

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO QUE SE
ACOPLE AL MANERAL DE OXICORTE PARA
TERMORROCIADO DE POLVOS**

PRESENTADO POR:

**FRANCISCO ARMANDO GARCÍA ZÚNIGA
RAMÓN DE JESÚS PALACIOS HENRÍQUEZ
FLOR DE MARÍA SERRANO GUZMÁN**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL

:

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO

:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR

:

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO QUE SE
ACOPLE AL MANERAL DE OXICORTE PARA
TERMORROCIADO DE POLVOS**

Presentado por :

**FRANCISCO ARMANDO GARCÍA ZÚNIGA
RAMÓN DE JESÚS PALACIOS HENRÍQUEZ
FLOR DE MARÍA SERRANO GUZMÁN**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, noviembre de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por darme la sabiduría, salud e iluminación durante toda mi formación académica.

A mi madre Ana de García principalmente por su amor incondicional, por darme todo su apoyo en las diferentes circunstancias de mi vida y por su esfuerzo en mi formación profesional.

A mi padre Armando García principalmente por su amor incondicional, por ser el mejor maestro que he tenido en el área de ingeniería, por ser mi ejemplo a seguir y enseñarme a no rendirme ante nada.

A mis hermanos Glenda y Oscar García por estar conmigo en todas las etapas de mi vida, por ayudarme y apoyarme incondicionalmente.

A todos mis amigos, por darle un toque divertido a mi vida, porque me permitieron conocerlos y aprender de ellos, por compartir muchos momentos juntos y ayudarme cuando lo he necesitado.

A Proyect de El Salvador mi lugar de trabajo, quienes me han dado la oportunidad de poner en práctica mis conocimientos y por brindarme todo su apoyo para culminar este trabajo.

FRANCISCO ARMANDO GARCÍA ZÚNIGA

DEDICATORIA

Agradezco a mi padre Ramón de Jesús Palacios Arias por apoyarme incondicionalmente tanto tiempo, a mi madre María Cleotilde Henríquez de Palacios que se preocupó por mí de que siempre estuviera sano, a mis hermanos y toda mi familia que me apoyo cuando lo necesité y cuando no también, que siempre me daban sus palabras de aliento para poderme levantar en cada tropiezo que he tenido en la carrera y todas las pruebas que la vida me ha puesto y principalmente a Dios todo poderoso el haberme acompañado, guiado en toda mi carrera y haberme permitido culminar mis estudios y dado esta familia tan hermosa que tengo.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

RAMÓN DE JESÚS PALACIOS HENRÍQUEZ

DEDICATORIA

A Mamá María y Dios Todopoderoso, por ser el acompañante fiel en mi vida y haberme dado la fortaleza para superar obstáculos a lo largo de mi formación, por permitirme vida, salud y sabiduría para culminar con éxito esta etapa.

A mi Padre Leopoldo Serrano Cervantes, mi mejor amigo y mentor, por esforzarse cada día para procurarme lo mejor en mi formación, paso a paso, constante, sin importar las dificultades que hubiese. A sus consejos y su sabiduría amorosa de padre y maestro.

A mi Madre Reina Flor de Serrano por ser la mujer ejemplar en mis pasos, mi mejor amiga, por corregir mis faltas y celebrar mis triunfos, a ella a quien con sus cuidados, entusiasmo y sabiduría me enseñó a dar siempre un paso al frente y retroceder únicamente para corregir y continuar.

A mi hermano Luis Serrano, por su infinito amor fraternal, por haberme procurado su tiempo y apoyo, por ser mi pilar central y el engrane de mi vida, a su esposa Delmy Escobar, por apoyar y creer en cada paso de mi formación

A Carlos Chávez por su amor incondicional desde el inicio hasta el final de mi formación, por su apoyo y su diciembre siempre continuo, ajustando la mecánica del corazón.

A mis abuelitos Marta y Fernando, por cuidar de mí desde su hogar y mantenerse siempre atentos de mis dificultades y triunfos, por el amor y sabiduría de procurarme lo mejor,

A Mama Geña, la libélula azul en mis escritos, una mujer de fortaleza de barro, quien, con sus cuidados y consejos formó parte de cada fibra esencial de mi vida, a ella, que desde el cielo, celebra con nosotros.

A María Teresa, mi hermana y toda la gran familia Guía por ser el segundo pilar más necesario y creer siempre en las capacidades y triunfos como mujeres, Siempre listas ¡

A mis compañeros de carrera y amigos que apoyaron en cada momento con sus risas, desvelos y emociones este camino.

FLOR DE MARÍA SERRANO GUZMÁN

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar cada paso y cada decisión en este proceso, a nuestros padres, familiares y amigos que nos permitieron llegar hasta etapa de nuestra formación como profesionales.

A la Universidad de El Salvador, por nuestra formación como ingenieros. A todos los Ingenieros Docentes, que contribuyeron en nuestra formación académica, que nos apoyaron y nos brindaron su ayuda durante nuestros estudios.

A nuestro asesor, Dr. M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, por sus enseñanzas, ayuda y paciencia durante el trabajo de graduación. Por su interminable entusiasmo y esfuerzo por formarnos dentro de la ética profesional, por su visión crítica y si recitad como docente, investigador y sobre todo como un amigo de concejos sabios.

A todas las personas que hicieron posible la finalización de este a trabajo de graduación y contribuyeron en cada paso, para culminar con éxito esta etapa.

FRANCISCO GARCÍA Z., FLOR SERRANO G. & RAMÓN PALACIOS H.

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
1. Marco teórico	2
1.1. Principios básicos del termorrociado	2
1.1.1 Definición.....	2
1.1.2 Proceso	3
1.2. Historia	9
1.2.1. La evolución después de la segunda guerra mundial.....	12
1.3. Aplicaciones y ventajas	14
1.3.1. Protección anticorrosiva por termorrociado	15
1.3.2. Aplicaciones	19
1.3.3. Beneficios y limitaciones de los recubrimientos por termorrociado ..	21
1.3.4. Características de los recubrimiento obtenidos por termorrociado...	22
1.4. Clasificación del termorrociado.....	23
1.4.1. Termorrociado por flama	24
1.4.2. Termorrociado por detonación	33
1.4.3. Termorrociado por combustión continua de alta velocidad (HVOF) .	35
1.4.4. Termorrociado por arco eléctrico.....	37
1.4.5. Termorrociado por arco plasma	40
1.5. Materiales de termorrociado	42
1.5.1. Estructura del revestimiento	43
1.5.2. Características de recubrimientos	44
1.6. Parámetros y variables	46
1.6.1. Efecto de la distancia de termorrociado	47
1.6.2. Relación oxígeno/combustible y presión de la cámara.....	49
1.6.3. Morfología y procesamiento de los polvos	50
1.6.4. Tamaño de partículas.....	51
2. Diseño del dispositivo	52
2.1. Requerimientos de diseño	52
2.2. Ideas de diseño	53

2.3. Propuesta de diseño.....	53
2.4. Especificaciones técnicas.....	55
2.4.1. Selección de polvos metálicos	55
2.4.2. Diseño de mezclador de polvos	57
2.4.3. Selección de boquilla para polvos metálicos	60
2.4.4. Diseño de tolva de polvos metálicos	62
2.4.5. Diseño de inyector de oxígeno	66
2.3. Descripción de partes	74
3. Ensayos para la caracterización de la pistola de termorrociado	78
3.1. Proceso termorrociado para probetas de ensayo	78
3.2. Proceso de ensayo de termorrociado	84
3.3. Resultado de ensayo de flexión en probetas termorrociadas	89
3.4. Interpretación de ensayos	100
3.4.1. Interpretación relación oxígeno-acetileno 1	101
3.4.2. Interpretación relación oxígeno-acetileno 2.....	103
3.4.3. Interpretación relación oxígeno-acetileno 3.....	105
3.5. Punto de operación.....	107
4. Indicadores económicos y costos del proyecto.....	108
4.1. Costos estimados del proyecto.....	109
4.2. Comparación de costos con comercial	110
4.3. Factibilidad del proyecto	111
4.3.1. Tasa mínima de rendimiento (TMAR).....	111
4.3.2. Valor actual neto (VAN).....	112
4.3.3. Tasa interna de retorno (TIR)	114
4.4.4. Beneficio costo (B/C).....	116
4.4.5. Comparaciones de proyección económica.....	116

Conclusiones	118
Referencias.....	119
Anexo A Fotografías y planos	122
Anexo B Fichas técnicas.....	135
Anexo C Cotizaciones y facturas.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Metales según el ambiente corrosivo.	16
Tabla 1. 2. Aleaciones metálicas	17
Tabla 1. 3. Características de diversos sistemas de termorrociado	18
Tabla 1.4. Aleaciones cerámicas.....	18
Tabla 1.5. Carburos.....	19
Tabla 1.6. Cermets.....	19
Tabla 1.7. Temperaturas de fuentes de calor.	25
Tabla 2.1. Propiedades de los polvos metálicos ChromTec 10680.	56
Tabla 2.2. Parámetros de operación de boquillas de oxicorte.	61
Tabla 2. 3. Valores de flujo isentropico	69
Tabla 3. 1 Datos técnicos de polvos EUTALLOY para Termorrociado.	81
Tabla 3. 2. Datos del proceso de termorrociado para las 27 probetas.....	83
Tabla 3. 3. Registro de ensayos de recubrimientos	87
Tabla 3. 4. Lote de probetas mejor ponderadas	107
Tabla 3. 5. Punto de operación.....	107
Tabla 4. 1. Costos totales de fabricación en este trabajo de graduación.....	109
Tabla 4. 2. Costos de fabricación de accesorio.	110
Tabla 4. 3. Costos de pistola para termorrociado comercial -exportación	110
Tabla 4. 4. Indicadores de proyectos.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. 1. Proceso de termorrociado.....	2
Fig. 1. 2. Modelo de sistema genérico de termorrociado.	4
Fig. 1. 3. El proceso de recubrimiento por termorrociado.	5
Fig. 1. 4. Esquema de una partícula durante el proceso de termorrociado.....	6
Fig. 1. 5. Sección transversal de un recubrimiento por termorrociado típico	7
Fig. 1. 6. Clasificación de las técnicas de termorrociado	8
Fig. 1. 7. Sección transversal de la primera pistola de aspersion por alambre .	11
Fig. 1. 8. Cronología de la evolución térmica de pulverización, equipos, procesos y materiales	14
Fig. 1. 9. Micrografía de un depósito metálico.	21
Fig. 1. 10. Clasificación de los procesos de termorrociado según la fuente de calor.	24
Fig. 1. 11. Pistola alimentada con polvos para termorrociado.....	26
Fig. 1. 12. Pistola alimentada con alambre para termorrociado.	26
Fig. 1. 13. Esquema del proceso de termorrociado por flama con polvos	28
Fig. 1. 14. Pistola de termorrociado por flama con aspersion de polvos	30
Fig. 1. 15. Equipo de termorrociado por detonación.	34
Fig. 1. 16. Esquema de pistola HVOF.	36
Fig. 1. 17. Esquema de pistola de termorrociado por arco.	38
Fig. 1. 18. Esquema de equipo de termorrociado por arco plasma transferido.	41
Fig. 1. 19. Esquema de equipo de termorrociado por arco plasma no transferido.	42
Fig. 1. 20. Expectativa de vida de diversos recubrimientos anticorrosivos (basado en British Standards Institution con la norma B.S. 5493).	44
Fig. 1. 21. Variación de la velocidad de las partículas de WC-Co-Cr, a diferentes distancias de rocío por HVOF con propileno y para una relación de flujo de combustible-Oxígeno y velocidad en la superficie constantes	46
Fig. 1. 22. Parámetros generales del proceso HVOF	47

Fig. 1. 23. Variación de la temperatura promedio de las partículas de WC-12%-Co con diferente morfología durante el termorrociado, Sobolev (1996)	48
Fig. 1. 24. Variación de la temperatura promedio de las partículas de WC-12%-Co de diferentes diámetros, durante el termorrociado, Sobolev, (1996)	49
Fig. 2. 1. Polvos Eutalloy® 10680 presentación de 0.5 kg.....	56
Fig. 2. 2. Esquema de sujeción de accesorio con el cortador.....	57
Fig. 2.3. Representación de ductos de gases.....	58
Fig. 2.4. Representación del control de polvos metálicos.....	59
Fig. 2. 5. Sujeción de tolva de polvos en mezclador y sello de polvos.....	59
Fig. 2. 6. Sujeción de boquilla en mezclador	60
Fig. 2.7. Tamaño de flama según el número de boquilla e oxicorte.....	61
Fig. 2. 8. Tolva de polvos metálicos.....	66
Fig. 2.9. Sistema de alimentación por efecto Venturi.....	67
Fig. 2.10. Tobera convergente – divergente	68
Fig. 2.11. Inyector de oxígeno para arrastre de polvos.....	73
Fig. 2. 12. Mezclador de polvos metálicos y oxígeno.....	74
Fig. 2. 13. Brida universal para sujeción de mezclador.....	74
Fig. 2. 14. Tolva contenedora de polvos.....	75
Fig. 2. 15. Válvula de aguja control de polvos.....	75
Fig. 2. 16. Sello para polvos.....	75
Fig. 2. 17. Tuerca de sujeción.....	76
Fig. 2. 18. Boquilla para polvos.....	76
Fig. 2. 19. Válvulas antiretroceso de flama.....	76
Fig. 2. 20. Maneral de oxicorte.....	77
Fig. 2. 21. Accesorio de termorrociado ensamblado.....	77
Fig. 3. 1. Dimensiones de las probetas.....	79
Fig. 3. 2. Polvos Eutalloy 10680.....	80
Fig. 3. 3. Proceso de calentamiento.....	82
Fig. 3. 4. Proceso de Termorrociado.....	82
Fig. 3. 5. Longitud aproximada de la llama.....	82

Fig. 3. 6. Lote parcial de probetas.....	82
Fig. 3. 7. Esquema de ensayos a doble guiado.	85
Fig. 3. 8. Separaciones entre centros.	87
Fig. 3. 9. Calibración del equipo.....	88
Fig. 3. 10. Equipo para ensayo de flexión MULTISPEED	89
Fig. 3. 11. Probeta termorrociada N° 1.	89
Fig. 3. 12. Curva Carga-Deflexión N° 1.....	89
Fig. 3. 13. Probeta termorrociada N° 2.	90
Fig. 3. 14. Curva Carga-Deflexión N° 2.....	90
Fig. 3. 15. Probeta termorrociada N° 3.	90
Fig. 3. 16. Curva Carga-Deflexión N° 3.....	90
Fig. 3. 17. Probeta termorrociada N° 4.	91
Fig. 3. 18. Curva Carga-Deflexión N° 4.....	91
Fig. 3. 19. Probeta termorrociada N° 5.	91
Fig. 3. 20. Curva Carga-Deflexión N° 5.....	91
Fig. 3. 21. Probeta termorrociada N° 6.	91
Fig. 3. 22. Curva Carga-Deflexión N° 6.....	91
Fig. 3. 23. Probeta termorrociada N° 7.	92
Fig. 3. 24. Curva Carga-Deflexión N° 7.....	92
Fig. 3. 25. Probeta termorrociada N° 8.	92
Fig. 3. 26. Curva Carga-Deflexión N° 8.....	92
Fig. 3. 27. Probeta termorrociada N° 9.	92
Fig. 3. 28. Curva Carga-Deflexión N° 9.....	92
Fig. 3. 29. Probeta termorrociada N° 10.	93
Fig. 3. 30. Curva Carga-Deflexión N° 10.....	93
Fig. 3. 31. Probeta termorrociada N° 11.	93
Fig. 3. 32. Curva Carga-Deflexión N° 11.....	93
Fig. 3. 33. Probeta termorrociada N° 12.	93
Fig. 3. 34. Curva Carga-Deflexión N° 12.....	93
Fig. 3. 35. Probeta termorrociada N° 13.	94

Fig. 3. 36. Curva Carga-Deflexión N° 13.....	94
Fig. 3. 37. Probeta termorrociada N° 14.	94
Fig. 3. 38. Curva Carga-Deflexión N° 14.....	94
Fig. 3. 39. Probeta termorrociada N° 15.	94
Fig. 3. 40. Curva Carga-Deflexión N° 15.....	94
Fig. 3. 41. Probeta termorrociada N° 16.	95
Fig. 3. 42. Curva Carga-Deflexión N° 16.....	95
Fig. 3. 43. Probeta termorrociada N° 17.	95
Fig. 3. 44. Curva Carga-Deflexión N° 17.....	95
Fig. 3. 45. Probeta termorrociada N° 18.	96
Fig. 3. 46. Curva Carga-Deflexión N° 18.....	96
Fig. 3. 47. Probeta termorrociada N° 19.	96
Fig. 3. 48. Curva Carga-Deflexión N° 19.....	96
Fig. 3. 49. Probeta termorrociada N° 20.	96
Fig. 3. 50. Curva Carga-Deflexión N° 20.....	96
Fig. 3. 51. Probeta termorrociada N° 21.	97
Fig. 3. 52. Curva Carga-Deflexión N° 21.....	97
Fig. 3. 53. Probeta termorrociada N° 22.	97
Fig. 3. 54. Curva Carga-Deflexión N° 22.....	97
Fig. 3. 55. Probeta termorrociada N° 23.	98
Fig. 3. 56. Curva Carga-Deflexión N° 23.....	98
Fig. 3. 57. Probeta termorrociada N° 24.	98
Fig. 3. 58. Curva Carga-Deformación N° 24.	98
Fig. 3. 59. Probeta termorrociada N° 25.	98
Fig. 3. 60. Curva Carga-Deformación N° 25.	98
Fig. 3. 61. Probeta termorrociada N° 26.	99
Fig. 3. 62. Curva Carga-Deformación N° 26.	99
Fig. 3. 63. Probeta termorrociada N° 27.	99
Fig. 3. 64. Curva Carga-Deformación N° 27.	99
Fig. 3. 65. Interpretación proporción 5/0.5 Oxígeno-Acetileno	101

Fig. 3. 66. Tendencias de ponderaciones proporción 5/0.5 Oxígeno-Acetileno	102
Fig. 3. 67. Interpretación proporción 1.5/0.2 Oxígeno-Acetileno	103
Fig. 3. 68. Tendencias de ponderaciones proporción 1.5/0.2 Oxígeno-Acetileno.	105
Fig. 3. 69. Interpretación proporción 3.5/0.3.5 Oxígeno-Acetileno	106
Fig. 3. 70. Tendencias de ponderaciones proporción 1.5/0.2 Oxígeno-Acetileno	106
Fig. 3. 71. Resultados cualitativos de ensayo de flexión de probetas con mayor ponderación	108

RESUMEN

PRESENTADO POR:

Francisco Armando García Zúniga
Ramón de Jesús Palacios Henríquez
Flor de María Serrano Guzmán

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO QUE SE ACOUPLE AL MANERAL DE OXICORTE PARA TERMORROCIADO DE POLVOS

DOCENTE DIRECTOR:

Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, SAN SALVADOR, EL
SALVADOR, AÑO 2013.**

Palabras clave: Termorrociado, Metalizado, Maneral de oxicorte.

El termorrociado es una técnica para aplicación de recubrimientos metálicos, cerámicos o plásticos. Para el proceso el material de alimentación puede ser polvo, alambre o varilla, luego son acelerados por un gas y a la vez calentados por una fuente de energía que puede ser una flama, un arco eléctrico o plasma. Se presenta el diseño de un accesorio para termorrociado de polvos metálicos que se acoplará a un maneral de oxicorte, ya que este cuenta con una flama de precalentamiento y un gas de corte que en este caso es utilizado para la aceleración de los polvos. Así, el diseño principal es del mezclador de polvos y gas. Luego se realizaron ensayos de los diferentes parámetros de operación de la pistola, con el fin de establecer el punto óptimo de funcionamiento con respecto a las presiones y distancias de termorrociado. Para ello se termorrociarán probetas, las cuales se sometieron a ensayos de doblez en donde se podrá apreciar las características del recubrimiento en relación con los parámetros de operación.

INTRODUCCIÓN

Termorrociado es un término genérico para un grupo de procesos utilizados para aplicar recubrimientos metálicos o no metálicos. Estos procesos se agrupan en tres categorías principales: termorrociado por flama, arco eléctrico, y plasma. Estas fuentes de energía se utilizan para calentar el material de recubrimiento (en forma de polvo, alambre o varilla) a un estado fundido o semifundido. Las partículas calientes resultantes son aceleradas y proyectadas hacia una superficie precalentada, formando un recubrimiento, con las partículas posteriores se logra el aumento de espesor y la formación de una estructura laminar.

Una ventaja importante de los procesos de termorrociado, es la amplia variedad de materiales que pueden ser utilizados para producir recubrimientos. Una segunda ventaja importante es la capacidad de aplicar revestimientos sin aportación de calor significativa. Una tercera ventaja es la capacidad, en la mayoría de los casos, de reponer los revestimientos desgastados o dañados sin cambiar las propiedades o dimensiones de la pieza.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un accesorio para termorrociar que se acople a un maneral de oxicorte, para ello se tomara como base la técnica de termorrociado de polvos metálicos por flama. En esta técnica se necesita una flama de precalentamiento, un gas para acelerar los polvos y un mezclador de polvos y gas. El maneral de oxicorte cuenta con los dos primeros requerimientos y solo será necesario diseñar el mezclador con sus componentes.

1. MARCO TEÓRICO

Se definen los diferentes procesos de termorrociado y sus características. Ventajas, desventajas y aplicaciones generales de este tipo de recubrimientos.

1.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL TERMORROCIADO

Se describen los fundamentos, los diferentes componentes del proceso de termorrociado, así como también se caracteriza el recubrimiento obtenido mediante estos procesos.

1.1.1 DEFINICIÓN

El termorrociado (Thermal Spray Protección, THSP), el cual es un grupo de procesos mediante los cuales partículas finamente divididas de materiales metálicos y no metálicos en estado semifundido impactan una superficie preparada para formar un revestimiento de protección o redimensionamiento como se presenta en la Fig. 1.1. que a su vez puede ser metálico o no metálico [1].



Fig. 1. 1. Proceso de termorrociado.

El material a ser depositado se puede obtener en forma de polvo, barras o alambre continuo. El material es fundido y proyectado por medio del uso de las pistolas de termorrociado generando el calor necesario mediante la utilización de gases combustibles, arco eléctrico, arco plasma o por la detonación de una mezcla explosiva. Cuando el material es calentado cambia a un estado de semifundido (plástico) o fundido y luego es acelerado mediante el uso de gas comprimido creando un rociado denso de partículas que se dirige hacia el material base (metal base). Las partículas impactan contra la superficie aplastándose y formando delgadas láminas que se adhieren a las irregularidades de la superficie preparada una tras otra, formando así el recubrimiento. La mayoría de los metales, cerámicas, cerments y compuestos duros pueden ser termorrociados por alguno de los distintos proceso [2].

1.1.2 PROCESO

Generalmente la aplicación del recubrimiento se hace a través de equipos automáticos, donde una unidad robótica opera una pistola de termorrociado. Los materiales de los revestimientos se ubican dentro de una cámara interna en la pistola, en forma de polvo, alambre o barra. Allí por efecto de la combustión del gas-oxígeno, el material se calienta a altas temperaturas convirtiéndose en micropartículas en el caso de alambre o barra.

Modelo de sistema genérico de termorrociado

En la Fig. 1.2 se presenta un modelo de un sistema de termorrociado, en el cual destacan los sub-sistemas siguientes [3]:

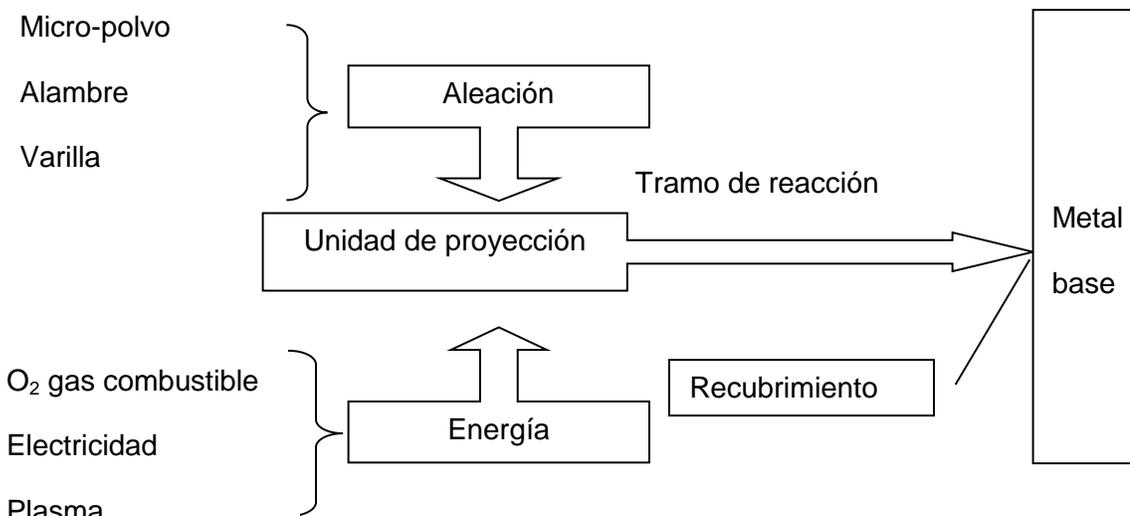


Fig. 1. 2. Modelo de sistema genérico de termorrociado.

a) Fuente de Energía: En los sistemas de termorrociado se emplean diversas fuentes de energía, tales como gases O_2 y C_2H_2 a objeto de producir una combustión; energía eléctrica para cortocircuito dos alambres que son atomizados por dicho cortocircuito; y gases mono o di-atómicos, de bajo nivel energético de disociación para producir un arco plasma [3].

b) Material a depositar: Se emplean los más diversos materiales y en distintas formas. Por ejemplo, para el proceso de arco eléctrico, a objeto de producir el cortocircuito referido, el material viene conformado en bobinas de alambres y por supuesto, debe ser material conductor de la electricidad [3]. En el proceso por plasma y en la mayoría de los sistemas de combustión, se emplean micro-polvos, con una gama prácticamente ilimitada de materiales susceptibles de ser proyectados. Se destaca la proyección de micro-polvos metálicos, carburos, cerámicas y plásticos [3].

c) Unidad de proyección: Este subsistema conjuga la entrada de los dos subsistemas anteriores. Por un lado, procesa la fuente de energía para producir la fuente de calor, una llama O_2 y C_2H_2 por ejemplo, e incorpora a la vez el material a depositar a esta fuente de calor, el cual experimentará una serie de reacciones físico-químicas que posibilitan su proyección y adherencia [3].

Descripción del proceso

La técnica de termorrociado conocida también como metalización, aludiendo al tipo de recubrimiento, que en un principio de su desarrollo se utilizaba para depositar metales. Así, mediante esta técnica se pueden proyectar metales, cerámicos, cerámicos-metálicos, polímeros sintéticos o cualquier combinación deseada, según las necesidades técnicas de la industria y el tipo de material a recubrir [4].

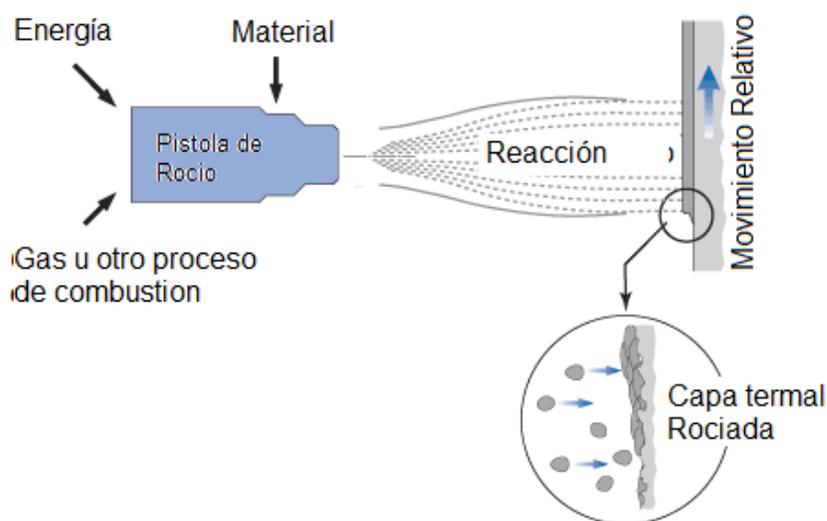


Fig. 1. 3. El proceso de recubrimiento por termorrociado.

El material es fundido y rociado a gran velocidad sobre la superficie de una pieza base o metal base como se presenta en la Fig. 1.3, para conferirle mejores propiedades físicas y químicas, aumentando su resistencia a los efectos del medio y disminuyendo los costos de mantenimiento y reparación. A partir de la combinación de las altas temperaturas de las partículas y de las velocidades de las partículas se origina una deformación cuando impactan sobre la superficie del metal base, formando capas continuas (1-20 μm de espesor) sólidas que se enfrían a altas velocidades, para formar materiales cristalinos, uniformes y de tamaño de grano pequeño. En la Fig. 1.4 se presenta la forma de una partícula esférica antes y después de impactar contra el metal

base. El metal base es generalmente preparado por medio de granallado con óxido de aluminio o hierro o arena sílice angular para aumentar la rugosidad de la superficie [4].

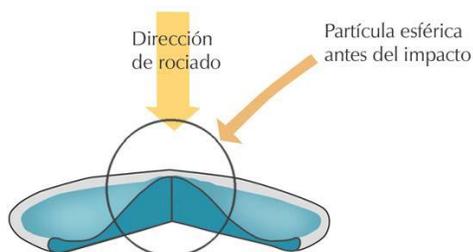


Fig. 1. 4. Esquema de una partícula durante el proceso de termorrociado.

Cuando las partículas fundidas impactan la superficie, se aplastan formando pequeñas lentejas que se adhieren a las irregularidades de la superficie y entre sí. Estas lentejas se enfrían rápidamente y solidifican formando una estructura de capas que van creciendo hasta lograr el espesor de recubrimiento deseado.

El rociado de las partículas sobre el metal base, se realiza por medio de una fuerte corriente de aire comprimido, inyectado a través de una manguera conectada a la cámara, ocasionando que millones de partículas sean expulsadas a velocidades muy alta sobre la pieza, creando una estructura homogénea sobre la superficie con excelente resistencia a la corrosión y/o al desgaste. La característica que hace especial esta técnica, es la extrema velocidad (energía cinética) que adquiere las partículas, logrando así que se anclen mecánicamente a las irregularidades superficiales que presente el metal base, resultando una macroestructura cohesiva conocida como lenticular o laminar. Cabe decir, que a mayor velocidad (energía cinética) mayor la adherencia de las partículas lenticulares (ver Fig. 1.4). Además, antes de termorrociar el metal base, éste debe limpiarse para obtener una mejor

adherencia de las partículas, pues como se explicó el mecanismo de cohesión es el anclaje mecánico [5].

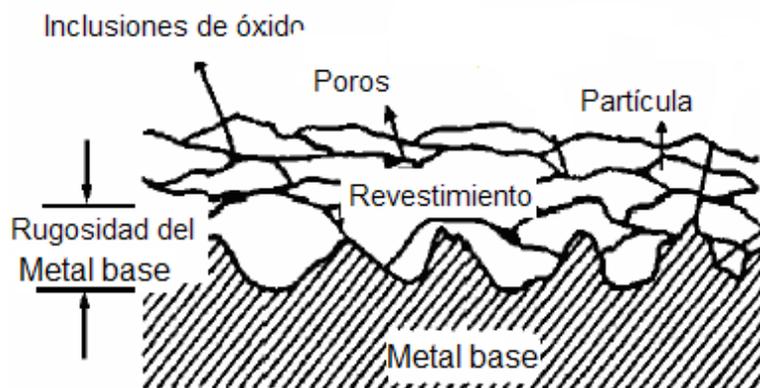


Fig. 1. 5. Sección transversal de un recubrimiento por termorrociado típico [22].

El termorrociado es un proceso muy similar a otro proceso como lo es la soldadura. Sin embargo, una diferencia esencial es que con la soldadura el material agregado y parte del material base se funden (formando un enlace metalúrgico), mientras que con el termorrociado las gotas fundidas se adhieren a través de un anclaje mecánico. A pesar del hecho que la unión es mecánica, se puede lograr fuerzas de adhesión muy altas. Algunos procesos son capaces de lograr fuerzas de adhesión que exceden a los 69 MPa [5].

Siempre y cuando un material no sublime o descomponga a temperaturas cercanas a su punto de fusión, puede ser aplicado a través de termorrociado. En la Fig. 1.6. se presenta una clasificación de los diferentes procesos de termorrociado.

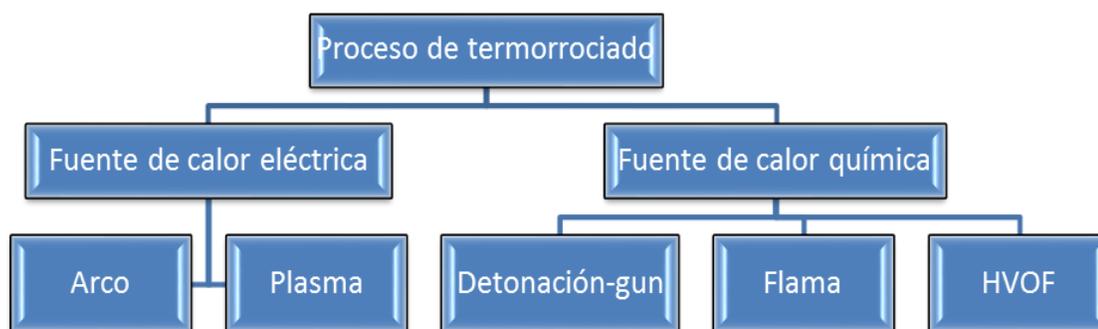


Fig. 1. 6. Clasificación de las técnicas de termorrociado [14].

Mecanismos de adherencia

Se define como tiempo de reacción, el tiempo en el cual el material proyectado se encuentra inserto en la fuente térmica y/o durante su proyección, tiempo en el cual los micropolvos sufren una serie de reacciones de índole física y química [3].

En la Fig. 1.2 se presentó la interacción de los subsistemas, en este caso a una llama oxiacetilénica se le inyectan los micropolvos, el que se encuentra inicialmente a temperatura ambiente [3]. Así, el calor que será absorbido por los micropolvos sólo es tomado del poder calorífico del acetileno, el cual se calcula a partir de la Ec. (1):

$$q = K \cdot Q \quad (1.1)$$

donde:

q: Tasa de liberación de calor BTU/h.

K: Constante de gas $C_2 H_2 = 1440$ BTU/ pies³ consumido.

Q: Flujo de $C_2 H_2$ pies³ /h.

La temperatura de la llama es de aproximadamente 3,100 °C (57,000 °F) y los micropolvos se inyectan a temperatura ambiente, por ejemplo 200 °C, lo que da origen a una transferencia de calor de llama a la partícula, la cual por lo tanto, es calentada y eleva sucesivamente su temperatura hasta semifundirla.

En algunos casos, la partícula permanecerá el tiempo suficiente en la llama, como para ser fundida [3].

La combustión del acetileno tanto incrementa el nivel de energía térmica de dicha partícula como también acelera grandemente por la expansión de los gases en combustión, por lo que también experimenta una fuerte ganancia en términos de energía cinética.

Este haz de partículas semifundidas y/o fundidas a altas velocidades, impacta sobre la superficie de la pieza, ante lo cual:

- Las partículas se deforman, adaptándose a la rugosidad con que previamente se ha preparado la pieza y por lo tanto se anclan mecánicamente.
- En muchos casos poseen suficiente energía tanto térmica como cinética, para producir una difusión metalúrgica con el metal base, produciéndose a lo largo de la interface metal base-recubrimiento, una red continua de microsoldaduras.

