM C 633.

(3) Six bend coupons: = 2 × 4 to 8 × 0.050 in. [= 50 × 100 to 200 × 1.25 mm] for bend and metallographic analysis. *Note: Break the edges of the metallographic coupon.*

2.3 Masking Materials. Heat reflecting tape.

2.4 Spray Wire. W-FeCrNi-1 stainless steel (30416L).

2.5 Spray Equipment. Arc spray system to include spray gun, wire holder, gages/hoses, and power unit. The equipment, of whatever type, should always be setup and used by the applicant in accordance with the manufacturer's instruction (and the contractor's or Test Facility's refinement thereto).

2.6 Process. The applicant should develop process data and spray parameters from the feedstock and equipment manufacturer's information per Table 1 example of this TSOQT.

2.7 QC Equipment. Caliper micrometer for thickness measurement; surface temperature gage; visual standards for blasted steel; profile depth gage; and psychrometer (air temperature, dew point, and humidity).

2.8 Job Control Record. Record form for applicant to record applicable test information.

3. Masking

Mask as required to protect the ends of the rod.

4. Surface Preparation

The test sample should be prepared and inspected in accordance with the process instruction cited in 2.1(1) for this TSOQT. The profile depth shall be measured according to NACE Standard RP0287 or ASTM D4417, Method C (replica tape, x-coarse, or Method B (profile depth gauge).

(1) If the test sample has been prepared by another person, the applicant should inspect and validate that the test sample has a white metal finish with a ≥ 0.0025 in. [63 μm] anchor-tooth profile.

(2) The applicant should prepare the test sample, degrease and abrasive blast with angular steel grit or aluminum oxide to obtain white metal finish and a ≥ 0.0025 in. [63 μm] anchor-tooth profile. The anchor-tooth depth should be measured with a profile micrometer or replica tape and a dial micrometer.

5. Thermal Spraying

The applicant should spray the test samples in accordance with the process instruction included in this TSOQT. The applicant should:

(1) Measure and validate that the test pieces meet the substrate surface temperature, and air temperature, dew point, and humidity requirements.

(2) Setup and operate the thermal-spray equipment in accordance with Table 1 of this TSOQT.

(3) Preheat as required.

(4) Validate surface preparation, equipment setup, and spray parameters with the *bend test coupon*.

(5) Metallurgical. Cut a sample from a corner of a successful bend coupon and make a metallurgical analysis.

(6) Take a metallographic sample and make a metallographic analysis from a successful bend coupon.

(7) Spray five tensile specimens for the ASTM C 633 test.

(8) Spray an appropriate thickness of W-FeCrNi-1 (304) stainless steel wire to allow the deposit to be machined, by an appropriate method, to the original 2 in. [50 mm] diameter.

(9) Conduct the required QC measurements.

(10) Record necessary job control information on the Test Facility's Job Control Record.

6. Examination of Test Pieces

The Test Supervisor should observe all the elements of the performance qualification for conformance and should inspect and accept the test pieces according to the following table:

Test Piece	Test	Pass Criteria	Pass/Fail
Round Bar	Visual for texture quality	Smooth and no lumps, dust and debris inclusions, and blisters.	
	Thickness	(1) Per pass: thickness in accordance with the process instruction. (2) Total diameter before finishing: $+0.003$ – 0.006 in. [0.08–0.15 mm] over the original rod diameter. (3) Measure the total thickness in four places along the length of the round bar.	
	Finishing	Machine the thermal-spray coating to the original bar diameter using appropriate practices. The thermal-spray coating should clean up smoothly without particle pullout, over the entire surface.	
Tensile Specimen	ASTM C 633	6000 psi [41.4 MPa] average of five with no tensile < 5000 psi [34.4 MPa].	
Bend Coupon	AWS C2.18 MIL-STD-1687	No disbonding; minor crack that cannot be removed with knife blade allowed.	
Metallograph		Examination of interface condition, cracks, porosity, oxides, oxide stringers, globular particles, unreacted particles, and uniformity of constituents.	

7. Retest

In the event that an applicant fails to meet the knowledge and skill requirements of this TSOQT, a retest for the deficient items of the TSOQT may be scheduled at the discretion of the Test Supervisor. If during spraying the applicant can show that there is some extraneous fault preventing spraying a good test piece, a new attempt may be made when the fault has been corrected.

8. Filing and Recording of Test Results

The Test Supervisor will send the original copy of the test results to the applicant's Personnel File with a copy to the applicant and the applicant's supervisor.

9. Period of Validity

The validity of the thermal-spray operator applicant's qualification begins from a date when all the required tests are satisfactorily completed.

A thermal-spray operator's qualification should remain qualified indefinitely as long as:

- (1) He or she has worked satisfactorily in a thermal-spray station in shop or field facility within a six-month period.
- (2) He or she maintains the qualification by performing all the work to the criteria in the TSOQT for which he or she is qualified including at least 8 hours of thermal spraying in the qualification categories in a six-month period.
- (3) The employer does not revoke the qualification.

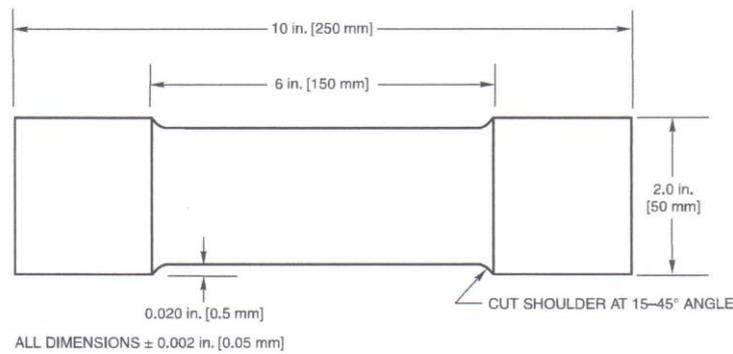


Figure 1—Test Piece for Flame- and Arc-Sprayed Metal Alloy Coatings

ANEXO IV. TSOQT FS-4

TSOQT NO. FS-4

AWS C2.16/C2.16M:2002

TSOQT No. FS-4—Flame Spraying Self-Fluxing Alloys for Engineering Purposes

1. Scope

Knowledge and skill performance test for flame spraying and fusing a self-fluxing nickel based alloy powder on a carbon steel round bar.

Factors to be Tested During Qualification Test	Knowledge* Skill	
1.1 Safety and Environmental Compliance	✓	✓
1.2 Feedstock and Material Handling	✓	✓
1.3 Masking	✓	✓
1.4 Surface Preparation	✓	✓
1.5 Equipment Operation	✓	✓
1.6 Production Thermal Spraying	✓	✓
1.7 Quality Control Requirements	✓	✓
1.8 Record Keeping	✓	✓

*See TSOQT No. JK-1 for the job knowledge requirements.

2. Information and Material Requirements

2.1 Standards and References

- (1) Flame spray parameters and process instructions for equipment and feedstock used in this TSCT. Append to this TSOQT.
- (2) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX.
- (3) AWS *Thermal Spraying, Practice, Theory, and Applications*, 1985.
- (4) *Thermal Spraying*, Chapter 28, AWS *Welding Handbook*, Vol. 2, 1991.
- (5) AWS 3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*.
- (6) *Thermal Spray Techniques and Technologies*, Hobart Institute of Welding Technology, 1992.

(7) *Thermal Spray Technology*, Course 51, ASM International, 1992.

(8) *Flame Spray Handbook*, Vol. II, Powder Process, Metco Inc.

(9) Equipment manufacturer's technical manuals and instructions.

(10) Abrasive blasting and thermal-spray feedstock Material Safety Data Sheets.

(11) SSPC-SP 5/NACE No. 1, "White Metal Blast Cleaning."

(12) NACE Standard RP0287, "Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast Cleaned Steel Surfaces Using a Replica Tape."

2.2 Test Piece. 1 each round bar (low carbon steel) = 3 in. diameter × 10 in. long [75 mm × 250 mm]. The two ends of the bar shall be reduced to 2 in. [50 mm] diameter to 3 in. [75 mm] from each end; see Figure 1 of this TSOQT.

2.3 Masking Materials

- (1) Heat reflecting tape.
- (2) Paint "stopoffs with paint such as Microbraze Green Stopoff (Wall Colomony Inc.)."

2.4 Blasting Material. Grit blast using #16-24 chilled iron or angular steel grit to achieve a 250–500 µin. [6.3–13 µm] etch. "Black Beauty" or Aluminum Oxide grits are unacceptable.

2.5 Spray Material. Nickel based self-fluxing alloy powder, RHC 40–50 range. Deposit and fuse a sufficient thickness to allow an after-machining dimension of +0.020 ± 0.002 in. [0.50 ± 0.05 mm], i.e., to 3.020 ± 0.002 in. [76.708 ± 0.05 mm] and 2.020 ± 0.002 in. [51.308 ± 0.05 mm], respectively.

2.6 Spray Equipment. Flame spray system to include spray gun, powder feeder, gages/hoses, and consumable gases. The equipment, of whatever type, must always be setup and used by the applicant in accordance with the manufacturer's instruction (and the contractor's or Test Facility's refinement thereto).

2.7 Spray Parameters. The applicant should develop spray parameters from the feedstock and equipment manufacturer information per Table 1 example of this TSOQT.

2.8 QC Equipment. Optical pyrometer, caliper micrometer or gages, visual surface finish standards for blasted steel; profile depth gage, and Rockwell Hardness Tester.

2.9 Job Control Record. Record form for applicant to record applicable test information.

3. Masking

Mask as required to protect the journals of the test piece.

4. Surface Preparation

The test sample shall be prepared and inspected in accordance with the process instruction cited in 2.1(1) for this TSOQT. The profile depth shall be measured according to NACE Standard RP0287 or ASTM D4417, Method C (replica tape, x-coarse, or Method B (profile depth gauge).

(1) If another person has prepared the test sample, the applicant shall inspect and validate that the test sample has a white metal finish with a 250–500 μin. [6.3–13 μm] anchor-tooth profile using blasting media per 2.4 of this TSOQT.

(2) The applicant must prepare the test sample, degrease and abrasive blast with angular steel grit (not

aluminum oxide) to obtain white-metal finish and a ≥ 0.0025 in. [63 μm] anchor-tooth profile. The anchor-tooth depth shall be measured with a profile micrometer or replica tape and a dial micrometer.

5. Thermal Spraying

The applicant shall spray the test sample to include:

- (1) Write up and use the spray parameters from the equipment and feedstock manufacturer’s information.
- (2) Measure and validate that the test pieces meet the substrate finish and profile requirements.
- (3) Setup and operate the thermal-spray equipment per Table 1 of this TSOQT.
- (4) Preheat as required.
- (5) Spray an appropriate thickness of the self-fluxing powder to allow the deposit to be machined, by an appropriate method, to the original dimensions + 0.020 in. [0.51 mm].
- (6) Conduct the required QC measurements.
- (7) Record the necessary job control information on the Test Facility’s JCR.

6. Examination of Test Pieces

The Test Supervisor shall observe all the elements of the performance qualification for conformance and shall inspect and accept the test pieces according to the following table:

Test Piece	Test	Pass Criteria	Pass/Fail
Round Bar	Visual for texture quality	Smooth and uniform with no lumps, cracks, runs, drips and blisters. The surface should have no “orange peel” appearances. Smooth and no lumps, cracks, and blisters.	
	Thickness	Total: Finish diameter +0.010–0.015 in. [0.25–0.4 mm] uniform in size without runs, drips and sags.	
	Adherence	(1) Adhesion Flame Test. No “hot spots” or evidence of delamination. <i>The Adhesion Flame Test shall be performed in accordance with the following procedure:</i> Use an oxyacetylene torch with either a National #10 or #12 tip (or equivalent), employing a slightly reducing flame (as defined by AWS A3.0) and apply the flame perpendicular to the coated surface. Hold the flame about 1/2 in. [12 mm] from the coated surface and move the torch at a moderate rate of speed (approximately 1 in. [25 mm] per second). Do not allow the flame to concentrate in one area. An improperly bonded area will develop a “hot spot” as evidenced by the area having a red glow. The temperature of the part should not exceed 350°F [180°C] when the test is performed properly. (2) Tapping Test. No evidence of delamination. <i>The Tapping Test shall be performed in accordance with the following procedure:</i> Raised areas or coated areas that do not glow red when subjected to the flame test shall be tapped lightly with a ballpeen hammer. When adhesion is insufficient the coating will “flake off.”	

(Continued)

Licensed by WEX to Invetca and Juan Carlos Araujo /
 Order # 111614 / Downloaded: 1/19/2015 8:55:20 PM /
 Single-user license only, copying and networking prohibited.

Test Piece	Test	Pass Criteria	Pass/Fail
Round Bar (Cont'd)	Finishing	(1) Machine the fused coating using a single point tool to 3.080 ± 0.002 in. [78 ± 0.05 mm] and 2.080 ± 0.002 in. [53 ± 0.05 mm], respectively to confirm an adequate coating thickness. Grind coating as an option. (2) The thermal-spray coating must clean up smoothly without particle pull-out, or cracks over the entire surface. (3) Absence of over-heating, excessive porosity, cracks, and detachment, bearing in mind the difference between spraying and machining effects.	
	Hardness	38–42 HRC	
	Liquid Penetrant	No evidence of linear indication or round indications as specified by process instruction sheet. <i>Note: Liquid penetrant tests are available per ASME BPVC Section IX and acceptance criteria may be established by the customer.</i>	

7. Retest

In the event that an applicant fails to meet the knowledge and skill requirements of this TSOQT, a retest for the deficient items of this TSOQT may be scheduled at the discretion of the Test Supervisor. If during spraying the applicant can show that there is some extraneous fault preventing spraying a good test piece, a new attempt may be made when the fault has been corrected.

8. Filing and Recording of Test Results

The Test Supervisor will send the original copy of the test results to the applicant's Personnel File with a copy to the applicant and the applicant's supervisor.

9. Period of Validity

The validity of the thermal-spray operator applicant's qualification begins from a date when all the required tests are satisfactorily completed.

A thermal-spray operator's qualification should remain qualified indefinitely as long as:

- (1) He or she has worked satisfactorily in a thermal-spray station in shop or field facility within a six-month period.
- (2) He or she maintains the qualification by performing all the work to the criteria in the TSOQT for which he or she is qualified including at least 8 hours of thermal spraying in the qualification categories in a six-month period.
- (3) The employer does not revoke the qualification.

Licensed by WEX to Imetca and Juan Carlos Araujo /
 Order # 111814 / Downloaded: 1/19/2015 8:55:20 PM /
 Single-user license only, copying and networking prohibited. /

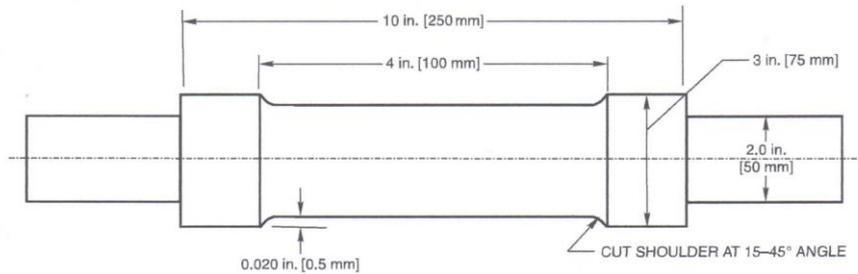


Figure 1—Test Piece for Flame-Sprayed Self-Fluxing Alloy Coating

ANEXO V. TSOQT HVOF-1

TSOQT NO. HVOF-1

AWS C2.16/C2.16M:2002

TSOQT No. HVOF-1—High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) for Engineering Purposes: Metals and Alloys

1. Scope

Knowledge and skill performance test for: HVOF spraying metal and alloy powders on carbon steel round bar.

Factors to be Tested During Qualification Test	Knowledge*	Skill
1.1 Safety and Environmental Compliance	✓	✓
1.2 Feedstock and Material Handling	✓	✓
1.3 Masking	✓	✓
1.4 Surface Preparation	✓	✓
1.5 Equipment Operation	✓	✓
1.6 Production Thermal Spraying	✓	✓
1.7 Quality Control Requirements	✓	✓
1.8 Record Keeping	✓	✓

*See TSOQT No. JK-1 for the job knowledge requirements.

2. Information and Material Requirements

2.1 Standards and References

- (1) HVOF-spray parameters and process instructions for equipment and feedstock used in the TSOQT. Append to this TSOQT.
- (2) AWS *Thermal Spraying, Practice, Theory, and Applications*, 1985.
- (3) Thermal Spraying, Chapter 28, *AWS Welding Handbook*, Vol. 2, 1991.
- (4) *Thermal Spray Techniques and Technologies*, Hobart Institute of Welding Technology, 1992.
- (5) AWS C2.25, *Specification for Alloy Wires, Cored Wires, and Ceramic Rods for Thermal Spraying*.

