

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



**“PROTOCOLO DE EJECUCIÓN PARA ROCIADO
TÉRMICO POR OXICOMBUSTIÓN CON UNA ROTOTEC
1A EN UN MÓDULO DE ENSAYOS”**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Osorio Najar, Jonathan Gaston

Ramirez Tapia, Josue Mitchelle

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Mgter. Alvarez Florez Darwin

Reynaldo

Arequipa- Perú

2020

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 26 de Octubre del 2020

Dictamen: 002028-C-EPIMMEM-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 002028, presentado por:

2007244421 - RAMIREZ TAPIA JOSUE MITCHELLE

2007203861 - OSORIO NAJAR JONATHAN GASTON

Titulado:

**PROTOCOLO DE EJECUCIÓN PARA ROCIADO TERMICO POR OXICOMBUSTION CON UNA
ROTOTECLA EN UN MÓDULO DE ENSAYOS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1734 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR



1893 - CASTRO VALDIVIA JORGE LUIS
DICTAMINADOR



DEDICATORIAS

A mis padres, por su infinita paciencia y por creer que podría lograr el objetivo trazado hace muchos años de convertirme en un ingeniero titulado de la Universidad Católica Santa María. Es una gran satisfacción presentar esta tesis que lleva muchos años de perseverancia, en la búsqueda del tema correcto, en la búsqueda del compañero correcto, en la búsqueda del asesor correcto; tiempo invertido con muchos altibajos para lograr culminar con éxito el camino correcto.

Agradecimientos especiales a mi compañero de tesis que estuvo en las buenas y en las malas durante este camino recorrido, que finaliza con fuerza y ganas de seguir siendo mejores, gracias amigo. También a nuestro asesor de Tesis el Ing. Darwin Álvarez, que nos ayudó a dirigirnos en el tema, que nos presionó y ayudó bastante, sugiriendo el enfoque correcto al que debíamos llegar. A las empresas que nos abrieron sus puertas para poder investigar el tema en profundidad como Giannini y Sager, en especial a los señores Harvey Corzo y José Sandoval. A los talleres que frecuentamos para avanzar con el módulo y los soportes, que nos ayudaron y dieron sus equipos muchas veces para poder avanzar en el tema, en especial a los señores Víctor Zevallos y Alex Ramírez.

Muchas gracias por el apoyo a todos mis amigos y familiares que me presionaban para que acabe esta etapa de mi vida para poder desarrollarme profesionalmente. Esta tesis tiene mucho tiempo esperando dar las gracias, mucho tiempo de experiencias nuevas, sacrificios y mucho estrés; que culmina este capítulo de mi vida con mucha satisfacción y alivio.