La adhesión de los recubrimientos por termorrociado, es atribuible al anclaje mecánico de las partículas y a una difusión localizada [3].

1.2. HISTORIA

El termorrociado fue desarrollado a principios del siglo veinte, sus primeras aplicaciones en la industria fueron para proteger contra la corrosión, con aplicaciones de zinc, sin embargo pese a existir desde aquel entonces sólo después de los años sesenta comenzó un fuerte desarrollo que cambió la naturaleza eminentemente para reparación que tenía el proceso y se desarrolló para lograr integrarlo al proceso productivo especialmente en partes de avión y en la industria textil, con la consiguiente expansión en equipos, procesos y productos para realizarlo [4].

Las primeras patentes de termorrociado datan desde 1882 a 1889, cuando el Ingeniero suizo Max Ulrich Schoop, hacía las primeras experiencias para recubrir superficies metálicas sin el uso de adhesivo o inmersión [4].

Basándose inicialmente en un proceso usado en la Edad Media, por el cual se proyectaba partículas de metal fundido con chorro de vapor o aire comprimido. Esos investigadores construyeron un aparato que consistía de un compresor supliendo aire, el cual era calentado al pasar a través de una serpentina tubular. El aire caliente era entonces usado para propulsar el metal fundido que provenía del recipiente y era proyectado como un fino rociado, que debería adherirse a la superficie preparada.

El termorrociado por arco eléctrico fue patentado alrededor de 1908. Entre los materiales que se pueden termorrociar están los aceros al carbono, acero inoxidable y zinc en forma de alambre, para ello se realizaron modificaciones al control de los equipos de arco eléctrico [4].

La industria de la metalización comenzó con ciertos tipos de metales que podían ser obtenidos en la forma de polvo. Schoop y colaboradores decidieron que sería posible rociar polvos para obtener revestimientos más adherentes. Así, de los experimentos se encontró que eso sólo sería posible si las partículas de polvo eran suficientemente calentadas por el gas, el cual las impulsa contra la superficie a ser tratada [6].

Los procesos de termorrociado por su aplicabilidad han tenido un notable desarrollo desde 1910. En 1912, Schoop y colaboradores produjeron el primer aparato para la aspersion de metal sólido en forma de alambre. El aparato fundía un alambre metálico con llama oxiacetilénica y con un chorro de aire comprimido dirigido al lugar de fusión del material metálico, se atomiza el metal fundido y proyectándolo sobre la superficie previamente preparada. Después de una serie de investigación, este primer aparato fue perfeccionado a punto de permitir mayor uniformidad de la llama oxiacetilénica, alimentación continua del alambre metálico y mayor seguridad en la operación [8].

El primer uso práctico del proceso fue hecho en Francia y Alemania durante la Primera Guerra Mundial, pero el desarrollo comercial a una escala considerable ocurrió solamente en Inglaterra a principios de los años 20. La alimentación continua del alambre fue conseguida con la adaptación de una pequeña turbina de aire comprimido acoplada a un sistema reductor. Un esquema de esta primera pistola se presenta en la Fig. 1.7.

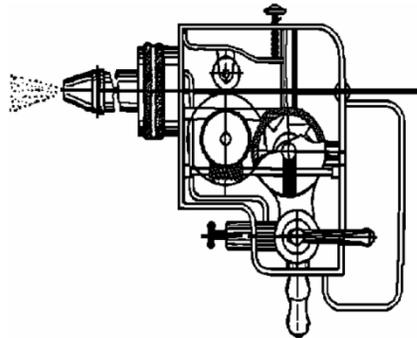


Fig. 1. 7. Sección transversal de la primera pistola de aspersión por alambre [7].

La fase de mayor desarrollo del proceso de termorrociado se dio durante la Segunda Guerra Mundial, cuando la producción de materias primas fue agotada y el reaprovechamiento de piezas y componentes era lo primordial. El proceso de termorrociado permitía la recuperación de piezas, con deposición de materiales sobre los componentes sin calentarlos, característica fundamental de este proceso.

En esta época fue desarrollado, por ejemplo, el uso de un pequeño motor eléctrico de corriente continua para la alimentación del alambre metálico. A partir de los años 60, se tiene una fase de desarrollo acelerado en virtud de los grandes avances tecnológicos, principalmente, de las investigaciones aeroespaciales, donde los desafíos en cuanto al desempeño de materiales y sistemas crecían en la misma medida de la llamada guerra fría [8].

Los procesos de termorrociado por su aplicabilidad y versatilidad han tenido un notable desarrollo que va desde el método Eutalloy en los años 60

hasta el atomizado por arco de los años 90, con la cual la adherencia de la capa termorrociada es varias órdenes superior respecto a los métodos anteriores, además disminuye apreciablemente los costos de operación y no existe un apreciable calentamiento de las piezas entre sus principales ventajas.

Si bien, estos nuevos métodos de termorrociado están siendo usados con éxito en el mundo desarrollado, a un no se tiene una completa comprensión de los procesos metalúrgicos que tienen lugar durante el termorrociado para los múltiples metales base a los que se aplican estos recubrimientos, dado básicamente a que estos se forman por unión partícula-partícula del metal aportado, resultando una capa superficial cuya estructura es altamente anisotrópica y la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas resulta compleja [8].

Además, de la variación de los parámetros tecnológicos del termorrociado, se afectan las propiedades del recubrimiento por el tamaño y distribución de la porosidad, contenidos de óxidos, tensiones residuales, agrietamientos a escalas tanto macro como microscópicas, las cuales tienen una incidencia directa en la durabilidad y calidad de los recubrimientos.

1.2.1. LA EVOLUCIÓN DESPUÉS DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Durante la segunda guerra mundial, los polvos de aspersion y pulverización de plasma revolucionaron e introducidos, muchas de las mejoras de estos procesos, pero las principales operaciones básicas permanecen sin cambios. Los polvos se alimentan ahora se alimentan de forma más directa a las llamas o a los dispositivos de combustión, que han sido modificados para generar una mayor velocidad en las partículas. Además, materiales de alimentación han mejorado significativamente, hasta el punto en que ahora están diversificados para mejores resultados en el proceso. En la Fig. 1.8 se resume el proceso de termorrociado, las aplicaciones y materiales de crecimiento, destacando metas importantes en su desarrollo histórico [4].

Creció un gran interés en las aplicaciones de los procesos de termorrociado por plasma, como también por la soldadura por plasma introducidos por Reinecke en 1939. Antes de Reinecke, un calentador de arco de gas confinado fue desarrollado para ayudar a cortar y unir. Reinecke fue el primero en demostrar que los polvos al se inyecta en un arco de plasma pueden ser fundidos y acelerados hacia una superficie para formar un recubrimiento. Una de las ventajas del proceso de pulverización por plasma fue su significativamente más alta la temperatura del proceso en comparación al de combustión por polvos. Otra ventaja fue la independencia de la alimentación del material a la fuente de calor, en comparación a los alambres portadores de corriente eléctrica del proceso de pulverización por arco de alambre. Así, en los procesos con plasma sus gases inertes formadores de plasma, mayor potencial de calor (debido a las altas temperaturas de proceso) y mayores velocidades de partículas, son en gran parte los responsables del aumento de la calidad de los revestimientos y el crecimiento subsiguiente de alta tecnología térmica desarrollada en los años 80. No obstante la tecnología de equipos de pulverización térmica vio gran parte de su progreso a finales de los años 50, con la llama de combustión o pulverización, arco eléctrico, y en sí la pulverización por plasma produjeron avances por separado [4].

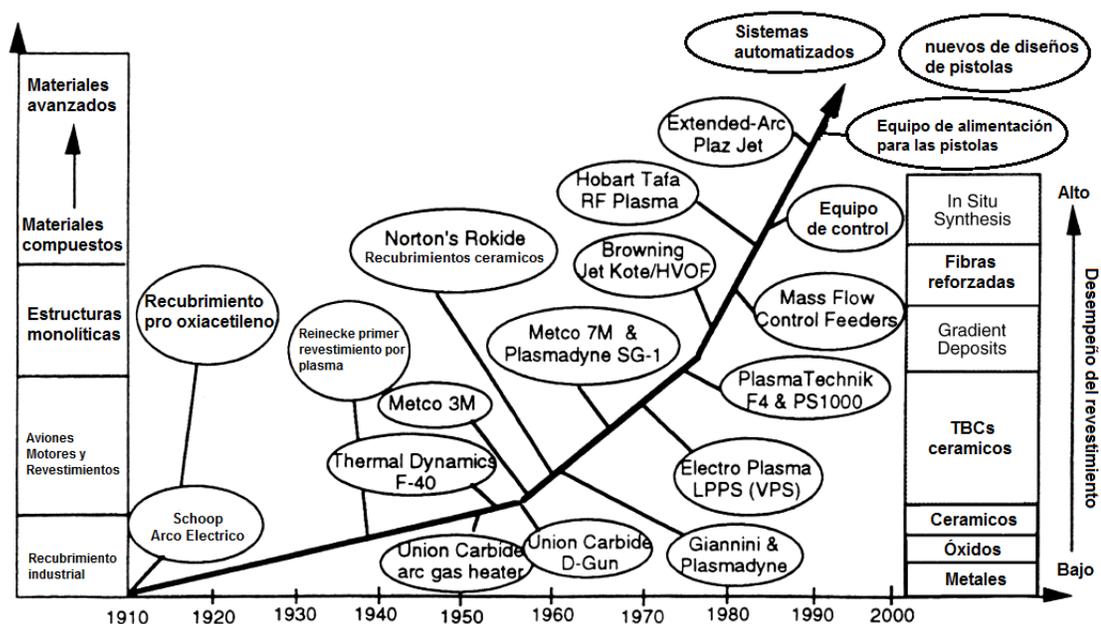


Fig. 1. 8. Cronología de la evolución térmica de pulverización, equipos, procesos y materiales [4].

1.3. APLICACIONES Y VENTAJAS

Los recubrimientos por termorrociado se aplican con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste de una superficie o metal base. Otras aplicaciones comprenden el uso para la restauración dimensional de piezas desgastadas, barreras térmicas, conductores térmicos, protección electromagnética, etc. Estos recubrimientos son esencialmente usados por muchas industrias, incluyendo la aeroespacial, agraria, automotriz, industrias primarias de metales, minería, refinerías, químicas y biomédicas. Debido a esto, el campo de aplicación se cataloga en función de una serie de requerimientos mínimos involucrados en el proceso, tales como [1]:

- Anti-adherencia para fácil limpieza,
- Conductividad o resistividad eléctrica,
- Creación de barreras térmicas (aislantes),

- Recubrimientos biomédicos,
- Reconstrucción o restauración de dimensiones,
- Resistencia a altas temperaturas,
- Resistencia a cavitación,
- Resistencia a la corrosión atmosférica y soluciones químicas,
- Resistencia al desgaste, erosión y adhesión,
- Resistencia a la oxidación y
- Rugosidad controlada para tracción óptima.

El termorrociado se usa extensivamente en manufactura, como es el caso de la industria de aeronáutica, la cual ha desarrollado cientos de aplicaciones en las que el termorrociado confiere a las superficies, resistencias al desgaste y características especiales difícilmente logrables con otros procesos. Por otra parte, la industria en general ahorra en el costo de los materiales anualmente gracias a la reconstrucción y adecuación de partes de equipos por medio del termorrociado. Actualmente, se sabe que la mejor protección que se puede lograr contra la corrosión ambiental es mediante termorrociado de zinc o aluminio acompañado de sellantes que obturan las porosidades del depósito, estos sellantes también se usan en aplicaciones en que soporta presión como es el caso de los sistemas hidráulicos de equipo pesado [1].

1.3.1. PROTECCIÓN ANTICORROSIVA POR TERMORROCIADO

La expectativa de vida de las estructuras metálicas y la duración de su apariencia estética depende esencialmente de la calidad de la preparación de la superficie y de las características de desempeño del recubrimiento que estará en contacto con el acero. En este contexto, el zinc y el aluminio juegan un papel

fundamental no sólo por su resistencia inherente a la corrosión sino también por su virtud excepcional de protección anticorrosiva activa que imparten al acero.

Estas aplicaciones son económicamente comparativas con pinturas de alto desempeño, aunque en un período de 20 a 25 años los recubrimientos termorrociados ofrecen enormes ahorros ya que no requieren mantenimiento. A continuación se enumera algunas características del Aluminio y el Zinc:

- **Aluminio**

- ✓ Resistente a altas temperaturas,
- ✓ Liviano,
- ✓ Excelente resistencia a ambientes marinos y con polución y
- ✓ Reduce la corrosión (ver Tabla 1.1.);

- **Zinc**

- ✓ Excelente protección catódica,
- ✓ Excelente resistencia al desgaste mecánico,
- ✓ Vida útil proporcional al espesor aplicado (excepto cuando es sellado) y
- ✓ Usado en anticorrosivos (ver Tabla 1.1.).

Tabla 1. 1. Metales según el ambiente corrosivo [9].

Ambiente	Metal recomendado
Polución	Aluminio
Alcalino	Zinc
Acido	Aluminio
Agua caliente	Aluminio
Protección catódica	Zinc
Daño mecánico	Zinc

En la Tabla 1.3 se presentan valores característicos para varios sistemas de proyección, en la cual se puede observar que a medida que aumentan los valores “q” y “Vp” se obtienen mayores grados de adherencia.

Tabla 1. 2 Aleaciones metálicas

Micropolvos	Características del proceso	Dureza
Acero de baja aleación	Generalmente empleado en la restitución de medidas en piezas mal mecanizadas	RB 90
Acero eutectoide	Depósitos de buena resistencia al desgaste abrasivo, rectificable	RC 38
Acero inoxidable	Buena resistencia a la corrosión. Excelente mecanizado	RB 90
Acero inoxidable martensítico AISI 410	Buena resistencia a corrosión y erosión. Especialmente indicado en reconstrucción de partes de turbinas hidráulicas	RC 35
90% Ni & 10% Al	Aleaciones exotérmica, empleada como aleación de adhesión	RB 80
Ni-Cr-Mo-Al	Aleación exotérmica de buena resistencia a la corrosión y al desgaste abrasivo.	RC 30
90% Cu & 10% Al	Aleación tipo Bronce-Aluminio de bajo coeficiente de fricción, excelente mecanizado.	RB 60
Ni 5%, Al 5%, Mo 5%	Buena resistencia a la erosión por partículas finas	RB 80
Aluminio	Depósito resistente a la corrosión atmosférica. Excelente conductividad eléctrica y como barrera para la radio frecuencia.	RB 40-50
Aluminio 10% Si	Resistencia a corrosión que es inferior a la del aluminio puro, pero de mayor dureza.	RB 90
Zinc	Depósito resistente a la corrosión atmosférica, especialmente en ambientes marinos.	RB 40-50
Cobre	Depósitos empleados como conductores.	RB 35-40

Tabla 1.3. Características de diversos sistemas de termorrociado.

Sistema	Fuente de energía	$T_{\text{máx}}$, °F	q , Btu/h	V , pies/s	σ , ksi	Materiales proyectados
ROTOTEC I-A	Combustión $O_2-C_2 H_2$	5700	50000	250-300	3.0-3.5	Metales
TERODYN 2000	Combustión $O_2-C_2 H_2$	5500	85000	400-600	4.0-6.0	Metales, Carburos y Cerámicas
Arco eléctrico	Arco eléctrico	10000	N.A	650-1000	4.5-7.0	Metales, conductores de electricidad
Plasma	Ionización Ar y/o N_2 , H_2 , He	15000	90000	1500-2200	5.0-10.0	Metales, carburos, cerámicas y poliéster
Detonación	Ionización mezcla $O_2-C_2 H_2$	5700	N.A	2000-2600	>12.0	Metales, carburos y cerámicas

Tabla 1.4. Aleaciones cerámicas.

Micropolvos	Características de depósito	Dureza
$Al_2 O_3$	Excelente resistencia dieléctrica y a la abrasión	RC 35
$Al_2 O_3$ -2% TiO_2	Depósitos más densos que alúmina pura con antidesgastes a la abrasión y erosión	RC 55
$Al_2 O_3$ -2% TiO_2	Depósitos densos de excelente resistencia a la corrosión ácida y de alcalinos. Excelente terminación por lapeado	RC 60
$Cr_2 O_3$	Resistente a la abrasión, erosión, cavitación y corrosión ácida	RC 60
ZrO_2	Resistente al choque térmico y excelente aislante. Buena resistencia a la erosión a elevadas temperaturas	RC 25

Tabla 1.5. Carburos.

Micropolvos	Características del depósito	Dureza
Tungsteno 20% Ni-Al	Depósito densos, resistentes a la erosión a temperaturas alta	RC 55
Cromo 15% Ni-Al	Resistencia a la oxidación por altas temperaturas	RC 35

Tabla 1.6. Cermets.

Micropolvos	Características del depósito	Dureza
70% Ni-Al 30% Al ₂ O ₂	Depósito resistente a la oxidación y abrasión	RC 45

1.3.2. APLICACIONES

A pesar de que el termorrociado ha sido usado por más de 20 años en puentes, componentes de maquinaria y chimeneas, es sólo en los años recientes en que el proceso se está utilizando en construcciones marítimas.

En el mar del norte cierto equipamiento especializado, el cual no puede ser mantenido o remplazarlo sin comprometer la seguridad, tales como tuberías de gas para calefacción, puentes de acceso entre plataformas y escaleras de escape, han sido protegidas por termorrociado. Asimismo, han sido protegidas aquellas zonas de difícil acceso en donde el mantenimiento es costoso o están en contacto constante con el agua [5].

Se mencionan algunas aplicaciones comunes:

- Alta resistencia al desgaste y a la corrosión de la superficie.
- Restauración dimensional (brocas de perforación, bloque de motores, conductores térmicos y eléctricos, componentes para turbinas, implementos para la agricultura entre otros).
- En la Industria:
 - ✓ Manufactura: El termorrociado es usado dentro de la manufactura de componentes originales de equipos en la industria aeroespacial,

petrolera, automotriz, biomedicina, electrónica, generadora de potencia, entre otras [5].

- ✓ Mantenimiento: La reparación de componentes es viable dentro de las siguientes aplicaciones como rodillos de impresión y de transferencia de tinta Usados en la industria de la imprenta y periódicos. Recubrimientos biomédicos como implantes de cadera;
 - ✓ Pistones hidráulicos: En la construcción pesada y equipo de movimiento de tierra, elevadores, grúas, múltiples usos industriales;
 - ✓ Ejes y pistones de gran tamaño: Ejes de barcos, equipos de refrigeración, manufactura de cemento, etc;
 - ✓ Camisas para sellado: Equipo hidroeléctrico, bombas para agua y químicos, etc.
 - ✓ Variedad de ejes y piezas: Cigüeñales automotrices, rotores de motores eléctricos, generadores, etc.
- Aplicaciones anticorrosivos: Ejes, rodillos, sellos, válvulas en las industria marina y química [5].

Transporte Marítimo:

- Cascos: Obra viva y obra muerta
- Estructuras internas: Tanques de almacenaje de combustible, agua salada, agua dulce, almacenaje, etc
- Estructuras externas: Pastecas, cañones, winches, botavaras, mástiles, etc.
- Cubiertas.

Construcciones Fijas:

- Torres de alta tensión
- Torres telefónicas
- Chimeneas
- Puentes
- Tanques de almacenamiento de petróleo, gasolina, gas, etc.

- Estructuras marinas de perforación de petróleo o gas.

Componentes:

- Ejes
- Hélices
- Bombas sujetas a corrosión.

1.3.3. BENEFICIOS Y LIMITACIONES DE LOS RECUBRIMIENTOS POR TERMORROCIADO

El mecanismo de adherencia mediante el anclaje mecánico y difusión, genera depósitos heterogéneos, es decir, con una composición nominal determinada, más una serie de inclusiones en forma de óxidos y partículas no-metales [3]. Así, en la Fig. 1.9 se pueden apreciar las heterogeneidades del depósito, caracterizado por un porcentaje de partículas no fundidas, óxidos dispersos y ligera porosidad.

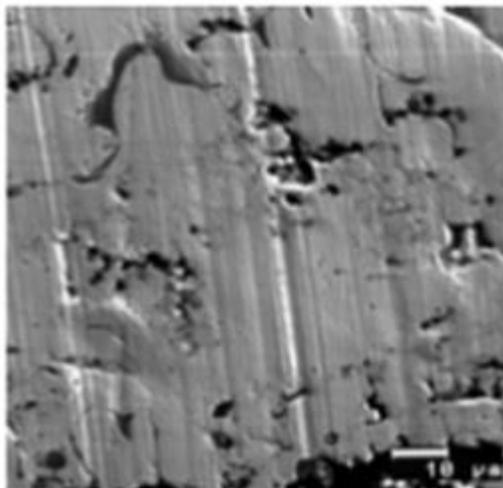


Fig. 1. 9. Micrografía de un depósito metálico.

La estructura y composición química del depósito define su comportamiento ante las diversas sollicitaciones de desgaste, pero en general se puede afirmar que la gama de materiales disponibles en la industria, permiten proteger partes y piezas, contra las más exigentes condiciones de uso y diseño, excluyéndose aquellos componentes sometidos a impacto severo, sollicitación ante la cual este tipo de recubrimiento no es recomendado [3].

A continuación se analizan los materiales más comúnmente empleados y sus aplicaciones antidesgaste (aleaciones en micropolvos, aptas para ser proyectadas con sistemas ROTOTEC I-A, TERODYN Y PLASMA) [3].

Debido a su naturaleza laminar y a las características de la adherencia con el metal base, los revestimientos de termorrociado tienen una serie de limitaciones desde el punto de vista de capacidad de soportar cargas puntuales, impacto o comportarse como barrera protectora de la corrosión. El ingeniero de diseño debe tener en cuenta estas limitaciones y las diferencias inherentes con procesos como la soldadura de arco eléctrico ya que los revestimientos termorrociados no tiene la capacidad de transportar carga mecánica, son revestimientos que recuperan y adecuan las superficies solamente [9].

1.3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS RECUBRIMIENTO OBTENIDOS POR TERMORROCIADO

Entre las características de estos recubrimientos se tienen

- La temperatura y la composición química de un recubrimiento termorrociado es heterogénea,
- Los recubrimientos metálicos tienden a ser porosos, quebradizos y presentan valores de dureza diferentes a los del material original,
- Los procesos de termorrociado pueden ser realizados en todas las posiciones, sin necesidad de que la atmósfera sea controlada, ofreciendo de esta manera gran flexibilidad para un amplio intervalo de aplicaciones,

- Se constituye en un método efectivo para minimizar el desgaste y la corrosión, lo cual permite a los industriales prolongar la vida de las partes nuevas y reparar las partes desgastadas.

1.4. CLASIFICACIÓN DEL TERMORROCIADO

El termorrociado es uno de muchos métodos de aplicación de revestimientos para la protección de materiales en ambientes severos. El termorrociado ha sido históricamente el proceso utilizado para la aplicación de recubrimientos gruesos, con lo que las propiedades de los materiales que se añaden permiten que el metal base mejore grandemente comparado con el estado inicial [10].

Muchos tipos de recubrimientos han sido desarrollados para aplicaciones de desgaste y corrosión en los que se comprenden metales, óxidos, cerámicos, nitruros y carburos. El deseo de aplicar revestimientos con diversas propiedades termofísicas se ha traducido en una familia diversa de procesos que comparten los mismos elementos básicos [10].

La aplicación de recubrimientos por termorrociado es un proceso de línea recta, y por lo tanto, hay una cierta restricción en cuanto a la forma de la pieza a recubrir y de dirección del material pulverizado. Esta última debe ser lo más cercana posible a 90° con respecto a la superficie [10].

Algunas de las limitaciones del proceso de termorrociado, en general, son las fuerzas de unión relativamente bajas, la alta porosidad y el espesor de los revestimientos, así como su incapacidad para recubrir agujero no visibles [10].

Los metales pulverizados son generalmente más duros que los metales forjados, debido principalmente a la inclusión de óxidos dispersos formados durante el proceso de pulverización. También, son menos dúctiles, debido a la porosidad y la dureza asociada con el proceso de pulverización. En la Fig. 1.10

se representa los procesos de termorrociado y se agrupan por el método de generación de calor [10].

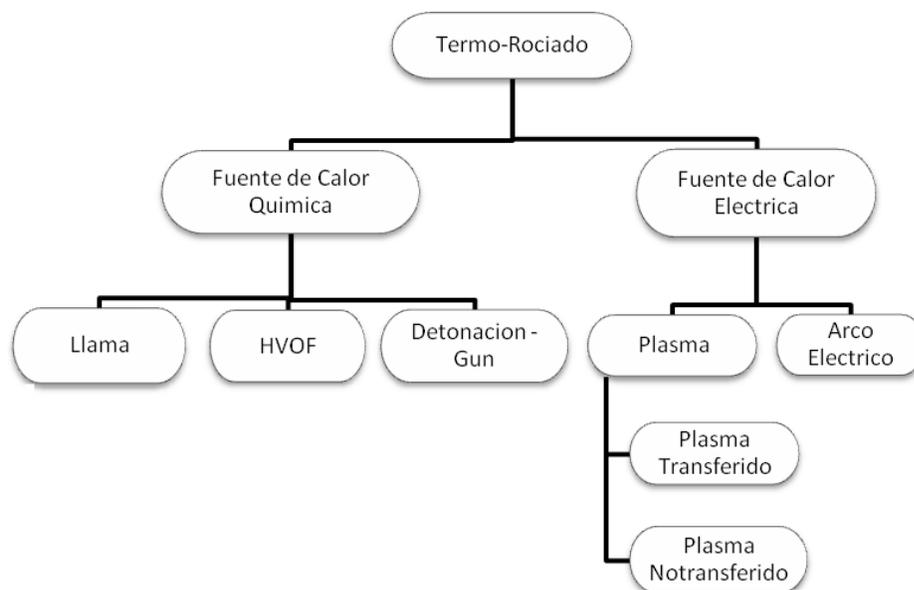


Fig. 1. 10. Clasificación de los procesos de termorrociado según la fuente de calor.

1.4.1. TERMORROCIADO POR FLAMA

El proceso de termorrociado por llama convencional fue el primer proceso de este tipo en ser desarrollado (~1910) y todavía está en uso. Polvos, alambres o varillas se introducen axialmente a través de la parte posterior de la boquilla hasta la salida de la misma donde se genera la combustión. Los materiales de alimentación se funden y las partículas son aceleradas hacia la superficie del metal base por el flujo de gas en expansión y un chorro de oxígeno [10].

Descripción del proceso

Estos procesos utilizan la energía química de una llama de oxí-combustible como fuente de calor, para fundir los materiales de alimentación en forma de polvo o alambre, estos materiales pueden ser metálicos o no metálicos con temperaturas de fusión menores a 2000 °C. Además, este grupo puede ser subdividido en: combustión por llama, oxí-combustible de alta velocidad (HVOF) y detonación [16].

En la Tabla 1.7 se presentan las temperaturas de acuerdo a la fuente de calor para los procesos de combustión [17].

Tabla 1.7. Temperaturas de fuentes de calor. [17],

Fuente	Temperatura, °C
Propano-oxígeno	2526-2640
Gas natural-oxígeno	2538-2735
Hidrógeno-oxígeno	2660-2690
Propileno-oxígeno	2843
MAPP-oxígeno	2927
Acetileno-oxígeno	3000-3100

En la Fig. 1.11 se presenta una pistola de polvos para termorociado típica o convencional, en la cual un chorro de combustible y oxígeno se quema en la parte delantera de la boquilla. En algunos diseños, un flujo de aire se alimenta a través de un conjunto de orificios concéntricos a la salida de la boquilla y se utiliza para contraer gases en expansión, generando una zona de combustión de mayor temperatura. La pistola consiste en pasajes de distribución de gas a través de la boquilla y orificios de mezcla al final de la boquilla. Las boquillas se utilizan para dar forma al patrón de rociado.

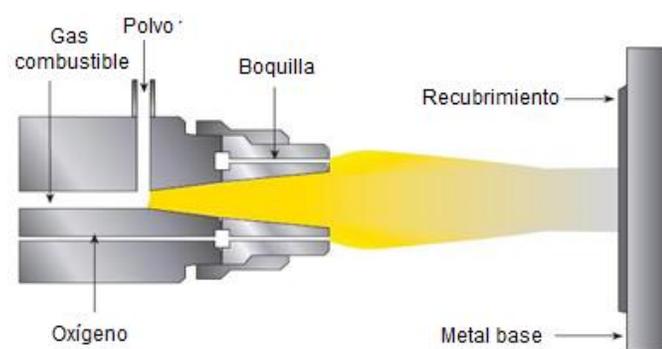


Fig. 1. 11. Pistola alimentada con polvos para termorrociado.

Cuando el proceso utiliza alambre y varilla, la pistola tiene un conducto para alimentar aire a alta presión para atomizar el alambre o varilla semifundidos. El alambre o varilla se alimentan mecánicamente a través del centro de la pistola en la zona de calentamiento. En la Fig. 1.12 se presenta una pistola alimentada con alambre. Una ventaja significativa de las pistolas con alambre sobre los polvos es que el grado de fusión es significativamente mayor, produciendo recubrimientos más densos. Además, el aire de atomización produce gotas muy finas, que a su vez producen revestimientos más delgados y lisos.

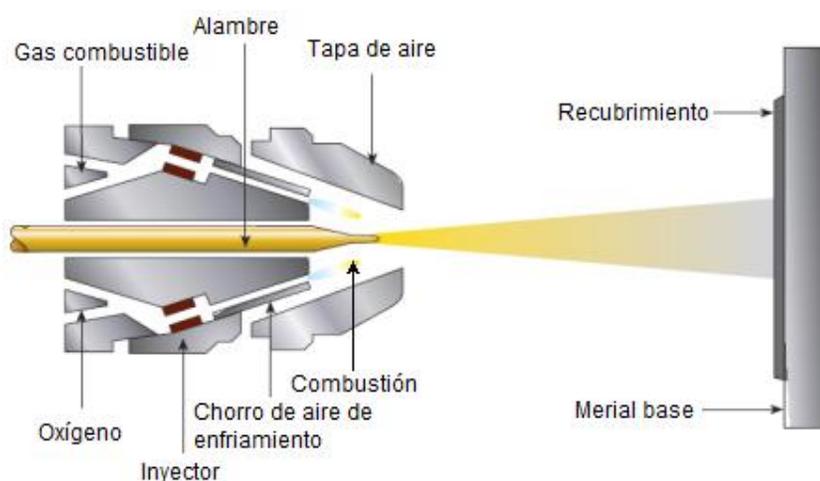


Fig. 1. 12. Pistola alimentada con alambre para termorrociado.

En los procesos por flama, la relación combustible/oxígeno se ajustan adecuadamente para producir la combustión deseada. Además, un chorro de aire opcional se puede utilizar para ajustar al perfil térmico de la llama. Las velocidades del chorro de gas normalmente está por debajo de 100 m/s (330 pies/s), generando velocidades de partículas de hasta 80 m/s (260 pies/s) antes del impacto. Las temperaturas de las partículas pulverizadas son generalmente por encima de 2600 °C (4700 °F) y son controladas por las temperaturas de combustión de las mezclas de combustible/oxígeno y los patrones de mezcla de los gases de combustión con el aire circundante. La flama se regula para ser carburantes para la mayoría de los casos con el fin de minimizar la oxidación. Generalmente, las pistolas están diseñadas para recoger parte del oxígeno necesario para la combustión del aire de atomización o chorros de aire de enfriamiento. Además, este diseño ayuda a producir recubrimientos metálicos con una menor cantidad de óxidos [10].

Termorrociado por combustión convencional

Este proceso proyecta material semifundido debido a la combustión del oxi-combustible, produciendo revestimientos porosos y con limitaciones de adherencia, a cambio de ello, es el equipo es el más barato en el mercado. Las antorchas de aspersion por flama, en su mayoría, pueden ser adaptadas para usar diversas combinaciones de gases, con el fin de obtener una optimización de los costos y la calidad del revestimiento [16].

Los gases comúnmente usados son acetileno, propano, gas metil-acetileno-propadieno e hidrógeno combinados conjuntamente con oxígeno. El acetileno es ciertamente, el gas más utilizado en función de obtener temperaturas de llama más altas, como se presentó en la Tabla 1.. Los materiales de deposición pueden estar bajo la forma de alambres, varillas, tubos o polvos. Prácticamente, es necesario solamente el cambio de la boquilla y de la tapa de aire (air cap) para adaptar la antorcha a las diferentes aleaciones, gases o tamaños de alambre.

El principio de funcionamiento se puede observar en la Fig. 1.13, en la cual se usa polvos como material de alimentación. La entrada de gas es axial y el polvo puede ser introducido axialmente o perpendicularmente en la antorcha. Las partículas de material son fundidas en la llama y aceleradas en dirección al metal base. La relación de la mezcla oxígeno - combustible puede variar de 1:1 a 1.1:1, resultando en una atmósfera carburante u oxidante, respectivamente. La temperatura de la llama varía de 2700 a 3100 °C y la velocidad entre 80 a 100 m/s [19].

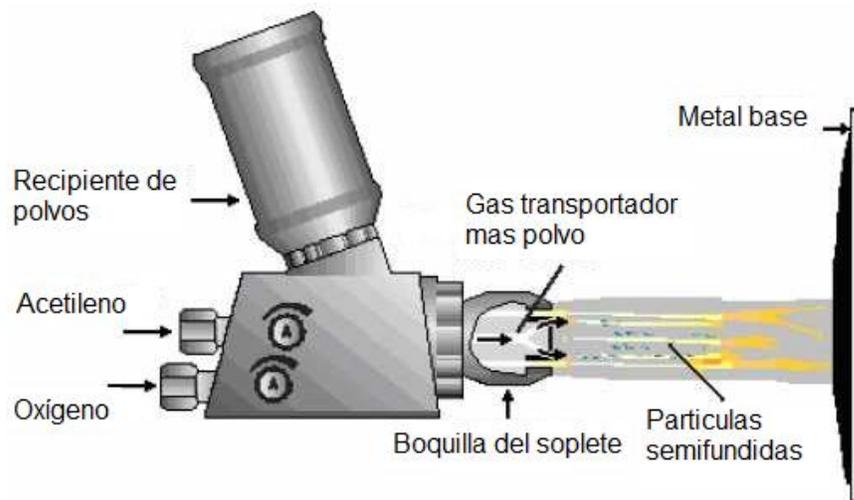


Fig. 1. 13. Esquema del proceso de termorrociado por flama con polvos [16].

Los polvos se inyecta a temperatura ambiente, en donde la aleación pulverizada y la llama acetilénica tiene la misma trayectoria, lo que da origen a una transferencia de calor de la llama a la partícula, por lo tanto, la partícula es calentada, elevando sucesivamente su temperatura hasta quedar semifundidas, y en algunos casos la partícula permanecerá el tiempo suficiente en la llama hasta ser fundida.

Además, de elevar el nivel de energía térmica de la partícula, éstas son fuertemente aceleradas por la expansión de los gases de combustión, por lo que también experimenta un fuerte incremento en términos de energía cinética.