(6) ASTM C 633, *Standard Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings*.

(7) Equipment manufacturer's technical manuals and instructions.

(8) Abrasive blasting and thermal-spray feedstock Material Safety Data Sheets.

(9) SSPC-SP 5/NACE No. 1, "White Metal Blast Cleaning"

2.2 Test Pieces

(1) One round bar (low carbon steel) = 2 in. diameter × 10 in. long [50 mm × 250 mm] undercut 0.020 in. [0.5 mm] for a length of 6 in. [150 mm] centrally; see Figure 1 of this TSOQT.

(2) Five tensile specimens 1 in. diameter × 1.5 in. long [25.4 × 38.1 mm] and threaded per ASTM C 633.

(3) Six bend coupons: = 2 × 4 to 8 × 0.050 in. [= 50 × 100 to 200 × 1.25 mm] for bend test and metallographs.

2.3 Masking Materials. Heat reflecting.

2.4 Spray Powder. Tungsten-carbide cobalt-alloy powder (WC-Co, 83, 17%) to be applied 0.010 ± 0.002 in. [250 ± 50 μm] thick.

2.5 Spray Equipment. HVOF spray system to include spray gun, powder feeder, gages/hoses, and consumable gases. The equipment, of whatever type, should always be setup and used by the applicant in accordance with the manufacturer's instruction (and the contractor's or Test Facility's refinement thereto).

2.6 Spray Parameters. Applicant candidate should develop spray parameters from the feedstock and equipment manufacturer's information; see Table 1 of this TSOQT.

2.6 QC Equipment. Caliper micrometer for thickness measurement; surface temperature gage; visual standards for blasted steel; profile depth gage; and psychrometer (air temperature, dew point, and humidity).

2.7 Job Control Record. Record form for applicant to record applicable test information.

3. Masking

Mask as required to protect the ends of the round bar.

4. Surface Preparation

The test sample should be prepared and inspected in accordance with the process instruction cited in 2.1(1) for this TSOQT. The profile depth shall be measured according to NACE Standard RP0287 or ASTM D4417, Method C (replica tape, x-coarse, or Method B (profile depth gauge).

(1) If another person has prepared the test sample, the applicant should inspect and validate that the test sample has a white metal finish with a 0.002–0.004 in. [50–100 μm] anchor-tooth profile.

(2) The applicant should prepare the test sample, degrease and abrasive blast with angular steel grit or aluminum oxide to obtain white-metal finish and a 0.002–0.004 in. [50–100 μm] anchor-tooth profile. The anchor-tooth depth should be measured with a profile micrometer or replica tape and a dial micrometer.

5. HVOF Spraying

The applicant should spray the test samples in accordance with the process instruction included in this TSOQT. The applicant should:

- (1) Measure and validate that the test pieces meet the substrate surface temperature, and air temperature, dew point, and humidity requirements.
- (2) Setup and operate the thermal-spray equipment per Table 1 of this TSOQT.
- (3) Preheat as required.
- (4) Spray five tensile specimens for the ASTM C 633 test.
- (5) Spray an appropriate thickness to allow the deposit to be machined, by an appropriate method, to the original 2 in. [51 mm] diameter.
- (6) Conduct the required QC measurements.
- (7) Record necessary job control information on the Test Facility's JCR.

6. Examination of Test Pieces

The Test Supervisor should observe all the elements of the performance qualification for conformance to the AWS C2.19-0X and should inspect and accept the test piece according to the following table:

Test Piece	Test	Pass Criteria	Pass/Fail
Round Bar	Visual for texture quality	Smooth and no lumps, dust and debris inclusions, and blisters.	
	Thickness	(1) Per pass: thickness in accordance with the process instruction. (2) Total finish diameter: +0.004–0.008 in. [+0.1–0.2 mm]. (3) Measure the total thickness in four places along the length of the round bar.	
	Finishing	Machine the thermal-spray coating to the original bar diameter. The thermal-spray coating should clean up smoothly without particle pullout, over the entire surface.	
Tensile Specimen	ASTM C 633	> 10,000 psi [69 MPa] (adhesive failure) for 0.012–0.015 in. [0.3–0.4 mm] thickness.	
Bend Coupon	AWS C2.18 MIL-STD-1687	For thickness 0.003–0.005 in. [0.08–0.13 mm], no disbonding; minor crack that cannot be removed with knife blade allowed.	
Metallograph		Microstructure per manufacturer's technical data sheet for WC-CO, 83, 17% feedstock	

Licensed by WEX to Imetca and Juan Carlos Araujo /
 Order # 111814 / Downloaded: 1/19/2015 8:55:20 PM /
 Single-user license only, copying and networking prohibited. /

7. Retest

In the event that an applicant fails to meet the knowledge and skill requirements of this TSOQT, a retest for the deficient items of this TSOQT may be scheduled at the discretion of the Test Supervisor. If during spraying the applicant can show that there is some extraneous fault preventing spraying a good test piece, a new attempt may be made when the fault has been corrected.

8. Filing and Recording of Test Results

The Test Supervisor will send the original copy of the test results to the applicant's Personnel File with a copy to the applicant and the applicant's supervisor.

9. Period of Validity

The validity of the thermal-spray operator applicant's qualification begins from a date when all the required tests are satisfactorily completed.

A thermal-spray operator's qualification should remain qualified indefinitely as long as:

- (1) He or she has worked satisfactorily in a thermal-spray station in shop or field facility within a six-month period.
- (2) He or she maintains the qualification by performing all the work to the criteria in the TSOQT for which he or she is qualified including at least 8 hours of thermal spraying in the qualification categories in a six-month period.
- (3) The employer does not revoke the qualification

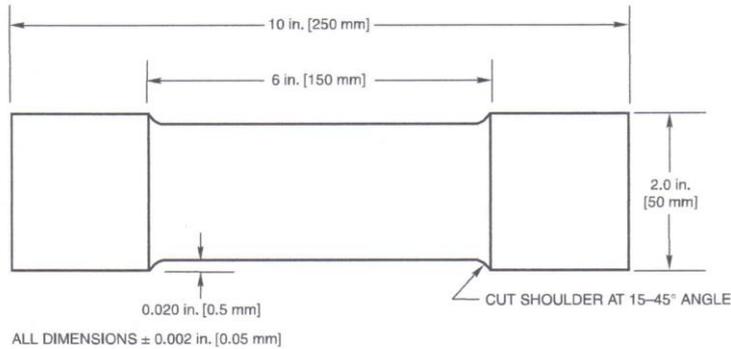


Figure 1—Test Piece for HVOF- and Arc-Sprayed Metal Alloy Coatings

ANEXO VI. PRUEBAS DE CONOCIMIENTO.
PRUEBA ESCRITA PARA CALIFICACIÓN DE OPERADORES DE
TERMOROCIADO POR ARCO ELÉCTRICO

NOMBRE:

FECHA:

1. Como se define el proceso de termorociado.
 - a. Tratamiento térmico realizado a elemento para aumentar la dureza superficial.
 - b. Tratamiento químico aplicado a superficies desgastadas por efecto de la corrosión.
 - c. Tratamiento superficial realizado a superficies atacadas químicamente.
 - d. Tratamiento superficial realizado a elementos desgastados para la recuperación de dimensiones y mejorar las propiedades mecánicas
2. El termorociado manual es cuando
 - a. Cuando la antorcha no es manipulada por el operador, el operador se encarga solo del ajuste de las variables del equipo.
 - b. La antorcha de termorociado es manipulada por el operador
 - c. El operador no se encarga del ajuste de las variables del equipo.
 - d. No necesita de observación del proceso de termorociado, solo necesita de ajustes del equipo.
3. Cual es el proceso de termorociado por arco:
 - a. Proceso que utiliza como fuente de calor un arco entre dos electrodos consumibles de material superficial y, un gas comprimido para propulsar el material superficial sobre el sustrato.
 - b. Proceso que utiliza un arco eléctrico producido entre el material y el electrodo consumible.
 - c. Proceso que utiliza la combustión de combustible oxigenado para la creación del arco eléctrico.
 - d. a y b.
4. El material de aporte para el proceso de termorociado por arco eléctrico es:
 - a. Acero inoxidable en polvo
 - b. Polvo auto-fundente a base de níquel
 - c. Alambre de Acero inoxidable
 - d. Polvo de carburo de tungsteno y cobalto (WC-CO)
5. El material de enmascaramiento es:
 - a. Cinta reflectora de calor
 - b. Pintura protectora con tinte como "Microbraze Green stopoff"
 - c. Cinta masking
 - d. Cinta protectora de calor y Pintura protectora con tinte como "Microbraze Green stopoff"

6. El equipo de rociado consta de:
 - a. Pistola rociadora, sujetador de alambre, galgas/mangueras y generador eléctrico.
 - b. Pistola rociadora, alimentador de polvo, galgas/mangueras y gases combustibles.
 - c. Pistola rociadora, galgas/mangueras, equipo de seguridad.
 - d. Todas las anteriores.
7. Los siguientes instrumentos forman parte del equipo de QC:
 - a. Micrómetro, galga, referencias visuales para acero tratado con chorro.
 - b. Galga de profundidad de perfil, psicrómetro.
 - c. Micrómetro, reloj comparador, psicrómetro.
 - d. a y b
8. Para la preparación superficial se debe cumplir que:
 - a. El aplicante es la única persona encargada de la preparación superficial de la probeta a ser termorociada.
 - b. La probeta puede ser preparada por otra persona, pero el aplicante deberá inspeccionar y validar que la probeta tenga un acabado correcto.
 - c. El aplicante no puede hacer la preparación superficial de la probeta bajo ninguna circunstancia.
 - d. Ninguna de las anteriores.
9. Para la preparación superficial la profundidad de perfil es:
 - a. Menor a 0.0025 pulg. ($63\mu\text{m}$)
 - b. No mayor a 0.00025pulg ($6.3\mu\text{m}$)
 - c. Mayor a 0.0025pulg ($63\mu\text{m}$)
 - d. Mayor a 0.003 pulg. y menor 0.005pulg.
10. Para la preparación superficial se utiliza:
 - a. Granalla de acero de arista viva.
 - b. Granalla de óxido de aluminio.
 - c. Granalla "Black Beauty"
 - d. a y b
11. Riesgos a los que están expuestos los operadores de termorociado:
 - a. Exposición a radiación gamma, ultravioleta, partículas sueltas.
 - b. Exposición a vapores, polvos humos, gases, ruido y radiación ultravioleta
 - c. Exposición a radiación X, gases, polvos.
 - d. Todas las anteriores.
12. El equipo de seguridad requerido consta de:
 - a. Zapatos dieléctricos, gafas oscuras, casco de seguridad.
 - b. Casco de seguridad, protección auditiva.
 - c. Protección respiratoria, casco, protectores para las mano, escudos faciales o anteojos, y protección auditiva.
 - d. Protección auditiva y protección visual.

13. Completar la siguiente tabla:

SIMBOLOS GRAFICOS			
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	SÍMBOLO	DEFINICIÓN
			
			
			
			
			

PRUEBA ESCRITA PARA CALIFICACIÓN DE OPERADORES DE TERMOROCIADO HVOF

NOMBRE:

FECHA:

1. Como se define el proceso de termorociado.
 - a. Tratamiento térmico realizado a elemento para aumentar la dureza superficial.
 - b. Tratamiento químico aplicado a superficies desgastadas por efecto de la corrosión.
 - c. Tratamiento superficial realizado a superficies atacadas químicamente.
 - d. Tratamiento superficial realizado a elementos desgastados para la recuperación de dimensiones y mejorar las propiedades mecánicas
2. El termorociado manual es cuando
 - a. Cuando la antorcha no es manipulada por el operador, el operador se encarga solo del ajuste de las variables del equipo.
 - b. La antorcha de termorociado es manipulada por el operador
 - c. El operador no se encarga del ajuste de las variables del equipo.
 - d. No necesita de observación del proceso de termorociado, solo necesita de ajustes del equipo.
- 3.Cuál es el proceso de termorociado HVOF
 - a. Proceso que utiliza aire comprimido a alta temperatura como fuente de calor y propulsar el material de aporte a la superficie.
 - b. Proceso que utiliza un arco eléctrico y gas comprimido para propulsar el material de aporte sobre el sustrato.
 - c. Proceso que utiliza una mezcla de combustible oxigenado a alta presión para calentar y propulsar el material de aporte sobre el sustrato.
 - d. Ninguna de las anteriores.
4. El material de aporte para el proceso de termorociado HVOF es:
 - a. Alambre de Acero inoxidable
 - b. Acero inoxidable en polvo
 - c. Polvo auto-fundente a base de níquel
 - d. Polvo de carburo de tungsteno y cobalto (WC-CO)
5. El material de enmascaramiento es:
 - a. Cinta reflectora de calor
 - b. Pintura protectora con tinte como “Nicrobraze Green stopoff”
 - c. Cinta masking
 - d. Cinta protectora de calor y Pintura protectora con tinte como “Nicrobraze Green stopoff”
6. El equipo de rociado consta de:
 - a. Pistola rociadora, sujetador de alambre, galagas/mangueras y generador eléctrico.

- b. Pistola rociadora, alimentador de polvo, galgas/mangueras y gases combustibles.
 - c. Pistola rociadora, galgas/mangueras, equipo de seguridad.
 - d. Todas las anteriores.
7. Los siguientes equipos forman parte del equipo de QC:
- a. Micrómetro, galga para medición de temperatura superficial, referencias visuales para acero tratado con chorro.
 - b. Galga de profundidad de perfil, psicrómetro.
 - c. Micrómetro, reloj comparador, psicrómetro.
 - d. a y b
8. Para la preparación superficial se debe cumplir que:
- a. El aplicante es la única persona encargada de la preparación superficial de la probeta a ser termorociada.
 - b. La probeta puede ser preparada por otra persona, pero el aplicante deberá inspeccionar y validar que la probeta tenga un acabado correcto.
 - c. La probeta no puede hacer la preparación superficial de la probeta bajo ninguna circunstancia.
 - d. Ninguna de las anteriores.
9. Para la preparación superficial la profundidad de perfil es:
- a. Menor a 0.0025 pulg. ($63\mu\text{m}$)
 - b. No mayor a 0.00025pulg ($6.3\mu\text{m}$)
 - c. Mayor a 0.0025pulg ($63\mu\text{m}$)
 - d. Mayor a 0.002 pulg. y menor 0.004pulg. ($50 - 100\mu\text{m}$)
10. Para la preparación superficial se utiliza:
- a. Granalla templada #16-24 o granalla de acero de arista viva.
 - b. Granada de óxido de aluminio.
 - c. Granalla "Black Beauty".
 - d. a y b.
11. Riesgos a los que están expuestos los operadores de termorociado:
- a. Exposición a radiación gamma, ultravioleta, partículas sueltas.
 - b. Exposición a vapores, polvos humos, gases, ruido y radiación ultravioleta
 - c. Exposición a radiación X, gases, polvos.
 - d. Todas las anteriores.
12. El equipo de seguridad requerido consta de:
- a. Zapatos dieléctricos, gafas oscuras, casco de seguridad.
 - b. Casco de seguridad, protección auditiva.
 - c. Protección respiratoria, casco, protectores para las mano, escudos faciales o anteojos, y protección auditiva.
 - d. Protección auditiva y protección visual.