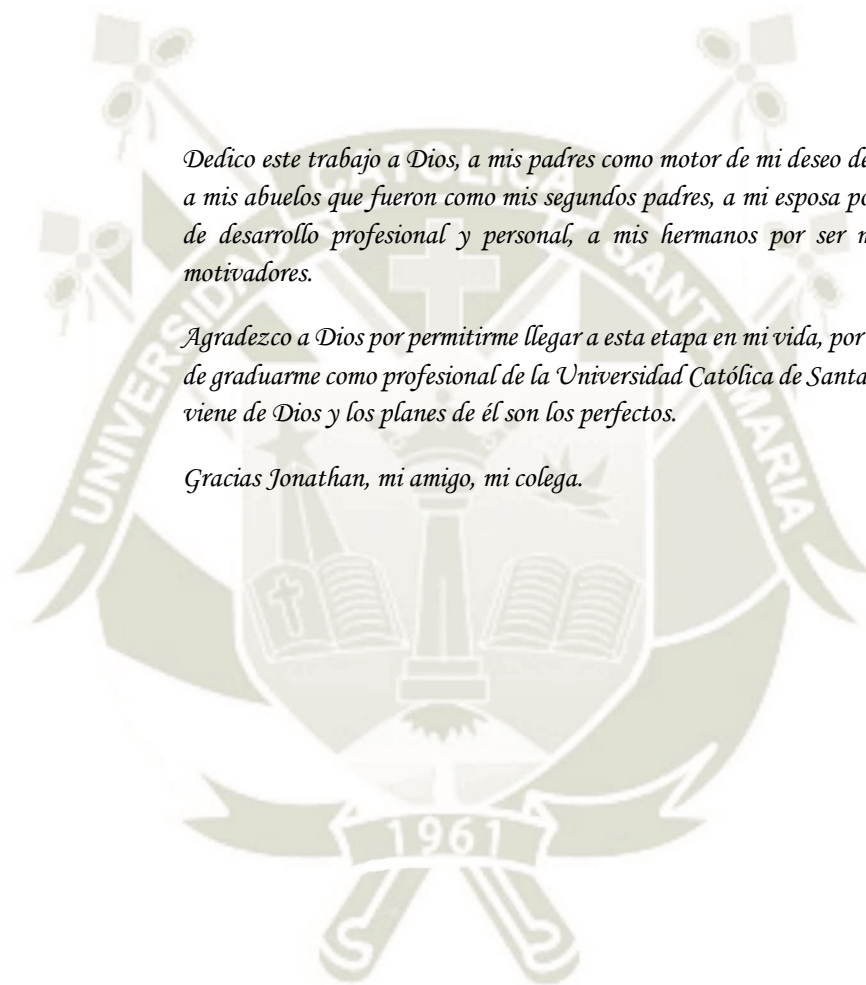
Jonathan Osorio

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres como motor de mi deseo de superación, así como a mis abuelos que fueron como mis segundos padres, a mi esposa por ser un gran ejemplo de desarrollo profesional y personal, a mis hermanos por ser mis mejores amigos y motivadores.

Agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa en mi vida, por darme la oportunidad de graduarme como profesional de la Universidad Católica de Santa María, todo lo bueno viene de Dios y los planes de él son los perfectos.

Gracias Jonathian, mi amigo, mi colega.

Josue Ramirez



RESUMEN

La presente investigación “PROTOCOLO DE EJECUCIÓN PARA ROCIADO TÉRMICO POR OXICOMBUSTIÓN CON UNA ROTOTEC 1A EN UN MÓDULO DE ENSAYOS” se realiza bajo la necesidad de dar a conocer la tecnología del rociado térmico para la aplicación de recubrimientos que ayudan a controlar y disminuir problemas que generalmente se presentan a nivel superficial, esto, sin alterar la estructura interna del material a recubrir por exceso de temperatura.

Esta tecnología tiene inicio en el Siglo XX, pero en nuestro medio es poco conocida. Los beneficios que este proceso ofrece para mejorar propiedades mecánicas, físicas, químicas y que otorga calidades superiores a las que inicialmente tenía la superficie, son cuantificables y medibles.

El objetivo de nuestra investigación es establecer un procedimiento para que cualquier persona que desee ejecutar el proceso de rociado térmico pueda hacerlo tomando en cuenta los parámetros que establecimos en nuestro protocolo bajo la información y estudio recopilado, así como la secuencia correcta de cómo se debe iniciar y terminar el proceso de rociado térmico con una Rototec 1A.

Es nuestro deseo aportar con esta investigación a nuestra comunidad universitaria para que ellos sigan el estudio y desarrollo de los diferentes avances tecnológicos que el rociado térmico ofrece y así nuestra universidad continúe aportando en el crecimiento profesional y desarrollo de nuestro país.

PALABRAS CLAVES: Rociado térmico, Proyección térmica.

ABSTRACT

This present research "EXECUTION PROTOCOL FOR THERMAL SPRAYING BY OXICOMBUSTION WITH A ROTOTEC 1A IN A TEST MODULE" is carried out under the need to make known the technology of thermal spraying for the application of coatings that help to control and reduce problems that generally They occur at the surface level, this, without altering the internal structure of the material to be coated due to excess temperature. This technology started in the 20th century, but in our environment it is little known. The benefits that this process offers to improve mechanical, physical, and chemical properties and that it gives qualities superior to those that the surface initially had, are quantifiable and measurable.

The objective of our research is to establish a procedure so that anyone who wishes to execute the thermal spraying process can do so taking into account the parameters that we established in our protocol under the information and study collected, as well as the correct sequence of how it should be started. and finish the thermal spray process with a Rototec 1A.

It is our desire to contribute with this research to our university community so that they continue the study and development of the different technological advances that thermal spraying offers and thus our university continues to contribute to the professional growth and development of our country.

KEYWORDS: Thermal spraying.