Este haz de partículas semifundidas y fundidas que tienen altas velocidades, impactan sobre la superficie de la pieza, ante lo cual las partículas se deforman, adaptándose a la rugosidad de la pieza que ha sido preparada y por lo tanto se anclan mecánicamente. En muchos casos poseen suficiente energía tanto térmica como cinética, para producir una difusión metalúrgica con el metal base, produciéndose a lo largo de la interface metal base-recubrimiento, una red continua de microsoldaduras, en donde la adhesión del recubrimiento por termorrociado, es atribuible tanto al anclaje mecánico y a una difusión localizada. Por lo tanto, es posible definir el grado de adherencia en función de los valores “ q ” (calor) y “ V_p ” (Velocidad de partícula), de cada sistema de termorrociado [18].

La eficiencia en la transferencia de calor de la llama a las partículas dependerá del tamaño y la forma de ésta. Un tiempo demasiado largo implicará excesiva transferencia de calor, oxidando las partículas, las cuales serán depositadas en conjunto con el óxido, tanto el tamaño como la forma de la partícula son variables que pueden ser controladas mediante el proceso de fabricación adecuado y constituyen los parámetros más importantes que determinan la calidad de una aleación micro pulverizado. Es por ello que a partir de la década de los 50 el termorrociado logro afianzarse y ser aceptado industrialmente, ya que fue posible fabricar aleaciones micropulverizadas con granulometría y formas consistentes, minimizando así los defectos propios de distribuciones de tamaño de partícula y geometría no adecuadas [19].

La partícula debe tener un diámetro nominal preestablecido para el tipo de sistema que se va a usar. Para un sistema de alto poder calorífico, una partícula de diámetro nominal inferior al requerido, implicará una excesiva transferencia de calor por unidad de área superficial, produciéndose oxidación por alta temperatura.

A la inversa, partículas de diámetro nominal mayor al requerido no absorberán suficiente calor y no logran semifundirse, menos aún fundirse, impidiendo el anclaje mecánico. Para propósitos prácticos, las antorchas de

alambre, varilla o tubo son similares. Las características y temperaturas de la llama dependen de la proporción oxígeno – gas combustible y de las respectivas presiones. En la Fig. 1.14 se presenta una pistola de termorrociado por flama con aspersion de polvo.



Fig. 1. 14. Pistola de termorrociado por flama con aspersion de polvos [18].

El proceso del termorrociado de combustión con polvos metálicos como materia prima, utiliza la mezcla de los polvos metálicos con una corriente de gas, que puede ser aire o un gas combustible. Esta corriente se alimenta en un inyector central, rodeado por un orificio anular. El orificio anular se alimenta con una mezcla combustible gas y oxígeno, que genera una llama en el soplete y al atravesar las partículas por la llama que han sido arrastradas por el gas combustible da lugar a que se semifunda la mayor parte de las partículas.

El aire comprimido u otro gas son alimentados a través de orificios anulares que rodean los puertos del gas, con el objetivo de proyectar hacia el metal base las partículas fundidas [16].

Este tipo de termorrociado es capaz de depositar una amplia gama de materiales, que van a partir de polímeros a la cerámica y metales refractarios

Equipo

En las pistolas alimentadas con polvo, el polvo puede ser suministrado de dos maneras: Por gases de arrastre o por gravedad. Los dispositivos por fuerza de la gravedad tienen cartuchos de polvo montados en la parte superior de la pistola. La tasa de alimentación del polvo está controlada por una válvula de restricción en la antorcha, donde es aspirado por los gases que fluyen a través de la pistola. Con las pistolas de gases de arrastre, el polvo es alimentado con unidades montadas en el exterior. Los alimentadores de polvo utilizan una corriente de gas portador para transportar el polvo desde el alimentador, a través de una manguera hasta la pistola. Entre los gases portadores utilizados para la aspersion por flama son comúnmente aire o nitrógeno [10].

En las pistolas alimentadas con alambre o varilla el material base es suministrado de manera mecánica por medio de unos rodillos de alimentación, que tiran el alambre o varilla desde la fuente de materia prima y lo empujan a través de la boquilla.

Variables

Las variables que pueden afectar el proceso de termorrociado, mejorando el recubrimiento según las necesidades de la industria ya sea para las diferentes utilidades según la pieza a tratar.

Espesor máximo de capa

Los espesores máximos dependen del tipo de material que se aplique. Para un material cerámico, el espesor máximo puede estimarse entre 0.3 a 0.5 mm de capa rectificada, mientras que sin ningún tipo de terminación posterior a la aplicación, se pueden estimar 0.7 a 0.9 mm. El mismo caso puede adoptarse para materiales a base de carburos [20].

En el caso de materiales metálicos, el límite de espesor puede tomarse considerablemente mayor, llegando en algunos casos hasta los 2 o más milímetros [20].

Es importante aclarar también, que en la mayoría de los casos es necesario considerar un espesor de capa mínimo de 0.1 mm, salvo casos particulares donde pueden realizarse capas de 0.05 mm [20].

Proceso de termorrociado en dos etapas (Aspersión y fusión)

El primer paso es la deposición por aspersion del polvo en el lugar, durante la aspersion, el polvo alcanza su temperatura de fusión, ablandándose y deformándose antes del impacto, pero el revestimiento aún permanece con un alto grado de poros entre partículas, un segundo paso es la fusión del revestimiento con flama, por inducción, hornos al vacío, entre otros, para densificar el recubrimiento eliminando la mayoría de los poros. El mojado y coalescencia son realizados a través de la fusión de los óxidos en los polvos y en la superficie del metal base. La fusión es requerida como un postratamiento en el termorrociado con la mayoría de las aleaciones duras autofundibles. Por otro lado, este proceso está limitado a la geometría de la pieza, debido esencialmente a la necesidad de producir una fusión superficial a una temperatura entre 950 y 1050 °C [18].

Proceso de termorrociado en una etapa (Aspersión-fusión)

Este proceso consiste en la proyección y fusión simultanea de la aleación, esto se logra debido al reducido tamaño de la partícula. La pieza y/o

área a recubrir deben ser pequeñas, estar precalentadas y la distancia boquilla-pieza deberá ser menor que en el proceso de dos etapas. Las capas fundidas son bastante densas, prácticamente exentas de poros y exhiben uniones metalúrgicas. La dureza del revestimiento puede llegar a 65 HRC. En virtud de las temperaturas utilizadas para el tratamiento térmico, entre 1010 y 1175 °C, el uso de estos revestimientos es limitado a metales base que pueden soportar estas temperaturas. Las temperaturas de fusión pueden alterar las propiedades obtenidas por tratamiento térmico de algunas aleaciones, aunque esto es únicamente superficial, a no ser que la temperatura de fusión de la aleación sea demasiado bajo. Los revestimientos autofundibles son ampliamente utilizados en aplicaciones de desgaste excesivo combinado con altos esfuerzos en la interface revestimiento/metal base (cizallado o impacto) [17].

La distancia de aspersion, es la distancia entre la extremidad de la antorcha y el metal base, esta varía normalmente entre 120 a 250 mm, con un ángulo de trabajo usualmente de 90° (llama perpendicular al metal base), lo cual puede ser alterado en función de la forma del metal base. La atmósfera de aplicación de los revestimientos es por lo general aire. La resistencia de adhesión puede alcanzar 60 MPa para revestimientos de Ni-Al o hasta 70 MPa para aleaciones autofusibles, por termorrociado por flama convencional. Los valores típicos están entre 15 MPa para revestimientos cerámicos y de 30 MPa para otros materiales. La porosidad está entre el 10 y 20%, pudiendo ser prácticamente mucho menor para los revestimientos autofundible. Los espesores de aplicación típicos están entre 0.1 a 2.5 mm [19].

1.4.2. TERMORROCIADO POR DETONACIÓN

Este es un proceso bastante diferente a los demás procesos de termorrociado, en el cual en una pistola especial, se usa la energía producida por la explosión de la mezcla de oxígeno-acetileno en lugar de una combustión continua.

Descripción del proceso

Durante el disparo de las partículas de material de aporte en forma de polvo hacia el metal base, se logre tanto una alta energía térmica por la explosión como también una altísima energía cinética, las cuales propician que durante el impacto las partículas produzcan depósitos de alta densidad y alta adherencia [11].

El diseño de los procesos convencionales de termorrociado por flama limita su capacidad para producir recubrimientos densos (<2% de porosidad). Sin embargo, las pistolas de detonación producen chorros de energía térmica y cinética superiores ya que la combustión se da dentro de un tubo o cilindro en el que los polvos son introducidos. Este diseño produce una mayor transferencia de calor e impulso a las partículas de polvo. D-Gun (desarrollado por UnionCarbide, ahora PraxairSurface Technologies, Inc., Indianapolis) fue la primera forma conocida del proceso de detonación. Sin embargo, D-Gun es un proceso patentado, y otras formas de termorrociado por detonación se han convertido en los más populares comercialmente [10]. La pistola o cañón de detonación se presenta esquemáticamente en la Fig. 1.15.

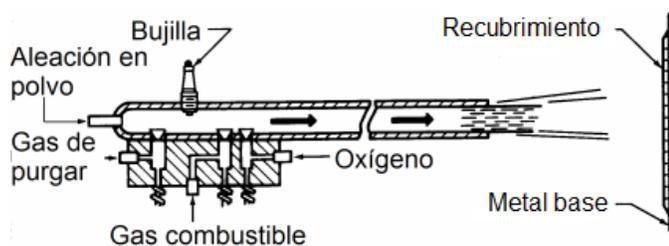


Fig. 1. 15. Equipo de termorrociado por detonación.

Equipo

La pistola consiste en un cañón largo en el cual se introduce una mezcla de oxígeno, acetileno y partículas de polvo en suspensión en nitrógeno. La mezcla de oxígeno y acetileno se hace explotar por medio de una bujía varias veces por segundo, creando una serie de ondas de choque controladas que

aceleran y calientan las partículas de polvo a medida que avanzan por el cañón. Este cañón debido a las altas temperaturas alcanzadas por la combustión es refrigerado por agua alrededor de todo el cañón. El nitrógeno se usa para purgar el cañón, entre las detonaciones con lo que se logra una atmósfera protectora de la oxidación para las partículas. El ciclo de purga, inyección y detonación se repite con una frecuencia de 3 a 6 Hz. Estos procesos son más calientes y de alto rendimiento comparado con los procesos por flama convencional y aquellos tiempos de permanencia de partículas en el cañón son más grandes. Las altas velocidades de las partículas que se generan son mayores de 800 m/s (2625 pies/s). Estas altas velocidades han demostrado que aumenta la deformación de las partículas y aumentan la unión de las partículas o revestimiento, disminuyendo gran parte de la porosidad que se presentan típicamente en los revestimientos convencionales por flama. Así, se logran temperaturas de hasta 3300 °C dentro del cañón, pero la pieza raras veces supera los 150 °C de temperatura, los espesores que se pueden obtener entre 50 y 500 μm [10].

1.4.3. TERMORROCIADO POR COMBUSTIÓN CONTINUA DE ALTA VELOCIDAD (HVOF)

El proceso HVOF (por sus siglas en inglés, High-VelocityOxyfuel), fue desarrollado en 1958 por Union Carbide (hoy PraxairSurface Technologies, Inc.), pero no llegó a ser comercialmente significativo hasta la década de 1980. El proceso HVOF es similar, en algunos aspectos, al proceso por detonación. Al igual que el proceso de termorrociado por detonación, el HVOF es un proceso de combustión interna [10].

Descripción del proceso

A diferencia del termorrociado por detonación, el HVOF opera de manera continua. Un gran flujo de gas, junto con la alta temperatura de combustión,

genera velocidades de gas en un intervalo de 1525 a 1825 m/s (5000 a 6000 pies/s). Entre los gases utilizados se incluyen el hidrógeno, propileno, propano, acetileno, y el queroseno. Esta mezcla se mantiene permanentemente encendida por medio de una bujía, creándose una fuente de combustión estable [10].

Es importante señalar que existen dos clases distintas de combustión en el proceso HVOF, los cuales están divididos de acuerdo a su presión en la cámara de combustión. La primera clase se caracteriza por presiones superiores a 241 kPa (35 psi) y una entrada de calor de 527 MJ (500.000 BTU). La segunda clase funciona a 620 y 827 kPa (90 a 120 psi) con ~1 GJ (~1 millón de BTU) de entrada, por lo general es alimentada con queroseno [9] (ver Fig. 1.16).

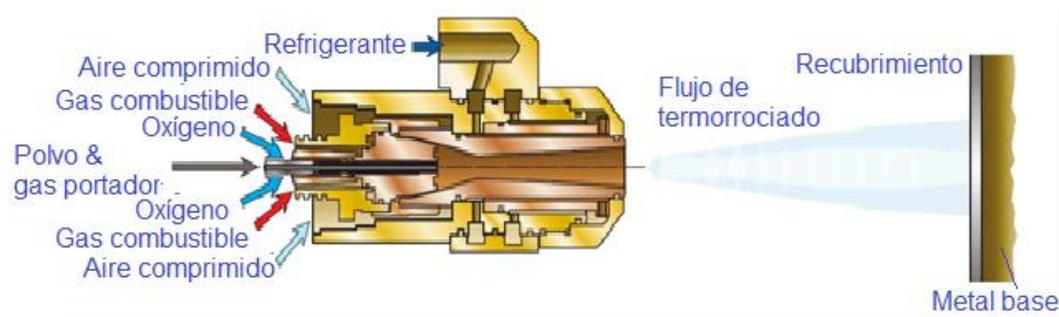


Fig. 1. 16. Esquema de pistola HVOF.

Equipo

El sistema del HVOF es similar al utilizado para termorociado por flama convencional. No obstante, las pistolas que se emplean en el HVOF requieren sistemas de refrigeración.

Entre los principales componentes del proceso de termorociado por HVOF, se tienen:

- Oxígeno, gas combustible, y polvo transportado por un sistema de gas que consiste en un suministro de gran volumen, mangueras de alta presión,

reguladores de flujo para el oxígeno y el combustible, controles de flujo y supresores de retorno en la pistola y los reguladores.

- Una pistola de termorrociado HVOF, que comprende en su cuerpo de una cámara de combustión, inyector de polvo y la boquilla.
- Sistema de refrigeración por agua o aire
- Suministro de materia prima: Polvos de alimentación a alta presión.

Existen cuatro diseños principales del proceso de termorrociado por HVOF, estos son:

- Pistolas alineadas axialmente, cámara de combustión y tobera colineales, donde los gases se suministran a través de un mezclador en la cámara de combustión. El gas portador y partículas de polvo se inyecta en el centro de la cámara mezcladora.
- Cámaras de combustión en las que los gases calientes se alimentan dentro de la boquilla a través de un conector de ángulo recto. El polvo se inyecta a través del conector en la cara posterior del mismo, el cual centra el flujo de polvo dentro de la tobera.
- Una adaptación de diseño convencional de la pistola para el proceso por flama, donde la combustión puede o no ser confinada por una boquilla refrigerada por agua en la cual se inyecta una corriente de polvo con un gas portador.
- Procesos de alta presión, sistemas con queroseno e inyección radial descendente en la salida de la cámara de combustión [10].

1.4.4. TERMORROCIADO POR ARCO ELÉCTRICO

Este método es conocido por su nombre en el idioma inglés como Arc Spray o Twin-WireArc, el método fue desarrollado originalmente por M.U.Schoop aproximadamente en 1910, pero el proceso no obtuvo amplia aceptación comercial hasta principios de 1960.

Descripción del proceso

A diferencia de los otros procesos de termorrociado, que indirectamente calientan las partículas metálicas usando chorros de gas, el proceso por arco eléctrico, utiliza un arco de corriente continua (CC) entre dos electrodos consumibles para llevar a cabo la fusión directa. Estos electrodos son alimentados juntos continuamente. En la Fig. 1. 17 se presenta esquemáticamente este proceso [9].

Debido a que los alambres se funden directamente por el arco, la eficiencia térmica del proceso es considerablemente mayor que la de cualquier otro proceso. Un chorro de aire a alta velocidad es inyectado atrás de los electrodos. Los intervalos de velocidades del flujo de aire son entre 0.8 a 1.8 m³/min (30 a 65 pies³/min). El metal fundido se atomiza, o se rompe, en partículas más finas, creando una distribución de gotas muy finas de metal fundido. El aire se utiliza para acelerar las partículas fundidas hacia la superficie del metal base, donde al impactar se deforman y se solidifican para formar el revestimiento. Con el fin de minimizar la oxidación en el proceso, el tiempo de permanencia del metal fundido debe ser corto [10].

Este proceso transfiere menos calor al metal base por unidad de material rociado que cualquier otro procedimiento de termorrociado, debido a la ausencia de una llama o chorro de plasma.

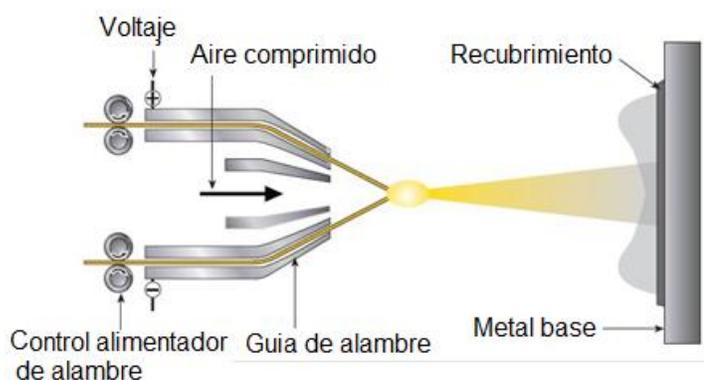


Fig. 1. 17. Esquema de pistola de termorrociado por arco.

Equipo

Un sistema típico de termorrociado por arco eléctrico consiste en lo siguiente:

- Fuente de corriente continua de voltaje constante,
- Suministro de aire comprimido,
- Sistema de alimentación del alambre, que comprende un motor eléctrico o accionado por aire, ruedas de tracción y los dispositivos de tracción del alambre.
- La pistola que comprenden una boquilla de aire, guías para las puntas de los alambres, mangueras y el arco protector.

La estabilidad del arco se rige por muchos factores, incluyendo el diseño de la fuente de alimentación, la rectitud de alambre, las tolerancias de las guías del alambre y la constancia de la alimentación del alambre. La mayoría de fuentes de alimentación están limitadas para operar por encima de 50 A en DC; muy pocos diseños permiten la operación por debajo de 25 A en DC.

El flujo de aire de atomización, también, sirve como aire de refrigeración para las guías de alambre y puntas de contacto. El aire comprimido es necesario que se mantenga limpio y seco para la vida prolongada y un funcionamiento continuo del equipo. La mayoría de los sistemas requieren un flujo de 1.8 m³/min (65 pies³/min) y una presión de 690 kPa (100 psi).

Las tasas de depósitos que se pueden obtener por termorrociado con arco, son apreciablemente superiores a las obtenidas con termorrociado a gas y sus adhesiones son bastante superiores, siendo únicamente superadas por los sistemas de alta velocidad como el HVOF.

Como ya se mencionó se utilizan fuentes de corriente directa, las cuales energizan uno de los alambres como positivo (ánodo) y el otro como negativo (cátodo). La punta del cátodo se calienta más que la del ánodo, y por lo tanto funde más rápidamente, por lo tanto las partículas desprendidas del cátodo son más finas que las desprendidas del ánodo, si los dos alambres son del mismo diámetro.

1.4.5. TERMORROCIADO POR ARCO PLASMA

Es un proceso que usa electricidad y un gas para formar el plasma en el cual genera la fuente de calor para calentar los polvos.

Descripción del proceso

Los equipos de termorrociado por plasma, como su nombre lo indica trabajan básicamente utilizando antorchas que generan un plasma, se clasifican en dos subgrupos los de plasma transferido (Plasma Arc Transferid, PAT) en el cual el arco eléctrico se establece entre el electrodo de tungsteno en la antorcha y la pieza a trabajar, y los de plasma no transferido en los cuales el arco eléctrico se produce entre el electrodo de tungsteno y la boquilla sin tocar la pieza. En ambos casos el material de aporte esta en forma de polvos.

Equipos de termorrociado por plasma transferido

El término plasma, es usado para describir una familia de procesos para trabajar metales que comprende termorrociado, soldadura por fusión y revestimiento así como corte. Todos ellos usan la contricción del arco para producir energía térmica de alta densidad. La contricción del arco se logra forzando el arco eléctrico a través de un orificio. Durante el calentamiento, el gas acompañante es parcialmente ionizado formando el plasma. En el procedimiento por plasma transferido, el arco se forma entre el electrodo de tungsteno de la antorcha y el metal base, la corriente de plasma acompaña el arco y calienta muy rápidamente la superficie del metal base hasta fundirla muy superficialmente, dentro de la corriente de gases de protección del arco plasma se introduce el material de aporte en forma de polvo el cual al entrar en la corriente de plasma se funde y se deposita sobre la superficie en forma muy similar a un proceso de soldadura por fusión. Debido a la altísima temperatura del arco plasma es posible avanzar muy rápidamente logrando penetraciones mínimas en el metal base (ver Fig. 1.18).

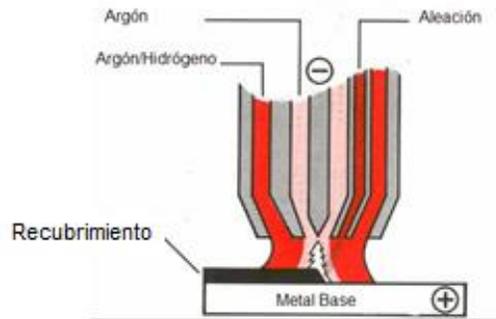


Fig. 1. 18. Esquema de equipo de termorrociado por arco plasma transferido.

En general las aplicaciones realizadas con estos equipos son aplicaciones automatizadas, en válvulas y sus componentes o partes de moldería en la industria de vidrio. Sin embargo, existen antorchas para operación manual. Las aleaciones de material de aporte usadas son en general del mismo tipo de las utilizadas en el termorrociado a gas. Este proceso se usa en la fabricación de elementos de válvulas y tornillos sinfín como los usados en la extrusión e inyección de plásticos [11].

Equipos de termorrociado por plasma no transferido

A diferencia del arco por plasma transferido el proceso de termorrociado por plasma no transferido, forma el arco entre el electrodo de tungsteno de la antorcha y la boquilla restrictora, el metal base no forma parte del circuito eléctrico. El polvo es introducido en la corriente de plasma que sale eyectada de la boquilla donde las partículas se funden y son proyectadas al metal base, ver Fig. 1.19. La temperatura de la corriente de plasma puede llegar a los 8,300 °C por lo que es posible fundir tanto materiales metálicos como no metálicos, en especial los cerámicos los cuales son ampliamente aplicados con este proceso con el cual se logran las máximas calidades de aplicación de materiales refractarios y con altas temperaturas de fusión.

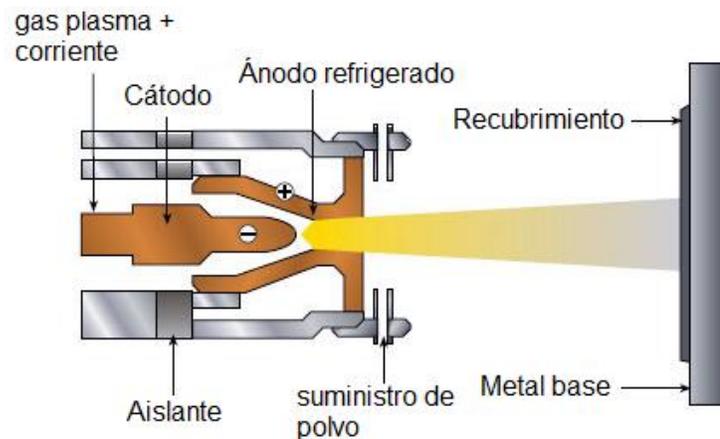


Fig. 1. 19. Esquema de equipo de termorrociado por arco plasma no transferido.

Los equipos constan de una fuente de poder, generalmente de corriente directa del tipo de voltaje constante, una consola de control, una antorcha para generar el arco por plasma y un alimentador de polvo para introducir este en la corriente de gases. Estos equipos se operan tanto manualmente como automáticamente, su más amplia utilización está en la industria aeronáutica y en la industria textil [11].

1.5. MATERIALES DE TERMORROCIADO

Los recubrimientos sobre componentes mecánicos se utilizan ampliamente sobre todo en la industria metalúrgica con el objeto de mejorar las propiedades mecánicas y tribológicas de la superficie como la resistencia al desgaste y a la corrosión, mejorar la lubricación, disminuir la fricción y hasta otorgar brillo y mejorar la estética

Los materiales rociados son utilizados en forma de alambre, varillas o polvo. Algunos metales, óxidos y compuestos intermetálicos. Plásticos

orgánicos, ciertos vidrios y cerámicas pueden ser depositados por una o más de los procesos de termorrociado [12].

1.5.1. ESTRUCTURA DEL REVESTIMIENTO

La estructura y composición química de los revestimientos depositados, rociados en aire son diferentes a las características del mismo material antes de ser rociado.

Las diferencias en la estructura y composición química se deben a la naturaleza del revestimiento, a la reacción del material con los gases del proceso y con la atmósfera circundante mientras el material se encuentra en condición semifundido [12].

El aire u oxígeno son utilizados como gases en el proceso, se forman óxidos del material aplicado y se convierten en parte del revestimiento. Los revestimientos metálicos tienden a ser porosos y frágiles y a tener una dureza distinta a la del material original. Las estructuras de los revestimientos termorrociados serán similares en su naturaleza laminar, pero exhibirá variaciones en sus características, dependiendo del proceso particular de termorrociado utilizado, los parámetros del proceso, técnica empleada y el material aplicado [12].

El esquema de la Fig. 1. 20 presenta la expectativa de vida de diversos recubrimientos anticorrosivos, un aceite secante es aquel que absorbe oxígeno del ambiente (auto oxidación), paquetes CRP (basado en British Standards Institución con la norma B.S. 5493)

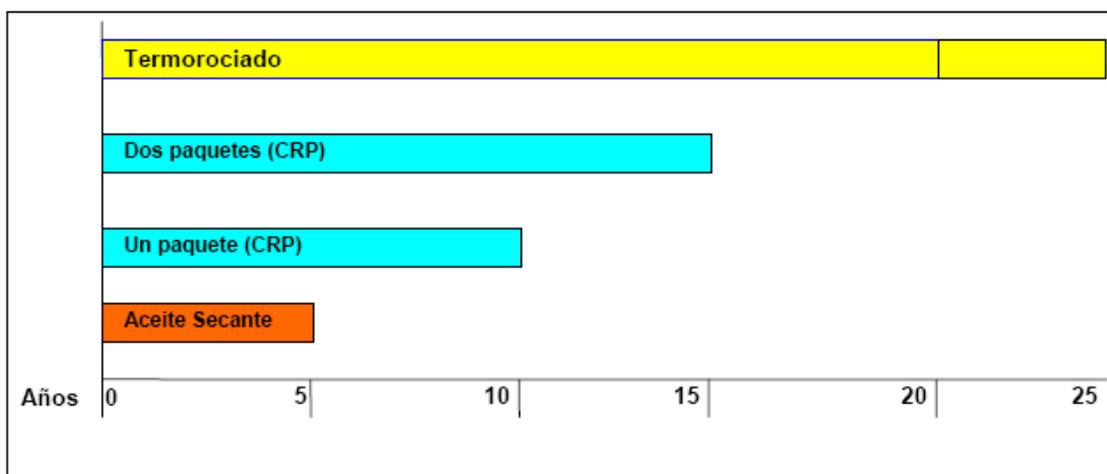


Fig. 1. 20. Expectativa de vida de diversos recubrimientos anticorrosivos (basado en British Standards Institution con la norma B.S. 5493) [13].

1.5.2. CARACTERÍSTICAS DE RECUBRIMIENTOS

En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar algunas propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como apariencia y resistente a la corrosión y/o al desgaste.

Recubrimientos de aluminio

El aluminio termorrociado soportará muchas soluciones diluidas de ácido (pH 3.5 o mayores) no obstante la química del reactivo o la naturaleza de la superficie del recubrimiento son las que darán la verdadera vida útil [14].

Muchas soluciones diluidas de ácidos nítricos o sulfúricos, o muchos de los ácidos orgánicos tienen poco efecto en los recubrimientos termorrociados de aluminio con selladores adecuados. Algunas razones para utilizar el aluminio como recubrimiento son:

- Resistente a altas temperaturas
- Bajo peso
- Excelente resistencia a ambientes marítimos y con polución
- Reduce la corrosión [14].

Recubrimiento de zinc

El zinc es más resistente a aguas duras que a aguas blandas, tiene poca resistencia a temperaturas superiores a 420 °C en todo tipo de agua.

El zinc termorrociado tiene muy poca resistencia a casi la mayoría de ácidos, orgánicos o inorgánicos. Los recubrimientos con zinc son usados generalmente de 6 a 12 pH.

Algunas razones para utilizar el Zinc como recubrimiento en el proceso de termorrociado son:

- Excelente protección catódica
- Excelente resistencia al desgaste mecánico
- Vida útil proporcional al espesor aplicado (excepto cuando es sellado)
- Usado como anticorrosivo [14].

Aleaciones de carburo de tungsteno-cobalto-cromo

La familia de los carburos constituye un gran intervalo de materiales usados por la industria de termorrociado. Ha sido desarrollado para superar la degradación de los componentes industriales, el comportamiento de los recubrimientos cermet depende de la resistencia de cada uno de sus componentes microestructurales, estos son la fase cerámica y la cubierta metálica, para ese caso el componente cerámico es el carburo de tungsteno que es unido por el cobalto y el cromo que lo cubren [13].

Algunos de las investigaciones más recientes con este tipo de recubrimiento han sido desarrolladas por Thorpe & Sobolev (2001), y han llegado a caracterizar ciertos comportamientos como la velocidad de la partícula dependiendo de la distancia a la que se aplica el rociado para una relación de flujo de combustible por ejemplo propileno con una relación de oxígeno de 0.135 y para una velocidad de superficie de 200 pies/min (ver Fig. 1.21.).

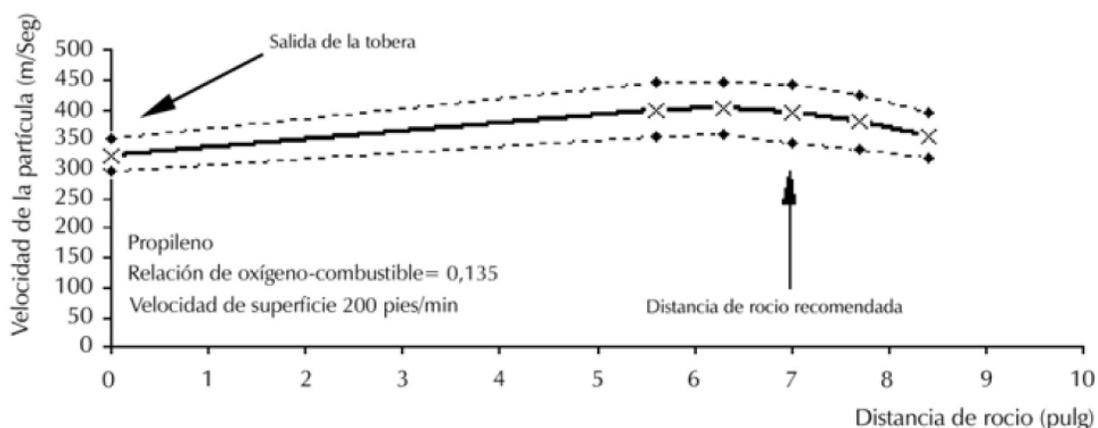


Fig. 1. 21. Variación de la velocidad de las partículas de WC-Co-Cr, a diferentes distancias de roció por HVOF con propileno y para una relación de flujo de combustible-Oxígeno y velocidad en la superficie constantes [13].

1.6. PARÁMETROS Y VARIABLES

Los efectos de la velocidad y la temperatura de la partícula sobre las características del recubrimiento han sido estudiados por un gran número de investigadores. Dependiendo del proceso y técnicas aplicadas para la particular a termorrociar así serán los parámetros a utilizar. Para producir recubrimientos de calidad se requiere un conocimiento detallado de cómo los parámetros de entrada del proceso afectan la temperatura y la velocidad de la partícula. La relación de densidad del depósito termorrociado varía con la velocidad de las partículas y la temperatura de la fuente de calor del proceso. Algunos de los parámetros que se encuentran en el proceso desde la cámara de combustión hasta la superficie a proyectar se presentan en la Fig. 1.2, de la misma manera en la Tabla 8 se presenta algunas variables con los parámetros adecuados para cada proceso de termorrociado en específico.

Entre las variables más importantes del proceso, se tienen:

- Distancia del rociado
- Relación oxígeno/combustible y la presión de la cámara
- Morfología y procesamiento de los polvos

- Gas de transporte
- Flujo de alimentación de polvos
- Longitud del cañón de la pistola [13].

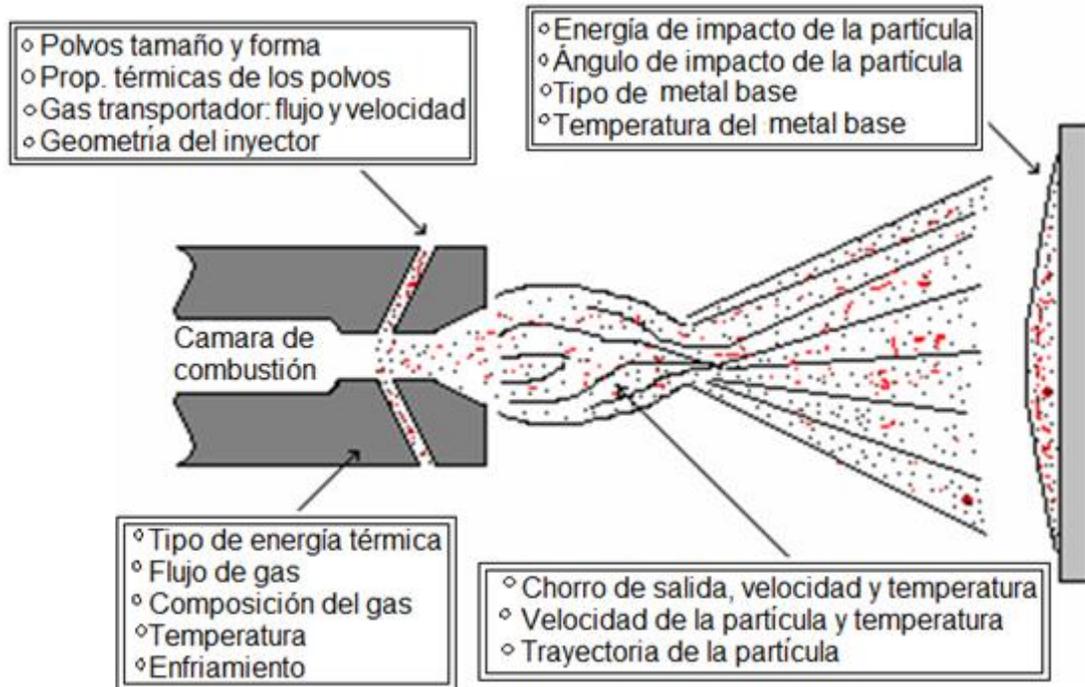


Fig. 1. 22. Parámetros generales del proceso HVOF [14].

1.6.1. EFECTO DE LA DISTANCIA DE TERMORROCIADO

Yang (1996), modeló el movimiento de las partículas y su comportamiento térmico durante el proceso de termorrociado, el cual fue validado con datos experimentales obtenidos en una pistola TAFE JP-5000. Se utilizaron polvos de la aleación INCONEL 718 (súper aleación base níquel) y obtuvieron el comportamiento de la temperatura y velocidad de las partículas en función de la distancia, desde el punto de inyección de los polvos en el cañón hasta la ubicación del metal base a recubrir. Para esta investigación se evaluaron distintos diámetros de polvo y velocidades de inyección de los

mismos de velocidades que oscilan entre 50 y 1000 m/s y proyectarlas contra las superficies a ser recubiertas [13].