13. Completar la siguiente tabla:

SIMBOLOS GRAFICOS			
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	SÍMBOLO	DEFINICIÓN
			
			
			
			
			

PRUEBA ESCRITA PARA CALIFICACIÓN DE OPERADORES DE TERMOROCIADO POR FLAMA

NOMBRE:

FECHA:

1. Como se define el proceso de termorociado.
 - a. Tratamiento térmico realizado a elemento para aumentar la dureza superficial.
 - b. Tratamiento químico aplicado a superficies desgastadas por efecto de la corrosión.
 - c. Tratamiento superficial realizado a superficies atacadas químicamente.
 - d. Tratamiento superficial realizado a elementos desgastados para la recuperación de dimensiones y mejorar las propiedades mecánicas
2. El termorociado manual es cuando
 - a. Cuando la antorcha no es manipulada por el operador, el operador se encarga solo del ajuste de las variables del equipo.
 - b. La antorcha de termorociado es manipulada por el operador
 - c. El operador no se encarga del ajuste de las variables del equipo.
 - d. No necesita de observación del proceso de termorociado, solo necesita de ajustes del equipo.
- 3.Cuál es el proceso de termorociado por flama:
 - a. Proceso en el cual se utiliza un arco eléctrico para calentar el material de aporte en forma de polvo sobre el sustrato.
 - b. Proceso que utiliza una llama de combustible oxigenado como fuente de calor para derretir el material superficial. Se puede hacer uso o no de gas para propulsar el material superficial sobre el sustrato.
 - c. Proceso que utiliza una mezcla de combustible oxigenado a alta presión para calentar y propulsar el material de aporte sobre el sustrato.
 - d. Ninguna de las anteriores.
4. El material de aporte para el proceso de termorociado por flama es:
 - a. Alambre de Acero inoxidable
 - b. Acero inoxidable en polvo
 - c. Polvo auto-fundente a base de níquel
 - d. Polvo de carburo de tungsteno y cobalto (WC-CO)
5. El material de enmascaramiento es:
 - a. Cinta reflectora de calor
 - b. Pintura protectora con tinte como “Nicrobraze Green stopoff”
 - c. Cinta masking
 - d. Cinta protectora de calor y Pintura protectora con tinte como “Nicrobraze Green stopoff”
6. El equipo de rociado consta de:

- a. Pistola rociadora, sujetador de alambre, galgas/mangueras y generador eléctrico.
 - b. Pistola rociadora, alimentador de polvo, galgas/mangueras y gases combustibles.
 - c. Pistola rociadora, galgas/mangueras, equipo de seguridad.
 - d. Todas las anteriores.
7. Para la preparación superficial se utiliza:
- a. Granalla templada #16-24 o granalla de acero de arista viva.
 - b. Granada de óxido de aluminio.
 - c. Granalla "Black Beauty"
 - d. Todas las anteriores.
8. Los siguientes equipos forman parte del equipo de QC:
- a. Micrómetro, galga, referencias visuales para acero tratado con chorro.
 - b. Galga de profundidad de perfil, Pirómetro óptico, durómetro
 - c. a y b
 - d. Micrómetro, reloj comparador, psicrómetro.
9. Para la preparación superficial se debe cumplir que:
- a. El aplicante es la única persona encargada de la preparación superficial de la probeta a ser termorociada.
 - b. La probeta puede ser preparada por otra persona, pero el aplicante deberá inspeccionar y validar que la probeta tenga un acabado correcto.
 - c. La probeta no puede hacer la preparación superficial de la probeta bajo ninguna circunstancia.
 - d. Ninguna de las anteriores.
10. Para la preparación superficial la profundidad de perfil es:
- a. Menor a 0.0025 pulg. (63 μ m)
 - b. No mayor a 0.00025pulg (6.3 μ m)
 - c. Mayor a 0.0025pulg (63 μ m)
 - d. Mayor a 0.0025 pulg. y menor 0.005pulg. (6.3 - 13 μ m)
11. Riesgos a los que están expuestos los operadores de termorociado:
- a. Exposición a radiación gamma, ultravioleta, partículas sueltas.
 - b. Exposición a vapores, polvos humos, gases, ruido y radiación ultravioleta
 - c. Exposición a radiación X, gases, polvos.
 - d. Todas las anteriores.
12. El equipo de seguridad requerido consta de:
- a. Zapatos dieléctricos, gafas oscuras, casco de seguridad.
 - b. Casco de seguridad, protección auditiva.
 - c. Protección respiratoria, casco, protectores para las mano, escudos faciales o anteojos, y protección auditiva.
 - d. Protección auditiva y protección visual.

13. Completar la siguiente tabla:

SIMBOLOS GRAFICOS			
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	SÍMBOLO	DEFINICIÓN
			
			
			
			
			

ANEXO VII. RESULTADOS DE LA MEDICION DE ESPESORES EN CINTA REPLICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE METALOGRAFÍA, DESGASTE Y FALLA

Memorando No. EPN-DMT-2018-0547-M

Solicitado por: Srta. Andrea Cevallos.

Tema de tesis: Aplicación de la Norma AWS C2.16/C2.16M:2012 para la calificación de operadores de Termorociado HUOF, Arco eléctrico y Flame spray en la empresa IMETCA.

Tipo de trabajo: Medición de rugosidad por cinta replica.

Fecha: Quito, 27 de Julio del 2018

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla, de la Escuela Politécnica Nacional, 14 cintas para medir las rugosidades.

2. RESULTADO DE MEDICIÓN

La medición de las cintas se las realizó con el micrómetro replicador Elcometer 124, cuya resolución es 0,1 Mils, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 1.



Tabla 1 Valores Obtenidos con el micrómetro replicador Elcometer 124.

Número	CÓDIGO	Medición 1	Medición 2	Medición 3
		[Mils]	[Mils]	[Mils]
1	DC.2	4.3	4.2	4.2
2	DC.1	4.0	4.0	3.8
3	DCBR1	3.7	3.5	3.6
4	AC2	4.1	4.0	4.0
5	AC3	3.8	3.6	3.8
6	AC1	4.1	4.1	4.1
7	DCF1	4.1	3.9	3.9
8	JCFL1	3.1	2.9	2.9
9	DCA51	3,5	3,3	3,4
10	DCA52	3,8	3,6	3,5
11	DCA53	3,7	4,0	3,7
12	AC1	3,1	3,5	3,0
13	AC2	3,5	3,4	3,8
14	AC3	3,4	3,7	3,6

Atentamente:

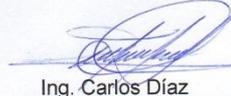
Informe Elaborado por:



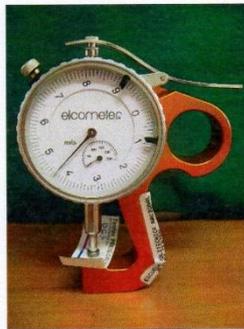
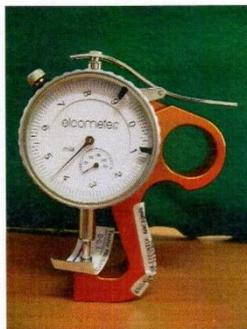
Ing. Patricia Proaño
Especialista del Laboratorio de Metalografía,
Desgaste y Falla.



Informe Revisado por:



Ing. Carlos Díaz
Jefe del Laboratorio de Metalografía,
Desgaste y Falla.



ANEXO VIII CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL DE APORTE PARA ARCO ELÉCTRICO, HVOF Y FLAMA



Technical Datasheet

PMET 710 304 Stainless

June 2, 2015

PRODUCT OVERVIEW

PMET 710 is a 304 stainless steel wire specifically designed for arc spraying. It produces a dense, well-bonded coating with excellent machinability and wear and corrosion resistance. PMET 710 is widely used for machine element repair, dimensional restoration and wear resistance applications. It has relatively high shrink characteristics and should not be used for coatings over 0.075 inches thick.

TYPICAL DEPOSIT CHARACTERISTICS:

- ⇒ Typical Hardness: HRB 95-100
- ⇒ Bond Strength: 4650 psi
- ⇒ Deposit Rate: 10 lbs/hr/100A
- ⇒ Deposit Efficiency: 75%
- ⇒ Wire Coverage: 0.8 oz/ft² / mil
- ⇒ Surface Texture: *Variable
- ⇒ Machinability: Good

* Depends on air pressure used

SURFACE PREPARATION

Surface should be clean, white metal, with no oxides (rust), dirt, grease, or oil on the surface to be coated. Note: It is best not to handle surfaces after cleaning.

Recommended method of preparation is to grit blast with 24 mesh aluminum oxide, rough grind, or rough machine in a lathe.

APPLICATION

- ⇒ Part Restoration
- ⇒ Resurface
 - Paper Mill Cylinders
 - Rams
 - Shafts
 - Pump Plungers

SPECIFICATION

304 SS

NOMINAL CHEMICAL COMPOSITION (wt%)

Cr	Ni	Mn	Si	Fe
19.0	9.3	2.0	1.0	Bal

RECOMMENDED SPRAY PARAMETERS:

Diameter	Air Pressure	Voltage	Amperage	Standoff
1/16" (1.6mm)	*50-60 psi	*28-30	*100-200	*4-6 in (8-15 cm)

STANDARD SIZES & PACKAGING:

Diameter	Packaging	Part Number
1/16" (1.6mm)	22# LWS	710062LWS01

7397 Union Centre Blvd. West Chester, OH 45014 / Phone: 513-874-3586 / Fax: 513-874-2880

E-mail: sales@polymet.us



HVOF P88-12

Características Generales

Es un polvo de carburos de tungsteno – cobalto específicamente diseñado para el sistema HVOF produce unos recubrimientos duros resistentes a la abrasión y corrosión, para operar a temperaturas de servicio de hasta 482°C. Es ideal para usar en una amplia variedad de aplicaciones de alto desgaste incluyendo erosión abrasión y desgastes por fricción.

Se lo utiliza en la industria hidroeléctrica (álabes, ruedas), ventiladores, aparatos en la industria petrolera y en otras industrias donde la erosión, abrasión y fricción son preponderantes.

Composición Química Nominal

WC	Co
88	12.0

Datos Técnicos

Dureza..... 73 HRC
Esfuerzo de adherencia.....10.000+psi

BronzoChrom 10185[®]

Recubrimiento TeroCote resistente al desgaste friccional.



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Liga metálica **MicroFlo** a base de níquel, con excelente tenacidad y bajo coeficiente de fricción, ideal para reconstruir espesores gruesos.



METAL BASE

Hierros fundidos, acero al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables, aleaciones de níquel.

PROCEDIMIENTO DE APLICACION

Consulte el procedimiento al inicio de este capítulo.

USOS

Engranajes, moldes para la industria del vidrio, rotores de bombas, guías de máquinas, pistas de ejes de levas, carcazas de bombas, etc.

DATOS TECNICOS

Dureza	: 36-42 Rc
Temperatura máxima de servicio	: 600°C
Intervalo de fusión	: 1050° a 1175°C
Límite de espesor del depósito	: 3,0 mm
Densidad	: 8.91 g/cm ³

ACABADO

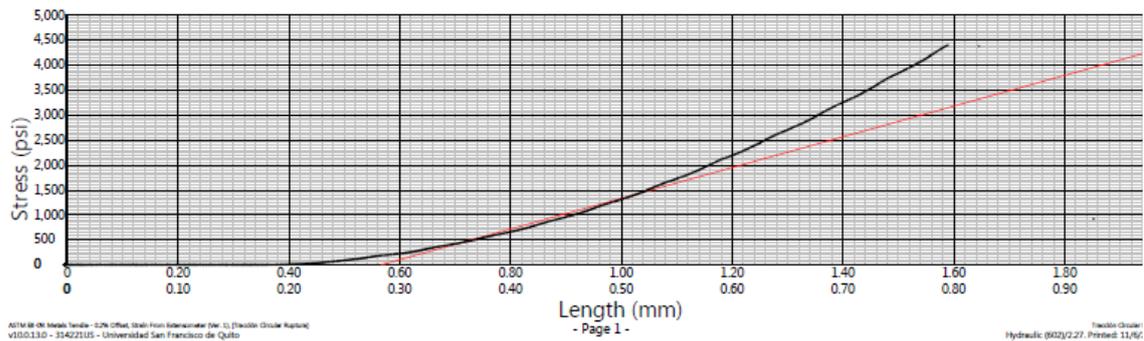
Excelente con herramienta de carburo de tungsteno.



ANEXO IX RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

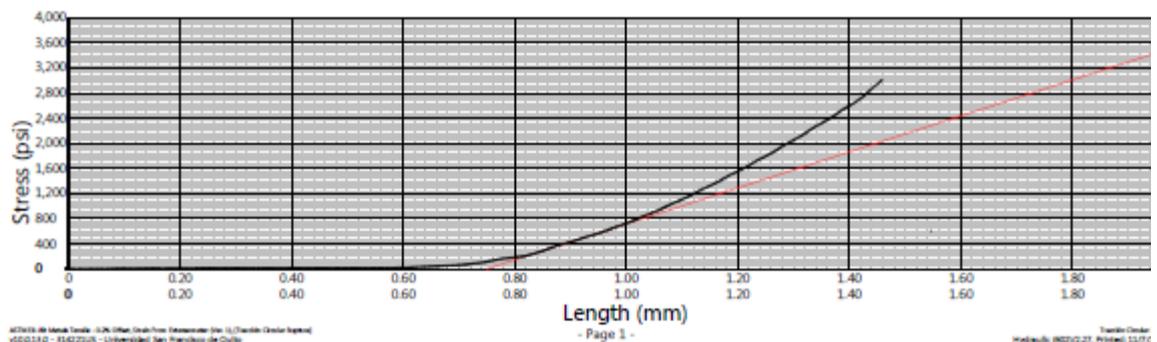
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-5370000	N/F	N/F	15400	4400	-100



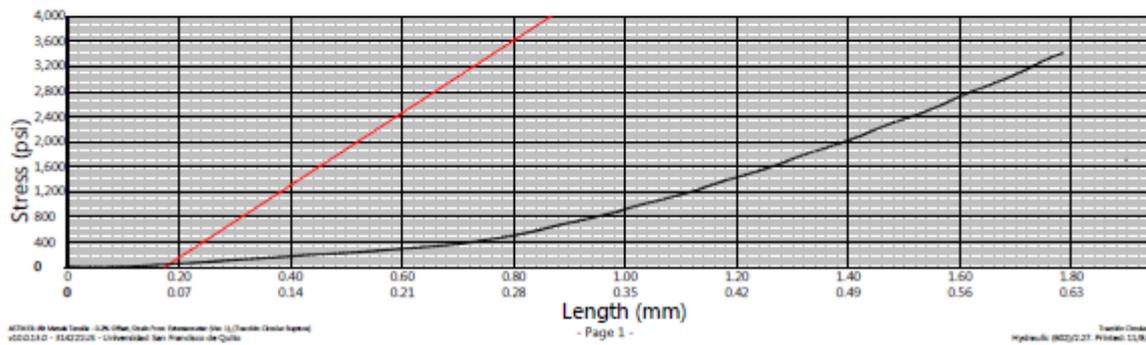
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-2570000	N/F	N/F	10500	3000	-100



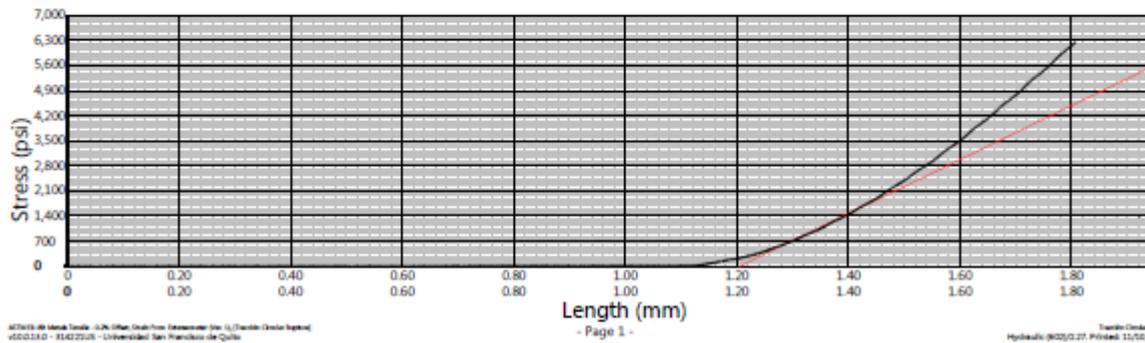
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
NF	NF	507	806000	NF	NF	11900	3410	-100



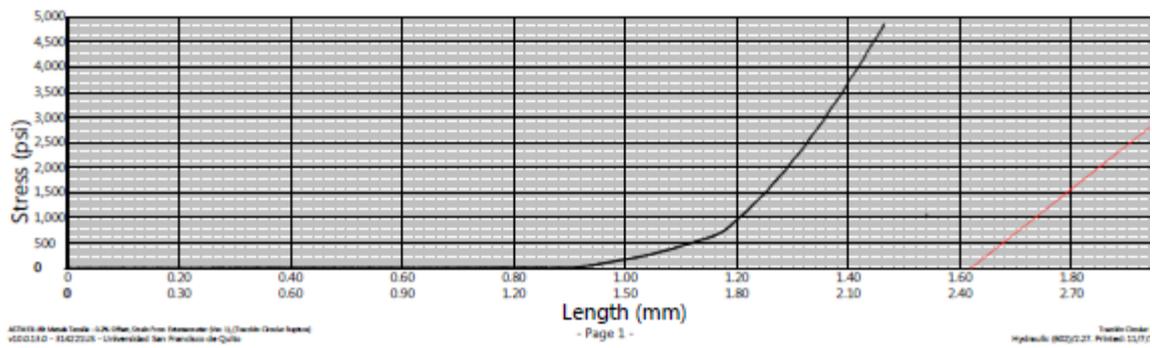
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
NF	NF	507	1440000	NF	NF	21800	6240	-100