INDICE

DICTAMEN APROBATORIO.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INDICE.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Descripción del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Alcances.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Deterioro de Superficies Metálicas.....	5
2.1.1. Fricción.....	6
2.1.2. Desgaste.....	7
2.1.2.1. Desgaste adhesivo.....	8
2.1.2.2. Desgaste abrasivo.....	9
2.1.2.3. Desgaste por fatiga.....	10
2.1.2.4. Desgaste por impacto.....	11
2.1.2.5. Desgaste químico.....	12
2.1.2.6. Desgaste por cavitación.....	13
2.1.2.7. Desgaste por vibraciones.....	14
2.2. Introducción al recubrimiento de superficies.....	15
2.2.1. Recubrimiento Electrolítico.....	17
2.2.1.1. Cincado.....	18
2.2.1.2. Cadmiado.....	20
2.2.1.3. Niquelado.....	20
2.2.1.4. Cobreado.....	22

2.2.1.5.	Latonado y acabados en Bronce.....	23
2.2.1.6.	Cromado.....	24
2.2.1.7.	Estañado.....	25
2.2.1.8.	Anodizado de Aluminio.....	25
2.2.1.9.	Tratamiento en Fleje continuo.....	27
2.2.2.	Recubrimiento químico.....	29
2.2.2.1.	Niquelado.....	30
2.2.2.2.	Cobreado o conversión de cromato.....	31
2.2.2.3.	Pavonado.....	31
2.2.2.4.	Fosfatado.....	32
2.2.3.	Recubrimiento Duros.....	34
2.2.3.1.	Recuperación por Soldadura.....	34
2.2.3.2.	Revestimientos Poliméricos.....	36
2.2.4.	Otros tratamientos.....	40
2.2.4.1.	Pasivado.....	40
2.2.4.2.	Sellado.....	41
2.2.4.3.	Lacado electrolítico.....	41
2.2.4.4.	Metales preciosos.....	42
2.2.4.5.	Metalizado de plástico.....	43
2.3.	Recubrimiento por Rociado Térmico.....	46
2.3.1.	Historia del Rociado Térmico.....	49
2.3.2.	Fundamentos básicos.....	52
2.3.3.	Propiedades del Rociado Térmico.....	57
2.3.4.	Aplicaciones según sus recubrimientos.....	59
2.3.4.1.	Recubrimientos antidesgaste.....	59
2.3.4.2.	Aislamiento térmico.....	60
2.3.4.3.	Resistencia a la corrosión.....	61
2.3.4.4.	Recubrimientos eléctricamente conductores y aislantes.....	62
2.3.4.5.	Recubrimientos para la restauración dimensional.....	63
2.3.4.6.	Recubrimientos para uso médico.....	65
2.3.4.7.	Recubrimientos poliméricos.....	65

2.3.5.	Aplicaciones según industria	66
2.3.5.1.	Aeronáutica	66
2.3.5.2.	Turbinas estacionarias	67
2.3.5.3.	Máquinas agrícolas.....	67
2.3.5.4.	Textil	68
2.3.5.5.	Siderurgia	68
2.3.5.6.	Minería y maquinarias viales	69
2.3.5.7.	Vidrio	70
2.3.5.8.	Petroquímica.....	70
2.3.5.9.	Automotriz	70
2.3.5.10.	Generación de energía hidroeléctrica.....	71
2.3.5.11.	Papel.....	71
2.3.6.	Clasificación de los procesos y tipos de Rociado térmico.....	72
2.3.6.1.	Rociado térmico por oxidación	75
2.3.6.2.	Rociado térmico por detonación o deposición (D-GUN).....	79
2.3.6.3.	Rociado térmico por oxidación a alta velocidad (High-Velocity Oxifuel “HVOF”).	81
2.3.6.4.	Rociado térmico por arco eléctrico	86
2.3.6.5.	Rociado Térmico por plasma	92
2.4.	Introducción a la Rototec 1A	96
2.4.1.	Capacidad y usos típicos	97
3.	METODOLOGIA	100
3.1.	Esquema conceptual	100
3.2.	Implementación de módulo de Rociado Térmico.....	103
3.2.1.	Equipos y Herramientas.....	103
3.2.1.1.	Equipo de Energía por Oxidación	103
3.2.1.2.	Oxígeno	104
3.2.1.3.	Acetileno	105
3.2.1.4.	Reguladores de presión de gases.....	107
3.2.2.	Gabinete Portabotellas y otros accesorios	108
3.2.3.	Módulo de Rociado Térmico por combustión.....	109
3.2.3.1.	Diseño y esquema del módulo	110