En general, mientras más alta es la velocidad de la partícula al impactar mejor será el recubrimiento obtenido. Esto se debe a que una mayor velocidad simplemente compacta las partículas más densamente en el recubrimiento. Esa diferencia de velocidades para diferentes tamaños de partículas, puede explicarse por la inercia de la partícula y así por el mecanismo de aceleración y desaceleración de la misma [12].

Respecto al efecto de la distancia de rociado sobre la temperatura de la partícula, Yang & Sobolev (1996), determinaron para diversos polvos de alimentación que el comportamiento térmico de la partícula durante su viaje al metal base depende de su morfología, tamaño, forma, temperatura inicial, de la transferencia de calor del gas a la partícula, del material de la partícula y de sus propiedades termofísicas. Esto se presenta en las Fig. 1.23 y 1.24 para polvos de carburo de tungsteno 12% cobalto [13].

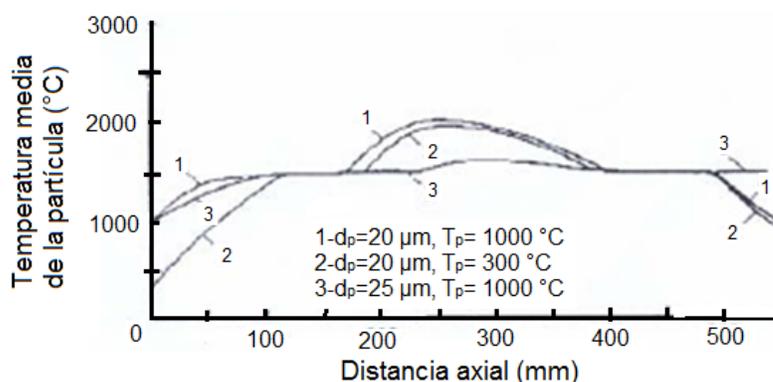


Fig. 1. 23. Variación de la temperatura promedio de las partículas de WC-12%-Co con diferente morfología durante el termorrociado, Sobolev (1996) [12].

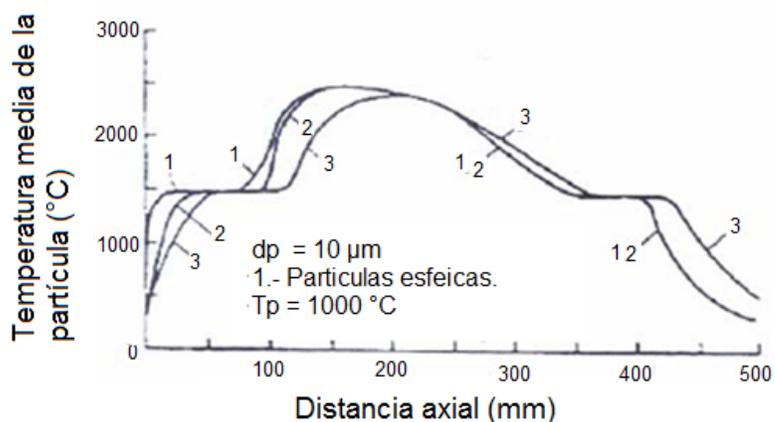


Fig. 1. 24. Variación de la temperatura promedio de las partículas de WC-12%-Co de diferentes diámetros, durante el termorociado, Sobolev, (1996) [12].

Esto significa que la distancia de rociado óptima aumenta con el peso de la partícula. Debido a que un aumento en el peso de la misma causa una disminución en su velocidad y así un aumento en su tiempo de residencia a altas temperaturas en la llama [9].

Es importante destacar que el intervalo de distancias de rociado permisible y su valor máximo aumenta con el diámetro de la partícula [13].

1.6.2. RELACIÓN OXÍGENO/COMBUSTIBLE Y PRESIÓN DE LA CÁMARA

Las variables de velocidad y temperatura de partícula son las responsables directas de la calidad del recubrimiento obtenido, por lo que los caudales de oxígeno y combustible y la relación existente entre ellos son los factores que durante la proyección térmica, con un tipo de pistola determinado y una distribución de tamaños, composición de fases y morfologías prefijadas, pueden ser modificados con el objetivo de alterar dichas variables y así obtener una óptima calidad del recubrimiento, Sobolev (1999) [13].

1.6.3. MORFOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE LOS POLVOS

La forma y tamaño de las partículas son de gran importancia en los procesos, así como la velocidad de alimentación en la pistola, transferencia de calor y la interacción con la atmósfera durante el viaje de los polvos hacia el metal base, Sobolev (1999) [13].

Los polvos obtenidos por procesos de atomización de un gas tienden a ser esféricos, mientras que los atomizados con agua y los obtenidos por molienda son angulares. Los polvos pueden tener los mismos tamaños pero de diferente morfología lo cual tiene una influencia significativa en las características del recubrimiento termorrociado. Por lo tanto, además de especificarse el tamaño de los polvos, debe también indicarse la morfología de los mismos.

Según Kepraski (1993), en algunos casos un tamaño de la partícula muy fino tenderá a generar esfuerzos residuales más altos en el recubrimiento, posiblemente debido a que el rápido enfriamiento reduce el tiempo para que el recubrimiento pueda relajar térmicamente los esfuerzos por deformación plástica.

La tasa de alimentación del polvo dentro de la cámara de combustión es importante en este proceso, si ésta es baja, algunos polvos pueden volatilizar, incrementando los costos de operación y deteriorando la calidad de la superficie; de lo contrario si la velocidad es alta, el polvo no puede ser totalmente semifundido, entonces disminuye la eficiencia y aumenta la posibilidad de que existan partículas sin fundir atrapadas dentro del recubrimiento.

Usualmente las pistolas poseen un dispositivo para ajustar la tasa de alimentación del polvo dentro del flujo de gas [13].

1.6.4. TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Las condiciones térmicas óptimas para el termorrociado pueden ser más fácilmente alcanzadas para diámetros de partículas que estén en un intervalo entre 20 y 40 μm .

Las partículas con un tamaño mayor que 40 μm no se fundirán adecuadamente. En cambio las partículas con un tamaño menor que 10 μm de diámetro tendrán una tolerancia muy estrecha para la distancia de termorrociado óptima, la cual puede ser muy difícil de controlar

2. DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Para diseñar el accesorio de termorrociado, se tomó como referencia la técnica de termorrociado por flama, ya que se estableció que éste se acoplará a un maneral de oxicorte.

En un maneral de oxicorte se tienen dos tipos de flamas: la flama de precalentamiento y la de corte, por lo tanto se cuenta con un gas de corte, el cual se puede utilizar para acelerar los polvos metálicos y la flama de precalentamiento para semifundirlos.

La utilización de un maneral de oxicorte como dispositivo para aciplar un accesorio para poder termorrociar tuene muchas ventaja, ya que se cuenta con el control por separado de la flama de precalentamiento y el gas de corte. La idea principal del diseño es aprovechar las diferentes partes del maneral de oxicorte, para fabricar un accesorio que sea desmontable y no se modifique el diseño del cortador.

En el diseño se tomaron en consideración los principales componentes que constituyeron el accesorio de termorrociado. Dentro de estos componentes se tienen: los mezcladores de gases y polvos, boquilla de gases, tolva de polvos e inyector de oxígeno.

2.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Para proceder con el diseño se identifican los requerimientos que el accesorio debe cumplir, los cuales son:

- Un accesorio que se acople fácilmente al maneral de oxicorte
- Mezcla correcta de polvos y oxígeno
- Sistema efectivo de alimentación de polvos
- Alimentación de polvos por efecto Venturi
- Boquilla que permita el flujo de polvos y gases
- Bajos costos de fabricación.

2.2. IDEAS DE DISEÑO

Entre las ideas y pasos en los que se fundamentará el diseño del accesorio, se tienen:

- Sujetar a través de una brida roscada el mezclador con tal de no modificar el maneral de corte y con esto hacer un accesorio fácil de desmontar
- Diseño de un mezclador en el cual se aproveche la distribución de los gases y su control
- Diseño y dimensionamiento de ductos transportadores de gases y polvos, basado en las dimensiones de ductos del maneral de oxicorte
- Diseño y elección de la posición de la tolva para polvos
- Diseñar un inyector de oxígeno con el cual se genere el efecto Venturi para la alimentación de polvos
- Selección de boquilla para polvos
- Buscar las diferentes opciones de control de alimentación de polvos
- Selección de materiales para la construcción del accesorio
- Búsqueda de partes y accesorios que se puedan acoplar al diseño y poder utilizarlos como componentes del accesorio.

2.3. PROPUESTA DE DISEÑO

En base a los requerimientos e ideas para el diseño se presentan las siguientes propuestas:

- Se trabajó y discutió un diseño en el cual la pistola de termorrociado se soldara al maneral, para ello se cortaría y luego soldaría dicho maneral. Así, luego de analizar esta opción se concluyó que no era factible, ya que los materiales y dimensiones del maneral no lo permitían, además su fabricación hubiese sido muy complicada.
- Se diseñará el accesorio de termorrociado de tal manera que se pueda

enroscar en la misma posición de la boquilla de corte. Esto se logra a través de dos bridas, una que se enrosca en el maneral y a la vez se emperna en la brida que es parte del cuerpo del mezclador. Con esto logramos tener una pistola fácil de desmontar y sin alterar el diseño del maneral.

- El diseño del mezclador de polvos se basará en el mismo del maneral de corte oxígeno-acetileno; es decir, se diseñará de forma que el mezclador se acople al maneral como lo hacía la boquilla de corte, para ello se copiará la misma forma de asiento de la boquilla. Los ductos de gases se diseñarán de la misma forma que el maneral; es decir, que la pistola contará con dos tipos de ductos para gases: uno para la mezcla oxígeno-acetileno (mezcla que realiza la combustión y a la vez calienta la pieza a cortar) para calentar los polvos y el otro ducto para el oxígeno (oxígeno a alta presión que normalmente realiza el corte) que será el encargado de arrastrar los polvos metálicos. La mezcla oxígeno-acetileno se controlará con las válvulas del maneral y el oxígeno alimentador de polvos con la palanca del oxígeno de corte.
- La distribución y diámetros de los ductos se diseñarán en base a los posee el maneral de corete, con el fin de garantizar la conexión adecuada entre la pistola y el maneral, y permitir la libre circulación de los gases.
- La posición normal de un maneral de corte, es horizontal. No obstante debido a que la tolva debe quedar en forma vertical para que los polvos puedan ser alimentados por gravedad, se optó por confinar el uso del quipo (maneral de corte y pistola de termorrociado acoplados) de forma vertical y así no tener problemas de alimentación de polvos.
- Teniendo como base el tipo de boquilla de corte, sólo se seleccionará el tamaño de la misma en base al diámetro de las partículas de polvos y al tipo de aplicación, para lo cual será necesaria una boquilla con orificios grandes.
- Para el control de la alimentación de los polvos se plantearon diferentes opciones, y se concluyó que la mejor manera es hacerla por medio de un ducto de caucho, que será presionado por un perno de punta redonda

cuando se necesite cerrar el paso de los polvos. Con esto se garantiza que no exista atascamiento de los polvos y que el sello sea completamente hermético.

- En base a la información recopilada para este tipo de aplicaciones y de equipos o dispositivos similares se procederá a seleccionar materiales.
- Se investigó y discutió sobre las piezas y/o partes que se requieren y al mismo tiempo la disponibilidad con que se cuenta en el mercado local, con el fin de agilizar la construcción y no cometer errores al momento de seleccionarlas.

2.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se detallan las diferentes teorías utilizadas y las variables de diseño con las cuales se fundamentan los cálculos realizados.

2.4.1. SELECCIÓN DE POLVOS METÁLICOS

Los polvos a utilizar serán de uso industrial, de la marca Eutectic Castolin del tipo Eutalloy® ChromTec 10680. Así, en la Tabla 2.1 se presentan las características correspondientes [20].

Tabla 2.1. Propiedades de los polvos metálicos ChromTec 10680.

INFORMACIÓN TÉCNICA	VALORES
Dureza, HV ₃₀	200 – 240
Rango de fusión (Sólido/Líquido), °C	1050 – 1280
Densidad aparente, g/cm ³	8.1
Tamaño de polvos, µm	45
Características	Alta resistencia a la corrosión y buena maquinabilidad
Aplicaciones	Especial para restauración y revestimiento de aceros inoxidables, aleaciones base níquel y hierro fundido
Composición	90-98 % de níquel 1-5 % de silicio 1-5 % de boro



Fig. 2. 1. Polvos Eutalloy® 10680 presentación de 0.5 kg.

2.4.2. DISEÑO DE MEZCLADOR DE POLVOS

La pieza en la cual se mezclarán los polvos metálicos con el oxígeno de arrastre para acelerar a una alta velocidad dichos polvos, para luego ser proyectados al metal base. El cuerpo del mezclador estará construido en su totalidad de bronce, ya que presenta muy buenas características como: resistencia a alta temperatura, maquinabilidad y ductibilidad. Esta última es muy importante al momento de la fabricación de los sellos entre metal/metal.

Sistema de sujeción de mezclador

Tomando como base el cortador, se diseñó el accesorio para que se acople de la misma forma que lo hace la boquilla de corte. Se sustituyó la boquilla por el accesorio, para ello se copió fielmente la misma forma de los asientos, con el fin de garantizar el sello entre los diferentes compartimentos de los gases. Además, se seleccionó la manera de sujetar el accesorio de igual forma con se hace en el caso de la boquilla. Para ello se instaló una brida universal que se enroscará en el cortador y una brida fija en el cuerpo del mezclador que a la vez se emperna con la brida universal. En la Figura 2.2 se presenta un corte del accesorio sujeto al cortador oxiacetilénico.

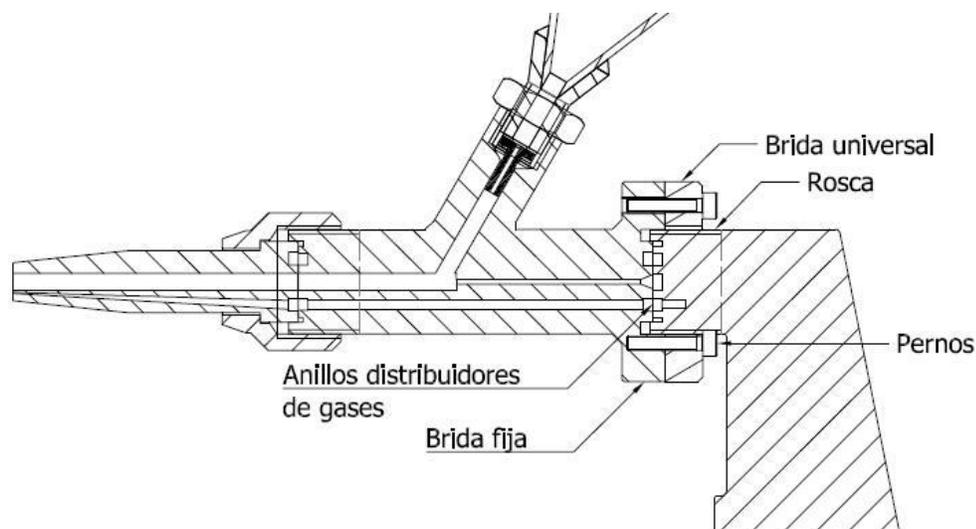


Fig. 2. 2. Esquema de sujeción de accesorio con el cortador.

Ductos de gases

En el accesorio serán necesarios dos tipos de ductos para gases: 1. Oxígeno de arrastre de polvos y 2. Mezcla oxígeno-acetileno para la flama. El cortador al cual se adaptara el accesorio, cuenta con estos dos ductos, por lo que solo se debe buscar la forma de hacer pasar el oxígeno y la mezcla a través del accesorio. El ducto para oxígeno se ubicará en el centro del accesorio y la mezcla se hará pasar por tres ductos en la parte inferior. Los diámetros se mantendrán iguales a los del cortador, 4 mm para el ducto de oxígeno y 2 mm para los ductos de la mezcla. En la Fig. 2.3 se representa la distribución de gases y la conexión entre accesorio-cortador.

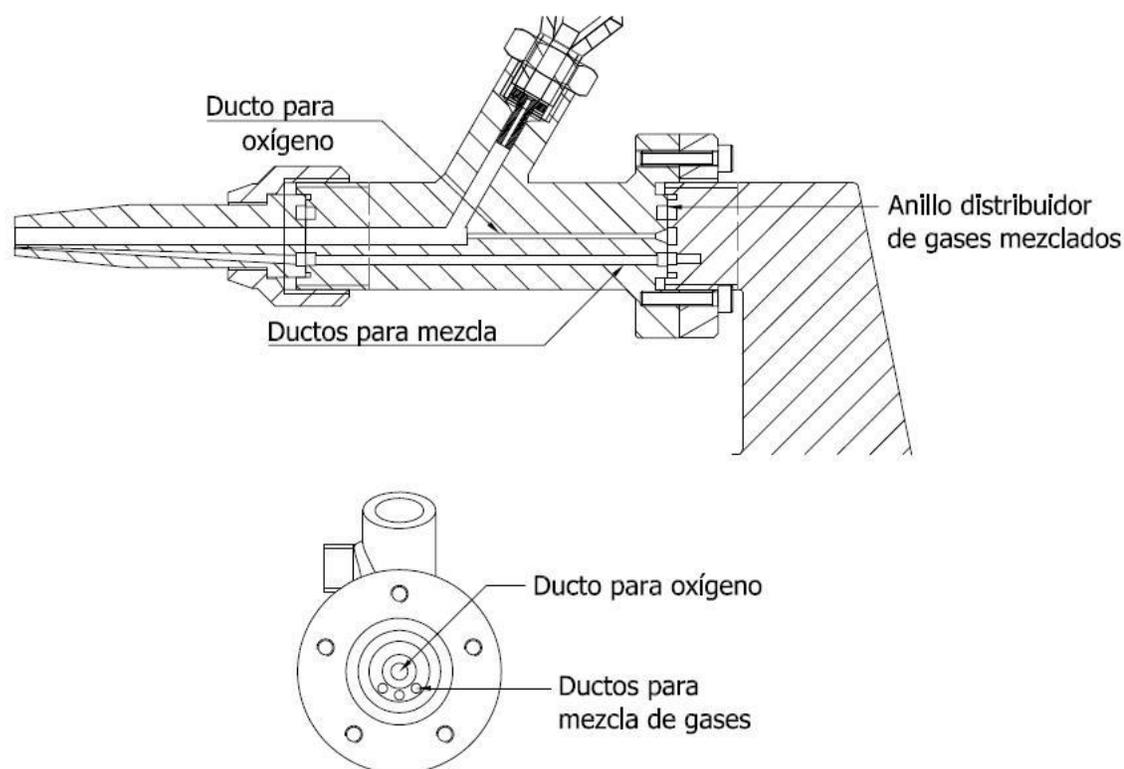


Fig. 2.3. Representación de ductos de gases.

Sujeción de tolva y sello de polvos

El sistema de alimentación de polvos será por el efecto Venturi, por lo que la tolva se ubicará en la parte superior del mezclador con un ángulo de 60°

el cual ayuda al flujo de polvos. La tolva se enroscará y se apretará con una contratuerca en la parte superior.

Para el sello de polvos se toma como referencia el diagrama de la Fig. 2.4 [4] en el cual se puede ver un ducto donde se conducen los polvos y que es estrangulado por una pieza externa con el fin de detener el flujo de polvos.

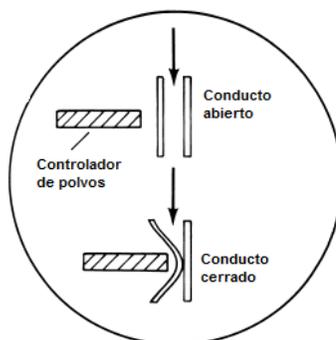


Fig. 2.4. Representación del control de polvos metálicos.

El sello con el cual se controlaran los polvos, se fabricara de caucho con un agujero interno de 1 mm. Este será controlado por una válvula de aguja, la cual deformará el caucho y así se detendrá el flujo de polvos. En la Fig. 2. 5 se presenta la tolva de polvos y el sello de caucho.

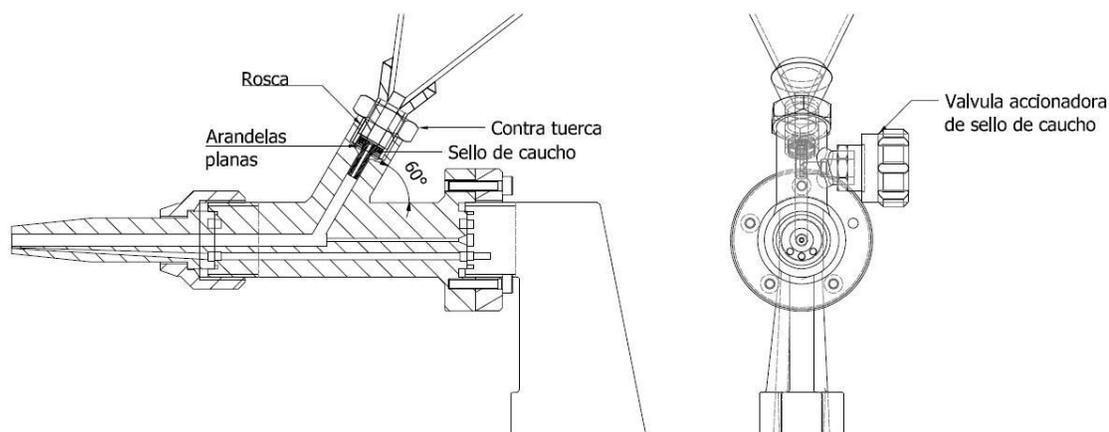


Fig. 2. 5. Sujeción de tolva de polvos en mezclador y sello de polvos.

Sujeción de boquilla

La sujeción será de la misma forma como estaba en el cortador, se copiarán los asientos y los anillos distribuidores de gases, con esto la boquilla funcionará de la misma manera como lo hacía acoplada al cortador oxiacetilénico. En la Fig. 2.6

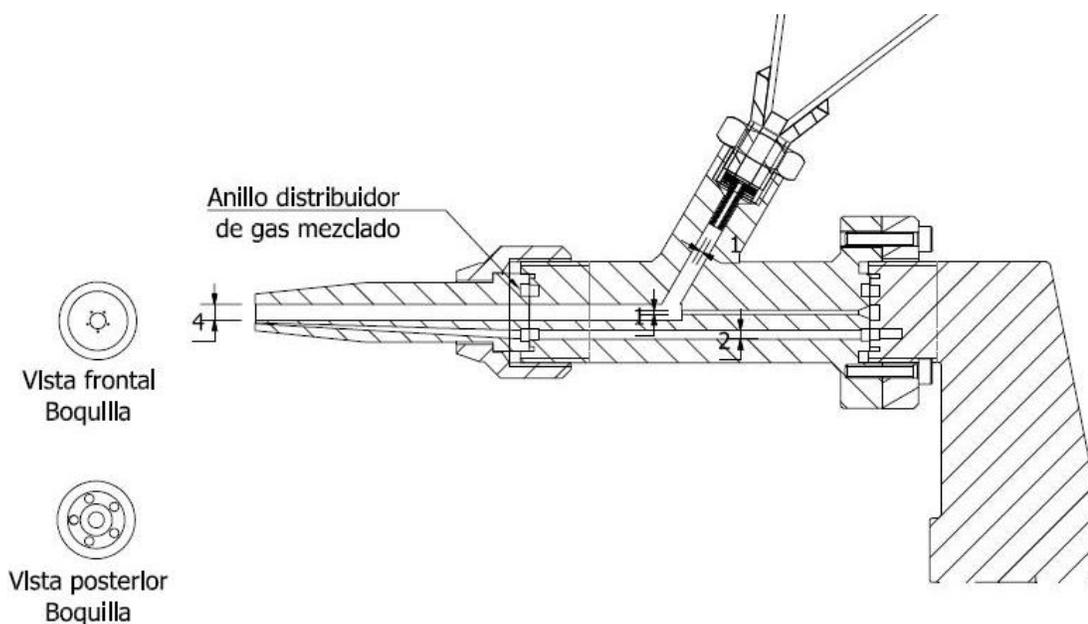


Fig. 2. 6. Sujeción de boquilla en mezclador

2.4.3. SELECCIÓN DE BOQUILLA PARA POLVOS METÁLICOS

Tomando de referencia el diseño del maneral de oxicorte, se procede a seleccionar la boquilla, teniendo como parámetro el tamaño de flama requerida. Según la teoría de termorrociado por flama, la distancia óptima entre la boquilla y el metal base, debe ser 10 cm, por lo tanto la flama debe ser de la misma longitud. En la Fig. 2.7 se representa el tamaño de la flama según el número de boquilla de oxicorte. Se escoge la boquilla N° 4, ya que el tamaño de flama se aproxima a 10 cm [21].

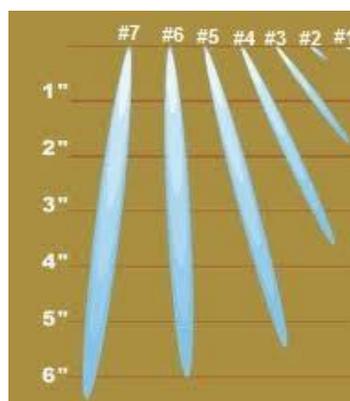


Fig. 2.7. Tamaño de flama según el número de boquilla e oxicorte.

Teniendo el número de boquilla, se buscan los parámetros de operación para dicha boquilla. Para ello se hace uso de la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros de operación de boquillas de oxicorte [21].

Espesor del metal pulg. (mm)	Tamaño de la punta	Oxígeno de corte		Precalentamiento Oxígeno* PSIG (kPa)	Acetileno			Entalladura Ancho pulg. (mm)
		Presión*** PSIG (kPa)	Flujo*** SCFH (LPM)		Presión PSIG (kPa)	Flujo SCFH (LPM)	Velocidad IPM (MPM)	
1/8 (3)	000	20 - 25 (138 - 172)	20 - 25 (9,4 - 11,8)	3 - 5 (21 - 34)	3 - 5 (21 - 34)	6 - 11 (0,17 - 0,31)	20 - 30 (0,51 - 0,76)	0,04 (1,02)
1/4 (6)	00	20 - 25 (138 - 172)	30 - 35 (14,2 - 16,5)	3 - 5 (21 - 34)	3 - 5 (21 - 34)	6 - 11 (0,17 - 0,31)	20 - 28 (0,51 - 0,71)	0,05 (1,27)
3/8 (9)	0	25 - 30 (172 - 207)	55 - 60 (26,0 - 28,3)	3 - 5 (21 - 34)	3 - 5 (21 - 34)	6 - 11 (0,17 - 0,31)	18 - 26 (0,41 - 0,66)	0,06 (1,52)
1/2 (13)	0	30 - 35 (207 - 241)	60 - 65 (28,3 - 30,7)	3 - 6 (21 - 41)	3 - 5 (21 - 34)	9 - 16 (0,25 - 0,45)	16 - 22 (0,41 - 0,56)	0,06 (1,52)
3/4 (20)	1	30 - 35 (207 - 241)	80 - 85 (37,8 - 40,1)	4 - 7 (28 - 48)	3 - 5 (21 - 34)	8 - 13 (0,23 - 0,37)	15 - 20 (0,38 - 0,51)	0,07 (1,78)
1 (25)	2	35 - 40 (241 - 276)	140 - 160 (66,1 - 75,5)	4 - 8 (28 - 55)	3 - 6 (21 - 41)	10 - 18 (0,28 - 0,51)	13 - 18 (0,33 - 0,41)	0,09 (2,29)
2 (50)	3	40 - 45 (276 - 310)	210 - 240 (99,1 - 113,3)	5 - 10 (34 - 69)	4 - 8 (28 - 55)	14 - 24 (0,40 - 0,68)	10 - 12 (0,25 - 0,30)	0,11 (2,79)
3 (75)	4	40 - 50 (276 - 344)	280 - 320 (132,1 - 151,0)	5 - 10 (34 - 69)	5 - 11 (34 - 76)	18 - 28 (0,51 - 0,79)	10 - 12 (0,25 - 0,30)	0,12 (3,05)
4 (100)	5	45 - 55 (310 - 379)	390 - 450 (184,0 - 212,3)	6 - 12 (41 - 83)	6 - 13 (41 - 90)	22 - 30 (0,62 - 0,85)	6 - 9 (0,15 - 0,23)	0,15 (3,81)
6 (150)	6**	45 - 55 (310 - 379)	500 - 600 (236,0 - 283,2)	6 - 15 (41 - 103)	8 - 14 (55 - 97)	25 - 35 (0,71 - 0,99)	4 - 7 (0,10 - 0,18)	0,15 (3,81)
10 (250)	7**	45 - 55 (310 - 379)	700 - 850 (330,4 - 401,2)	6 - 20 (41 - 138)	10 - 15 (69 - 103)	25 - 35 (0,71 - 0,99)	3 - 5 (0,08 - 0,13)	0,34 (8,64)
12 (300)	8**	45 - 55 (310 - 379)	900 - 1050 (424,8 - 495,5)	7 - 25 (48 - 172)	10 - 15 (69 - 103)	25 - 35 (0,71 - 0,99)	3 - 4 (0,08 - 0,10)	0,41 (10,41)

* Aplicable sólo a sopletes de corte de máquina con 3 mangueras. Con un soplete de corte de dos mangueras, se establece la presión de precalentamiento mediante el oxígeno de corte.

** Para obtener mejores resultados use sopletes serie HC1200C y manguera de 3/8" (9,5mm) y utilice una punta (boquilla) de tamaño 6 o de mayor tamaño.

*** Todas las presiones se miden en el regulador utilizando una manguera de 25' x 1/4" (7,6m x 6,3mm) con punta (boquilla) de tamaño 5 y manguera de 25' x 3/8" (7,6m x 9,5mm para punta (boquilla) de tamaño 6 y de mayor tamaño.

Según la boquilla 6290-4 HARRIS, estas son las presiones y flujos de trabajo:

- Presión de Oxígeno de Corte: 45 psig
- Flujo de Oxígeno de Corte: 300 lpm
- Presión de Acetileno: 9.5 psig
- Flujo de Acetileno: 23 lpm
- Diámetro de orificio del oxígeno de corte: 2.5 mm

Debido a que el diámetro de orificio del oxígeno de corte es de 2.5 mm, éste se debe ampliar a 4 mm ya que ésta es la medida del ducto de oxígeno del cortador. De lo contrario se generaría una contrapresión, la cual retornaría el oxígeno con los polvos, por lo tanto se tendrá una boquilla con un diámetro interno constante de 4mm.

2.4.4. DISEÑO DE TOLVA DE POLVOS METÁLICOS

Se ha considerado el método de diseño de silos para granos, debido a que esta aplicación es muy parecida, teniendo como variación solamente la diferencia de escalas.

Ángulo de rozamiento interno de polvos

En la mayoría de los procesos industriales se manejan productos pulverulentos cuya granulometría oscila entre amplios valores, dando origen a desmezclas durante el llenado, ya que las partículas gruesas tienen tendencia a rodar hacia las paredes, mientras que las partículas finas se quedan en el centro de la celda y son compactadas por las gruesas durante el llenado. Durante el proceso de vaciado, si se produce el flujo de conducto, son las partículas finas compactadas en el centro, las que vacían en primer lugar, produciéndose un importante desmezcle de la masa almacenada.

El ángulo de rozamiento interno de los materiales granulares tiene una importancia decisiva en el momento de obtener un flujo másico o de conducto.

Si el ángulo de rozamiento interno es mayor que el ángulo de rozamiento con la pared, se produce el flujo másico; en caso opuesto el flujo es de conducto, ya que es más fácil el deslizamiento en el seno del producto que entre el producto almacenado y las paredes [22].

Para los minerales de hierro se tiene un ángulo de rozamiento interno mínimo entre 43 y 46°, por lo que se escoge un ángulo de 45° en la parte cónica de la tolva [22].

Dimensionamiento de la tolva

Para el dimensionamiento de la tolva se establecen los siguientes parámetros de diseño:

- Volumen deseado = 125 cm³
- Diámetro de tolva = 6 cm
- Altura total = 9 cm
- Diámetro de descarga de tolva: Este debe ser igual al diámetro del ducto de oxígeno, ya que se unen para hacer la mezcla de los polvos y gases, por lo tanto se tiene que el diámetro de oxígeno y de descarga de la tolva será de 4 mm.

Para el cálculo, primero, se establece la Ec. 2.1 del volumen total de la tolva:

$$V_T = V_1 + V_2 \quad (2.1)$$

donde:

V_T : Volumen total de tolva

V_1 : Volumen de parte cónica

V_2 : Volumen de parte cilíndrica.

Sustituyendo valores en (2.1), queda:

$$125 = V_1 + V_2. \quad (2.2)$$

La altura total de la tolva se establece con la Ec. 2.3, así:

$$h_T = h_1 + h_2 \quad (2.3)$$

donde:

h_T : Altura total de tolva

h_1 : Altura de parte cónica

h_2 : Altura de parte cilíndrica.

Sustituyendo valores en (2.3), se tiene:

$$9 = h_1 + h_2. \quad (2.4)$$

En el cálculo del volumen de la parte cónica, se hace uso de la Ec. 2.5, la cual es:

$$V_1 = \frac{1}{3} * \pi * h_1 * (R^2 + r^2 + R * r) \quad (2.5)$$

donde:

V_1 : Volumen del cono

h_1 : Altura de cono

R: Radio mayor de cono

r: Radio menor de cono.

Sustituyendo valores en la Ec. 2.5. se tiene:

$$V_1 = \frac{1}{3} * \pi * h_1 * (3^2 + 0.2^2 + 3 * 0.2)$$

$$V_1 = 10.11h_1. \quad (2.6)$$

La parte cilíndrica de la tolva se calcula así:

$$V_2 = \pi * h_2 * R^2 \quad (2.7)$$

donde:

V_2 : Volumen de cilindro

h_2 : Altura de cilindro

R: Radio de cilindro.

Sustituyendo valores en la Ec. 2.7. se tiene:

$$V_2 = \pi * h_2 * 3^2$$

$$V_2 = 28.17h_2. \quad (2.8)$$

Sustituyendo las Ec. 2.6. y Ec. 2.8. en la Ec. 2.2. se tiene:

$$125 = 10.11h_1 + 28.17h_2. \quad (2.9)$$

Resolviendo las (2.4 y (2.9, para h_1 y h_2 se tiene:

$$h_1 = 7.0$$

$$h_2 = 2.0.$$

Según las dimensiones calculadas se diseña la tolva, tomando en cuenta algunos factores:

- La tolva contara con tapadera que estará sujeta con un perno
- El espacio efectivo se considera hasta el soporte de la tolva
- Se soldará un perno conico, el cual servirá como boquilla de descarga de polvos y de sujetador de tolva con el mezclador
- Material: lámina de 1/16 pulg de broce.