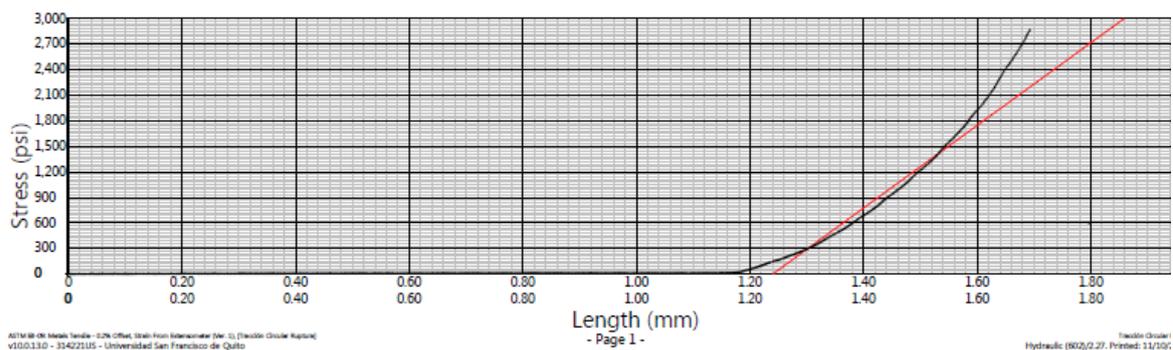
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	4560000	N/F	N/F	16900	4540	-100



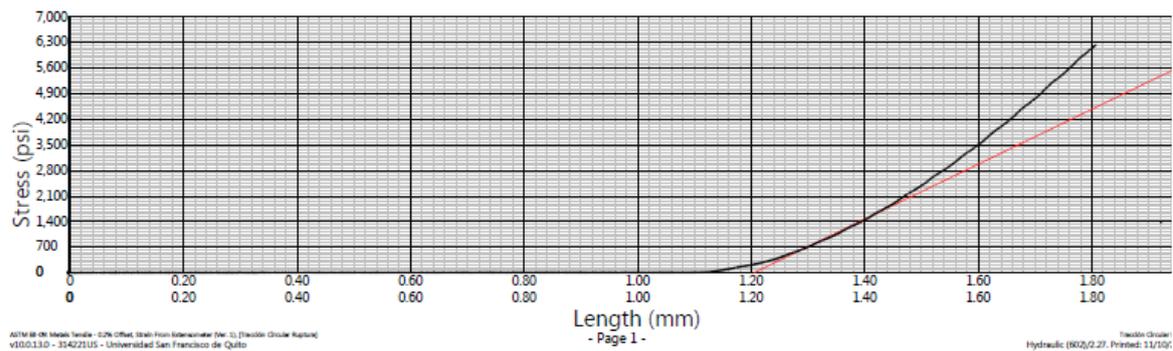
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1110000	N/F	N/F	10000	2870	-100



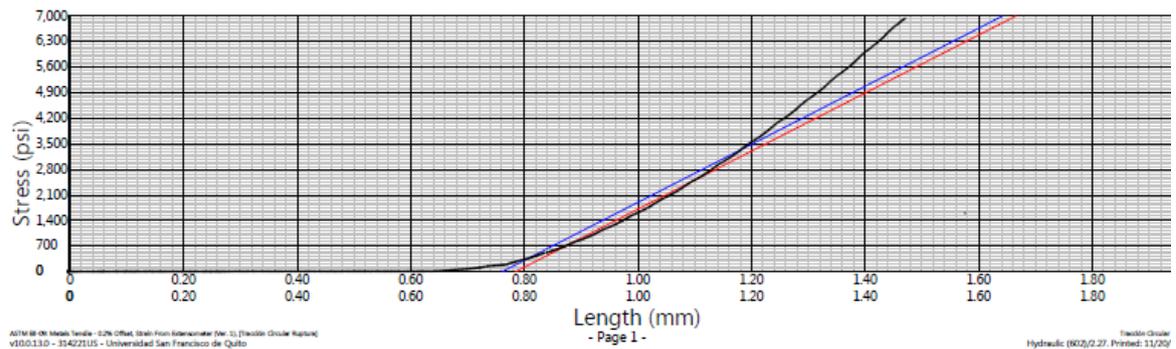
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset (@) 0.2% N	Offset (@) 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1440000	N/F	N/F	21800	6240	-100



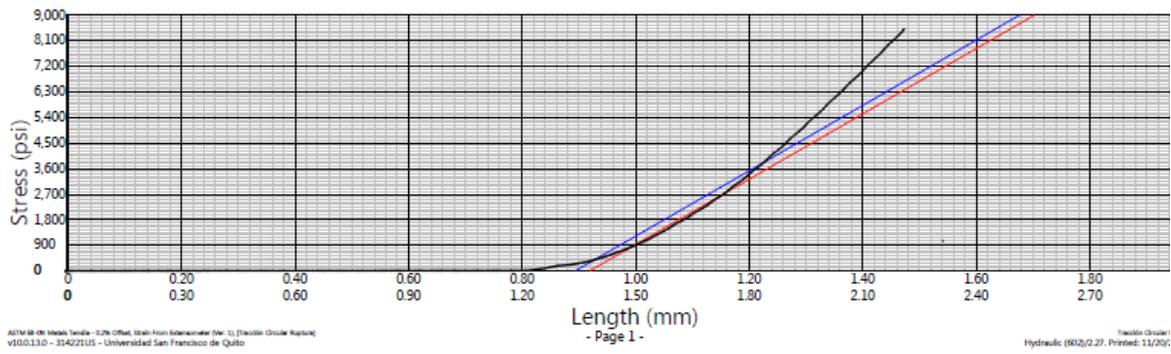
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset (@) 0.2% N	Offset (@) 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-1700000	11700	23.1	24200	6940	-100



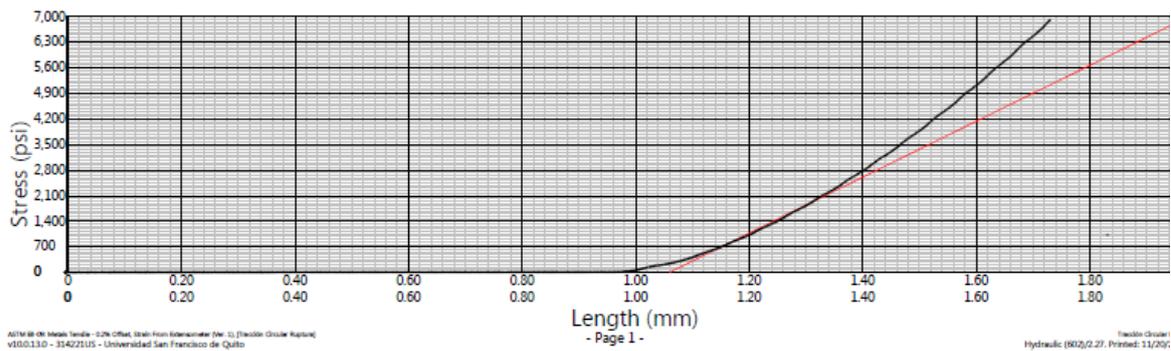
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	~4140000	13400	26.4	29800	8520	-100



Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

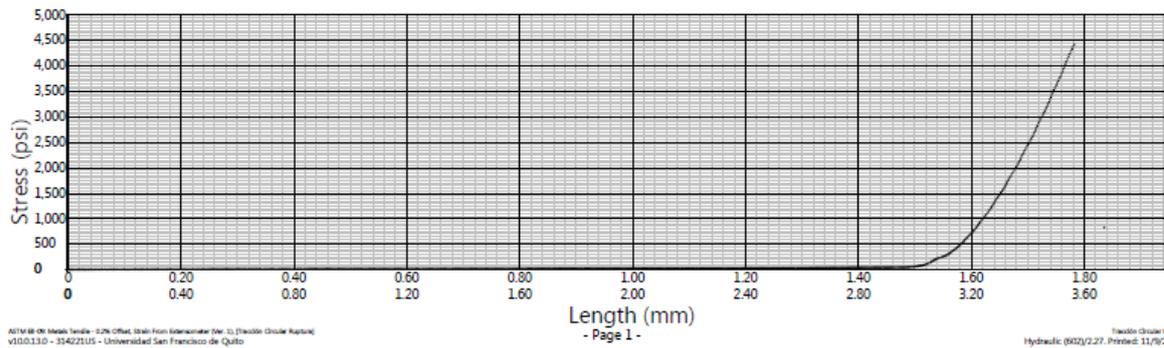
Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1610000	N/F	N/F	24100	6910	-100



Jefferson Montesuma

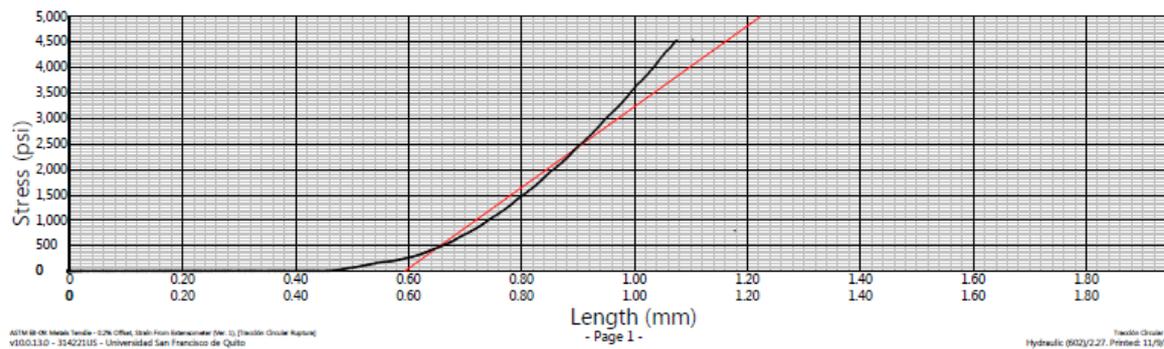
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1730000	N/F	N/F	15500	4420	-100



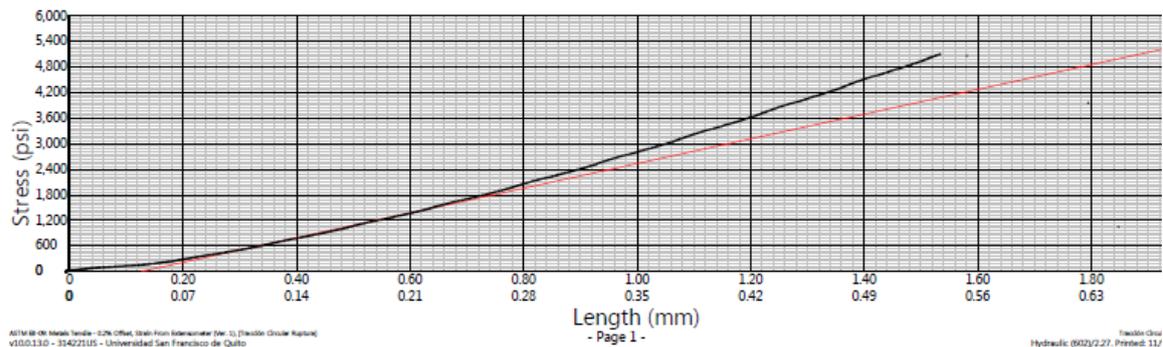
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	3720000	N/F	N/F	15500	4550	-100



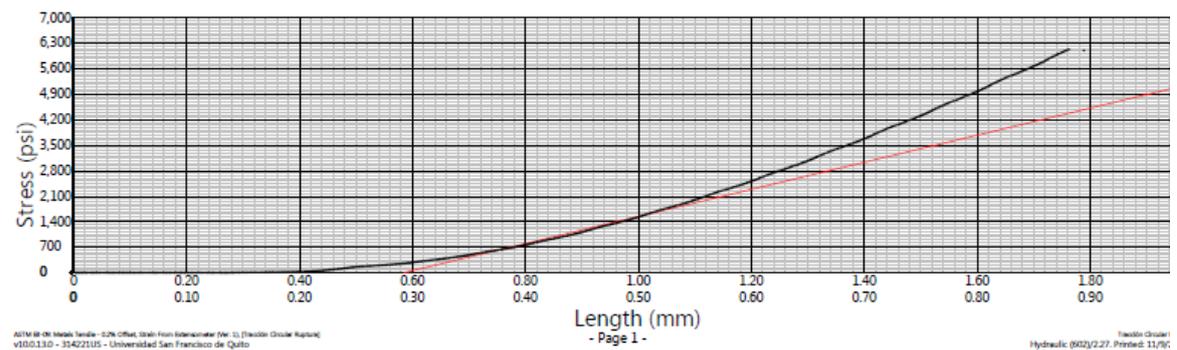
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1310000	N/F	N/F	17800	5100	-100



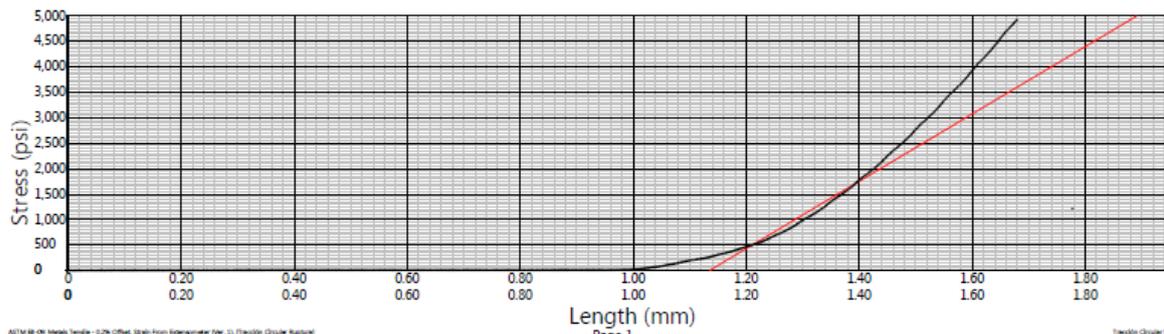
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1360000	N/F	N/F	21400	6140	-100



Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	2280000	N/F	N/F	17200	4930	-100



ASTM E8 Metals Tensile - 0.2% Offset, Strain From Extensometer (Rev. 1) (Twisted Circle Report)
 v10.0.13.0 - 334221US - Universidad San Francisco de Quito

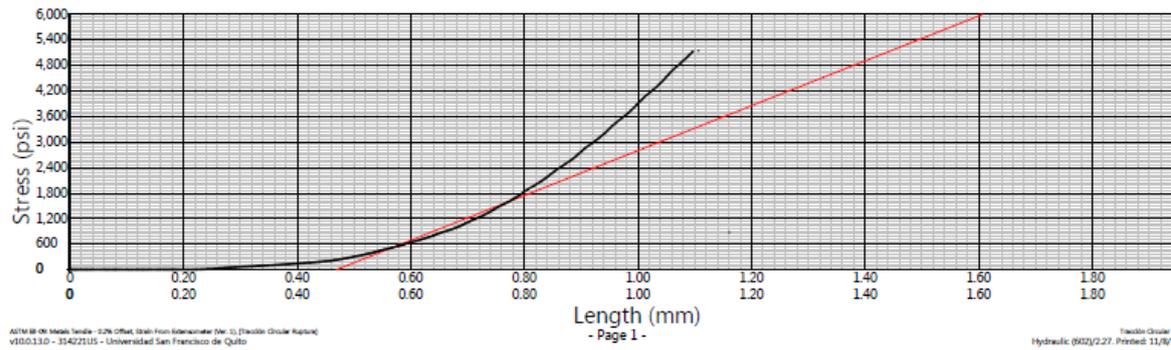
Length (mm)
- Page 1 -

Twisted Circle
 Hydraulic 602j(2.27, Print# 11/9)