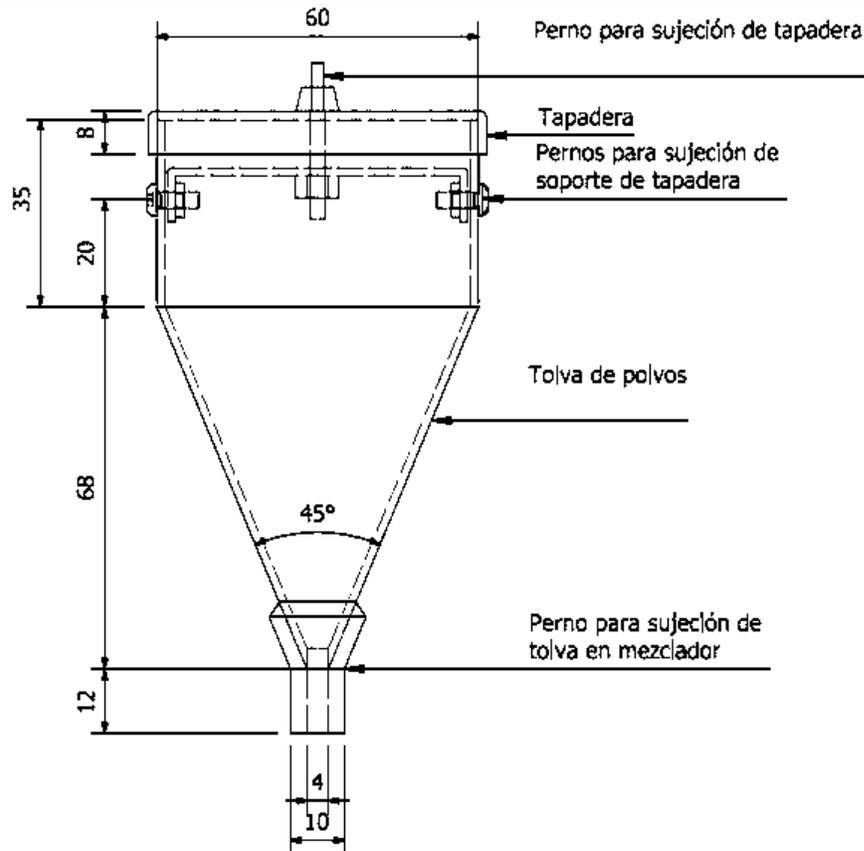


Fig. 2. 8. Tolva de polvos metálicos.

2.4.5. DISEÑO DE INYECTOR DE OXÍGENO

Tomando como base de diseño las teorías de transporte neumático de materiales sólidos, en las cuales se plantean diferentes tipos de alimentación de polvos, se diseñará el inyector de oxígeno teniendo como referencia la teoría de alimentación de materiales por efecto Venturi.

Las ventajas particulares de la utilización de alimentación por efecto Venturi para líneas de transporte de polvos son que se requiere espacio libre mínimo, no hay partes móviles y si el dispositivo está diseñado correctamente no habrá ninguna fuga de gas hacia el contenedor de polvos. Un tubo de Venturi, básicamente, consiste en una reducción controlada de la sección transversal de tuberías en la región donde el material se alimenta desde la tolva, tal como se presenta este principio, en la Fig. 2.9. Sistema de alimentación por efecto Venturi [23].

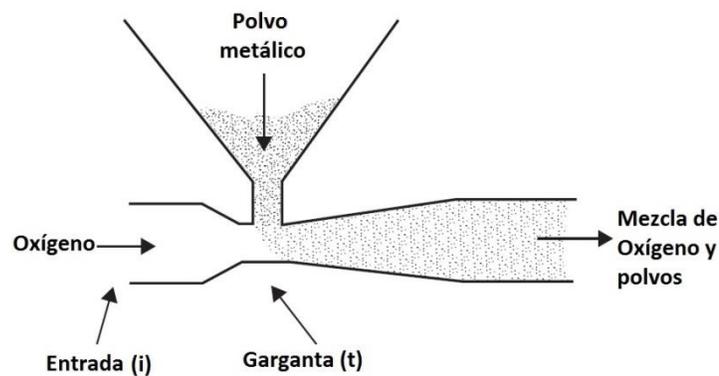


Fig. 2.9. Sistema de alimentación por efecto Venturi

Una consecuencia de esta reducción en el área de flujo es un aumento en la velocidad del aire de arrastre, y una disminución correspondiente en la presión, en esta región. Con un Venturi diseñado correctamente, la presión en la garganta debe ser un poco más baja que la presión de la tolva, que para la mayoría de las aplicaciones, es la presión atmosférica. Esto hace que el material fluya fácilmente por gravedad en la tubería, y en estas condiciones, no habrá fugas de aire desde el alimentador en oposición a la alimentación de material [23].

Para el diseño del inyector se deben establecer algunos parámetros, estos son:

- El análisis se hará para el inyector y la tobera de oxígeno
- El mezclador se diseñara para hacer un vacío estático que permita la succión de polvos metálicos desde la tolva hasta el mezclador

- Tomando como referencia valores promedio de la Tabla 2.2. para una boquilla N° 4 se tienen:
 - ✓ Presión de oxígeno: 45 psig \approx 310 kPa
 - ✓ Flujo de oxígeno: 350 pie³/h \approx 2.74x10⁻³ m³/s
- El inyector de oxígeno y la tobera se diseñaran bajo el concepto de flujo isentrópico en una tobera convergente – divergente. Además, se asumirá que el diámetro interior de la tobera deberá ser por lo menos dos veces el diámetro interior del inyector de oxígeno
- Del flujo total de mezcla, se considera que el 25% son polvos metálicos (mezcla polvos – oxígeno) [4].
- Según las especificaciones técnicas de los polvos, se tiene que la densidad es de 8100 kg/m³.

Después de haber establecido los parámetros de diseño, se procedió a calcular los diámetros internos del inyector de oxígeno y de tobera, los cuales se esquematizan en Fig. 2.10.

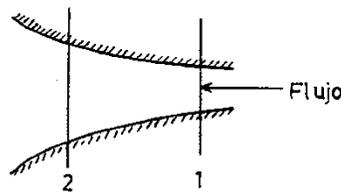


Fig. 2.10. Tobera
convergente –
divergente

donde:

Punto 1: Salida del inyector de oxígeno (garganta)

Punto 2: Entrada a la tobera

Según el parámetro de diseño para los diámetros de la tobera y el inyector, se tiene:

$$\frac{A_t}{A_i} = \frac{\pi/4(2\phi_t)^2}{\pi/4(\phi_i)^2} = 4 \quad (2.10)$$

donde:

ϕ_t : Diámetro de la tobera

ϕ_i : Diámetro del inyector de oxígeno

A_t/A_i : Relación de áreas de la tobera y el inyector.

Con este valor de relación de áreas, se hace uso de las Tablas 2.3 de flujo isentrópico unidimensionales [23] (para gas ideal con calor específico constante: $k = 1.4$) y se obtiene los valores siguientes:

Tabla 2. 3. Valores de flujo isentropico

M	A/A*	p/p ₀	ρ/ρ ₀	T/T ₀
2.94	3.999	0.0298	0.0813	0.3665

Se puede analizar que si el número de Mach es de 2.94 la tobera se comporta como convergente – divergente, que es el mismo comportamiento de un Venturi, con el flujo acelerándose en la parte convergente, hasta que llega a su velocidad máxima y presión mínima en la garganta y luego se desacelera en la parte divergente hacia la salida de la tobera.

Considerando que las condiciones de estancamiento son los parámetros de operación del equipo, se tiene:

$$P_{o(abs)} = 310 + 101.13 = 411.13 \text{ kPa}$$

$$T_{o(abs)} = 27 + 273.15 = 300.15 \text{ K.}$$

Con estos valores se puede calcular ρ_o , a través de la ecuación de estado (Ec. 2.11) para gases ideales:

$$Pv = RT \quad (2.11)$$

donde:

P: Presión absoluta en el punto de análisis

R= 287 N·m/kg·K

T: Temperatura absoluta en el punto de análisis

v: Volumen específico.

Se tiene la siguiente relación Ec. 2.12 entre densidad y volumen:

$$\rho = \frac{1}{v}. \quad (2.12)$$

Sustituyendo la Ec. (2.12) en la Ec. (2.11) y despejando ρ , se tiene:

$$\rho = \frac{P_{o(abs)}}{R T_{o(abs)}}. \quad (2.13)$$

Sustituyendo valores en la Ec.(2.13) y calculando el valor de ρ , queda:

$$\rho_o = \frac{411,330}{287 * 300.15}$$

$$\rho_o = 4.77 \text{ kg/m}^3.$$

Con los datos obtenidos en la Tabla 2.3. se pueden obtener las propiedades en la garganta o salida del inyector de oxígeno. Así, se puede calcular la presión de oxígeno en el inyector:

$$P/P_o = P_1/P_{o(abs)} = 0.0298$$

$$P_{1(abs)} = 0.0298 * P_{o(abs)}$$

$$P_{1(abs)} = 0.0298 * (411,330)$$

$$P_{1(abs)} = 12,257.63 \text{ Pa}$$

Con este valor se puede calcular la presión manométrica en la garganta:

$$P_1 = P_{m1} + P_{atm}$$

$$P_{m1} = P_1 - P_{atm}$$

$$P_{m1} = 12,257.63 - 101,325.00$$

$$P_{m1} = - 8,9067.37 Pa$$

Se puede analizar que con la caída de presión a la salida del inyector de oxígeno, genera un gradiente de presión que generara un vacío por ende la succión de los polvos.

Calculando la densidad de oxígeno en el inyector, queda:

$$\rho / \rho_o = \rho_1 / \rho_{o(abs)} = 0.0813$$

$$\rho_1 = 0.0813 \rho_{o(abs)}$$

$$\rho_1 = 0.0813 * 4.77$$

$$\rho_1 = 0.3878 \text{ kg/m}^3.$$

Con los datos anteriores se puede calcular el flujo másico de oxígeno en la garganta o la salida del inyector, así:

$$\dot{m} = \dot{Q} * \rho \quad (2.14)$$

donde:

\dot{m} : Flujo másico de oxígeno

\dot{Q} : Flujo volumétrico de oxígeno

ρ : Densidad de oxígeno.

Sustituyendo valores en la Ec. (2.14), se tiene:

$$\dot{m}_{\text{oxígeno}} = 2.74 \times 10^{-3} * 0.3878$$

$$\dot{m}_{\text{oxígeno}} = 1.06 \times 10^{-3} \text{ kg/s.}$$

Luego se procede a calcular la velocidad del oxígeno a la salida del inyector, para ello se hace uso de las Ec. 2.15, así:

$$M_1 = \frac{V_1}{C_1} \quad (2.15)$$

donde:

M1: Número de mach a la salida del inyector

V1: Velocidad del oxígeno a la salida del inyector

C1: Velocidad del sonido a la salida del inyector.

Para calcular la velocidad del sonido tenemos la Ec. 2.16:

$$C_1 = \sqrt{k * R * T_1} \quad (2.16)$$

donde:

k = 1.4 (Coeficiente entre calores específicos a presión y volumen constante)

R = 287 N·m/kg·K (Constante de gases ideales)

T₁: Temperatura del oxígeno a la salida del inyector.

Calculando la temperatura del oxígeno a la salida del inyector:

$$T/T_o = T_1/T_{o(abs)} = 0.3665$$

$$T_1 = 0.3665T_{o(abs)}$$

$$T_1 = 0.3665 * 300.15$$

$$T_1 = 110 \text{ K.}$$

Sustituyendo valores en la Ec. (2.16), se obtiene el valor de C₁:

$$C_1 = \sqrt{1.4 * 287 * 110}$$

$$C_1 = 210.23 \text{ m/s.}$$

Sustituyendo valores en la Ec. (2.15) y despejando V₁, se obtiene:

$$2.94 = \frac{V_1}{210.23}$$

$$V_1 = 617.4 \text{ m/s.}$$

A partir de los datos anteriores se puede calcular el diámetro del inyector de oxígeno, con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{\text{oxígeno}} = A_1 V_1 \rho_1 \quad (2.17)$$

donde:

$A_1 = \pi/4 \varnothing^2$ (Área del inyector de oxígeno)

V_1 : Velocidad del oxígeno a la salida del inyector

ρ_1 : Densidad del oxígeno a la salida del inyector.

Sustituyendo valores en la Ec. (2.17) y despejando el diámetro \varnothing_1 :

$$1.06 \times 10^{-3} = \frac{\pi}{4} \varnothing_1^2 * 617.4 * 0.3878$$

$$\varnothing_1 = 0.0024 \text{ m.}$$

Según los parámetros de diseño se puede calcular el diámetro de la tobera:

$$\varnothing_2 = 2 * 0.0024$$

$$\varnothing_2 = 0.0048 \text{ m}$$

Obtenidos los diámetros se procede a diseñar el inyector. En la Fig. 2.11. se presenta el inyector terminado. Solamente con unas pequeñas variaciones de diámetros, el diámetro del ducto de oxígeno en el cual se introducirá el inyector, será de 4 mm ya que este es el diámetro que tiene el cortador. El diámetro interno del inyector de gas será de 2 mm, este último por facilidad de fabricación.

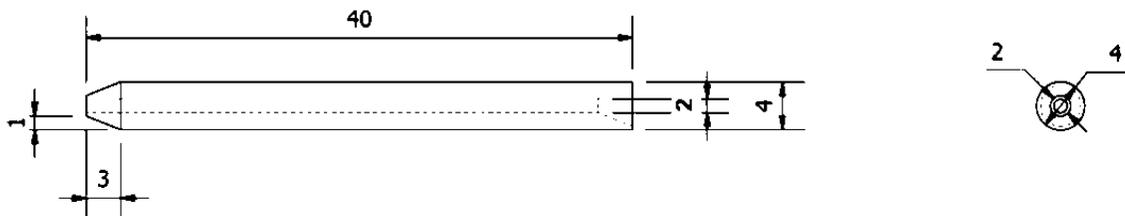


Fig. 2.11. Inyector de oxígeno para arrastre de polvos.

2.3. DESCRIPCIÓN DE PARTES

Mezclador de polvos: El diseño se fundamentó en la forma de conexión del maneral de corte, se tomó la misma distribución de ductos y diámetros. Con esto se garantiza la circulación de los gases y la conexión adecuada entre el mezclador y el maneral (ver Fig. 2.12).



Fig. 2. 12. Mezclador de polvos metálicos y oxígeno

Brida universal: Brida roscada que se acopla al maneral de corte con 5 agujeros M3. Con esto se logra tener una pistola fácil de desmontar y sin alterar el diseño del maneral (ver Fig. 2.13).

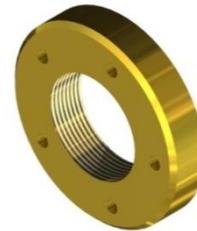


Fig. 2. 13.
Brida
universal
para
sujeción de
mezclador.

Tolva contenedora de polvos:
Tolva con capacidad de 160 ml de lámina de bronce de 1/16 pulg, cónica en ángulo de 45°, con orificio de suministro de 5 mm. Se elige bronce como material principal por su alta capacidad a resistir temperaturas elevadas, alcanzando este material su punto de fusión: de 830 a 1020 °C (ver Fig. 2.14).



Fig. 2. 14. Tolva contenedora de polvos.

Válvula de aguja para control de polvos: Se buscó y seleccionó la misma válvula controladora del oxígeno de corte en el maneral, ya que facilita y agiliza la construcción de todo el equipo. Solo fue necesario modificar el diámetro de la punta de la aguja (ver Fig. 2.15).



Fig. 2. 15. Válvula de aguja control de polvos.

Sello para polvos: Fabricado en caucho, con agujero de 1 mm. Cuenta con 4 arandelas que evitan la deformación causada por la presión que ejerce la tolva de polvos (ver Fig. 2.16).



Fig. 2. 16. Sello para polvos.

Tuerca de sujeción para boquilla de maneral de corte HARRIS de modelo 49-2 (ver Fig. 2.17).

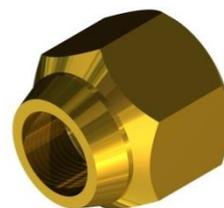


Fig. 2. 17. Tuerca de sujeción.

Boquilla de polvos: Teniendo como base el tipo de boquilla para oxicorte, únicamente se seleccionó el número, de acuerdo a la medida de la flama que se requería (ver Fig. 2.18). Luego se amplió el diámetro interno para no tener contra presiones.



Fig. 2. 18. Boquilla para polvos

Válvulas antiretroceso de flama: Evitan el retroceso de flama, extingue el fuego por medio de un metal sinterizado. Corte de flujo operado a presión que cierra el paso del gas en caso de exceso de presión (ver Fig. 2.19).



Fig. 2. 19. Válvulas antiretroceso de flama.

Maneral de oxicorte (ver Fig. 2.20): Este tiene las características siguientes

- Marca: HARRIS
- Modelo: 49-2
- Temperatura de flama: 3200 °C
- Espesores de corte: 1/8 – 4 pulg.



Fig. 2. 20.
Maneral de
oxicorte.

Maneral de oxicorte con accesorio para termorrociado ensamblado (ver Fig. 2.21).



Fig. 2. 21. Accesorio de
termorrociado ensamblado.

3. ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA PISTOLA DE TERMORROCIADO

Con la finalidad de establecer medidas cualitativas de los parámetros óptimos del sistema de termorrociado construido es necesario realizar ensayos bajo condiciones controladas. Así, mediante ensayos de flexión de tres puntos se determina el punto óptimo de operación de la pistola construida, ensayando un lote de 27 probetas termorrociadas a diferentes presiones y distancias, al someterse cada una a un valor particular de carga hasta un valor de deflexión establecido que produzca algún desprendimiento de la capa de termorrociado, luego, se analizará cualitativamente el daño introducido al revestimiento para la obtención del punto óptimo de operación del accesorio de termorrociado.

3.1. PROCESO TERMORROCIADO PARA PROBETAS DE ENSAYO

Se realizó el proceso de prueba para el accesorio de termorrociado, con probetas de acero inoxidable AISI 304 maquinadas previamente a las dimensiones 1x8x1/8 pulg. Para establecer el largo de la probeta, se utilizó la Norma A370-03 [23]

Se tiene que el rodillo de doblado, debe bajar mínimo 2 pulg, y siguiendo dicha norma, la Ec. 4.1 establece que la longitud mínima de la probeta para iniciar ensayos.

$$L = 2d + 0.5 *Pr \quad (3.1)$$

donde

L: longitud de la probeta

d: distancia de bajada del rodillo

Pr: perímetro de rodillo.

Sustituyendo, queda:

$L = 6.356$ pulg (largo mínimo de probeta).

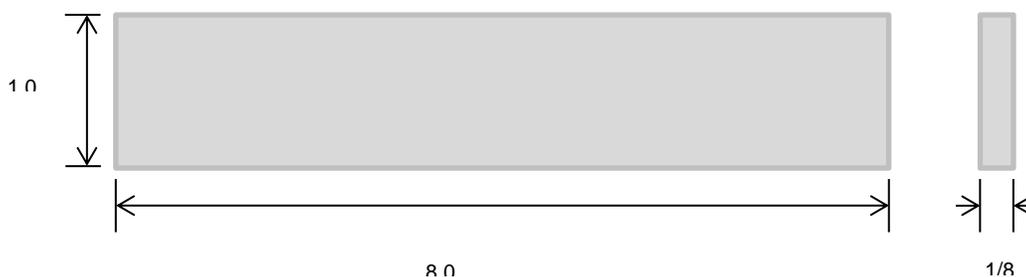
Definiendo las dimensiones de la probeta con un mínimo de dimensiones:

Espesor: $1/8$ pulg

Ancho: 1 pulg

Largo: 7 pulg.

Además, en la Fig. 3.1 se presenta un esquema de la probeta con las dimensiones seleccionadas.



Todas las medidas se presentan en pulgadas

Fig. 3. 1 Dimensiones de las probetas.

Previo a la aplicación de polvos, se aplicó un decapante a cada una de las probetas en la zona a termorrociar, con la finalidad de limpiar la misma. El decapante utilizado tiene un nombre comercial de ANTOX-71E, el cual se aplicó siguiendo las instrucciones de uso y seguridad recomendada en la hoja técnica y MSDS (Ver Anexo B Hoja Técnica y Hoja de Seguridad).

Proceso de aplicación del decapante ANTOX-71E

- 1) Lavado y limpieza con agua corriente a las probetas, sin residuos de grasa
- 2) Aplicación de decapante ANTOX-71E con brocha al área completa de probetas Termorrociar
- 3) Tiempo de actividad del ácido decapante de 20-25 min

- 4) Limpieza final de residuos de decapante con abundante agua corriente
- 5) Secado de probetas a temperatura ambiente

Se consideró un área para aplicación de polvos de 1x4 pulg, para cada probeta un volumen de polvos de 5 cm³.

La longitud de la llama alcanzada durante el proceso fue de 6.0 cm, longitud que está dentro de los parámetros de aplicación de termorrociado.

Se consideraron 2 variables para el estudio y para cada una de ella 3 condiciones, estas son (ver Tabla 4.1):

- 1) Relación de presión oxígeno - acetileno, bar:
 - ✓ 5 oxígeno – 0.5 acetileno,
 - ✓ 1.5 oxígeno – 0.2 acetileno,
 - ✓ 3.5 oxígeno – 0.35 acetileno.
- 2) Distancia de termorrociado: 3, 6 y 9 cm.

Los polvos adquiridos por medio de “Castolin Eutectic” son comercializados bajo el nombre Eutalloy ® 10680 a base de níquel para revestimientos protectores sobre metales como aceros, aceros inoxidable, hierro fundido y aleaciones de níquel. Además, éste presenta las características siguientes:

- Presenta bajo coeficiente de fricción
- Resiste impactos y presiones
- Puede ser utilizado para la unión
- Utilizado para revestimientos gruesos



Fig. 3. 2. Polvos Eutalloy 10680

Tabla 3. 1 Datos técnicos de polvos EUTALLOY para Termorrociado.

Designación	Tipo de producto	Aplicaciones	Propiedades
Eutalloy 10680	Aleación Ni-B-Si	<ul style="list-style-type: none"> • Reparación de engranajes • Reparación de asientos de válvulas de hierro • Renovación de herramientas • Corrección de errores de mecanizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia al choque • Resistencia a la oxidación en caliente • Maquinable con herramientas de corte.

Datos técnicos:

- ✓ Depósito de dureza ~240 HV₃₀
- ✓ Temperatura máxima de servicio ~600 °C.

El equipo utilizado durante el procedimiento fue facilitado por la Unidad Productiva Metal Mecánica de la EIM:

- ✓ Cilindro de acetileno
- ✓ Cilindro de oxígeno
- ✓ Manómetros
- ✓ Maneral de oxicorte
- ✓ Accesorio para termorrociado
- ✓ Equipo para encendido de oxicorte
- ✓ Cronometro

En las Fig. 3.3 se puede apreciar el proceso de calentamiento del material versus. En la Fig. 3.4 se puede apreciar el proceso de termorrociado, y a su vez la diferencia con el proceso de la Fig. 3.3. En la Fig. 3.5 se observa la longitud de la llama aproximada de 6 cm. Finalmente en el proceso de termorrociado, en la Fig. 3.6 se presenta el lote de probetas termorrociadas.



Fig. 3. 3. Proceso de calentamiento.



Fig. 3. 4. Proceso de Termorrociado



Fig. 3. 5. Longitud aproximada de la llama.



Fig. 3. 6. Lote parcial de probetas

En la Tabla 3.2 se presentan las condiciones de los proceso de termorrociado con el fin de caracterizar los parámetros óptimos operación del sistema de termorrociado. Además es importante destacar que sólo se realizó una pasada de termorrociado en cada probeta la cual tuvo un tiempo aproximado de 12s.

Tabla 3. 2. Datos del proceso de termorrociado para las 27 probetas.

N°	Relación oxígeno/acetileno, bar/bar	Distancia, cm	Tiempo total, Preparación, calentamiento y aplicación, min
1	5/0.5	3	10
2			12
3			14
4		6	16
5			16
6			18
7		9	14
8			15
9			1.3
10	1.5/0.2	3	10
11			12
12			11
13		6	13
14			12
15			11
16		9	12
17			14
18			10
19	3.5/0.35	3	13
20			15
21			14
22		6	12
23			11
24			10
25		9	12
26			12
27			10

3.2. PROCESO DE ENSAYO DE TERMORROCIADO

Habiendo realizado el proceso de termorrociado a las 27 probetas, se procedió a gestionar el equipo para la realización de prueba de flexión de tres puntos.

Según la norma ASTM E 290 [24] existe una clasificación de ensayos dependiendo de las condiciones de restricción en la parte doblada de la probeta, estas restricciones son:

- 1) Doblez guiado: Usando un mandril o émbolo de dimensiones definidas para obligar que se flexione a la mitad de la longitud de la probeta entre dos soportes separados por un espacio definido;
- 2) Doblez semiguado: La probeta es doblada, mientras está en contacto con un mandril, a través de un ángulo especificado o a un radio especificado en el interior (r) de curvatura, medida mientras está bajo la carga de flexión;
- 3) Doblez libre: Los extremos de la probeta son llevados uno hacia el otro, pero no se aplica carga transversal al doblar y no hay contacto de la superficie interior cóncava de la curva con otro material;
- 4) Doblar y aplanar: Una carga transversal se aplica a la curva de tal manera que los extremos hacen contacto entre sí en toda la longitud de la probeta.

En este ensayo el procedimiento se basó en el doblar guiado. La probeta es doblada en forma de U por medio de una carga aplicada en el centro de la misma, esta se encuentra apoyada en dos rodillos equidistantes de la línea de aplicación de la carga. La probeta es forzada dentro de los rodillos por un émbolo que tiene la forma necesaria para producir el contorno deseado. La superficie convexa de la probeta doblada se examina luego, en busca de grietas u otros defectos en el material.

Según la norma ASTM E 190 – 92 [25] se establece una distancia mínima que debe bajar el mandril o émbolo igual a 2 pulg. Además, se establece que para el espesor de 1/8 pulg. Se debe utilizar un émbolo con diámetro de 1.1/16 pulg.

Durante el ensayo se utilizó el equipo de para ensayos de flexión MULTISPEED de la escuela de Ingeniería Civil.

Entre las características de la máquina utilizada para ls ensayos de doblez, se tienen:

- Equipo Universal de ensayos de Flexión, MULTISPEED
- Capacidad 50 kN
- Velocidad regulable 1 a 30 mm/min.

Previamente se calcularon las distancias de rodillos y longitud de probetas según la norma ASTM E 190 – 92 [26], tal como se presenta en la Fig. 3.7.

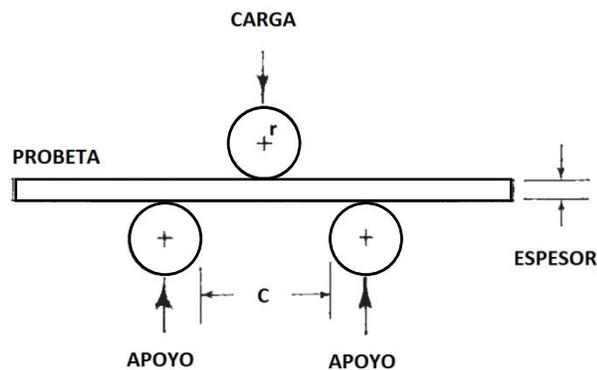


Fig. 3. 7. Esquema de ensayos a doblez guiado.

La separación de rodillos, C, se calcula mediante la Ec. 3.2:

$$C = 2r + 3t \pm t/2 \quad (3.2)$$

donde:

r: Radio de mandril o émbolo 3/4 pulg

t: Espesor de probeta 1/8 pulg

Sustituyendo valores en ecuación Ec. 3.2, se tiene:

$$C = 2.1/8 \text{ pulg}$$

Se trabajó a una velocidad de desplazamiento del actuador de 3 mm/min y definiendo un máximo de 2.5 cm de deformación para cada una de ellas, este valor fue tomado por diseño de la máquina.

El equipo y accesorios utilizados en estos ensayos fueron los siguientes.

- Equipo Universal para realizar ensayos de flexión
- Cinta métrica
- Calibrador o pie de rey
- Lupa
- Cámara fotográfica
- Émbolo de 1.1/16 pulg
- Cronómetro.

En la Tabla 3.3 se presenta define el detalle del ensayo aplicado a cada probeta, se tomaron tres medidas claves, para identificar el punto óptimo de funcionamiento:

- 1) Inicio de la grieta
- 2) Desprendimiento
- 3) Fin del ensayo.

Estos datos fueron tomados de la grafica de fuerza deformación que obtuvimos en pantalla de MULTISPEED, datos medidos carga (kN) y deflexión (mm), posterior a esto se asigno una ponderación de 1 a 5 siendo: 1 la menor ponderación, el ensayo con características menos favorables y 5 la mayor ponderación, el ensayo con características más optimas. Así en la Tabla 3.3 se presentan los registros de los ensayos de las probetas recubiertas.

Tabla 3. 3. Registro de ensayos de recubrimientos

N°	Inicio de grieta		Desprendimiento		Fin de ensayo		Ponderación
	Carga, kN	Deflexión, mm	Carga, kN	Deflexión, mm	Carga, kN	Deflexión, mm	
1	1.7	10.0	Sin desprendimiento		1.8	13.3	2
2	1.3	5.5	Sin desprendimiento		1.6	15.2	2
3	1.6	14.7	1.9	18.0	1.9	18.0	3
4	1.5	7.4	1.7	10.0	2.7	18.2	3
5	1.2	3.9	2.13	16.3	2.1	16.3	5
6	1.2	3.9	1.4	8.1	1.4	8.1	2
7	1.2	5.3	1.8	6.5	2.0	13.6	3
8	1.8	12.7	Sin desprendimiento		1.9	15.2	5
9	1.5	5.5	1.6	6.6	2.1	17.1	4
10	1.5	5.8	2.0	16.3	2.0	16.3	4
11	1.3	4.9	1.6	8.9	1.9	15.4	3
12	1.6	8.2	1.8	12.1	2.4	24.6	4
13	1.4	3.9	1.5	5.0	2.3	21.5	4
14	1.2	3.1	1.4	5.1	2.2	24.7	2
15	1.5	5.8	1.9	16.5	2.5	24.7	2
16	1.3	4.1	1.5	8.3	2.1	23.9	1
17	1.2	4.1	1.4	6.8	2.0	25.0	1
18	1.6	10.2	Sin desprendimiento		2.5	25.0	5
19	1.2	3.2	1.3	5.2	1.9	24.0	1
20	1.3	3.7	1.4	5.5	2.4	24.5	2
21	1.2	3.4	1.4	5.6	2.1	24.6	2
22	1.3	4.1	1.4	6.3	2.7	23.8	1
23	1.0	8.0	1.3	8.1	2.2	23.9	1
24	1.2	3.7	1.4	6.9	1.9	25.2	2
25	1.3	3.4	1.5	6.4	2.2	25.3	2
26	1.3	3.5	1.5	6.6	2.1	25.3	1
27	1.2	3.3	1.4	6.0	2.1	25.0	1



Fig. 3. 8. Separaciones entre centros.

Se respetó la separación entre eje y eje 2.1/8 pulg previo a la preparación del ensayo, se realizaron simulaciones de dobléz, para asegurar que no afectaría está separación el proceso completo, Se muestra Fig. 3.8 previo a los ensayos.



Fig. 3. 9. Calibración del equipo.

En la Fig. 3.9 se observa el proceso de calibración para cada probeta, previa al ensayo, ajustando el rodillo y la probeta para iniciar el proceso de dobléz, según variables de tiempo y deformación definidos en el Equipo Universal de ensayos MULTISPEEDD.

El equipo ensamblado para iniciar los ensayos se presenta en la Fig. 3.10 apoyo en tres puntos, embolo principal, y dos soportes inferiores, pantalla de curva carga-deflexión con el equipo MULTISPEED, para ensayos de flexión de tres puntos.

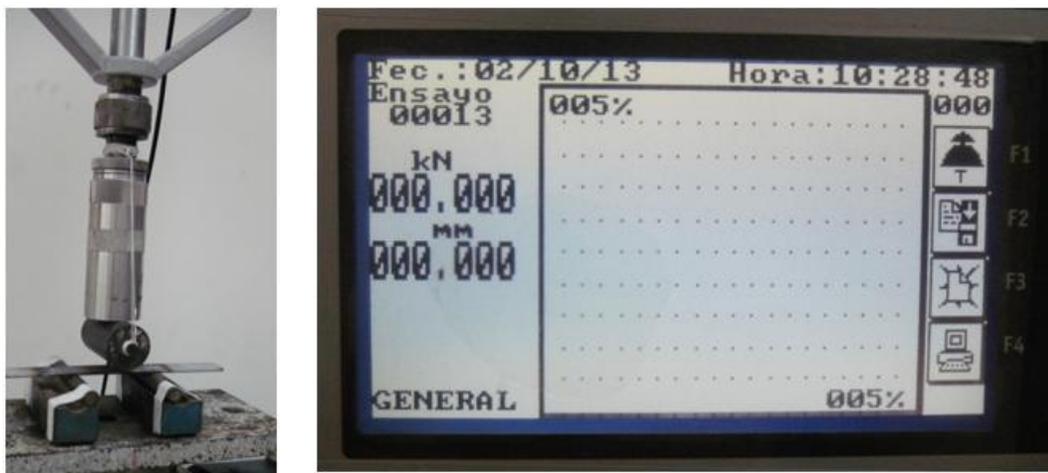


Fig. 3. 10. Equipo para ensayo de flexión MULTISPEED

3.3. RESULTADO DE ENSAYO DE FLEXIÓN EN PROBETAS TERMORROCIADAS

En las Figs 3.11-12 se presenta la probeta en el momento del ensayo y la curva carga-deflexión, respectivamente. El revestimiento falló antes de concluir los 2.5 cm, está probeta fue calificada con ponderación de 2.



Fig. 3. 11. Probeta termorrociada N° 1.

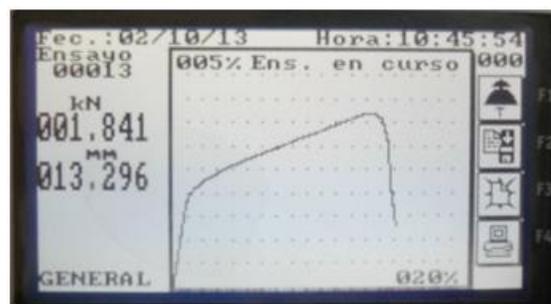


Fig. 3. 12. Curva Carga-Deflexión N° 1

En la Figs. 3.13-63 se presenta zonas de falla del revestimiento de la probeta termorrociada desde la N° 2 hasta la 27, respectivamente. Además, es

importante destacar que la calificación de las correspondientes ponderaciones se presenta en la Tabla 3.3.



Fig. 3. 13. Probeta termorrociada N° 2.

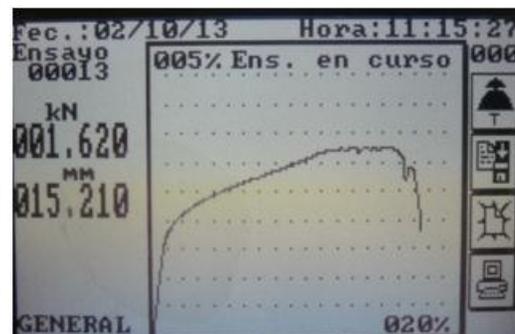


Fig. 3. 14. Curva Carga-Deflexión N° 2.

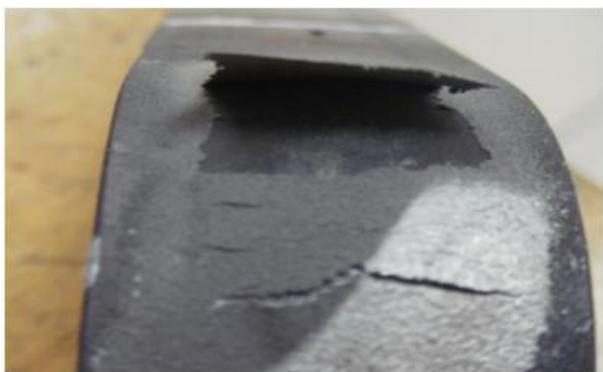


Fig. 3. 15. Probeta termorrociada N° 3.



Fig. 3. 16. Curva Carga-Deflexión N° 3.



Fig. 3. 17. Probeta termorociada N° 4.



Fig. 3. 18. Curva Carga-Deflexión N° 4.

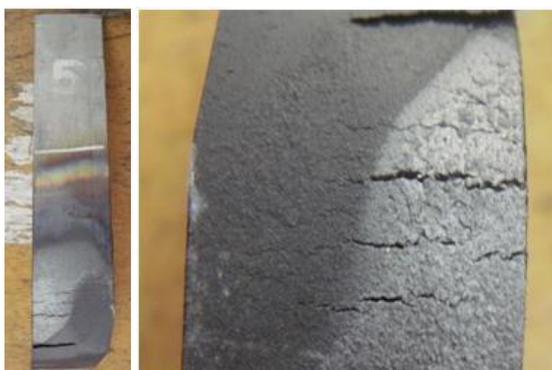


Fig. 3. 19. Probeta termorociada N° 5.



Fig. 3. 20. Curva Carga-Deflexión N° 5.

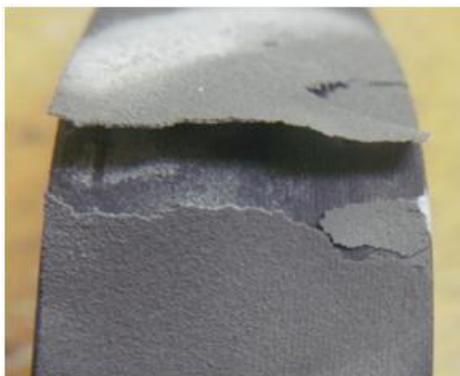


Fig. 3. 21. Probeta termorociada N° 6.



Fig. 3. 22. Curva Carga-Deflexión N° 6.



Fig. 3. 23. Probeta termorociada N° 7.

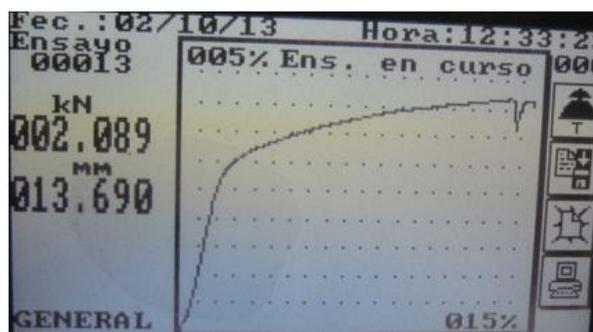


Fig. 3. 24. Curva Carga-Deflexión N° 7.



Fig. 3. 25. Probeta termorociada N° 8.

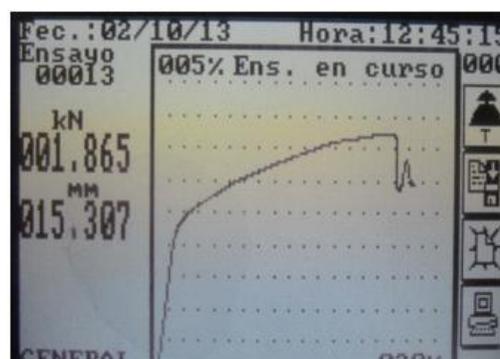


Fig. 3. 26. Curva Carga-Deflexión N° 8.



Fig. 3. 27. Probeta termorociada N° 9.

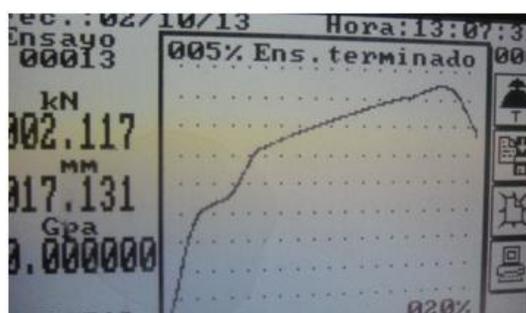


Fig. 3. 28. Curva Carga-Deflexión N° 9.



Fig. 3. 29. Probeta termorociada N° 10.



Fig. 3. 30. Curva Carga-Deflexión N° 10.



Fig. 3. 31. Probeta termorociada N° 11.

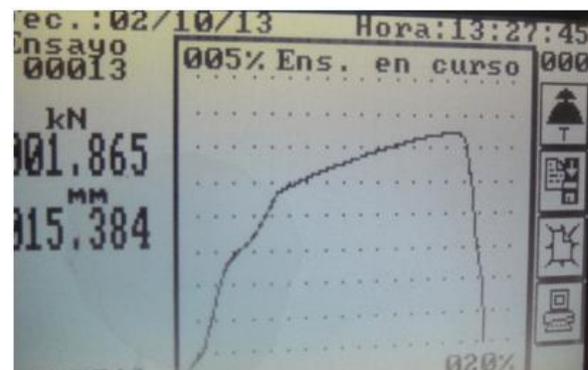


Fig. 3. 32. Curva Carga-Deflexión N° 11.



Fig. 3. 33. Probeta termorociada N° 12.

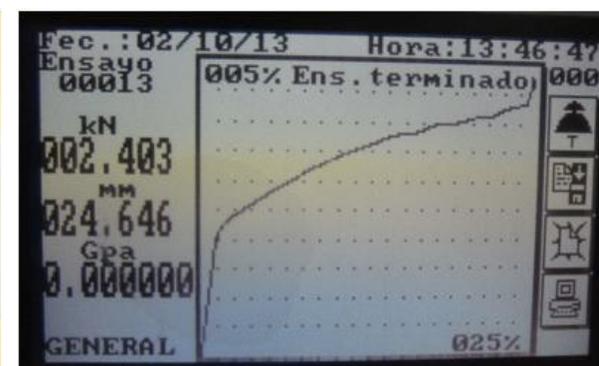


Fig. 3. 34. Curva Carga-Deflexión N° 12.



Fig. 3. 35. Probeta termorociada N° 13.

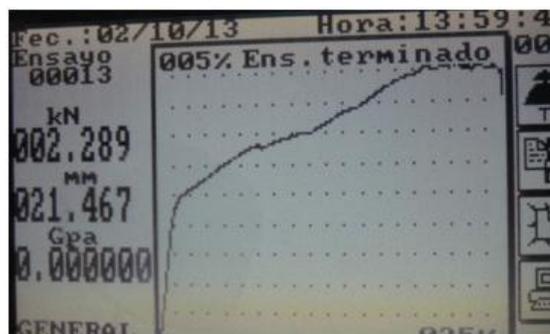


Fig. 3. 36. Curva Carga-Deflexión N° 13.



Fig. 3. 37. Probeta termorociada N° 14.

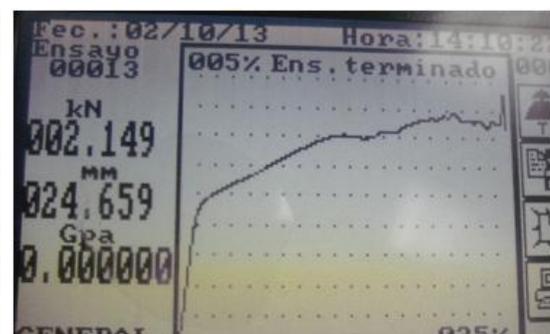


Fig. 3. 38. Curva Carga-Deflexión N° 14.



Fig. 3. 39. Probeta termorociada N° 15.

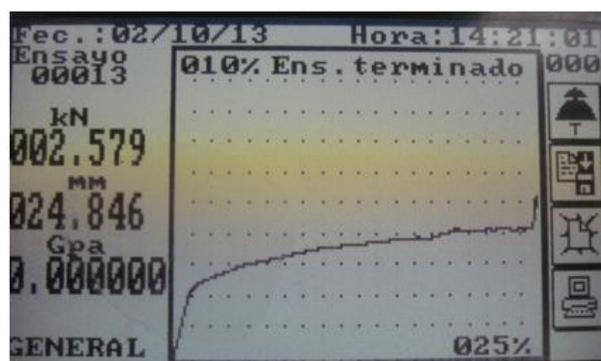


Fig. 3. 40. Curva Carga-Deflexión N° 15.



Fig. 3. 41. Probeta termorrociada N° 16.

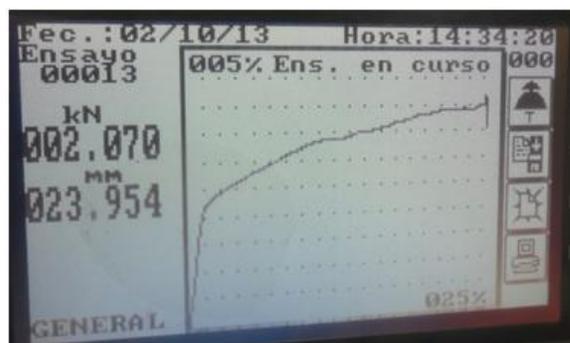


Fig. 3. 42. Curva Carga-Deflexión N° 16



Fig. 3. 43. Probeta termorrociada N° 17.



Fig. 3. 44. Curva Carga-Deflexión N° 17.



Fig. 3. 45. Probeta termorrociada N° 18.



Fig. 3. 46. Curva Carga-Deflexión N° 18.



Fig. 3. 47. Probeta termorrociada N° 19.

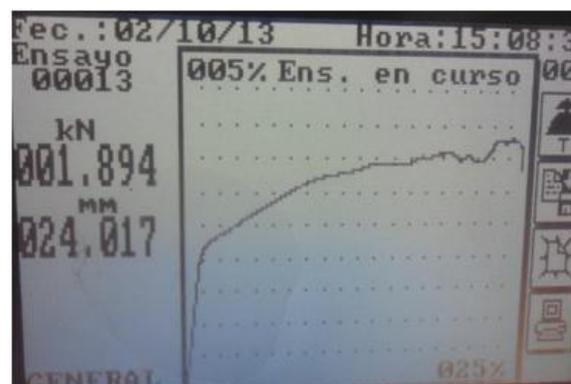


Fig. 3. 48. Curva Carga-Deflexión N° 19.



Fig. 3. 49. Probeta termorrociada N° 20.



Fig. 3. 50. Curva Carga-Deflexión N° 20



Fig. 3. 51. Probeta termorrociada N° 21.

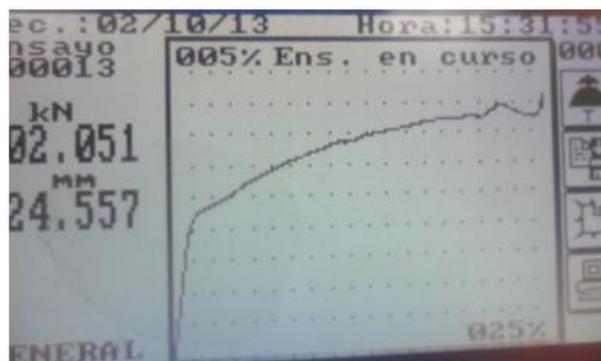


Fig. 3. 52. Curva Carga-Deflexión N° 21.



Fig. 3. 53. Probeta termorrociada N° 22.

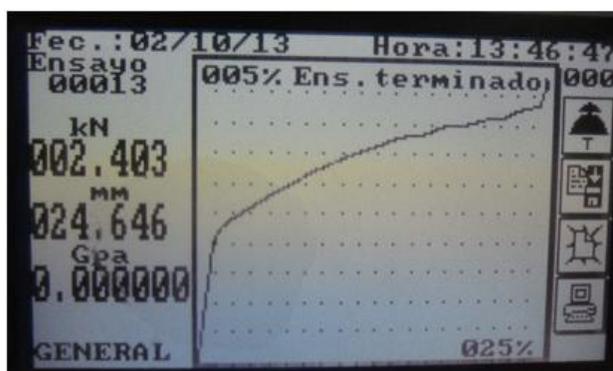


Fig. 3. 54. Curva Carga-Deflexión N° 22.

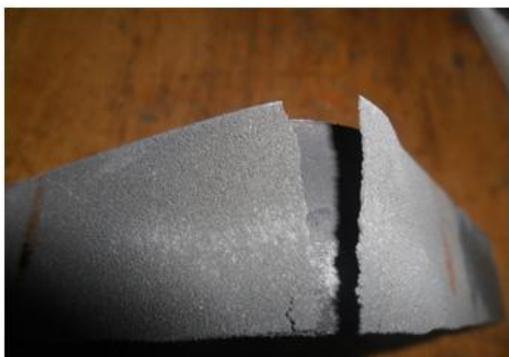


Fig. 3. 55. Probeta termorrociada N° 23.

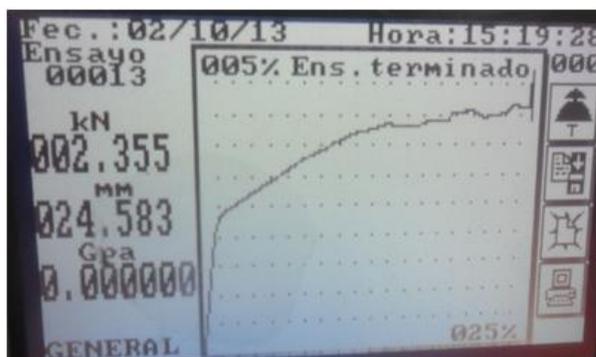


Fig. 3. 56. Curva Carga-Deflexión N° 23.



Fig. 3. 57. Probeta termorrociada N° 24.

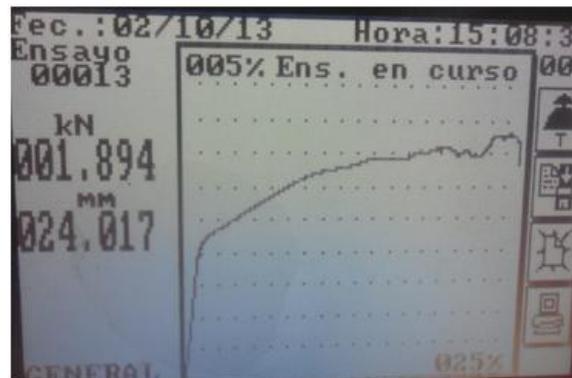


Fig. 3. 58. Curva Carga-Deformación N° 24.



Fig. 3. 59. Probeta termorrociada N° 25.

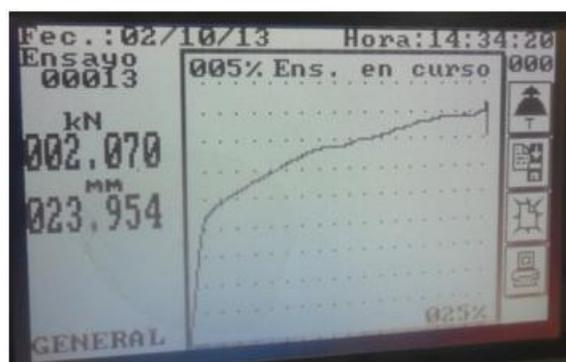


Fig. 3. 60. Curva Carga-Deformación N° 25.



Fig. 3. 61. Probeta termorrociada N° 26.

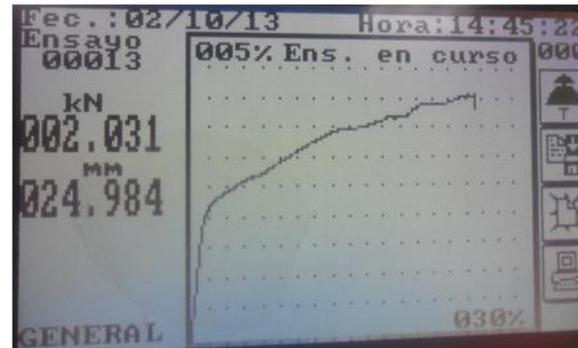


Fig. 3. 62. Curva Carga-Deformación N° 26.



Fig. 3. 63. Probeta termorrociada N° 27.



Fig. 3. 64. Curva Carga-Deformación N° 27.

3.4. INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS

Realizado con satisfacción los ensayos de flexión de tres puntos a las 27 probetas, y con el fin de definir de manera más precisa la interpretación de los resultados se han construido 6 gráficas que contemplan los siguientes parámetros:

- ponderación
- probetas (agrupados por distancias de aplicación, definidos en cuadro como P1, P2, P3,)
 - ✓ color rojo 3 cm
 - ✓ color verde 6 cm
 - ✓ color azul 9 cm.

Las gráficas fueron agrupadas por relaciones de presión, según el proceso de termorrociado que se aplicó previo a los ensayos:

- Relación 1 Oxígeno-Acetileno: 5/0.5 bar/bar
- Relación 2 Oxígeno-Acetileno: 1.5 /0.2 bar/bar
- Relación 3 Oxígeno-Acetileno: 3.5/0.35 bar/bar

Así, se presentan dos tipos de gráficas para cada relación de presiones, en la primera de las gráficas se presenta un diagrama de barras, la ponderación de estas como medida cuantitativa en el eje “y” vr distancias de termorrociado como medida cualitativa en el eje “x”. En la segunda gráfica se presenta una tendencia de áreas para observar de mejor manera que lotes de probetas estuvieron más cerca de las ponderaciones más altas, la ponderación de estas como medida cuantitativa en el eje “y” vr distancias aplicadas como medida cualitativa en el eje “x”.

3.4.1. INTERPRETACIÓN RELACIÓN OXÍGENO-ACETILENO 1

Se realizó ensayo en lote de probetas con relaciones de presión 5/0.5, con distancias de 3, 6 y 9 cm de termorrociado, cada una de estas con una distancia de 3 cada una, las probetas que presentaron una ponderación mayor, son las de las distancias 6 y 9 con una valoración de 5, entre estas:

- ✓ PROBETA 5, está probeta fue termorrociada a una relación de presión 5/0.5, a una distancia de 6 cm (distancia media tomado del Handbook Thermal Spray), con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.22 min, fue sometida hasta una carga de 2.1 kN con una deflexión de 16.3 mm, presentó desprendimiento de capa de termorrociado a 2.1 kN con una deflexión 16.33 mm como parámetro final, ver Fig. 3.64.
- ✓ PROBETA 8 está probeta fue termorrociada a una relación de presión 5/0.5, a una distancia de 9 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.18 min, fue sometida hasta una fuerza de 1.9 kN con una deflexión de 15.2 mm. Esta fue una de las mejores ponderadas, sin presentar desprendimiento de la capa.

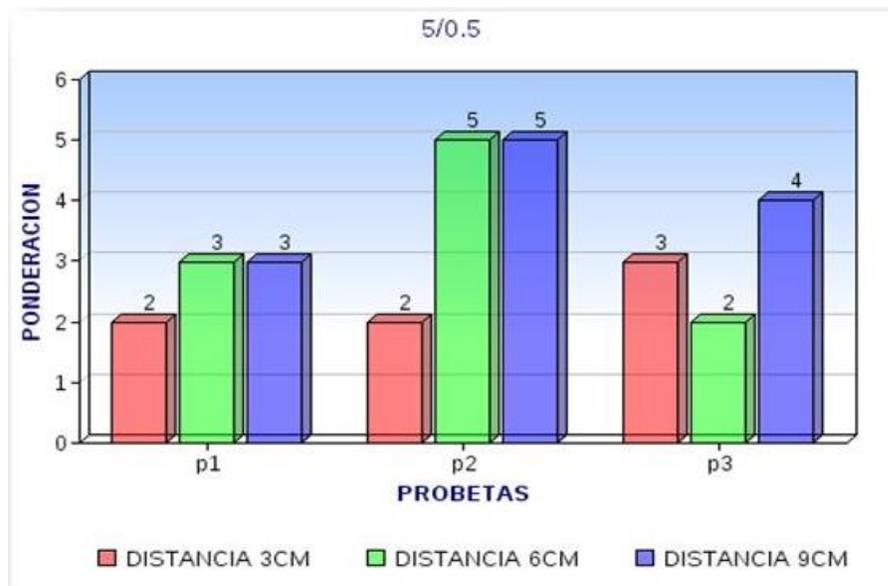


Fig. 3. 65. Interpretación proporción 5/0.5 Oxigeno-Acetileno

Las probetas termorrociadas a una relación de presión 5/0.5, a distancias de 6 y 9 cm presentaron una tendencia a obtener mejores ponderaciones, con respecto a las probetas termorrociadas a una distancia de 3 cm (ver Fig. 3.65), tal es el caso de las probetas 4, 7 y 9 que presentan ponderaciones de 3, 3 y 4, respectivamente. Así:

- ✓ PROBETA 4 está probeta fue termorrociada a una relación de presión 5/0.5, a una distancia de 6 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.24 min, fue sometida hasta una fuerza de 2.7 kN con una deflexión de 18.0 mm, presentó desprendimiento de capa de termorrociado a 1.7 kN con una deflexión de 10.0 mm como parámetro final.
- ✓ PROBETA 7 está probeta fue termorrociada a una presión 5/0.5, a una distancia de 9 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.24 minutos, fue sometida hasta una fuerza de 2.0 kN con una deflexión de 13.6 mm, presentó desprendimiento de la capa de revestimiento a 1.8 kN con una deflexión de 6.5 mm como parámetro final.
- ✓ PROBETA 9 está probeta fue termorrociada a una presión 5/0.5, a una distancia de 9 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.23 min, fue sometida hasta una fuerza de 2.1 kN con una deflexión de 17.1 mm, presentó desprendimiento de la capa de revestimiento a 1.6 kN con una deflexión de 6.6 mm como parámetro final.

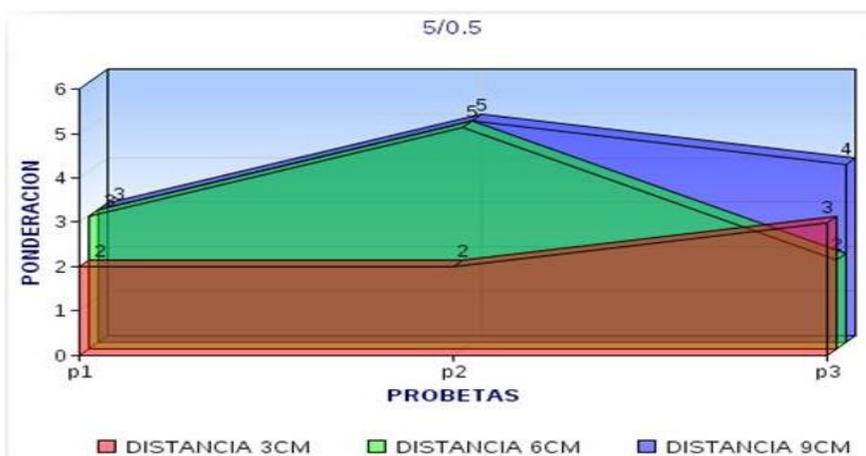


Fig. 3. 66. Tendencias de ponderaciones proporción 5/0.5 Oxígeno-Acetileno

3.4.2. INTERPRETACIÓN RELACIÓN OXÍGENO-ACETILENO 2

Se realizó ensayo en lote de probetas con relaciones de presiones de 1.5/0.2, con distancias de termorrociado de 3, 6 y 9 cm, cada una de estas con distancia de 3 cada una, las probetas que presentaron la ponderación mayor, son las referentes a la distancia de 9 cm con una valoración de 5, en referencia a esta probeta se puede observar su comportamiento durante el ensayo (ver Fig. 4.65). Esta probeta es:

- ✓ PROBETA 18 está probeta fue termorrociada a una relación de presión 1.5/0.2, a una distancia de 9 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.28 min, fue sometida hasta una carga de 1.9 kN con una deflexión de 15.2 mm, esta no presentó desprendimiento del revestimiento.

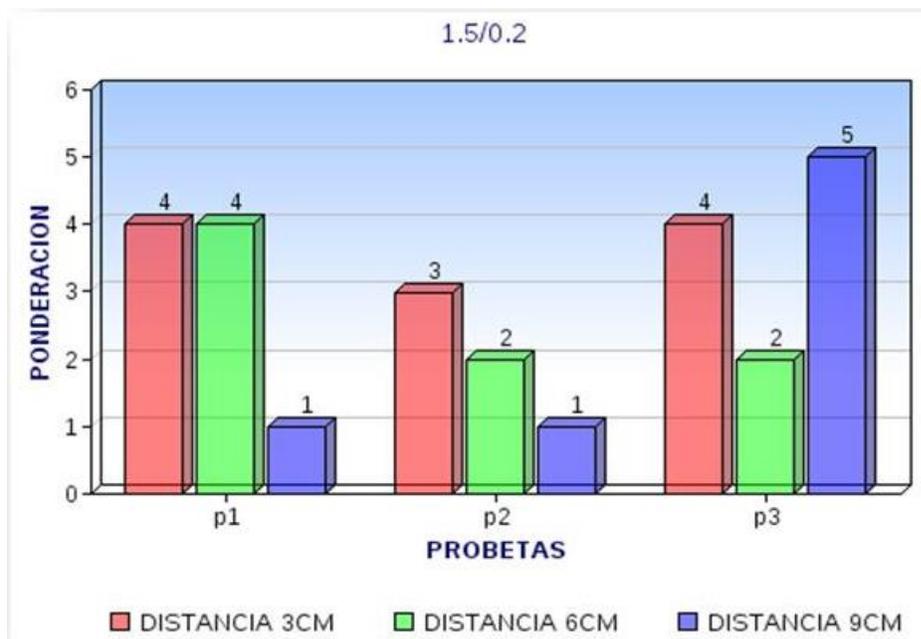


Fig. 3. 67. Interpretación proporción 1.5/0.2 Oxígeno-Acetileno

Las probetas ensayadas a distancia 3 cm presentan una tendencia a obtener mejores ponderaciones, con respecto a las probetas ensayadas a las distancias de 3 y 9 cm, con excepción a la probeta N° 18, que lleva una ponderación de 5 (ver Fig. 3.55). Estas probetas con mayor ponderación (4) son:

- ✓ PROBETA 10 está probeta fue termorrociada a una relación de presión 1.5/0.2, a una distancia de 3 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.30 min, fue sometida hasta una carga de 2.0 kN con una deflexión de 16.3 mm, presentó desprendimiento del revestimiento a una carga de 2.0 kN y deflexión 16.3 mm.
- ✓ PROBETA 12 está probeta fue termorrociada a una relación de presión 1.5/0.2, a una distancia de 3 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.22 min, fue sometida hasta una carga de 2.4 kN con una deflexión de 24.6 mm, presentó desprendimiento del revestimiento de termorrociado a una carga de 1.8 kN y deflexión 12.1 mm.
- ✓ PROBETA 13. Está probeta fue termorrociada a una relación de presión 1.5/0.2, a una distancia de 6 cm, con un tiempo total de preparación, calentamiento y aplicación de 1.19 min, fue sometida hasta una carga de 2.3 kN con una deflexión de 21.5 mm, presentó desprendimiento del revestimiento a una carga de 1.5 kN y deflexión 5.0 mm.

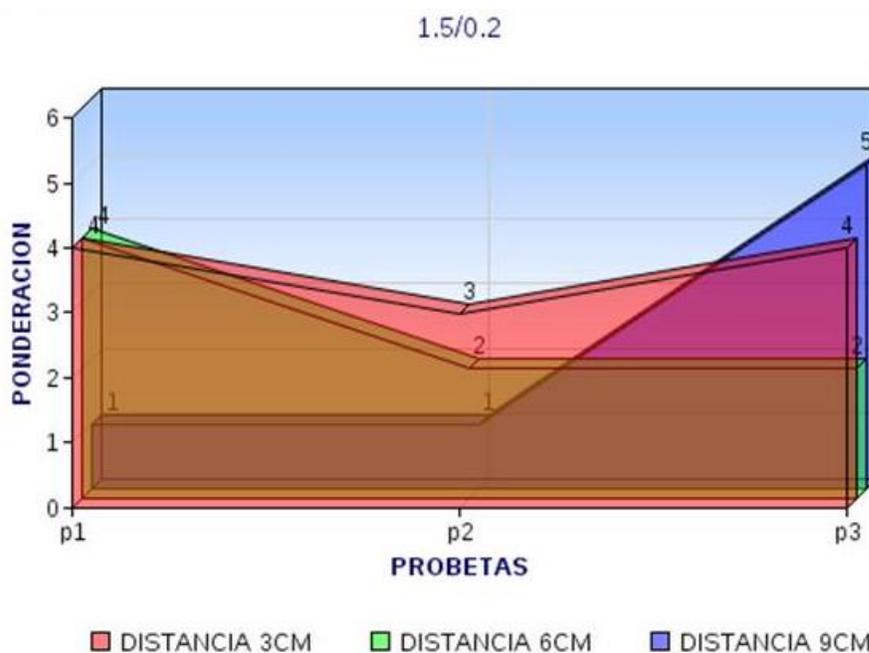


Fig. 3. 68. Tendencias de ponderaciones proporción 1.5/0.2 Oxígeno-Acetileno.

3.4.3. INTERPRETACIÓN RELACIÓN OXÍGENO-ACETILENO 3

Se realizó ensayo en lote de probetas con relaciones de presiones de 3.5/0.35, con distancias de 3, 6 y 9 cm de aplicación de polvos, cada una de estas con distancia de 3 cada una, las probetas que presentaron una ponderación mayor, son las referentes a la distancia 3 cm con una ponderación de 2 para las probetas 20 y 21, la referente a la distancia 6 cm, con una ponderación de 2 para la probeta 24 y la referente a la distancia de 9 cm, con una ponderación de 2, para la probeta 25 (ver Fig. 3.67)

Esté lote fue realmente deficiente en cuanto a calidad, a pesar de haber tenido las ponderaciones más altas de este grupo de relación de presiones, no son suficientes para lograr un proceso adecuado.

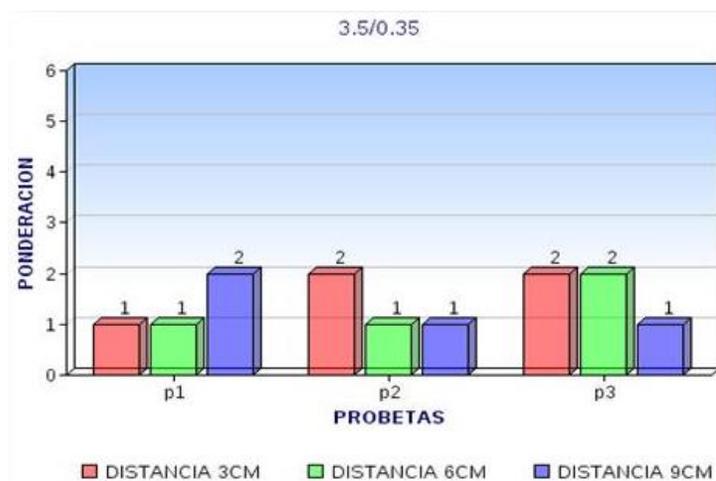


Fig. 3. 69. Interpretación proporción 3.5/0.35 Oxígeno-Acetileno

Las probetas ensayadas a distancias de 3 cm, presentaron un promedio mayor a las distancias de 6 y 9 cm, sin embargo la ponderación es demasiado baja para ser consideradas, un punto óptimo de operación para el proceso (ver gráfico 3.68).

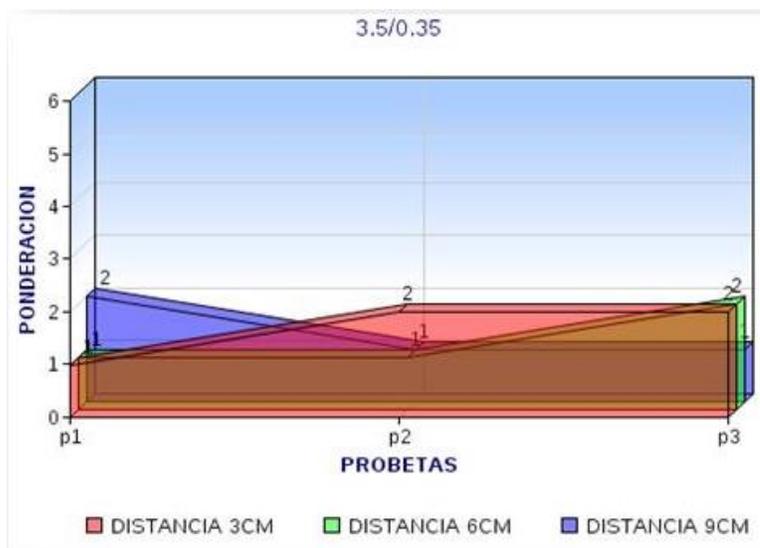


Fig. 3. 70. Tendencias de ponderaciones proporción 1.5/0.2 Oxígeno-Acetileno

3.5. PUNTO DE OPERACIÓN

Los parámetros de operación del sistema de termorrociado se obtiene de las probetas con las mejor ponderación entre 3 y 5, las cuales fueron seleccionadas y analizados sus parámetros ver los parámetros teóricos de termorrociado.

Estás, presentaron una capa de recubrimiento en un intervalo de 400 a 450 μm , 0.45 mm (ver Tabla. 3.4 y Tabla 3.5), probeta 8 y 18.

Tabla 3. 4. Lote de probetas mejor ponderadas .

N°	Relación Oxígeno-Acetileno, bar/bar	Distancia de Termorrociado, cm	Desprendimiento		Ponderación
			Carga, kN	Deflexión, mm	
4	5/0.5	6	1.7	10.0	3
5	5/0.5	6	2.13	16.3	5
7	5/0.5	9	1.8	6.5	3
8	5/0.5	9	Sin desprendimiento		5
9	5/0.5	9	1.6	6.6	4
10	1.5/0.2	3	2.0	16.3	4
12	1.5/0.2	3	1.8	12.1	4
13	1.5/0.2	6	1.5	5.0	4
18	1.5/0.2	9	Sin desprendimiento		5

Tabla 3. 5. Punto de operación.