Diego Cadena

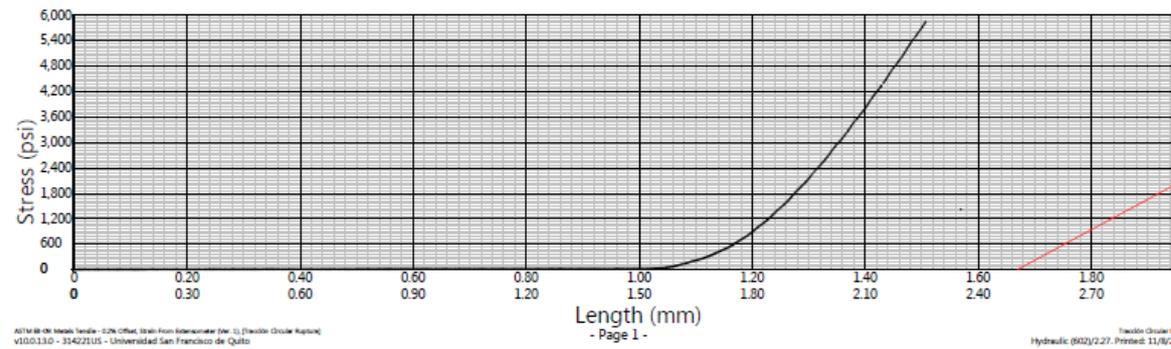
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	2830000	N/F	N/F	18000	5150	-100



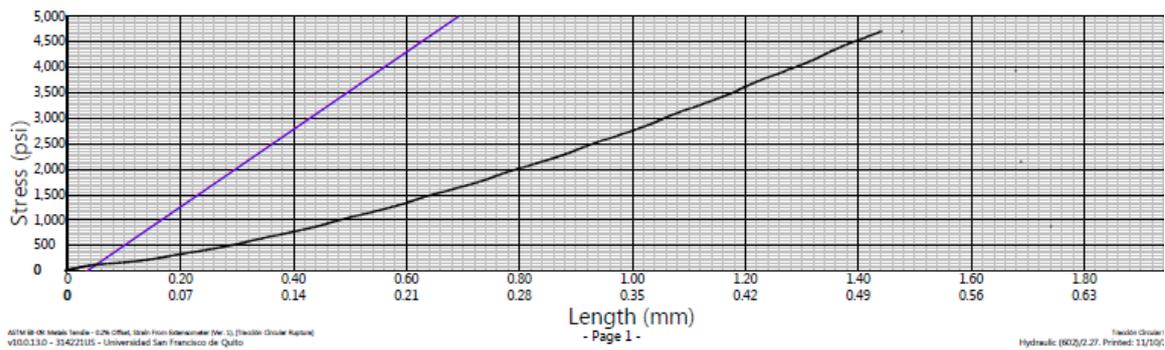
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	838000	N/F	N/F	20400	5650	-100



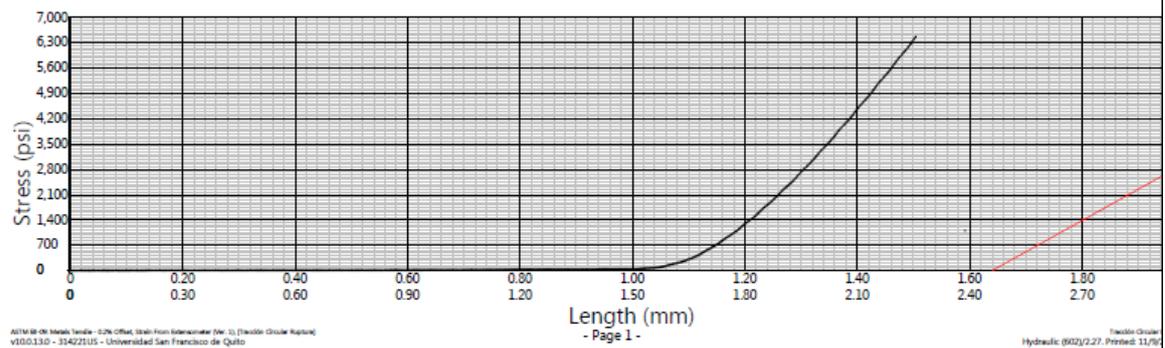
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	701000	4340	8.56	16400	4710	-100



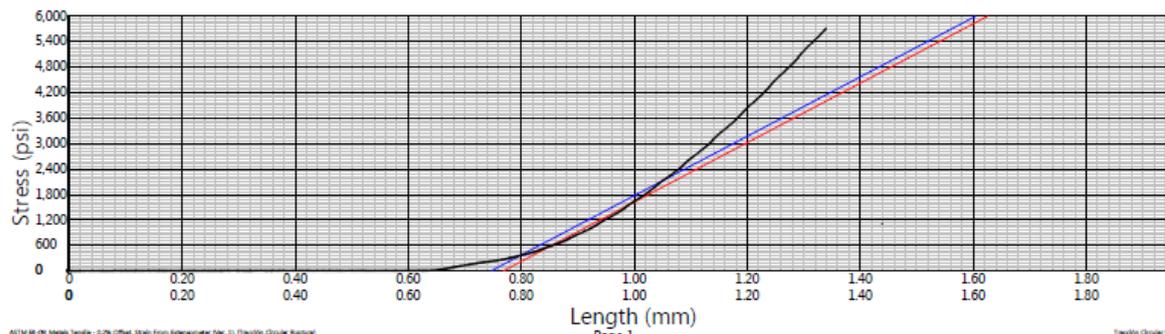
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1680000	N/F	N/F	22600	6470	-100



Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-1310000	7430	14.7	20000	5710	-100



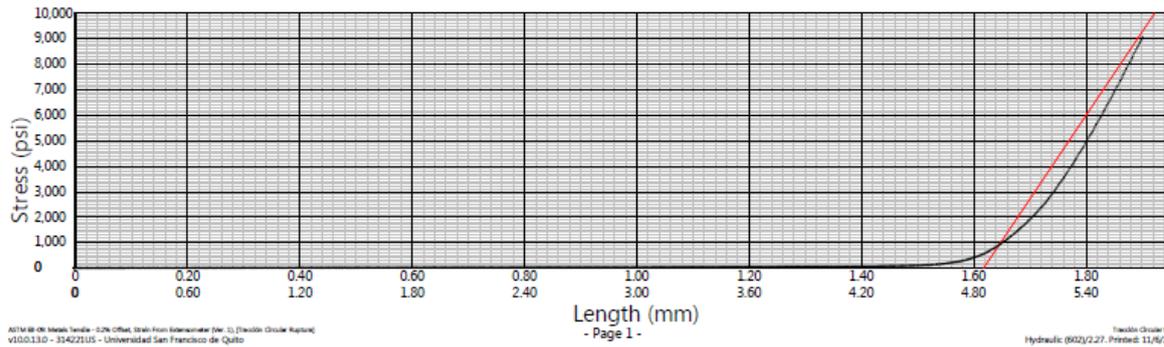
ASTM E8 Metals Tensile - 0.2% Offset, Strain From Extensometer (Rev. 1) (Tensile Couple Report)
 v10.0.13.0 - 35422105 - Universidad San Francisco de Quito

- Page 1 -

Tensile Coupler
 Hydraulic 6002/2.27, Printed: 11/90

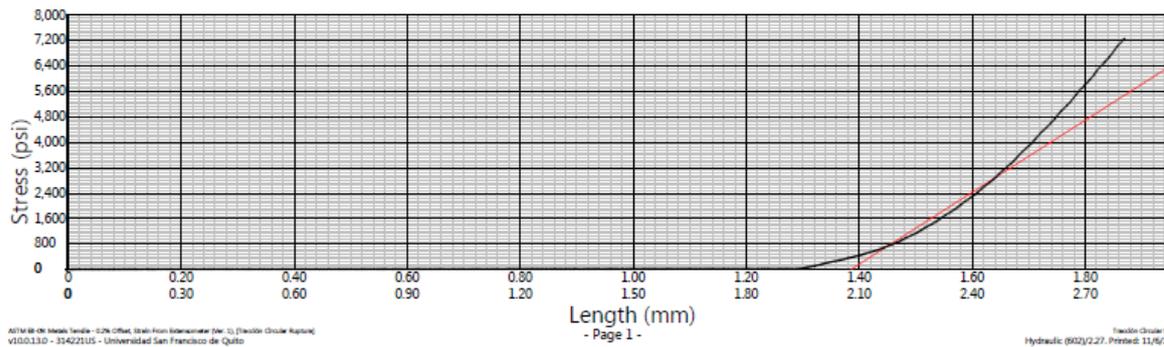
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	29900000	N/F	N/F	31700	9070	-100



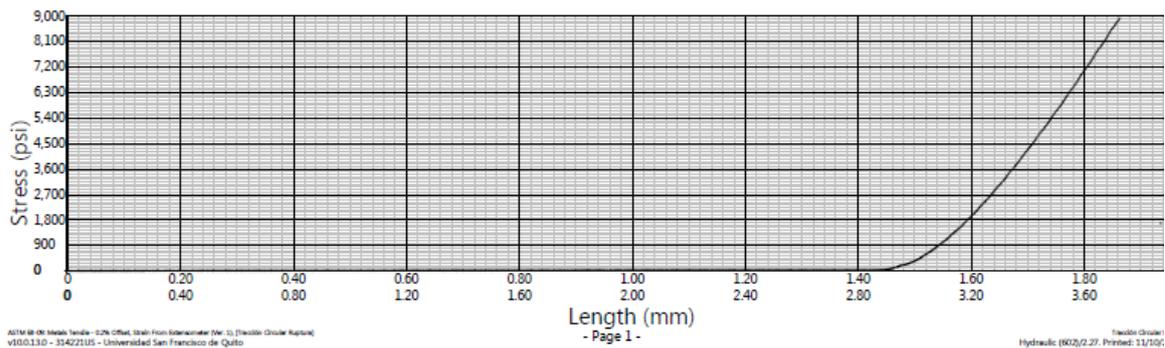
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-11300000	N/F	N/F	25400	7270	-100



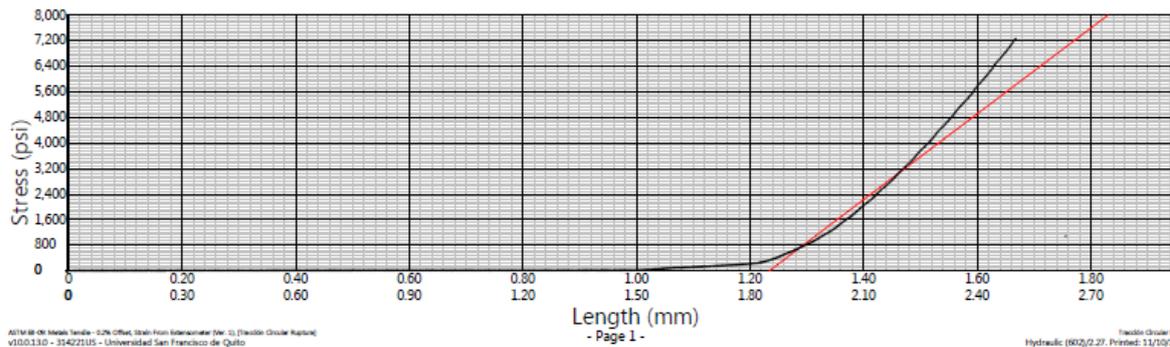
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	4370000	N/F	N/F	31200	8930	-100



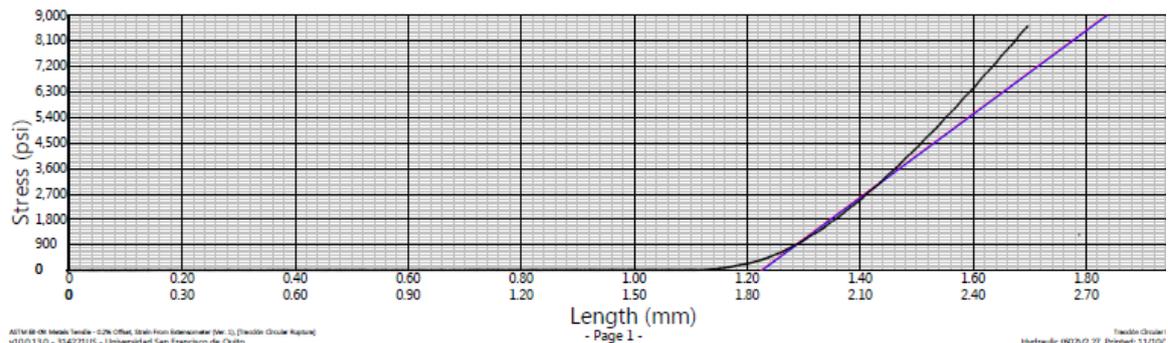
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	2160000	N/F	N/F	25400	7260	-100



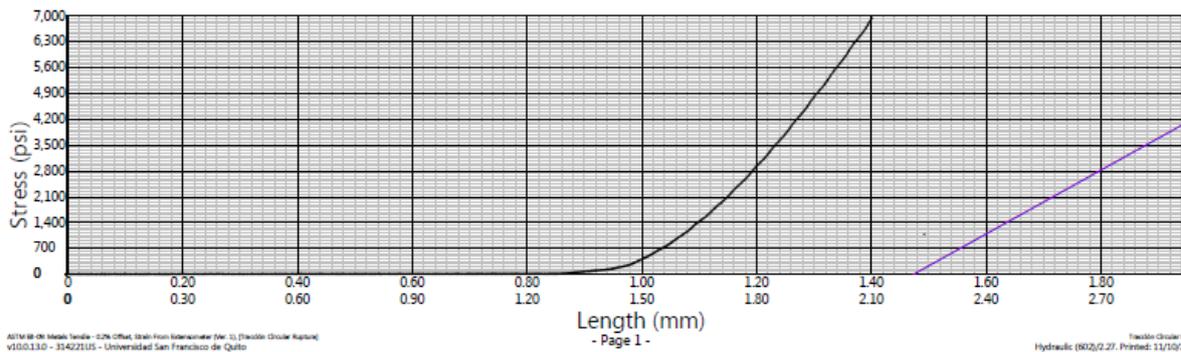
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	3830000	10600	20.9	30100	8630	-100



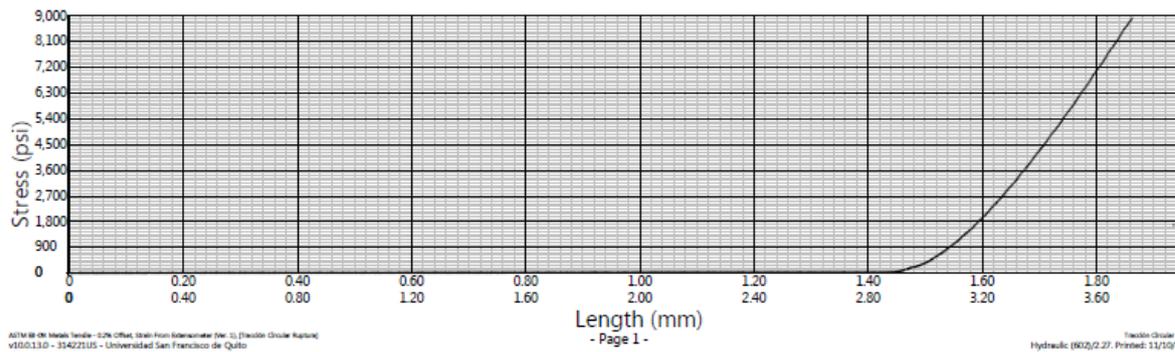
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-1960000	8970	17.7	24300	6950	-100



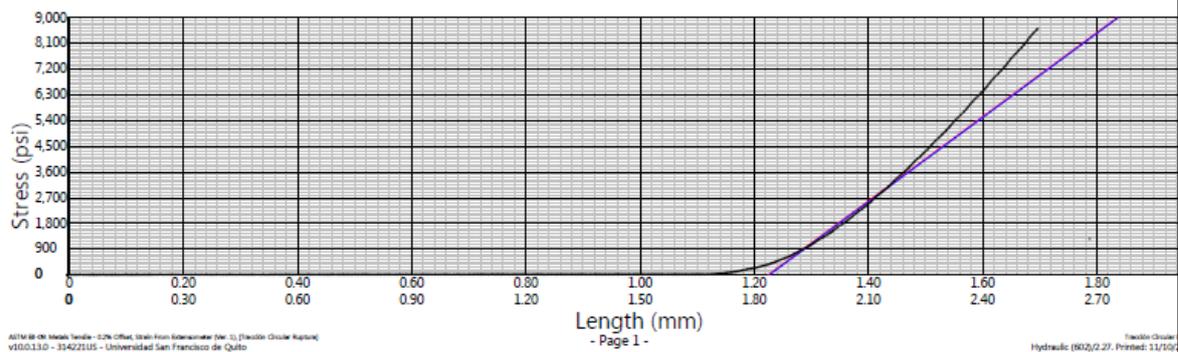
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	4370000	N/F	N/F	31200	6930	-100



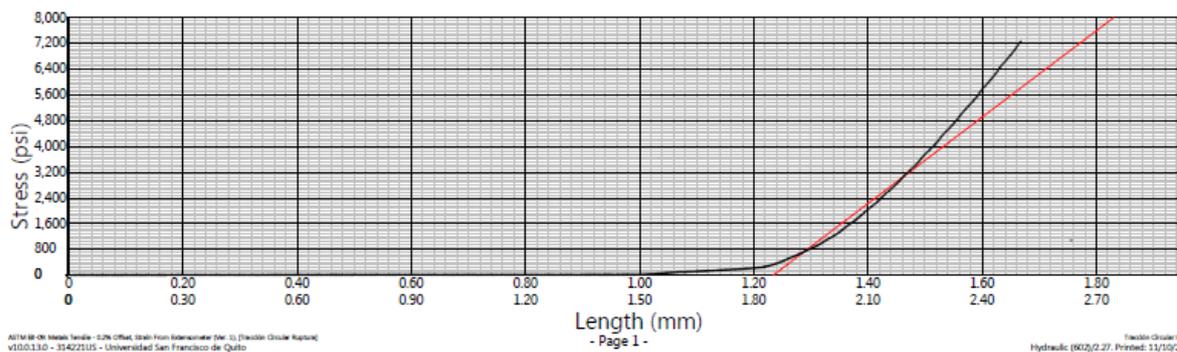
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	3930000	10600	20.9	30100	6630	-100



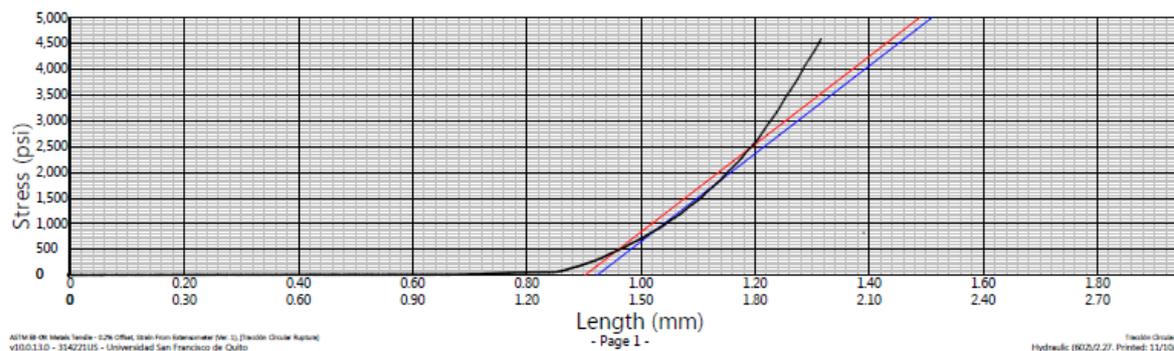
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	2160000	N/F	N/F	25400	7250	-100



Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecànica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

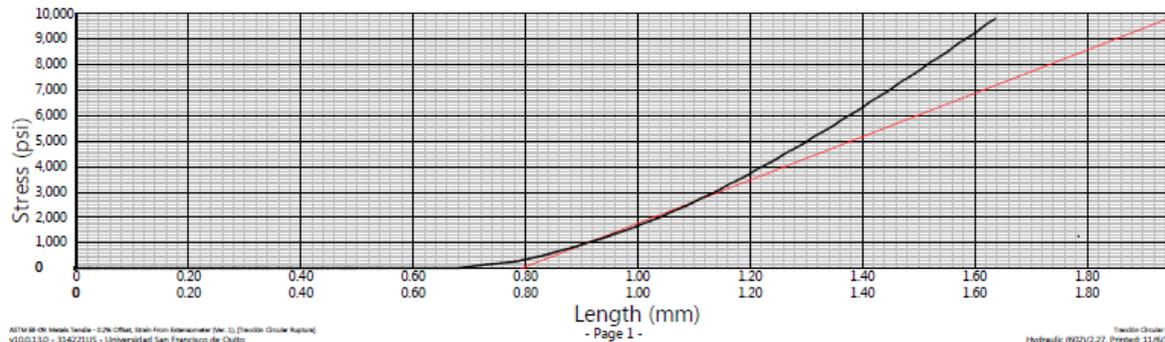
Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	4080000	5380	12.6	16000	4590	-100



DCHVOF

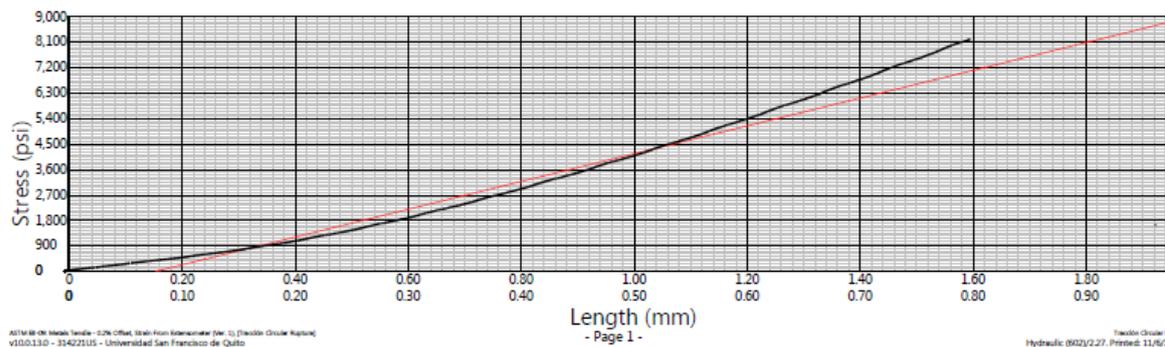
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	14700000	N/F	N/F	34300	9810	-100



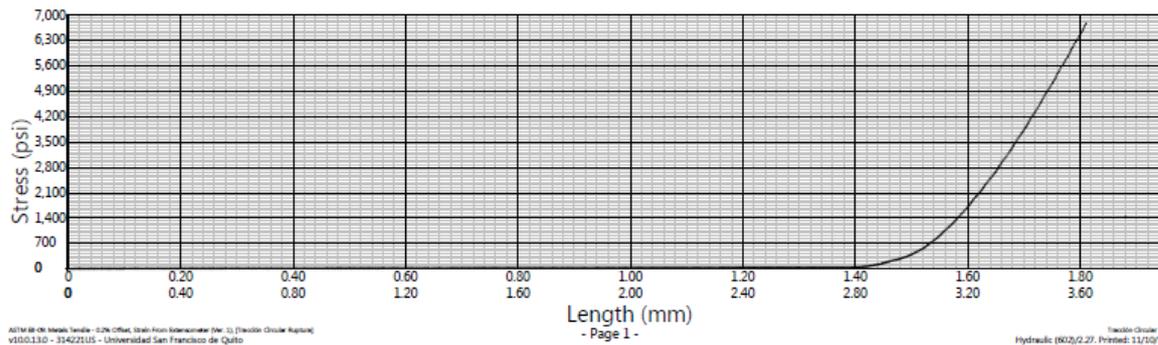
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	47100000	N/F	N/F	28700	8200	-100



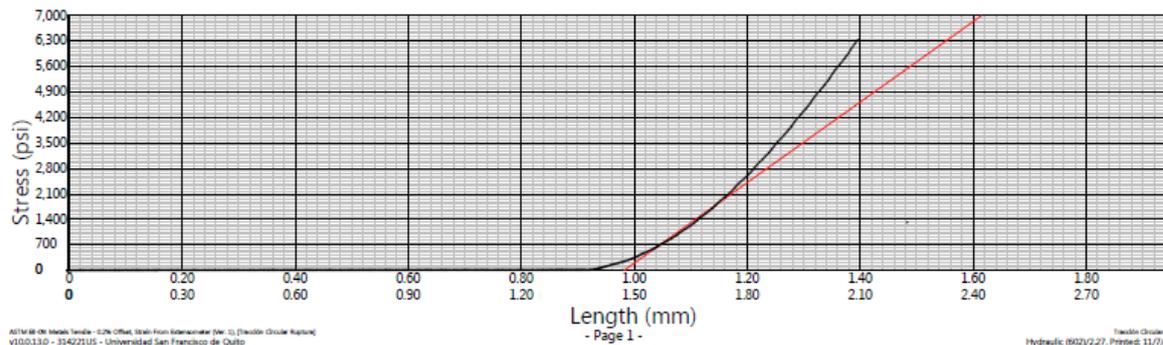
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-3780000	11400	22.6	23700	6770	-100



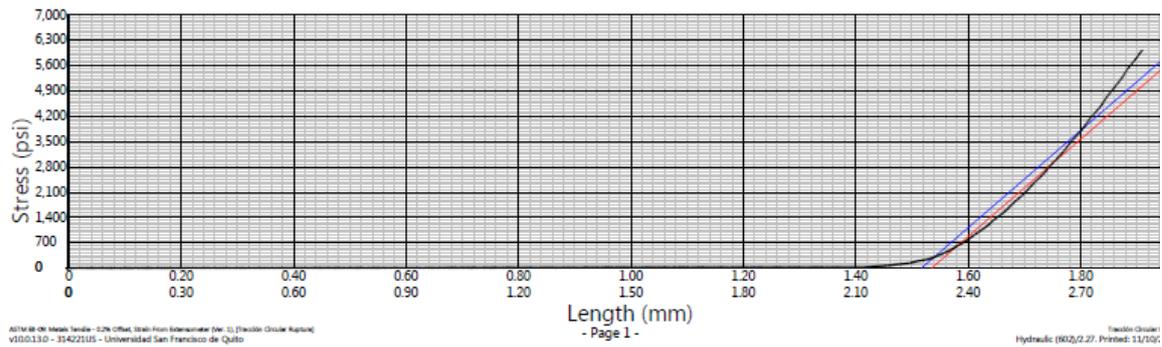
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	3410000	N/F	N/F	22200	6340	-100



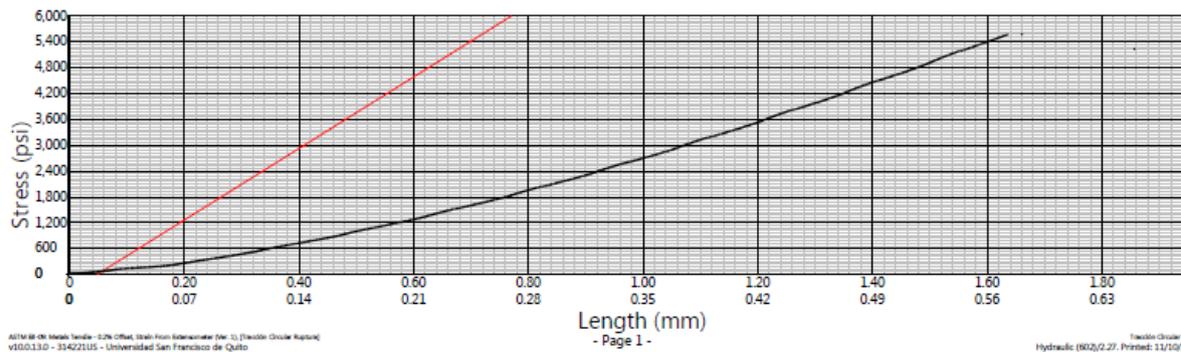
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	2820000	13500	25.6	21000	6020	-100



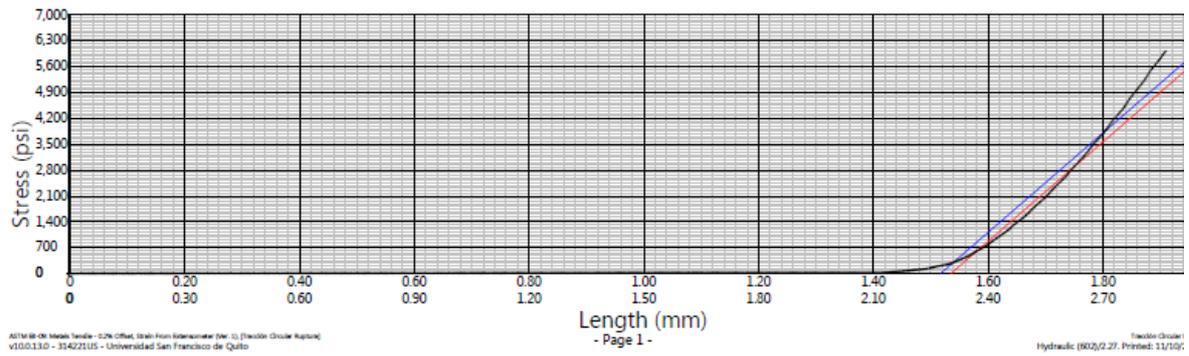
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	1450000	N/F	N/F	19500	5580	-100



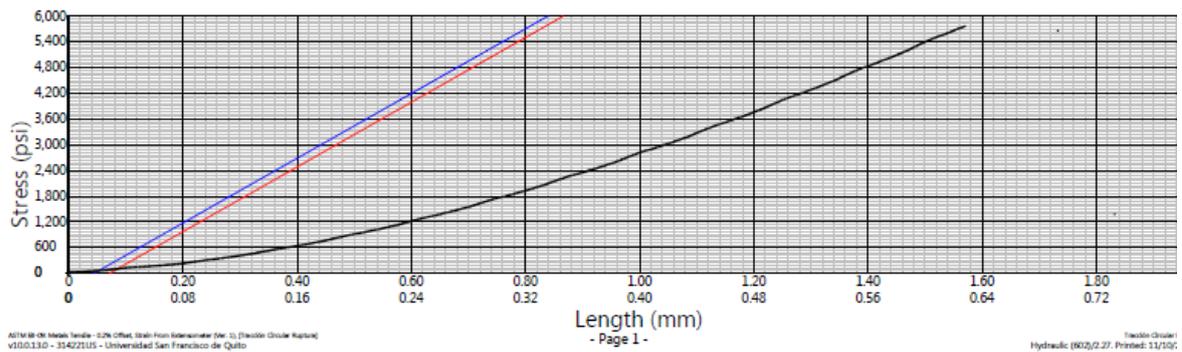
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-2820000	13500	25.5	21000	6020	-100



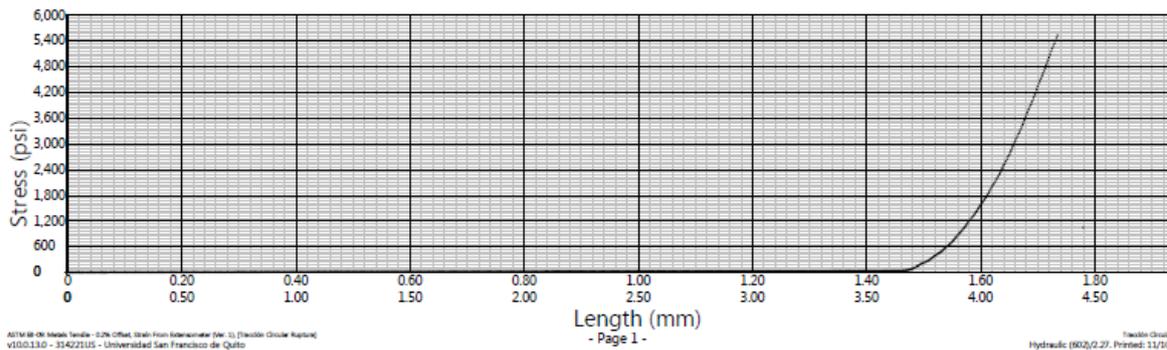
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-2090000	8540	15.8	20200	5770	-100



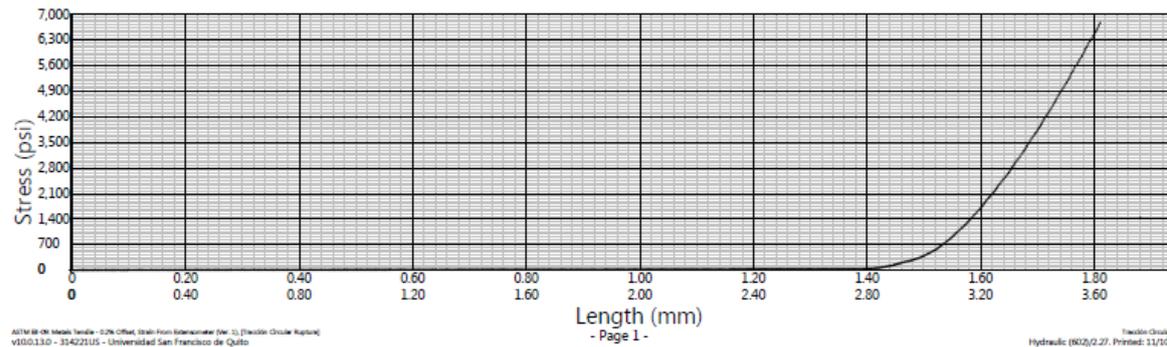
Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	523000	N/F	N/F	19300	5530	-100

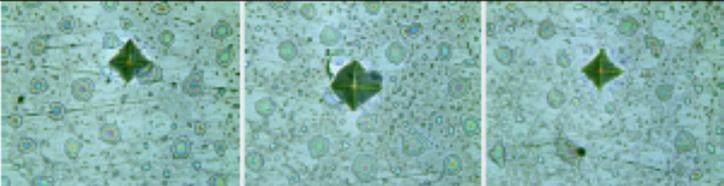


Universidad San Francisco de Quito
 Laboratorio de Mecánica de Materiales
 ASTM E8 Metals Tensile
 0.2% Offset, Strain From Ext.