Punto óptimo de operación		
Relación oxígeno-acetileno, bar/bar	Distancia de termorrociar, cm	Número de boquilla de corte
5/0.5	9	4

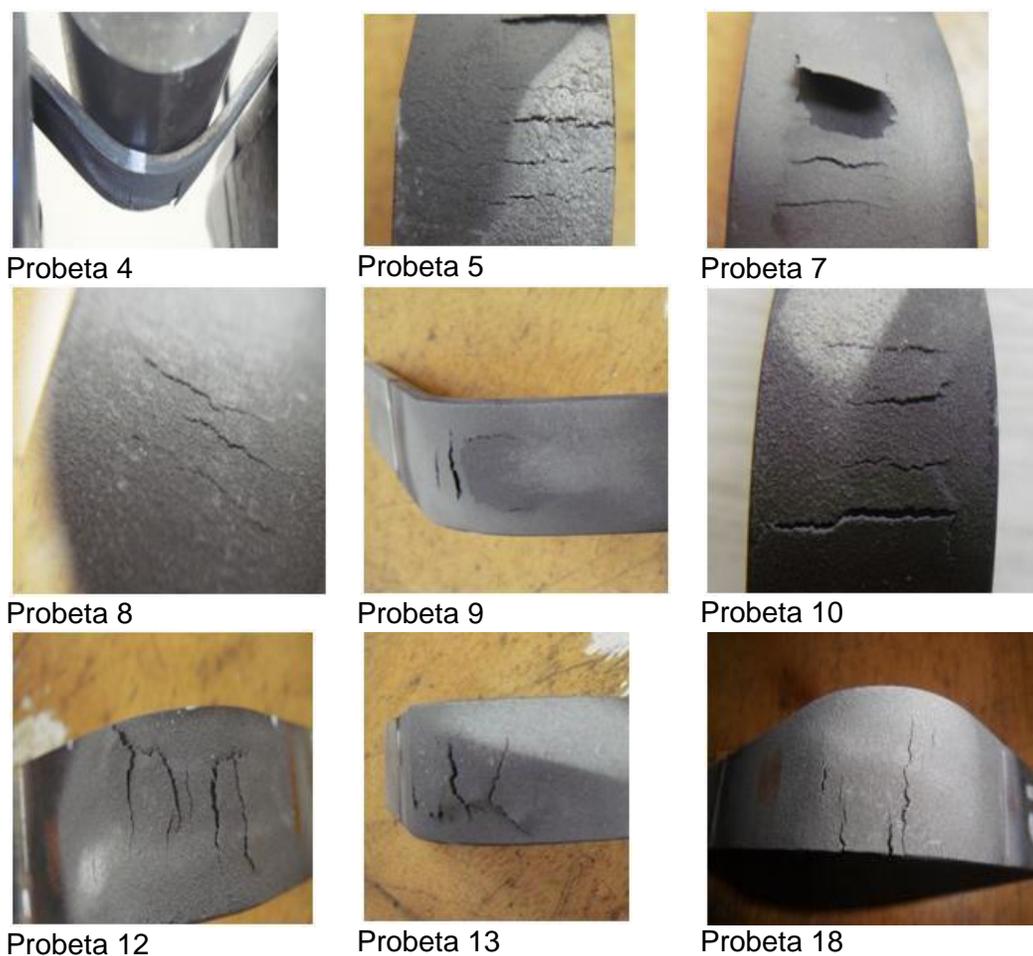


Fig. 3. 71. Resultados cualitativos de ensayo de flexión de probetas con mayor ponderación

4. INDICADORES ECONÓMICOS Y COSTOS DEL PROYECTO

La evaluación económica de proyectos de cooperación tiene por objetivo identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión en un proyecto antes de la implementación del mismo. La evaluación económica es un método de análisis útil para adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas.

4.1. COSTOS ESTIMADOS DEL PROYECTO

Tabla 4. 1. Costos totales de fabricación en este trabajo de graduación.

Descripción	Costos, \$
Cilindro bronce sin maquinar	86.00
Maquinado de accesorio	185.00
Boquillas	5.00
Válvula de maneral	7.50
Tornillo Tolva	10.00
Brocas	3.50
Silicón	2.50
Uso de taller	15.00
Malla mesh	3.70
Polvos de Termorrociado	171.59
Válvulas anti retorno de flama	70.06
Manguera de 3mm	1.07
Manquera de 1mm	2.60
Broca de 1/32 y 3/64	2.00
Decapante ANTOX	95.00
Acero inoxidable AISI 304	35.00
Mano de obra	36.00
SUMATORIA	731.52

4.2. COMPARACIÓN DE COSTOS CON COMERCIAL

Tabla 4. 2. Costos de fabricación de accesorio.

Descripción	Costos, \$
Maquinado de accesorio	185.00
Boquillas	5.00
Válvula de maneral	7.50
Tornillo Tolva	10.00
Brocas	3.50
Silicón	2.50
Uso de taller	15.00
Polvos de Termorrociado	171.59
Válvulas anti retorno de flama	70.06
Manguera de 3 mm	1.07
Manquera de 1 mm	2.60
Brocas de 1/32 y 3/64 pulg	2.00
Decapante ANTOX	95.00
Mano de obra	36.00
Equipo Acetileno, maneral de corte	213.85
SUMATORIA	820.67

Tabla 4. 3. Costos de pistola para termorrociado comercial -exportación

Descripción	Costos, \$
Polvos de termorrociado	171.59
Válvulas anti retorno de flama	70.06
Decapante ANTOX	95.0
Pistola para Termorrociado marca HARRIS (Incluye IVA y gastos de envío)	745.80
Sumatoria	1082.45

Ver Anexo C, Cotizaciones de Válvulas antirretorno de flama, Polvos de Termorrociado, Decapante Antox, Maneral equipo de corte y pistola opción comercial.

4.3. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

El VAN y el TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo proyecto o negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de un nuevo producto, la adquisición de nueva maquinaria, el ingreso en un nuevo rubro de negocio, etc.

Estas herramientas permiten evaluar el proyecto de forma financiera, orientado a inversionistas,

$$TIR_1 = 1.02$$

$$TIR_1 = 1.02$$

4.3.1. TASA MÍNIMA DE RENDIMIENTO (TMAR)

Como su nombre lo indica es la mínima cantidad de rendimiento que el inversionista estaría dispuesto a recibir por arriesgarse a colocar en un proyecto dado su dinero.

Esta tasa debe ser calculada considerando la tasa de inflación existente en el país, ya que al tomarla como parámetro se asegura que el capital invertido no perderá su valor adquisitivo, y además se debe considerar un premio al riesgo por invertir en el proyecto.

$$\text{TMAR} = \text{TIN} + R + (\text{TIN} * R)$$

donde:

TIN= tasa de inflación proyectada

R= tasa de interés a la que se aspira obtener los inversionistas

Si se toma en este proyecto el promedio de tasa de inflación proyectada para este año 2013 de 3.98 y la tasa de interés que se aspira obtener de 15%

$$\text{TMAR} = 0.0398 + 0.15 + (0.0398 * 0.15)$$

$$\text{TMAR} = 0.19$$

4.3.2. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedará alguna ganancia. Así, si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

Es suficiente calcular el VAN de un proyecto de inversión para saber si dicho proyecto es viable o no. El VAN también permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión. Incluso, si alguien ofrece comprar el negocio, con este indicador se puede determinar si el precio ofrecido está por encima o por debajo de lo que se ganaría de no venderlo.

Para seleccionar la tasa adecuada no existe un criterio común, algunos autores proponen el empleo de la tasa de interés bancaria sobre préstamos a largo plazo, el índice de inflación más una prima de riesgo, el costo ponderado de capital, etc.

Si la tasa seleccionada es muy alta, entonces puede rechazarse los proyectos que tengan buenos retornos, por otro lado, una tasa que sea muy baja puede dar lugar a aceptar proyectos que en los hechos conduzcan a pérdidas económicas. Se puede usar como el valor de la tasa de actualización

al TREMA, el cual es la tasa de Rentabilidad mínima atractiva. El VAN se puede calcular como:

$$\text{VAN} = \text{BNA} - \text{Inversión}$$

Donde el beneficio neto actualizado (BNA) es el valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado, el cual ha sido actualizado a través de una tasa de descuento.

La tasa de descuento (TD) del flujo neto proyectado, es la tasa de oportunidad, rendimiento o rentabilidad mínima, que se espera ganar; por lo tanto, cuando la inversión resulta mayor que el BNA (VAN negativo o menor que 0) es porque no se ha satisfecho dicha tasa. Cuando el BNA es igual a la inversión (VAN igual a 0) es porque se ha cumplido con dicha tasa. Además, cuando el BNA es mayor que la inversión es porque se ha cumplido con dicha tasa y se ha generado una ganancia o beneficio adicional.

$$\text{VAN} = \sum \frac{V_t}{(1 + K)^t} - I_0$$

VAN > 0, indica que el proyecto es rentable.

VAN = 0, indica que el proyecto es rentable también, porque ya está incorporado ganancia de la TD.

VAN < 0, indica que el proyecto no es rentable.

Donde:

V_t = Representa el flujo de caja total

K = Representa el índice del valor de interés del proyecto

I_0 = Representa el desembolso inicial de la inversión.

t = periodos de la inversión

4.3.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La TIR es la tasa de descuento (TD) de un proyecto de inversión que permite que el BNA sea igual a la inversión (VAN igual a 0). La TIR es la máxima TD que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que 0).

Entonces para calcular la TIR se necesitan:

- Tamaño de inversión.
- Flujo de caja neto proyectado

Se definirá de aquí en adelante como:

- **PROYECTO 1:** Construcción y ensamble de pistola de Termorrociado
- **PROYECTO 2:** Opción comercial

$$VAN = \sum \frac{V_t}{(1 + K)^t} - I_0$$

$$VAN = \sum \frac{820.67}{(1 + 0.11)^1} - 535.80$$

$$VAN 1 = 203.54 = \text{Pistola de Termorrociado}$$

Evaluando si

$VAN \geq 0$ la inversión es aceptada

$VAN < 0$ la inversión es rechazada

$VAN 1 \geq 0$, La inversión es aceptada

$$VAN = \sum \frac{V_t}{(1 + K)^t} - I_0$$

$$VAN 2 = \sum \frac{1082.45}{(1 + 0.11)^1} - 535.80$$

$$VAN 2 = 391.38 = \text{Opción comercial}$$

Evaluando si

$VAN \geq 0$ la inversión es aceptada

$VAN < 0$ la inversión es rechazada

$VAN 2 \geq 0$ La inversión es aceptada

$$TIR = VAN = 0 = \sum \frac{Vt}{(1+K)^t} - I_0$$

$$TIR = VAN = 0 = \sum \frac{V}{(1+K)^t} - I_0$$

$$I_0((1+K)^t) = Vt$$

$$I_0 + I_0K = Vt$$

$$K = \frac{Vt - I_0}{I_0}$$

$$TIR = K = \frac{Vt - I_0}{I_0}$$

$$TIR = K = \frac{1082.45 - 535.8}{535.80}$$

$$TIR1 = 1.02$$

$$TIR = VAN = 0 = \sum \frac{V}{(1+K)^t} - I_0$$

$$I_0((1+K)^t) = Vt$$

$$I_0 + I_0K = Vt$$

$$K = \frac{Vt - I_0}{I_0}$$

$$TIR = K = \frac{Vt - I_0}{I_0}$$

$$TIR = K = \frac{820.67 - 535.8}{535.80}$$

$$TIR2 = 0.5316$$

Evaluando si $TIR \geq TMAR$ la inversión es aceptada.

$TIR < TMAR$ la inversión es rechazada.

4.3.4. BENEFICIO COSTO (B/C)

La relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto

$$B/C = IT / CT$$

donde

IT: Ingresos totales del proyecto

CT: Costos totales del proyecto

$$\frac{B}{C} = IT / CT$$

$$\frac{B}{C} = 3000 / 820.67$$

$$\frac{B}{C} = 3.65$$

$$\frac{B}{C} 1 = 3000 / 1082.45$$

$$\frac{B}{C} 2 = 2.77$$

4.3.5. COMPARACIONES DE PROYECCIÓN ECONÓMICA

Al analizar ambas proyecciones, con los indicadores TMAR, VAN Y TIR, se puede definir que el proyecto 1 referente a nuestro proyecto de trabajo de graduación es viable y aceptado por índices TMAR, VAN Y TIR, Sin embargo proyecto 2 referente a compra comercial, muestra mejores índices TMAR, VAN y TIR, se establece el parámetro B/C que favorece el proyecto, teniendo como conclusión a tal que puede darse por aceptados ambos proyectos, pero

generará mayores ganancias, el designado PROYECTO 1 por bajos costos de construcción.

Tabla 4. 4. Indicadores de proyectos.

	TMAR	VAN	TIR	B/C	ACEPTACIÓN
PROYECTO 1	0.19	203.54	1.02	3.65	Positiva
PROYECTO 2	0.19	391.38	0.53160	2.77	Positiva

CONCLUSIONES

- El principio de venturi para la alimentación de polvos en pistolas de termorrociado, permite una alimentación controlada, por lo tanto un buen termorrociado.
- Se comprueba que la ductilidad y maquinabilidad del bronce son efectivas en aplicaciones de sellos entre metal-metal.
- Según las pruebas, la separación de 9 cm entre la probeta y la pistola, es la más óptima para termorrociar, con esto se comprueba que un tamaño de flama de 10 cm debería ser el ideal, como lo dice la literatura.
- Se define punto de operación de la pistola en proporción 5 bares de oxígeno y 0.5 bares de acetileno, ideal a lo que la literatura recomienda para equipo de oxicorte,
- Dado en indicador económico Beneficio-Costo, la opción de nuestra pistola obtuvo un mejor indicador B/C con respecto a la opción comercial.

REFERENCIAS

- [1] Diaz N., Siul J., Franco S., Adolfo A., Análisis comparativo de la resistencia al desgaste de piezas sinterizadas y piezas recubiertas por rociado térmico HVOF, Universidad Central de Venezuela, 2002.
- [2] Arturo Finco, Iván Núñez, Diseño y construcción de un sistema automático de desplazamiento longitudinal y rotacional para el termorociado de cojinetes de Babbitt, Universidad Central de Venezuela, 2002.
- [3] John D. Streeter P., Introducción a la tecnología de rociado térmico y sus aplicaciones.
- [4] J.R. Davis Davis & Associate, Handbook of Thermal Spray Technology, Estados Unidos, 2004.
- [5] Evaluación del comportamiento a la fatiga y fatiga corrosión de una aleación comercial de aluminio recubierta por termo rociado vía HVOF, Universidad Central de Venezuela, 2003
- [6] Bryan André Posada David Gamboa Betancourth, Tesis protección contra la corrosión en sales fundidas de un acero por rociado térmico con una aleación níquel – cromo en el rango de temperatura de 50 – 650 grados centígrados, 2007
- [7] Protección anticorrosiva por termorociado, Aluminizado por termorociado, Metal Spray Perú, 2009
- [8] Héctor René Porrás Mirón. Termorociado en frío para mantenimiento correctivo y preventivo de piezas sometidas a desgastes, Guatemala, 2007

- [9] J. Da-Silva y José A. Nunes-Tesis de Grado Comportamiento a la Fatiga y Fatiga-Corrosión del Acero SAE 4140 Recubierto por Termo-Rociado, Venezuela, 2001.
- [10] Gedler y Paredes, Tesis de grado,UCV Evaluación del comportamiento a la fatiga y fatiga corrosión de una aleación comercial de aluminio recubierta por termorociado vía HVOF, Venezuela, 2001
- [11] http://www.metalsprayperu.com/web/informacion_tecnica/aluminizado_termorociado5.html
- [12] Marulanda, José Luddey. Rociado Térmico, Colombia, 2013, 136p.
- [13] Trevisan, R. Lima, C. Aspersao termica fundamentos y aplicaciones. Editorial Artliber. Sao Paulo – Brasil. 2002.
- [14] Eutectic Castolin. Curso de procesos y técnicas de aplicaciones de micropolvos.[www.redsoldadura.ceat.cl/soldadura/imagenes/materiale/1/0/proceso%20de%20metalizado\[1\].ppt](http://www.redsoldadura.ceat.cl/soldadura/imagenes/materiale/1/0/proceso%20de%20metalizado[1].ppt), 2013
- [15] . ZHENG, Xuejin; RAPP, Robert A. Electrochemical impedance study of platinum electrode un fused Na₂SO₄ – 10 mole percent NaVO₃ melts. J Electrochem.soc. Vol. 142.Enero 1995. Pág. 142-148.
- [16] <http://es.scribd.com/doc/88872284/PRESENTACION-COMPUESTOS>,
<http://es.scribd.com/doc/62832252/Metalizado>
- [17] <http://romapredictivo.com/servicios.html>, 2013
- [18] Eutectic Castolin, Material safety data sheet for Eutalloy® ChromTec 10680, 2008.
- [19] Victor, Cutting, heating and welding, 2009, pág. 173.
- [20] D. Iker Zuriguel Ballaz, Diseño de un silo cilíndrico para el almacenamiento de productos granulares, Universidad de Navarra, España, 2005.

- [21] David Mills, Pneumatic conveying design guide, 2 Ed. 2009.
- [22] Yumus A. Cengel, Michael A. Boles, 5^a Ed, México, Mc Graw Hill, 2012
- [23] ASTM International, Designation A370-03 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, Estados Unidos
- [24] ASTM International, Designation E-290-97^a, Standards Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility, Estados Unidos

ANEXO A FOTOGRAFIAS Y PLANOS

FOTOGRAFÍAS



Accesorio ensamblado



Válvula de polvos metálicos



Brida de sujeción de mezclador



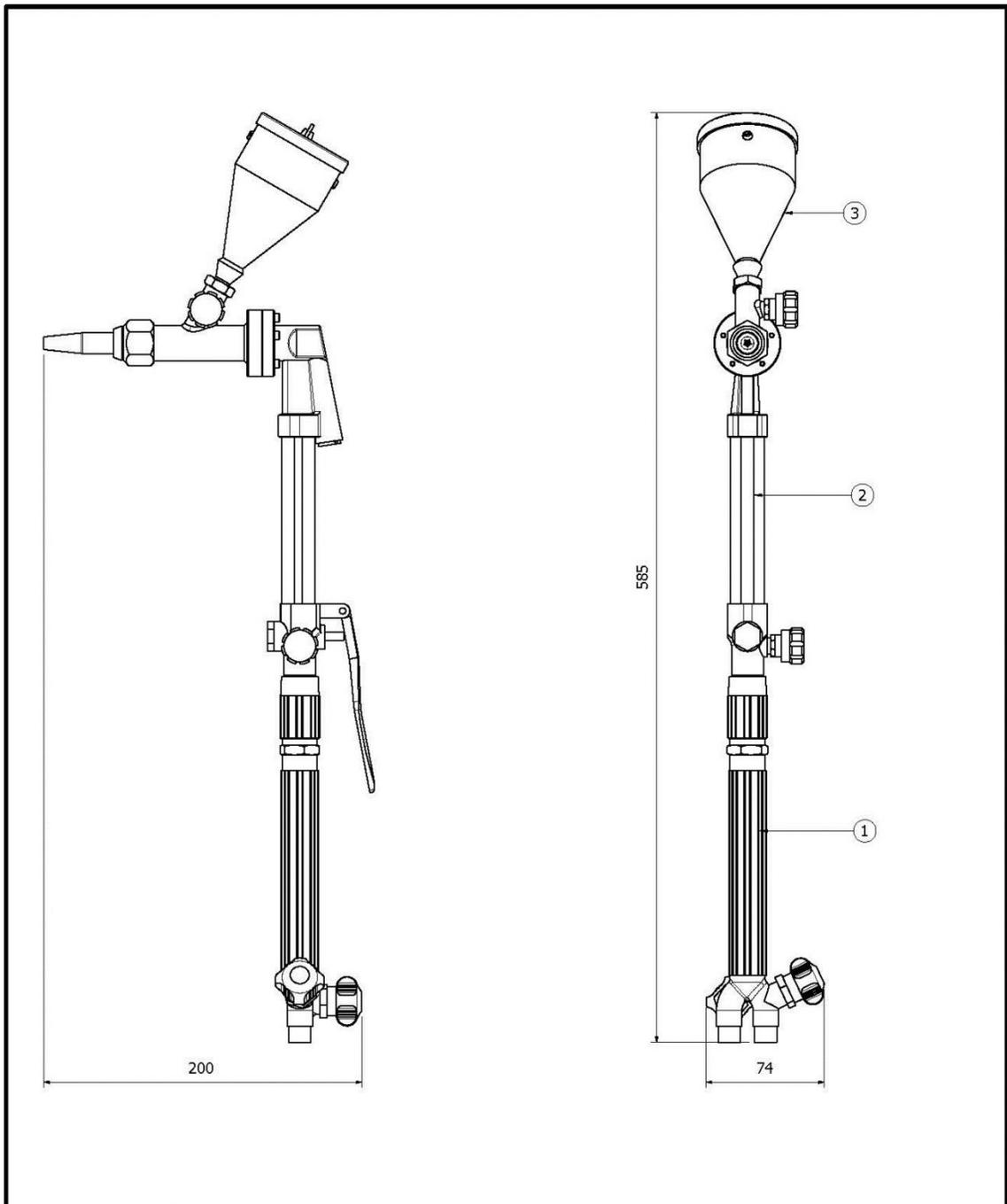
Tolva de polvos metálicos



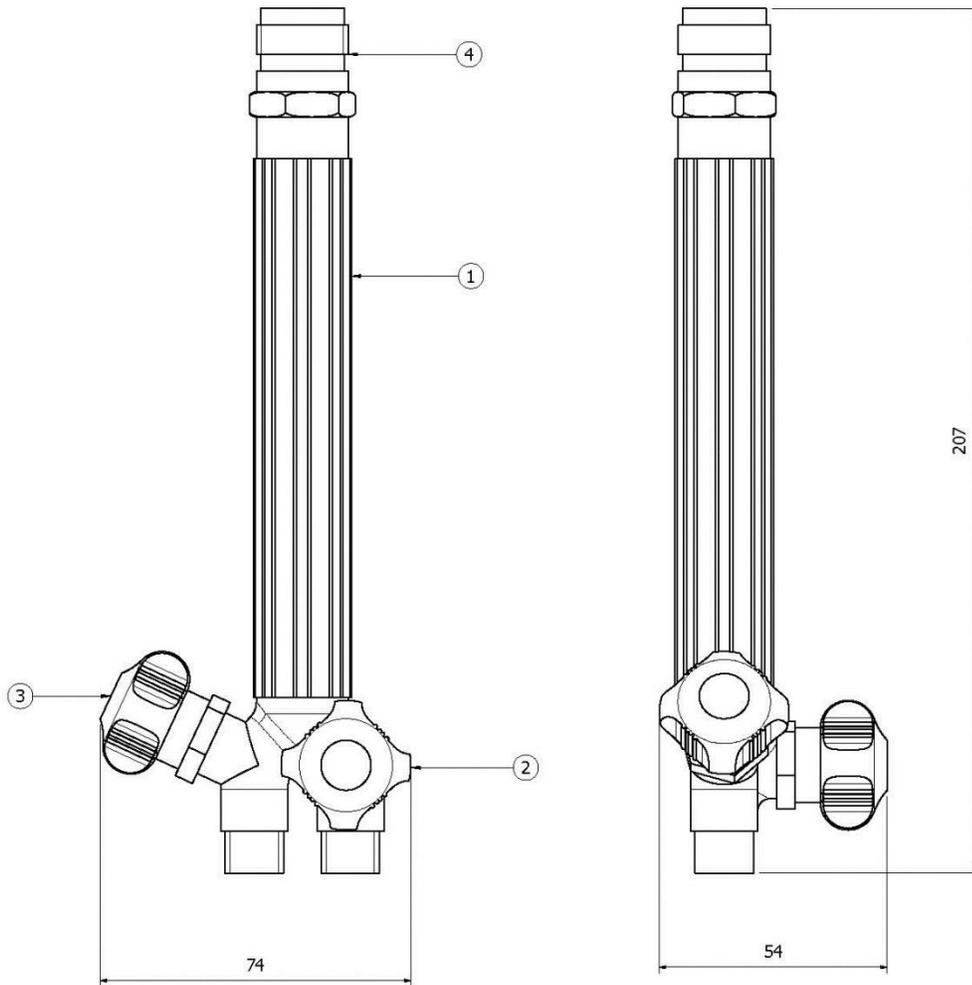
Mezclador, tolva y boquilla ensamblados



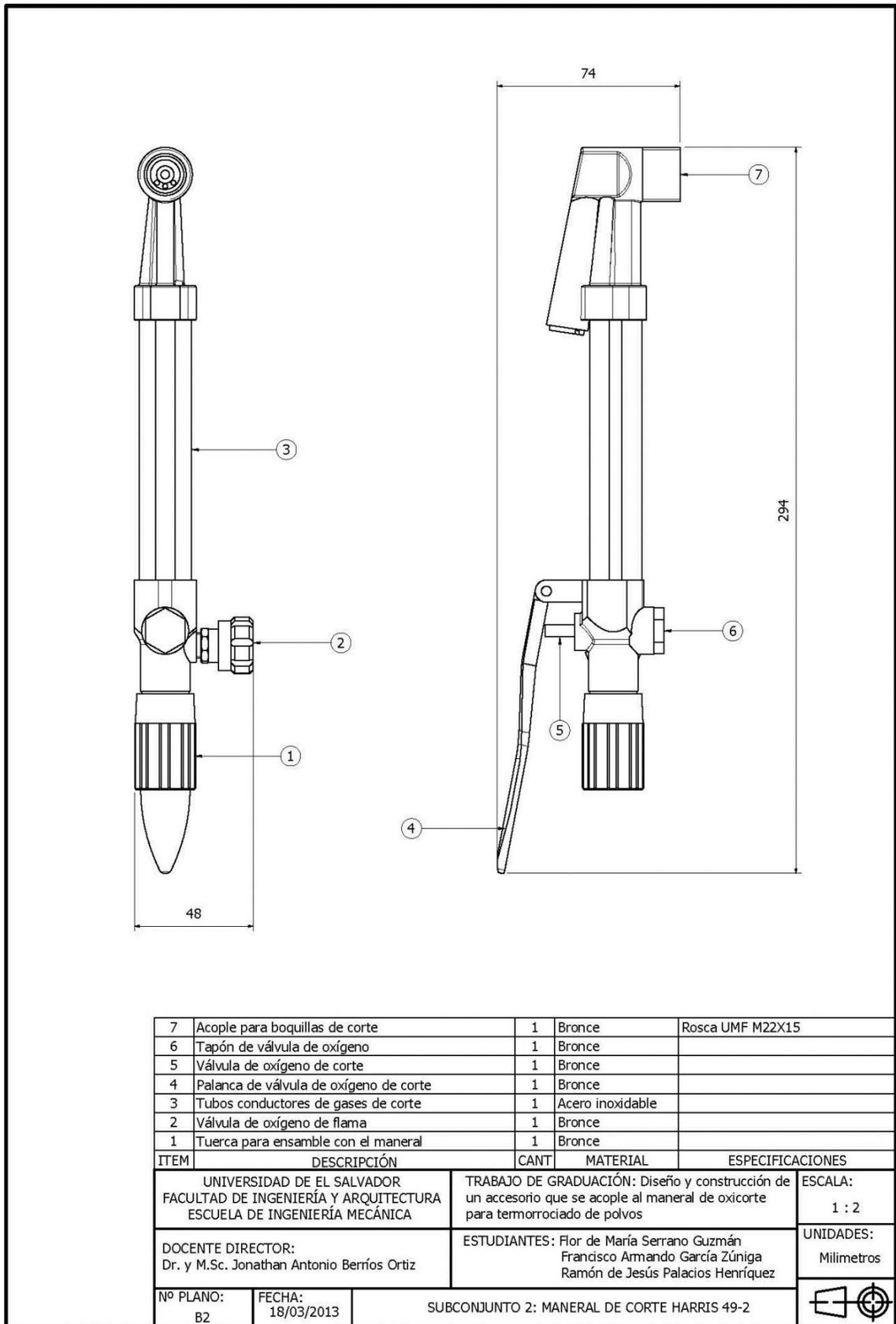
Accesorio de termorrociado ensamblado con maneral de oxicorte



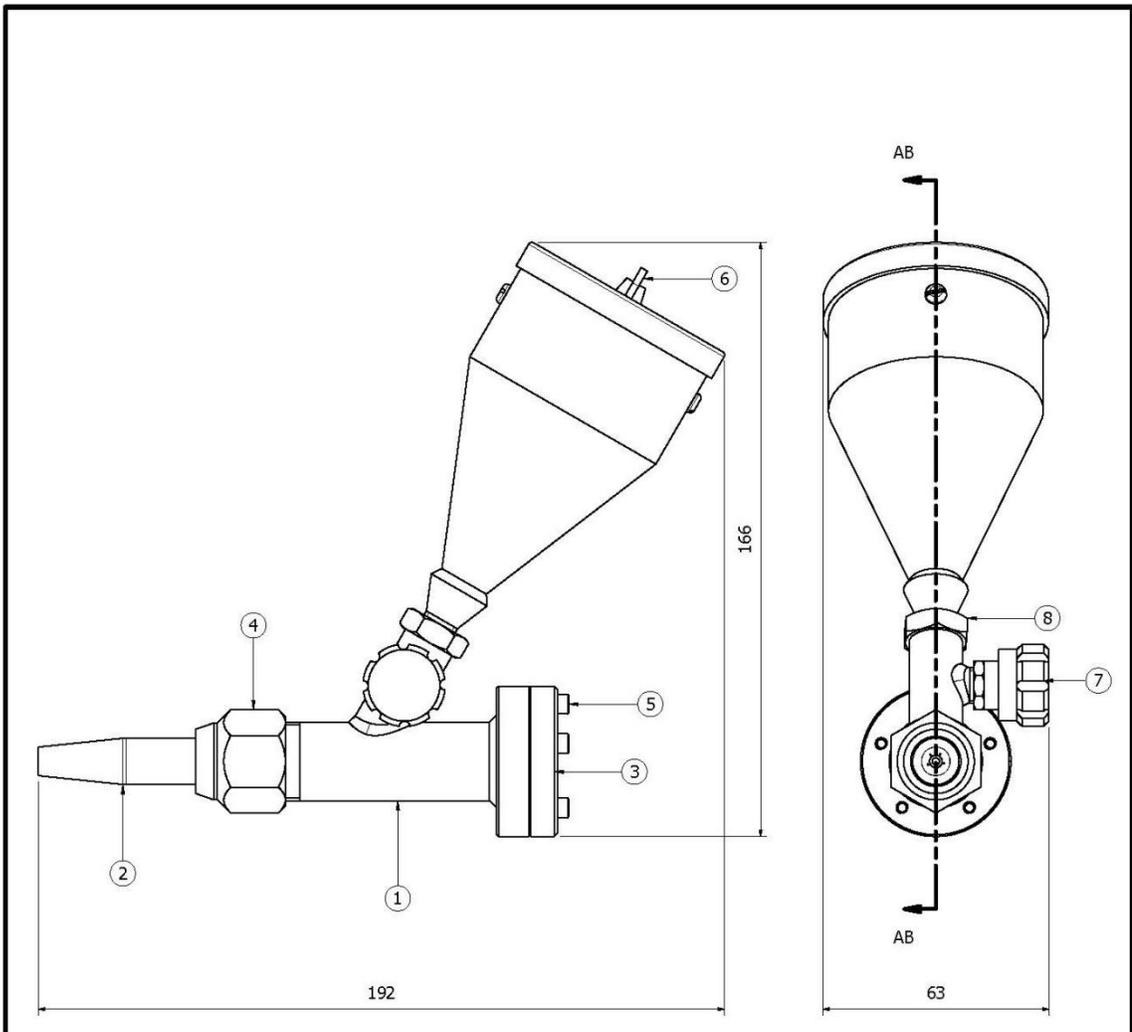
3	Pistola de termorrociado	1	Bronce	Subconjunto 3
2	Cortador HARRIS Modelo 49-2	1	Bronce - acero inoxidable	Subconjunto 2
1	Maneral HARIS Modelo 43-2	1	Bronce	Subconjunto 1
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para termorrociado de polvos		ESCALA: 1 : 3.5
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez		UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: A1	FECHA: 18/03/2013	CONJUNTO 1: PISTOLA DE TERMORROCIADO		



4	Acople roscado	1	Acero inoxidable	
3	Valvula para acetileno	1	Bronce	
2	Valvula para oxigeno	1	Bronce	
1	Empuñadura de maneral	1	Bronce	
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos		ESCALA: 1 : 1.50
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez		UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: B1	FECHA: 18/03/2013	SUBCONJUNTO 1: MANERAL HARRIS 43-2		

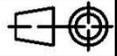


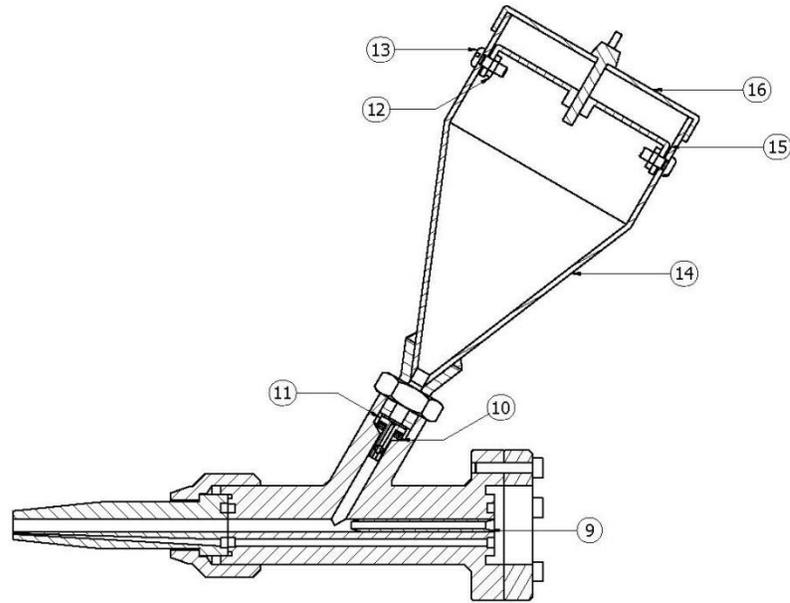
7	Acople para boquillas de corte	1	Bronce	Rosca UMF M22X15
6	Tapón de válvula de oxígeno	1	Bronce	
5	Válvula de oxígeno de corte	1	Bronce	
4	Palanca de válvula de oxígeno de corte	1	Bronce	
3	Tubos conductores de gases de corte	1	Acero inoxidable	
2	Válvula de oxígeno de flama	1	Bronce	
1	Tuerca para ensamble con el maneral	1	Bronce	
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos		ESCALA: 1 : 2
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez		UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: B2	FECHA: 18/03/2013	SUBCONJUNTO 2: MANERAL DE CORTE HARRIS 49-2		



8	Contratuera para sujeción de tolva	1	Acero galvanizado	BS 3692 - M10
7	Válvula de polvos	1	Bronce	Detalle 3.4
6	Perno para sujeción de tapadera	1	Acero inoxidable AISI304	M3 x 20
5	Pernos para sujeción de pistola	5	Acero al carbón	ISO 4762 - M3 x 16
4	Tuerca de sujeción de boquilla	1	Bronce	Modelo: 43-2 Marca: HARRIS
3	Brida de sujeción de mezclador	1	Bronce	Detalle 3.3
2	Boquilla	1	Cobre	Detalle 3.2
1	Mezclador de oxígeno y polvos metálicos	1	Bronce	Detalle 3.1
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIONES

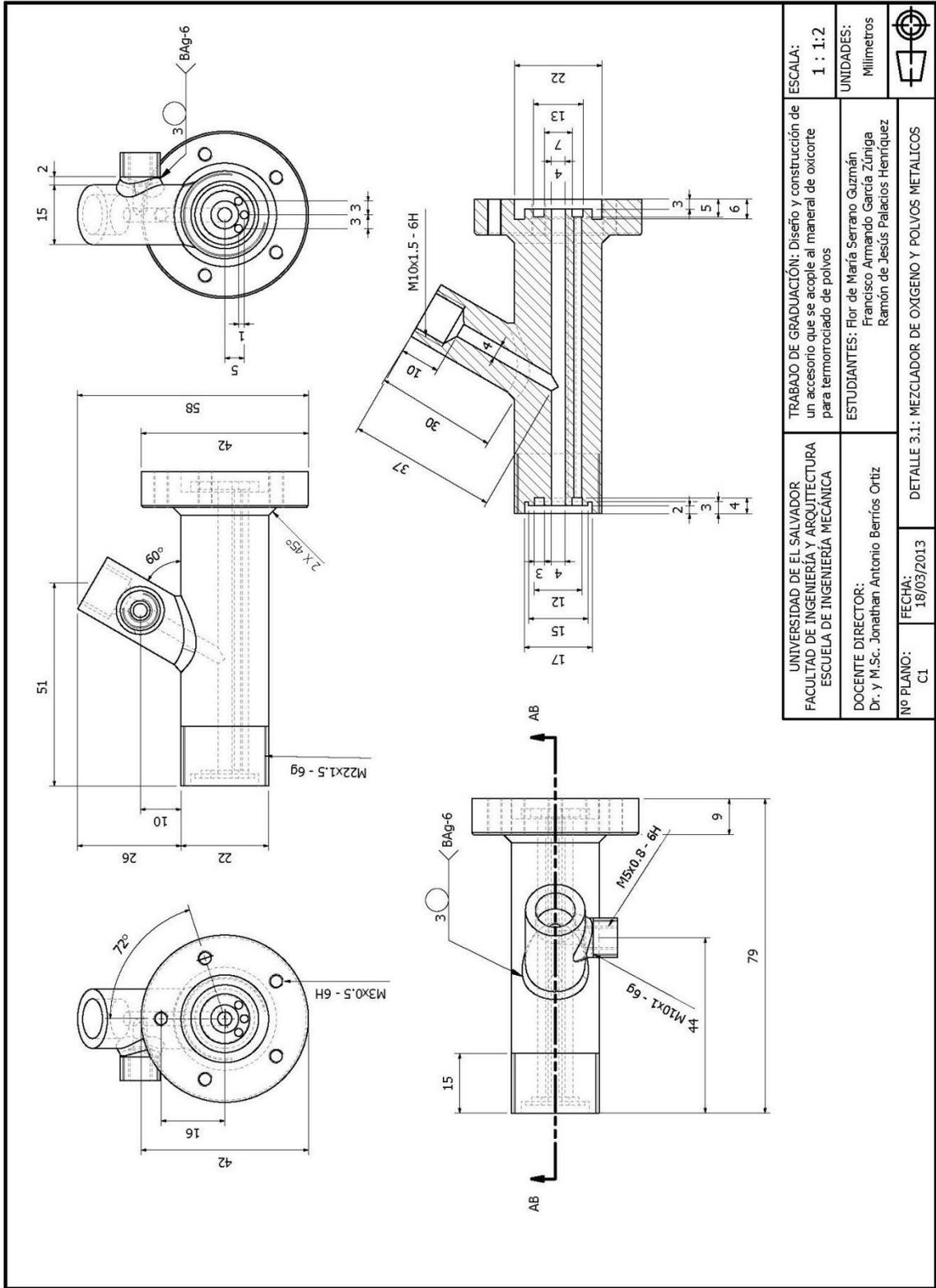
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos	ESCALA: 1 : 1.75
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: B3.1	FECHA: 18/03/2013	SUBCONJUNTO 3: ACCESORIO DE TEMORROCIADO	



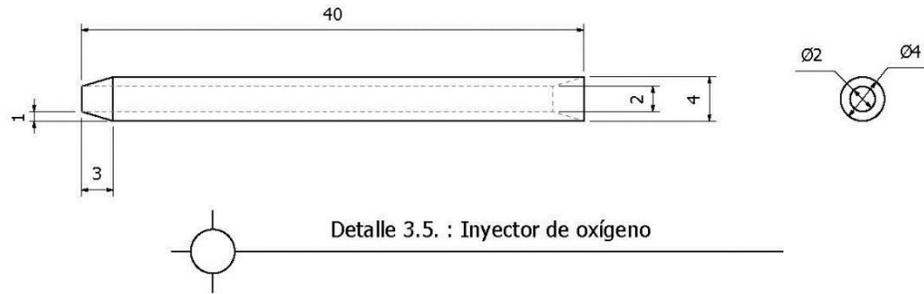


16	Tapadera de tolva	1	Bronce	Detalle 3.9
15	Soporte para tapadera	1	Bronce	Detalle 3.8
14	Tolva de polvos	1	Bronce	Detalle 3.7
13	Sujeción de soporte para tapadera	2	Acero inoxidable AISI304	Perno BS 4183 - M3 x 8
12	Sujeción de soporte para tapadera	2	Acero inoxidable AISI304	Tuerca BS 4183 - M3
11	Sello de Polvos	1	Caucho	Detalle 3.6
10	Arandelas para asiento de sello	4	Bronce	Arandela M4
9	Inyector de oxígeno	1	Bronce	Detalle 3.5
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIONES

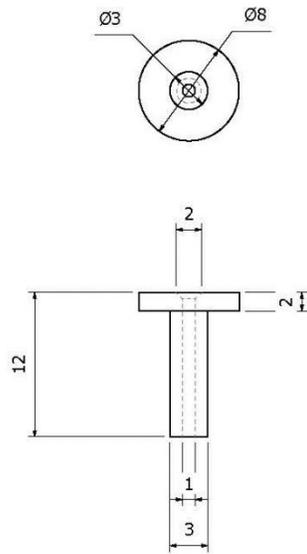
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos		ESCALA: 1 : 1.75
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez		UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: B3.2	FECHA: 18/03/2013	SUBCONJUNTO 3: SECCIÓN AB		



<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	<p>TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al material de oxicoite para termomediado de polvos</p>	<p>ESCALA: 1 : 1:2</p>	<p>UNIDADES: Milímetros</p>
<p>DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz</p>	<p>ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez</p>		
<p>Nº PLANO: C1</p>	<p>FECHA: 18/03/2013</p>	<p>DETALLE 3.1: MEZCLADOR DE OXIGENO Y POLVOS METALICOS</p>	

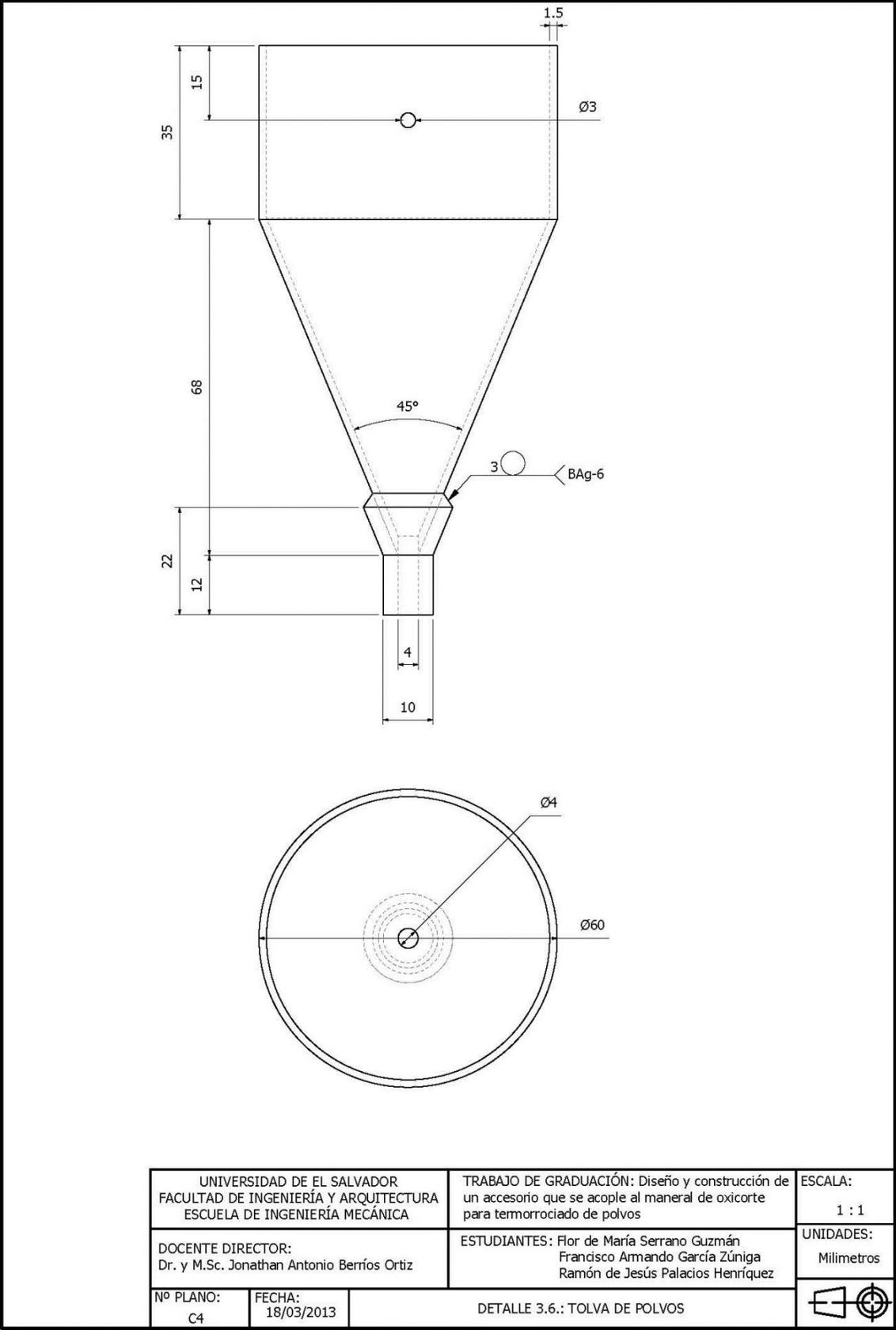


Detalle 3.5 : Inyector de oxígeno



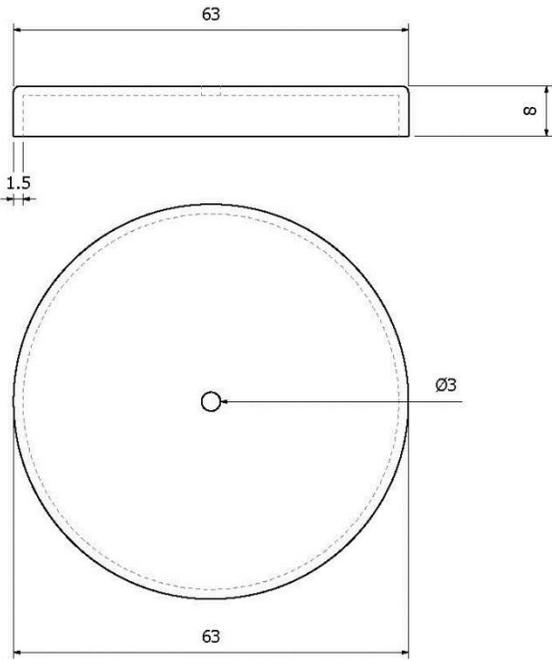
Detalle 3.6 : Sello de polvos

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos	ESCALA: 2 : 1
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: C3	FECHA: 18/03/2013	DETALLE 3.5.: INYECTOR DE OXÍGENO DETALLE 3.6.: SELLO DE POLVOS	

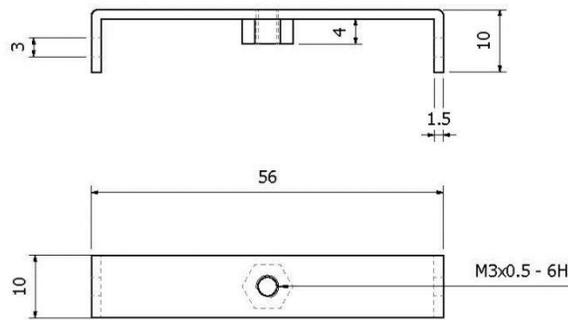


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos	ESCALA: 1 : 1
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: C4	FECHA: 18/03/2013	DETALLE 3.6.: TOLVA DE POLVOS	



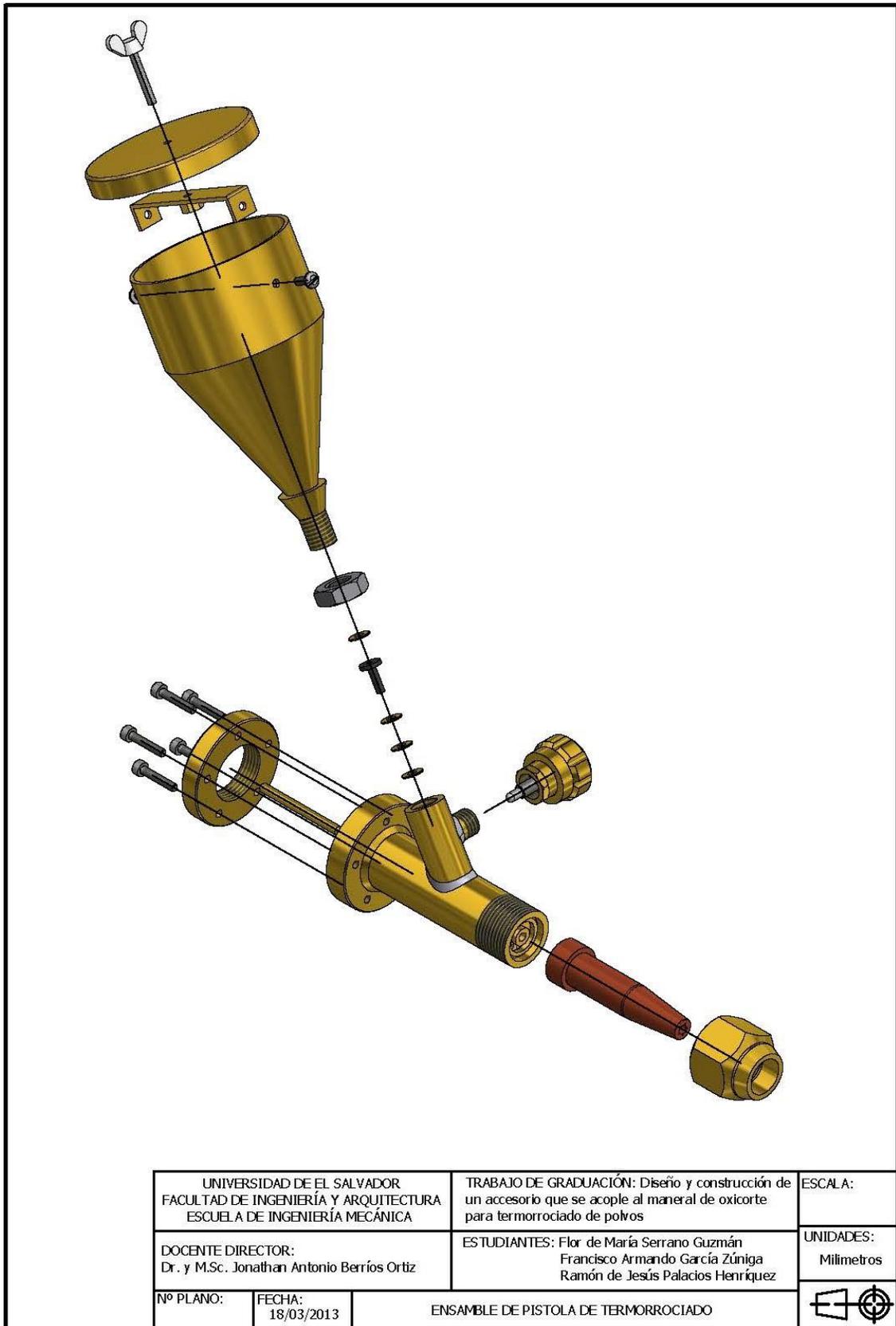


Detalle 3.9.: Tapadera de tolva



Detalle 3.8.: Soporte de tapadera

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio que se acople al maneral de oxicorte para temorrociado de polvos	ESCALA: 1 : 1
DOCENTE DIRECTOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Flor de María Serrano Guzmán Francisco Armando García Zúñiga Ramón de Jesús Palacios Henríquez	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: C5	FECHA: 18/03/2013	DETALLE 3.8.: SOPORTE DE TAPADERA DETALLE 3.9.: TAPADERA DE TOLVA	



ANEXO B FICHAS TECNICAS

ANTOX 71E Plus – Pickling Paste TECHNICAL DATA SHEET

Field of Application - The removal of high temperature oxide scale and annealing colours in the areas of weld seams and heat-influenced zones.

Working Tools - Antox pickling brushes of acid-resistant materials for repeated use or Antox disposable brushes of synthetic materials

Application and Procedure

Before commencing work, read the material safety data sheets, observe all safety precautions and use the correct protective equipment.

1. The area to be pickled must be clear of all grease or contaminants. We would recommend that a solution similar to our *Aclean 04.02 Neutral Cleaner* be used either with a pressure wash spray or applied by hand from a spray bottle.
2. *Antox 71E Plus* must be stirred with a plastic or wood stirrer before using; to ensure the liquid and paste is evenly mixed. Generously paint *Antox 71E Plus* on to the area to be pickled. The reaction times for various metals are given below. The reaction time period is dependent on the quality of the working materials treated as well as on the ambient air and materials temperature. The optimal pickling temperature is around 18° - 22° C. Work routines should be avoided in direct sunlight due to the hazard of premature drying.
3. After the application time has elapsed neutralisation needs to be undertaken with *Antox NP*, after consulting the relative application instructions (*see Technical Data sheet on Antox NP*). This neutralizes the acids present and prevents them from being washed into the waste water system.
4. Upon completion, the processed surface must be rinsed with water, using a high-pressure water jet appliance (at a pressure of at least 120 bar). The rinsing effect can be improved and enhanced by employing plastic or stainless steel wire brushes.
5. It is recommended that passivation using *Antox 90E* be carried out to replace the protective layer on the surface of the Stainless Steel. Although this will form naturally in air it can take anything up to 14 days for complete protection to reform. (*See Technical Data sheet on Antox 90E*).

Reaction Times

Rusty and acid-resistant steels, stainless steels	15 - 60 minutes
Nickel and nickel alloys	5 - 20 minutes
Copper-nickel alloys	5 - 20 minutes
Titanium & Alloys	by trial only

Yield

1 kg of *Antox 71E Plus* is sufficient for 50 - 80 running meters approximately of weld seam with heated tinted area.

General Remarks - *Antox 71E Plus* contains no hydrochloric acid and no chloride.

Notes on hazards and suggestions for safety precautions

Antox 71E Plus contains hydrofluoric acid and nitric (azotic) acid. This is extremely toxic when inhaled or swallowed. If contact with the skin occurs, immediate application of *Calcium Gluconate gel* will stop the reaction and neutralise the acid burn.

Work routines should be carried out in a well-ventilated area. Store also in a well ventilated enclosure (the cans should be tightly closed). Breathing apparatus should be used when ventilation facilities are insufficient. Appropriate protective goggles; gloves and clothing should always be worn whilst working.

Thorough rinsing with water should treat any contact with the eyes and thereafter a doctor should be consulted. Contaminated and soaked protective clothing should be immediately changed. A doctor should be consulted if nausea is experienced (the doctor should be shown the notes on safety precautions, the product notes or the product label).

These products should not be accessible by children. The products are only intended for commercial and industrial use.

Disposal of Waste

Neither *Antox 71E Plus* nor the rinsing water may be disposed of in the public sewers in an untreated state. The waste water is acidic and contains alloy residue solids from the treated metal. Appropriate treatment should be carried out in a suitable neutralisation plant or disposal undertaken via a licensed waste disposal enterprise. All local waste water public sewerage regulations are to be observed.

CM service

With this revision all previous issues become invalid. The information is given to the best of our knowledge and belief and meets the experience gained in practice and in the laboratory up to the date of print. Nevertheless, they can only be considered as reference values without obligation, which have to be adapted to individual requirements. Due to the fact that the application of our products is beyond our control, our liability is limited to the perfect standard quality of the product at the time of delivery. Consequential damage can only be accepted if the assured properties of the product have been agreed to in writing prior to its use.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPTO DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN
TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

PRÁCTICA DE LABORATORIO: ENSAYO DE FLEXIÓN

I INDICACIONES GENERALES

Para realizar esta práctica se deberá tener mucha precaución ya que el equipo para realizar ensayos de flexión consta de un potente sistema hidráulico que podría causar daños y lesiones si se acercan las manos u otros objetos ajenos a la práctica. Además, se debe tener la precaución de no mantener objetos sobre las mordazas, que puedan salir proyectadas debido a las fuerzas ejercidas por la máquina.

II OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de adherencia del recubrimiento termorrociado en 27 probetas de 1/8 pulg. de espesor, por 1 pulg. de ancho y 8 pulg. de largo de acero inoxidable.

III OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer una escala de ponderación para determinar la calidad del recubrimiento.
- Determinar el punto de operación óptimo para el proceso de termorrociado en 27 probetas, según las condiciones del proceso realizado previamente

IV ANTECEDENTES

Los métodos a continuación descritos son aplicables en ensayos de doblaje para materiales dúctiles. Según la norma ASTM E 290 – 97 [1], existe una clasificación de ensayos dependiendo de las condiciones de restricción en la parte doblada de la probeta; 1- Doblez guiado: Usando un mandril o émbolo de dimensiones definidas para obligar a la mitad de la longitud de la probeta entre dos soportes separados por un espacio definido; 2- Doblez semi guiado: La probeta es doblada, mientras está en contacto con un mandril, a través de un ángulo especificado o a un radio especificado en el interior (r) de curvatura, medida mientras está bajo la fuerza de flexión; 3- Doblez libre: Los extremos de la muestra son llevados uno hacia el otro, pero no se aplica fuerza transversal al doblaje y no hay contacto de la superficie interior cóncava de la curva con otro material; 4- Doblar y aplanar: Una fuerza transversal se aplica a la curva de tal manera que los extremos hacen contacto entre sí en toda la longitud de la probeta.

En este ensayo el procedimiento se basara en el dobléz guiado. La probeta es doblada en forma de U por medio de una fuerza aplicada en el centro de la misma, esta se encuentra apoyada en dos rodillos equidistantes de la línea de aplicación de la fuerza. La probeta es forzada dentro de los rodillos por un émbolo que tiene la forma necesaria para producir el contorno deseado. La superficie convexa de la probeta doblada se examina luego, en busca de grietas u otros defectos en el material.

Según la norma ASTM E 190 – 92 [2], se establece una distancia mínima que debe bajar el mandril o embolo igual a 2 pulg. Además se establece que para el espesor de 1/8 pulg. se debe utilizar un embolo con diámetro de 1.1/16 pulg.

V MAQUINAS DE ENSAYO A FLEXIÓN

A continuación se presenta el esquema para ensayos de dobléz guiado:

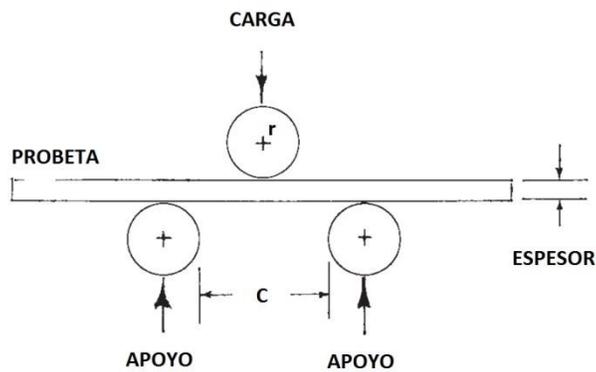


Fig. 1 Esquema de ensayo de dobléz guiado.

En donde el valor de C está dado por la siguiente relación:

$$C = 2r + 3t + t/2$$

Ec. 1

C = Separación entre rodillos
 r = Radio de mandril o émbolo
 t = Espesor de probeta

Sustituyendo valores en ecuación Ec. 1, se tiene:

$$r = 3/4 \text{ pulg.}$$

$$t = 1/8 \text{ pulg.}$$

$$C = 2(3/4) + 3(1/8) + (1/8)/2$$

$$C = 2.1/8 \text{ pulg}$$

VI CONSIDERACIONES

En el desarrollo de los ensayos se utilizara un embolo con diámetro de 1.1/2 pulg. ya que es el más pequeño con el que se cuenta.

Se debe considerar que en el proceso de deformación del material, se presentará un pequeño porcentaje de elasticidad en el material y que para fines prácticos de medición, en estos ensayos de laboratorio no se tomarán en cuenta.

Un punto a favor de este ensayo a flexión es que sólo se tomará en cuenta el efecto visual de la deformación al material. Además, no se necesitará determinar el valor de la carga o fuerza para la deformación del material, ya que esta al comenzar la deformación se mantiene constante.

VII ANÁLISIS DEL ENSAYO

- Examine la superficie convexa de la probeta doblada en busca de grietas u otros defectos abiertos.
- Reportar el tamaño y la ubicación de todas las grietas visibles.
- Establecer una ponderación de calidad al recubrimiento en una escala del 1 al 5 Teniendo en cuenta que 1 es un recubrimiento que de baja calidad en el cual se pueden observar grietas y defectos, 5 es un recubrimiento con excelente calidad en el que no se observan grietas ni defectos.

VIII MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

Los equipos o herramientas a utilizar son los siguientes:

- Máquina para realizar ensayos con sus accesorios como rodillos y apoyos (Fundamental)
- Probetas termorrociadas a ensayar
- Cinta métrica
- Calibrador o pie de rey
- Lupa
- Cámara Fotográfica

IX PROCEDIMIENTO

- (a) Montar el rodillo con el diámetro más aproximado a 1.1/16 pulg.
- (b) Calibrar la separación de rodillos a 2.1/8 pulg.

- (c) Montar la probeta a ensayar
- (d) Encender el equipo y deformar a la profundidad de 2 pulg. distancia con la cual la probeta tomara la forma de U
- (e) Observar con la lupa la zona deformada de la probeta
- (f) Anotar en la Tabla 1 si la probeta presenta o no grietas o desprendimiento y establecer la ponderación que le corresponde.
- (g) Elaborar conclusiones.

Tabla 1. Registros de calidad de recubrimientos

No.	Observaciones	Ponderación	No.	Observaciones	Ponderación
1			15		
2			16		
3			17		
4			18		
5			19		
6			20		
7			21		
8			22		

9			23		
10			24		
11			25		
12			26		
13			27		
14					

X CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS:

1- Norma ASTM A370- 97:

Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

2- Norma ASTM E 190 – 92:

Guided Bend Test for Ductility of Welds

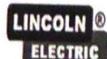
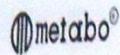
ANEXO C COTIZACIONES Y FACTURAS



ESMEIN

EQUIPOS Y SUMINISTROS DE MECANICA INDUSTRIAL

EQUIPOS Y SUMINISTROS INDUSTRIALES
SOLDADURAS ESPECIALES Y GENERALES
REPARACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
Y HERRAMIENTAS ELECTRICAS EN GENERAL.



COTIZACION

Fecha: 13 DE FEBRERO DE 2013

Señor (es) ARMANDO GARCIA

Dirección: SAN SALVADOR

Atención: MELVIN MARROQUIN

Teléfono: 2277-1233 Fax: 2277-1233

Estimados Señores:

Nos place presentar oferta de los siguientes productos que a continuación le detallamos:

Cant.	Descripción	Unitario	Totales
1	GENOX DECAPANTE (1kl) PRESENTACION PASTA Y GEL 	\$ 83.00	\$83.00
TOTAL			\$ 83.00

PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Forma de pago: CREDITO 30 DIAS

Tiempo de entrega: INMEDIATA

Validez de la oferta: 8 DIAS.

Atentamente, **CRISTINA ANGEL**

Asesor Técnico cel. 7297-3410

59 av. norte 120 col. Escalon, S, S, telefax 2562-9843 E-mail esmein2004@yahoo



OXIGENO Y GASES DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.
 GIRO: VENTA AL POR MAYOR DE OTRO TIPO DE MAQUINARIA Y EQUIPO
 CON SUS ACCESORIOS Y PARTES.
 CASA MATRIZ: 25 AV. NTE. No. 1080, SAN SALVADOR PBX: 2234-3200, Fax: 2225-8816

FORMULARIO UNICO
No. 1305000 39907

FACTURA 403435B
 NRC: 565 - 7
 NIT: 0614 - 311059 - 001 - 5

FORMA DE DISTRIBUCION DE LAS PARTES 00:59

1) Comprobante de Crédito Fiscal, Nota de Crédito y Nota de Débito, Original y Triplicado, para el cliente; Duplicado, Cuadruplicado y Quintuplicado, para el emisor. El Triplicado del Comprobante de Crédito Fiscal no da derecho a Crédito Fiscal.

2) Factura, Original, Triplicado, Cuadruplicado y Quintuplicado, para el emisor; Duplicado para el cliente

COMP. CRED. FISCAL FACTURA NOTA DE CREDITO NOTA DE DEBITO

VER DIRECCIONES AL DORSO

CLIENTE: **GARCIA ZUNIGA FRANCISCO ARMANDO** N.I.T. No. 04-030389-101-9

DIRECCION/MCPIO./DEPTO.: **P.A. CL. QTE. BO. LA VEGA. CASA 7. CONCEP DE ATACO** TEL.: 2450-5134

GIRO: F. EMIS. N. REMISION: C.C.F. No.: F. EMIS. C.C.F.:
 N. DE REMIS. No.: REGISTRO No.:

DIA	MES	AÑO	LUGAR	VENDEDOR	ORDEN DE COMPRA	CODIGO DEL CLIENTE	CONDICIONES DE PAGO
28	AGOSTO	2013	02	712		39001	Tar. Cre

CANT.	CODIGO	UNIDAD	DESCRIPCION	VENTAS NO SUJETAS	V. EXENTAS	P. UNITARIO	VENTAS AFECTAS
1.00	03-22-8551	UNI	KIT ARRESTADOR LLAMA P/ANTORCHA. 09-5FBT (R&L) 430			70.06	70.06

CANCELADO 28 AGO 2013

ENTREGADO ALMACEN OXGASA DE C.V.

Oque curso de la casa.

SON: **** SETENTA CON 06/100 DOLARES **** SUMAS

	IVA	613.03 \$	70.06
SUB - TOTAL			
1% IVA			
VENTAS NO SUJETAS			
VENTAS EXENTAS			
VENTA TOTAL		613.03	70.06

Cancelaré(mos) esta obligación dentro del plazo convenido, caso contrario reconoceré(mos) recargo por mora.
CUANDO LA OPERACION SEA SUPERIOR A \$ 11,428.57

ENTREGADO POR:	RECIBIDO POR: <i>Francisco Garcia Zuniga</i>	SUB - TOTAL
D.U.I. O N.I.T.:	D.U.I. O N.I.T.: <i>04065537</i>	1% IVA
FIRMA:	FIRMA:	VENTAS NO SUJETAS
		VENTAS EXENTAS
		VENTA TOTAL

RECIBI CONFORME



OXIGENO Y GASES DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.
 GIRO: VENTA AL POR MAYOR DE OTRO TIPO DE MAQUINARIA Y EQUIPO
 CON SUS ACCESORIOS Y PARTES.
 CASA MATRIZ: 25 AV. NTE. No. 1080, SAN SALVADOR PBX: 2234-3200, Fax: 2225-8816

FORMULARIO UNICO
No. 13DS0000 34151
 FACTURA 425595
 NRC: 565 - 7
 NIT: 0614 - 311059 - 001 - 5

FORMA DE DISTRIBUCION DE LAS PARTES
 1) Comprobante de Crédito Fiscal, Nota de Crédito y Nota de Débito, Original y Triplicado, para el cliente; Duplicado, Cuadruplicado y Quintuplicado, para el emisor. El Triplicado del Comprobante de Crédito Fiscal no da fecho a Crédito Fiscal.
 Factura: Original, Triplicado, Cuadruplicado y Quintuplicado, para el emisor; Duplicado para el cliente.

09:57

COMP. CRED. FISCAL FACTURA NOTA DE CREDITO NOTA DE DEBITO
 VER DIRECCIONES AL DORSO

CLIENTE: GARCIA ZUNIGA FRANCISCO ARMANDO
 DIRECCION/MUNICIPIO/DEPTO: SRA. EL. OTE. BO. LA VEGA, CASA 7. CONCEP DE ATACO
 GIRO: N.I.T. No. 04-030389-101-9
 N. DE REMIS. No.: F. EMIS. N. REMISION: C.C.F. No.: F. EMIS. C.C.F.:
 TEL.: 79856359
 REGISTRO No.:

DIA	MES	AÑO	LUGAR	VENDEDOR	ORDEN DE COMPRA	CODIGO DEL CLIENTE	CONDICIONES DE PAGO
17	AGOSTO	2013	1 1	3 0 4		3 9 0 0 1	C. O. D.

CANT.	CODIGO	UNIDAD	DESCRIPCION	VENTAS NO SUJETAS	V. EXENTAS	P. UNITARIO	VENTAS AFECTAS
1.00	03-11-9100	UNI	UNIDAD DE PROYECCION DE POLVO METALICO OXI-ACETILE Loc. Descargo :BODEGA GENERAL			745.80	745.80

ENTREGADO
 BODEGA
 OXGASA

CANCELADO

Recib. 297432 HB 29351165E 62
 298677 FF 3946857C 66

SON: **** SETECIENTOS CUARENTA Y CINCO CON 80/100 DOLARES ****
 SUMAS \$ 745.80

Cancelaré(mos) esta obligación dentro del plazo convenido, caso contrario reconoceré(mos) recargo por mora.
CUANDO LA OPERACION SEA SUPERIOR A \$ 11,429.57

ENTREGADO POR: *[Firma]*
 D.U.I. O N.I.T.:
 FIRMA:

RECIBIDO POR:
 D.U.I. O N.I.T.:
 FIRMA:

RECEBI CONFORME

IVA	
SUB - TOTAL	
1% IVA	
VENTAS NO SUJETAS	
VENTAS EXENTAS	
VENTA TOTAL	745.80

DUPLICADO -



Aceti-Oxigeno, S. A.

FABRICANTES DE GASES PARA USO MÉDICO E INDUSTRIAL

30/07/2013 10:11AM

R.U.C. No. 206-357-50180 D.V. 52
 Boca La Caja, detrás del Colegio Don Bosco
 Apartado 114, Panamá 1, Panamá
 email: gerencia@acetioxigeno.com.pa
 Telefonos:
 Panamá (507) 270-1977 Fax (507) 226-4789
 Chorrera (507) 244-3842 Fax (507) 244-3820
 Chiriquí (507) 774-3977 Fax (507) 774-3966

Cotización No. 8000164

Fecha: 30/07/2013

A: CONTADO-MERC **ARMANDO GARCÍA**

Termino de pago:

Tel.

Fax.

Usuario: Marco Castillo

Código	Descripción	Cantidad	Precio	Total
03047-0905	CHROMTEC 10680 1.1#BM	1	160.370	\$ 160.370

Gravado de I.T.B.M. \$ 160.370

I.T.B.M. \$ 11.220

Total \$ 171.59

Peso en Tr: 0

Esta cotización es valida por: ____ días.

Confeccionado por: _____



OXIGENO Y GASES DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V

25 Avenida Norte N°1080-San Salvador, El Salvador
Apartado Postal 1968. Tel (503) 2234-3235 Fax (503) 2234-3224
www.oxgasa.com

Fecha: 4-Julio-2

**Señores
PROYECT DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.
Presente**

Atn. : Ing. Armando García

Con deseos de servirles nos permitimos cotizarle por importación directa, lo siguiente:

Cant	Uni	Descripción	Precio Unit \$	Total \$
UNIDAD DE PROYECCIÓN DE POLVO METÁLICO OXY-ACETILENO				
Modelo: 187				
Marca: HARRIS				
- Longitud de soplete: 484mm				
- Peso: 0.8Kg				
- Gas combustible: Oxiacetileno/Hidrógeno				
				
1	Uni	PRECIO POR LA COMPRA DE UNA UNIDAD	660.00	660.0
2	Uni	PRECIO POR LA COMPRA DE DOS UNIDADES	470.00	940.0
3	Uni	PRECIO POR LA COMPRA DE TRES UNIDADES	385.00	1,155.0

PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Condiciones de la oferta:

Forma de Pago: Crédito 30 días
Validez de la oferta: 15 días
Tiempo de entrega: 5 semanas, después de recibir orden de compra
Lugar de entrega: En plaza en sus instalaciones

**NRC OXGASA: 565-7
NIT OXGASA: 0614-311059-001-5**

Atentamente,

Ing. Mario Iglesias
Gerente de Ventas