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Modulus psi	Offset @ 0.2% N	Offset @ 0.2% MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress psi	TE (Manual) %
N/F	N/F	507	-2780000	11400	22.6	23700	6770	-100



ANEXO X RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE DUREZA

Sample		Date				
PDFDC		19/10/2018				
Material		Load				
		200				
Reported by		Eht				
		1				
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O2	51	514,29	28,06	25,64	26,85	
O3	37	354,14	32,33	32,39	32,36	
O4	51	518,52	26,32	27,17	26,74	
Mean	46,33	462,32	28,90	28,40	28,65	0,00
Signed by:			Unit	µm		
						

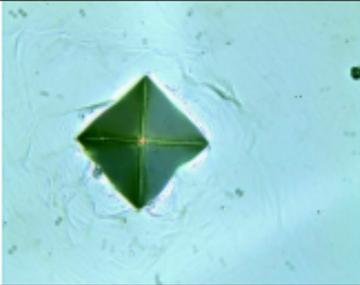


Micro Hardness Analysis Report

Sample	MB	Date	19/10/2018
Material		Load	200
Reported by		Eht	1

Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O2	-	118,04	57,13	54,98	56,05	

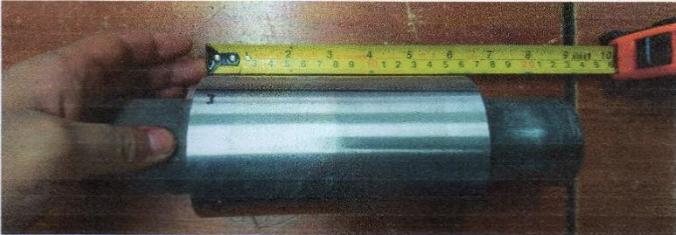
Mean	0,00	118,04	57,13	54,98	56,05	0,00
Signed by:			Unit	µm		



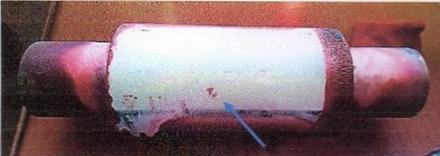
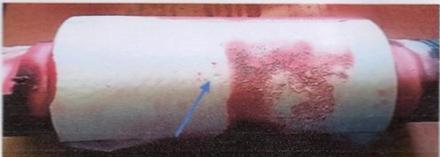
ANEXO XI REPORTE DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

REPORTE DE INSPECCIÓN POR LIQUIDOS PENETRANTES

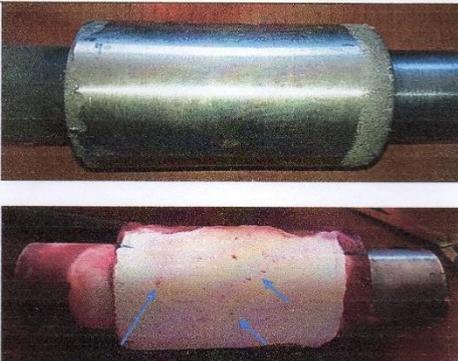
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
DEPARTAMENTO DE MATERIALES

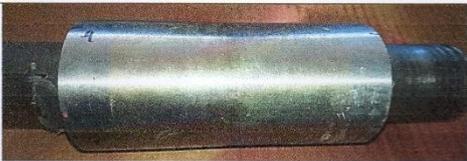
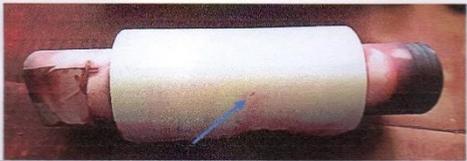
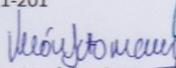
DATOS GENERALES	
Cliente: Andrea Marina Cevallos	Reporte N°: LABEND-EPN-2018-R-12-LP-05
Fecha: 22 de octubre de 2018	Lugar: Quito-Ecuador
IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA	
Descripción: 2018-R-12-LP-05-0001: probeta 1 cilíndrica de acero 2018-R-12-LP-05-0002: probeta 2 cilíndrica de acero	Identificación: 2018-R-12-LP-05-0001 2018-R-12-LP-05-0002
Material: Pieza cilíndrica de acero con recubrimiento de Níquel-Cromo-Boro-Silicio	Estado Superficial: Rugosidad normal del material, presenta zonas de aspecto poroso.
ESQUEMA DE LA PIEZA	
	
2018-R-12-LP-05-0001	
	
2018-R-12-LP-05-0002	

✍

MATERIALES Y EQUIPOS		
Líquidos:		
Limpiador / removedor: Met-L-check E-59A		Emulsificador: N/A
Penetrante Met-L-check VP-30	Revelador Met-L-check D-70	
Accesorios: N/A		
CONDICIONES DE TRABAJO		
Procedimiento: basado en ASTM E 165, Tipo II método A		Limpieza: Con solvente
Tiempos:		
Penetrante: 10 minutos	Emulsificador: N/A	Revelador: 5 minutos
Luz de observación: Visible (sobre 1065 lux)		Tiempo:
RESULTADOS		
IDENTIFICACIÓN	IMAGEN	OBSERVACIONES
2018-R-12-LP-05-0001-1		Se observan porosidades
		
2018-R-12-LP-05-0001-2		Se observan porosidades
		


 Página 2 de 4

<p>2018-R-12-LP-05-0001-3</p>		<p>Se observan porosidades</p>
<p>2018-R-12-LP-05-0001-4</p>		<p>Se observan porosidades</p>
<p>2018-R-12-LP-05-0002-1</p>		<p>No se observan porosidades</p>
<p>2018-R-12-LP-05-0002-2</p>		<p>No se observan porosidades</p>

		
2018-R-12-LP-05-0002-3	 	No se observan porosidades
2018-R-12-LP-05-0002-4	 	Se observan porosidades
OPERADOR: Verónica Sotomayor		
Nivel: LÍQUIDOS PENETRANTES –ASNT NIVEL II		Firma:
Laboratorio de Ensayos No Destructivos LAB-END Fecha: 7-11-201 Firma:  Ing. Verónica Sotomayor JEFE LAB-END		Cliente Fecha: 8-11-2018 Firma:  Srta. Andrea Cevallos Estudiante titulación

ANEXO XII TABLAS 1 TSOQT's

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado de arco de aleaciones metálicas para propósitos de ingeniería.

Material de sustrato	Acero de bajo carbono
Material de aporte	
Tipo de alambre e ID no.	304 Stainless Steel PMET 710
Diámetro de alambre, pulg. [mm]	1/16 pulg (1.6 mm)
Enmascaramiento	
Material	Cinta reflectora de calor
Área(s) a ser cubiertas	Muñones
Preparación de la superficie	
Tipo y tamaño de granalla	Angular #24
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]	0.100 mm
Presión del envase para granallado, psi [kPa]	90-100 psi
Tipo de boquilla para granallado	-
Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]	10 pulg.
Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados	90°
Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	N/A
Equipo de rociado	
Tipo y modelo	Arc Spray 8830 TAFE
Tipo y tamaño de boquilla de la pistola	-
Tipo de cabezal de aire	Arc Jet
Fuente de alimentación	TAFE 350 A
Unidad de control del arco	Amperios
Parámetros de rociado	
Amperaje, A	180
Voltaje, V	28-30
Gas de atomización	Aire
Presión del gas de atomización	80-100
Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm]	4 pulg.
Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados	90°
Temperatura de precalentamiento del área inicial, °F [°C]	-
Temperatura máxima del sustrato, °F [°C]	85-100 °C
Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg./min [mm/min]	32.34 pulg/min
Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min]	250 rpm
Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.31 mm
Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm]	0.51 mm
Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm]	
Espesor mínimo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.65 mm
Espesor máximo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.1 mm
Método de enfriamiento	
Espesor del último recubrimiento	
Mínimo, 0.001 pulg. [micrones]	
Máximo, 0.001 pulg. [micrones]	
Tipo de sellador	
Métodos de acabado y parámetros	
Otros/Comentarios	

Persona que realiza el termorociado Alexis Chulde Fecha 08/07/2018

Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos Fecha 08/07/2018

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado de arco de aleaciones metálicas para propósitos de ingeniería.

Material de sustrato	Acero de bajo carbono
Material de aporte Tipo de alambre e ID no. Diámetro de alambre, pulg. [mm]	304 Stainless Steel PMET 710 1/16 pulg (1.6 mm)
Enmascaramiento Material Área(s) a ser cubiertas	Cinta reflectora de calor Muñones
Preparación de la superficie Tipo y tamaño de granalla Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm] Presión del envase para granallado, psi [kPa] Tipo de boquilla para granallado Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm] Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	Angular #24 0.087 mm 90-100 psi - 10 pulg. 90° N/A
Equipo de rociado Tipo y modelo Tipo y tamaño de boquilla de la pistola Tipo de cabezal de aire Fuente de alimentación Unidad de control del arco	Arc Spray 8830 TAFE - Arc Jet TAFE 350 A Amperios
Parámetros de rociado Amperaje, A Voltaje, V Gas de atomización Presión del gas de atomización Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm] Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados Temperatura de precalentamiento del área inicial, °F [°C] Temperatura máxima del sustrato, °F [°C] Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg./min [mm/min] Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min] Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm] Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm] Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm] Espesor mínimo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm] Espesor máximo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm] Método de enfriamiento	140 28-30 Aire 80-100 4 pulg. 90° - 85-100 °C 37.97 pulg/min 250 rpm 0.5 mm 0.51 mm 0.175 mm 0.15 mm 1.25 mm Ambiente
Espesor del último recubrimiento Mínimo, 0.001 pulg. [micrones] Máximo, 0.001 pulg. [micrones]	
Tipo de sellador	
Métodos de acabado y parámetros	
Otros/Comentarios	

Persona que realiza el termorociado Jefferson Montesuma Fecha 10/07/2018

Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos Fecha 10/07/2018

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado de arco de aleaciones metálicas para propósitos de ingeniería.

Material de sustrato	Acero de bajo carbono
Material de aporte Tipo de alambre e ID No. Diámetro de alambre, pulg. [mm]	304 Stainless Steel PMET 710 1/16 pulg (1.6 mm)
Enmascaramiento cq Material Área(s) a ser cubiertas	Cinta reflectora de calor Muñones
Preparación de la superficie Tipo y tamaño de granalla Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm] Presión del envase para granallado, psi [kPa] Tipo de boquilla para granallado Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm] Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	Angular #24 0.078 90-100 psi N/A 10 pulg. 90° N/A
Equipo de rociado Tipo y modelo Tipo y tamaño de boquilla de la pistola Tipo de cabezal de aire Fuente de alimentación Unidad de control del arco	Arc Spray 8830 TAFE - Arc Jet TAFE 350 A Amperios
Parámetros de rociado Amperaje, A Voltaje, V Gas de atomización Presión del gas de atomización Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm] Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados Temperatura de precalentamiento del área inicial, °F [°C] Temperatura máxima del sustrato, °F [°C] Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg. /min [mm/min] Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min] Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm] Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm] Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm] Espesor mínimo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm] Espesor máximo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm] Método de enfriamiento	150 28-30 Aire 80-100 Psi 4 pulg. 90° - 85-100 °C 41.4 pulg/min 250 rpm 0.2 mm 0.51 mm 0.200 mm 0.050 mm 0.075 mm Ambiente
Espesor del último recubrimiento Mínimo, 0.001 pulg. [micrones] Máximo, 0.001 pulg. [micrones]	- -
Tipo de sellador	
Métodos de acabado y parámetros	
Otros/Comentarios	

Persona que realiza el termorociado Diego Cadena Fecha: 10/09/2018
 Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos Fecha 10/09/2018

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado HVOF de polvos para propósitos de ingeniería.

Material sustrato y descripción de la parte			
Tipo y número de identificación del polvo		Número de lote 1816007771	Especificación (Cuando aplique)
Material(es) de enmascaramiento			
Área(s) a ser enmascarada(s)			
Preparación de la superficie			
Acabado		Tipo de boquilla para granallado	
Tipo y tamaño de granalla		Angular #24	Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, 10 pulg. pulg. [mm]
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]			Angulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados 90°
Presión del envase para granallado, psi [kPa]		90-100 psi	Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]
Tipo, modelo y configuración de HVOF		Tipo de cañón y longitud usada	Refrigerado por aire 34mm
Tipo y modelo		Tero Jet AC	Distancia de rociado, in [mm] 6-8 pulg.
Combustible	Tipo de combustible	Propano	Modelo y configuración del alimentador de polvo
	Presión de suministro, psi [kPa]	100 psi	Tipo y modelo
	Caudal, ga/min [l/min]	60 NLPM	
	Contrapresión, psi [kPa]		Tipo de gas protector Nitrogeno
Oxígeno	Presión de suministro, psi [kPa]	150 psi	Presión de suministro, psi [kPa] 75 psi
	Caudal, ft ³ /min [l/min]	100 NLPM	Caudal, ft ³ /min [l/min] 20-25 NLPM
	Contrapresión, psi [kPa]		Contrapresión, psi [kPa]
Presión de combustión cuando aplique, psi [kPa]		Configuración de la velocidad de alimentación	
Agua	Caudal, ga/min [l/min]		
	Presión, psi [kPa]		Velocidad de rociado, lbs/hr [ga/min]
	Temperatura de ingreso °F [°C]		25 lb/hr
	Temperatura de salida °F [°C]		
Espesor del recubrimiento	Espesor/pase, 0.001 pulg. [mm]		
	Final, 0.001 pulg. [mm]		
Otros/Comentarios			

Persona que realiza el termorociado Juan Carlos Corella Fecha 25/07/2018
 Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos Fecha 25/07/2018

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado HVOF de polvos para propósitos de ingeniería.

Material sustrato y descripción de la parte				
Tipo y número de identificación del polvo	Número de lote 1816007771	Especificación (Cuando aplique)		
Material(es) de enmascaramiento				
Area(s) a ser enmascarada(s)				
Preparación de la superficie				
Acabado		Tipo de boquilla para granallado		
Tipo y tamaño de granalla	Angular #24	Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]	10 pulg.	
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]		Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados	90°	
Presión del envase para granallado, psi [kPa]	90-100 psi	Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	-	
Tipo, modelo y configuración de HVOF		Tipo de cañón y longitud usada	Refrigerado por aire 34mm	
Tipo y modelo	Tero Jet AC	Distancia de rociado, in [mm]	6-8 pulg.	
Combustible	Tipo de combustible	Propano	Modelo y configuración del alimentador de polvo	
	Presión de suministro, psi [kPa]	100 psi		Tipo y modelo
	Caudal, ga/min [l/min]	60 NLPM		
	Contrapresión, psi [kPa]		Tipo de gas protector	Nitrogeno
Oxígeno	Presión de suministro, psi [kPa]	150 psi	Presión de suministro, psi [kPa]	75 psi
	Caudal, ft ³ /min [l/min]	100 NLPM	Caudal, ft ³ /min [l/min]	20-25 NLPM
	Contrapresión, psi [kPa]		Contrapresión, psi [kPa]	
Presión de combustión cuando aplique, psi [kPa]		Configuración de la velocidad de alimentación		
Agua	Caudal, ga/min [l/min]	Velocidad de rociado, lbs/hr [ga/min] 25 lb/hr		
	Presión, psi [kPa]			
	Temperatura de ingreso °F [°C]			
	Temperatura de salida °F [°C]			
Espesor del recubrimiento	Espesor/pase, 0.001 pulg. [mm]			
	Final, 0.001 pulg. [mm]			
Otros/Comentarios				

Persona que realiza el termorociado Diego Cadena Fecha 24/07/2018

Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos Fecha 24/07/2018

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado de flama de aleaciones auto-fundentes.

Material de sustrato		Acero de bajo carbono	
Número de identificación y tipo de polvo		Eutectic 10185	
Número de lote			
Material(es) de enmascaramiento		Cinta reflectora de Calor	
Área(s) a ser enmascarada(s)		Muñones	
Preparación de la superficie			
Tipo y tamaño de granalla		Angular #24	
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]			
Presión del envase para granallado, psi [kPa]		90-100 psi	
Tipo de boquilla para granallado			
Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]		10 pulg.	
Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados		90°	
Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]		N/A	
Modelo y tipo de pistola de rociado		Tipo y modelo de la unidad alimentadora de polvo	
Tipo y modelo	MG Welding	Ajuste de la válvula de control de flujo, clics	Gatillo
Tipo y tamaño de boquilla de rociado	#4	Parámetros clave de alimentación mecánica	
Tipo de cabezal de aire	-	Tipo de rueda	
Válvula de medición	-	RPM de la rueda	
Vibrador	-		
Tipo de combustible	Acetileno	Parámetros clave del lecho fluidizado	
Presión del combustible, psi [kPa]	2,5 a 3,5 psi	Gas protector	
Presión del oxígeno, psi [kPa]	2,5 a 3,5 psi	Presión del gas protector, psi [kPa]	
Caudal del combustible, ft ³ /hr [l/min]	-	Caudal del gas protector, ft ³ /hr [l/min]	
Caudal del oxígeno, ft ³ /hr [l/min]	-		
Parámetros de rociado			
Velocidad de rociado, lbs/hr [kg/hr]		N/A	
Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm]		½ a 1 pulg.	
Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados		45°	
Temperatura de precalentamiento, °F [°C]		800°C	
Temperatura máxima del sustrato, °F [°C]		1000-1200 °C	
Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg./min [mm/min]		-	
Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min]		-	
Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]		-	
Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm]		-	
Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm]		-	
Espesor final del recubrimiento (valor y ±), 0.001 pulg. [mm]		2.77 ± 0.2 mm	
Tipo de aislante			
Métodos y parámetros de acabado		Rectificado	
Otros/Comentarios			

Persona que realiza el termorociado Jorge Carrera

Fecha 20/07/2018

Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos

Fecha 20/18/2018

Tabla 1 – Proceso de termorociado y parámetros de rociado para rociado de flama de aleaciones auto-fundentes.

Material de sustrato		Acero de bajo carbono	
Número de identificación y tipo de polvo		Eutectic 10185	
Número de lote			
Material(es) de enmascaramiento		Cinta reflectora de Calor	
Área(s) a ser enmascarada(s)		Muñones	
Preparación de la superficie			
Tipo y tamaño de granalla		Angular #24	
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]			
Presión del envase para granallado, psi [kPa]		90-100 psi	
Tipo de boquilla para granallado			
Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]		10 pulg.	
Angulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados		90°	
Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]		N/A	
Modelo y tipo de pistola de rociado		Tipo y modelo de la unidad alimentadora de polvo	
Tipo y modelo		MG Welding	Ajuste de la válvula de control de flujo, clics Gatillo
Tipo y tamaño de boquilla de rociado		#4	Parámetros clave de alimentación mecánica
Tipo de cabezal de aire		-	Tipo de rueda -
Válvula de medición		-	RPM de la rueda -
Vibrador		-	
Tipo de combustible		Acetileno	Parámetros clave del lecho fluidizado
Presión del combustible, psi [kPa]		2,5 a 3,5 psi	Gas protector
Presión del oxígeno, psi [kPa]		2,5 a 3,5 psi	Presión del gas protector, psi [kPa]
Caudal del combustible, ft ³ /hr [l/min]		-	Caudal del gas protector, ft ³ /hr [l/min]
Caudal del oxígeno, ft ³ /hr [l/min]		-	
Parámetros de rociado			
Velocidad de rociado, lbs/hr [kg/hr]		N/A	
Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm]		½ a 1 pulg.	
Angulo entre la pistola y el sustrato, grados		45°	
Temperatura de precalentamiento, °F [°C]		800°C	
Temperatura máxima del sustrato, °F [°C]		1000-1200 °C	
Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg./min [mm/min]		-	
Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min]		-	
Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]		-	
Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm]		-	
Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm]		-	
Espesor final del recubrimiento (valor y ±), 0.001 pulg. [mm]			
Tipo de aislante			
Métodos y parámetros de acabado		Rectificado	
Otros/Comentarios			

Persona que realiza el termorociado Diego Cadena

Fecha 26/07/2018

Revisado y aceptado por el supervisor de la prueba Andrea Cevallos

Fecha 26/18/2018

**ANEXO XIII REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE OPERADORES DE
TERMOROCIADO (TSPQ)**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CALIFICACIÓN PARA OPERADOR DE TERMOROCIADO (TSPQ)

Material de sustrato	Acero de bajo carbono
Material de aporte	
Tipo de alambre e ID no.	304 Stainless Steel PMET 710
Diámetro de alambre, pulg. [mm]	1/16 pulg (1.6 mm)
Enmascaramiento	
Material	Cinta reflectora de calor
Área(s) a ser cubiertas	Muñones
Preparación de la superficie	
Tipo y tamaño de granalla	Angular #24
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]	0.100 mm
Presión del envase para granallado, psi [kPa]	90-100 psi
Tipo de boquilla para granallado	-
Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]	10 pulg.
Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados	90°
Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	N/A
Equipo de rociado	
Tipo y modelo	Arc Spray 8830 TAFE
Tipo y tamaño de boquilla de la pistola	-
Tipo de cabezal de aire	Arc Jet
Fuente de alimentación	TAFE 350 A
Unidad de control del arco	Amperios
Parámetros de rociado	
Amperaje, A	180
Voltaje, V	28-30
Gas de atomización	Aire
Presión del gas de atomización	80-100
Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm]	4 pulg.
Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados	90°
Temperatura de precalentamiento del área inicial, °F [°C]	-
Temperatura máxima del sustrato, °F [°C]	85-100 °C
Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg./min [mm/min]	32.34 pulg/min
Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min]	250 rpm
Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.31 mm
Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm]	0.51 mm
Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm]	
Espesor mínimo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.65 mm
Espesor máximo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.1 mm
Método de enfriamiento	
Espesor del último recubrimiento	
Mínimo, 0.001 pulg. [micrones]	-
Máximo, 0.001 pulg. [micrones]	-
Tipo de sellador	
Métodos de acabado y parámetros	
Otros/Comentarios	

TESTS

	Tipo de Ensayo	Criterio de aceptación	Resultado	Observaciones
✓	Ensayos no destructivos	-	-	-
✓	Inspección Visual de Calidad de textura	Liso y sin grumos, polvo, inclusiones de partículas abrasivas o sopladuras	Aprobado	-
✓	Espesor	+ [0.08-0.015 mm]	Aprobado	-
✓	Ensayos destructivos	-	-	-
✓	Ensayo de Acabado	sin desprendimientos de partículas	Aprobado	-
✓	Ensayo de tracción	>4650 Psi	Aprobado	-
✓	Ensayo de doblado	Sin separación; fisuras mínimas	Aprobado	-
✓	Ensayo metalográfico	-	Aprobado	-

DETALLES ENSAYO DE TRACCIÓN

Muestra	Área	Longitud	Resistencia última a la tracción	Tipo de falla
PTASAC1	507	76.2	2870	Agente adhesivo
PTASAC2	507	76.2	6240	En la interfaz
PTASAC3	507	76.2	6940	En la interfaz
PTASAC4	507	76.2	8560	En la interfaz
PTASAC5	507	76.2	6910	En la interfaz

DETALLES ENSAYO DE DOBLADO

Muestra	Detalles	Resultado
PDASAC1	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASAC2	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASAC3	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASAC4	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASAC5	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASAC6	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado

CERTIFICATION

Welder's Name	CI #	Designación	Tests Conducted by	
Alexis Chulde	1725483299	AS-2: Manual 01	Laboratory	-
-	-	-	Test Number	EPN-FIM-AC-01
-	-	-	File Number	-

Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas y, que además las probetas fueron rociadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 "THERMAL SPRAY OPERATOR QUALIFICATION TEST" para calificación de operadores de temoroariado.

Title	
Trabajo de titulación – Temoroariado por arco eléctrico	
Name	Signature
Andrea Cevallos R.	
Date	
16/11/2018	



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CALIFICACIÓN PARA OPERADOR DE TERMOROCIADO (TSPQ)

Material de sustrato	Acero de bajo carbono
Material de aporte	
Tipo de alambre e ID no.	304 Stainless Steel PMET 710
Diámetro de alambre, pulg. [mm]	1/16 pulg (1.6 mm)
Enmascaramiento	
Material	Cinta reflectora de calor
Área(s) a ser cubiertas	Muñones
Preparación de la superficie	
Tipo y tamaño de granalla	Angular #24
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]	0.087 mm
Presión del envase para granallado, psi [kPa]	90-100 psi
Tipo de boquilla para granallado	-
Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]	10 pulg.
Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados	90°
Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	N/A
Equipo de rociado	
Tipo y modelo	Arc Spray 8830 TAFE
Tipo y tamaño de boquilla de la pistola	-
Tipo de cabezal de aire	Arc Jet
Fuente de alimentación	TAFE 350 A
Unidad de control del arco	Amperios
Parámetros de rociado	
Amperaje, A	140
Voltaje, V	28-30
Gas de atomización	Aire
Presión del gas de atomización	80-100
Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm]	4 pulg.
Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados	90°
Temperatura de precalentamiento del área inicial, °F [°C]	-
Temperatura máxima del sustrato, °F [°C]	85-100 °C
Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg./min [mm/min]	37.97 pulg/min
Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min]	250 rpm
Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.5 mm
Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm]	0.51 mm
Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm]	0.175 mm
Espesor mínimo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.15 mm
Espesor máximo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	1.25 mm
Método de enfriamiento	Ambiente
Espesor del último recubrimiento	
Mínimo, 0.001 pulg. [micrones]	-
Máximo, 0.001 pulg. [micrones]	-
Tipo de sellador	
Métodos de acabado y parámetros	
Otros/Comentarios	

TESTS

	Tipo de Ensayo	Criterio de aceptación	Resultado	Observaciones
✓	Ensayos no destructivos	-	-	-
✓	Inspección Visual de Calidad de textura	Liso y sin grumos, polvo, inclusiones de partículas abrasivas o sopladuras	Aprobado	-
✓	Espesor	+ [0.08-0.015 mm]	Aprobado	-
✓	Ensayos destructivos	-	-	-
✓	Ensayo de Acabado	sin desprendimientos de partículas	Aprobado	-
✓	Ensayo de tracción	>4650 Psi	Aprobado	-
✓	Ensayo de doblado	Sin separación; fisuras mínimas	Aprobado	-
✓	Ensayo metalográfico	-	Aprobado	-

DETALLES ENSAYO DE TRACCIÓN

Muestra	Área	Longitud	Resistencia última a la tracción	Tipo de falla
PTASJM1	507	76.2	4420	En la interfaz
PTASJM2	507	76.2	4550	En la interfaz
PTASJM3	507	76.2	5100	En la interfaz
PTASJM4	507	76.2	6140	Falta de anclaje adhesivo
PTASJM5	507	76.2	4930	En la interfaz

DETALLES ENSAYO DE DOBLADO

Muestra	Detalles	Resultado
PDASJM1	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASJM2	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASJM3	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASJM4	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASJM5	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASJM6	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado

CERTIFICATION

Welder's Name	CI #	Designación	Tests Conducted by	
Jefferson Montesuma	1726548041	AS-2: Manual 02	Laboratory	-
-	-	-	Test Number	EPN-FIM-AC-02
-	-	-	File Number	-

Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas y, que además las probetas fueron rociadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 "THERMAL SPRAY OPERATOR QUALIFICATION TEST" para calificación de operadores de temoroariado.

Title	
Trabajo de titulación – Temoroariado por arco eléctrico	
Name	Signature
Andrea Cevallos R.	
Date	
16/11/2018	



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CALIFICACIÓN PARA OPERADOR DE TERMOROCIADO (TSPQ)

Material de sustrato	Acero de bajo carbono
Material de aporte	
Tipo de alambre e ID No.	304 Stainless Steel PMET 710
Diámetro de alambre, pulg. [mm]	1/16 pulg (1.6 mm)
Enmascaramiento	
Material	Cinta reflectora de calor
Área(s) a ser cubiertas	Muñones
Preparación de la superficie	
Tipo y tamaño de granalla	Angular #24
Profundidad de perfil de diente de anclaje, 0.001 pulg. [mm]	0.078
Presión del envase para granallado, psi [kPa]	90-100 psi
Tipo de boquilla para granallado	N/A
Distancia de trabajo de la boquilla de granallado, pulg. [mm]	10 pulg.
Ángulo de trabajo de la boquilla de granallado, grados	90°
Velocidad de granallado, ft ² /h [m ² /h]	N/A
Equipo de rociado	
Tipo y modelo	Arc Spray 8830 TAFA
Tipo y tamaño de boquilla de la pistola	-
Tipo de cabezal de aire	Arc Jet
Fuente de alimentación	TAFA 350 A
Unidad de control del arco	Amperios
Parámetros de rociado	
Amperaje, A	150
Voltaje, V	28-30
Gas de atomización	Aire
Presión del gas de atomización	80-100 Psi
Distancia de la pistola al sustrato, pulg. [mm]	4 pulg.
Ángulo entre la pistola y el sustrato, grados	90°
Temperatura de precalentamiento del área inicial, °F [°C]	-
Temperatura máxima del sustrato, °F [°C]	85-100 °C
Velocidad de desplazamiento de la pistola, pulg. /min [mm/min]	41.4 pulg/min
Velocidad superficial de la pieza, ft/min [m/min]	250 rpm
Espesor del recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.2 mm
Espesor de la probeta de adhesión, 0.001 pulg. [mm]	0.51 mm
Espesor del recubrimiento de la probeta de control de calidad de doblado, 0.001 pulg. [mm]	0.200 mm
Espesor mínimo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.050 mm
Espesor máximo de recubrimiento/pase, 0.001 pulg. [mm]	0.075 mm
Método de enfriamiento	Ambiente
Espesor del último recubrimiento	
Mínimo, 0.001 pulg. [micrones]	-
Máximo, 0.001 pulg. [micrones]	-
Tipo de sellador	N/A
Métodos de acabado y parámetros	N/A
Otros/Comentarios	

TESTS

	Tipo de Ensayo	Criterio de aceptación	Resultado	Observaciones
✓	Ensayos no destructivos	-	-	-
✓	Inspección Visual de Calidad de textura	Liso y sin grumos, polvo, inclusiones de partículas abrasivas o sopladuras	Aprobado	-
✓	Espesor	+ [0.08-0.015 mm]	Aprobado	-
✓	Ensayos destructivos	-	-	-
✓	Ensayo de Acabado	sin desprendimientos de partículas	Aprobado	-
✓	Ensayo de tracción	>4650 Psi	Aprobado	-
✓	Ensayo de doblado	Sin separación; fisuras mínimas	Aprobado	-
✓	Ensayo metalográfico	-	Aprobado	-

DETALLES ENSAYO DE TRACCIÓN

Muestra	Área (mm ²)	Longitud (mm)	Resistencia última a la tracción (psi)	Tipo de falla
PTASDC1	507	76.2	2870	Agente adhesivo
PTASDC2	507	76.2	6240	En la interfaz
PTASDC3	507	76.2	6940	En la interfaz
PTASDC4	507	76.2	8560	En la interfaz
PTASDC5	507	76.2	6910	En la interfaz

DETALLES ENSAYO DE DOBLADO

Muestra	Detalles	Resultado
PDASDC1	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASDC2	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASDC3	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASDC4	Superficie sin grumos, ni fisuras mínimas	Aprobado
PDASDC5	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado
PDASDC6	Superficie sin grumos, fisuras mínimas sin desprendimiento del recubrimiento	Aprobado

CERTIFICACIÓN

Nombre del operador	CI #	Designación	Tests Conducted by	
Diego Cadena	1719302513	AS-2: Manual 03	Laboratory	
-	-	-	Test Number	EPN-FIM-AC-03
-	-	-	File Number	-

Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas y, que además las probetas fueron rociadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la norma AWS C2.16/C2.16M:2002 "THERMAL SPRAY OPERATOR QUALIFICATION TEST" para calificación de operadores de temorojado.

Title	
Trabajo de titulación – Temorojado por arco eléctrico	
Name	Signature
Andrea Cevallos R.	
Date	
16/11/2018	