3.2.4.	Construcción y acabado final	118
3.2.5.	Soporte de equipo Rototec 1A.....	121
3.2.5.1.	Diseño y desarrollo del soporte.....	121
3.2.5.2.	Soporte fijo.....	122
3.2.5.3.	Soporte móvil.....	127
3.3.	Selección de recubrimientos	135
3.3.1.	Polvos para recubrimiento según tipo de desgaste	135
3.3.2.	Selección y adquisición de polvos.....	138
3.3.3.	Evaluación de polvos comerciales seleccionados	140
3.3.3.1.	Distribución de tamaño de partícula.....	141
3.3.3.2.	Morfología y microestructura.....	142
3.3.3.3.	Composición química.....	145
3.3.3.4.	Características estructurales	146
4.	PROTOCOLO DE EJECUCION PARA ROCIADO TERMICO POR OXICOMBUSTION.....	147
4.1.	¿Qué es un protocolo?.....	147
4.2.	Verificación y uso de la Rototec 1 A.....	147
4.2.1.	Consideraciones técnicas	148
4.2.1.1.	Cálculo del consumo de las aleaciones de polvos metálicos	148
4.2.1.2.	Cálculo de rotación de pulverización (RPM).....	149
4.2.2.	Consideraciones de seguridad	151
4.2.2.1.	Mangueras	151
4.2.2.2.	Precauciones de operación	151
4.2.2.3.	Seguridad personal	152
4.2.3.	Mantenimiento del sistema Rototec 1A.....	153
4.2.4.	Operación del equipo Rototec 1A	154
4.2.4.1.	Equipo necesario para la operación.....	154
4.2.4.2.	Preparación de la pieza.....	155
4.2.4.3.	Sujeción de la pieza de trabajo	156
4.2.4.4.	Protección de áreas adyacentes	156
4.2.4.5.	Reducción del área desgastada.....	156
4.2.4.6.	Arenado o roscado.....	157

4.2.4.7.	Preparación de superficies planas	158
4.2.5.	Aplicación del revestimiento protector.....	159
4.2.5.1.	Aplicación de aleaciones autoadhesivas	160
4.2.5.2.	Aplicación de recubrimientos con capa inicial	160
4.2.5.3.	Culminado del Rociado Térmico	161
4.2.5.4.	Rociado en superficies planas	161
4.2.5.5.	Superficies internas	162
4.2.5.6.	Esquinas interiores	162
4.2.5.7.	Ranuras y orificios de lubricación.....	163
4.2.6.	Mecanizado.....	164
4.2.6.1.	Mecanizado de recubrimientos Rototec	164
4.2.6.2.	Rectificado	165
4.2.7.	Tipificación de fallas comunes en el proceso.....	166
4.3.	Desarrollo del protocolo para Rototec 1A	168
4.3.1.	Registro e identificación de trabajo	168
4.3.2.	Check-list del equipo	169
4.3.3.	Revisión de presiones de oxígeno y acetileno	171
4.3.4.	Revisión del sustrato.....	171
4.3.5.	Material a proyectar.....	173
4.3.6.	Preparación de la pieza.....	174
4.3.7.	Disposición de Rototec 1A.....	175
4.3.8.	Registro de parámetros	176
4.3.9.	Control de calidad.....	177
4.3.10.	Observaciones y registro fotográfico.....	178
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	180
5.1.	Conclusiones.....	180
5.2.	Recomendaciones	181
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	183
	ANEXOS.....	186
	PLANOS Y DISEÑO DEL MÓDULO DE ROCIADO TÉRMICO	187
	PLANOS Y DISEÑO DE SOPORTES FIJO Y MÓVIL.....	198

INFORME ANALISIS DE TENSION COMPUTACIONAL SOPORTE FIJO	208
INFORME ANALISIS DE TENSION COMPUTACIONAL SOPORTE MOVIL.....	215
INFORME ANALISIS DE TENSION COMPARATIVO CALCULO FISICO.....	235
PROTOCOLO	247



LISTA DE GRAFICOS

Figura 1: Diagrama cuerpo libre que ilustra el deslizamiento de un cuerpo sobre una superficie	6
Figura 2 Desgaste adhesivo. a) Etapa de adhesión y b) desprendimiento.	8
Figura 3: Ilustración de dos formas de desgaste abrasivo: (a) una superficie áspera y dura deslizándose sobre una superficie más blanda y (b) partículas abrasivas libres (tercer cuerpo) atrapadas entre las superficies.	10
Figura 4: Desgaste por fatiga entre dos superficies en deslizamiento.	11
Figura 5: Esquema del desgaste por erosión	12
Figura 6: Ilustración del desgaste químico entre dos superficies en deslizamiento, (a) inicio del desgaste y (b) desgaste avanzado de las superficies.	13
Figura 7: Esquema del mecanismo de desgaste por cavitación.....	14
Figura 8: Esquema general del proceso electroлитico.....	18
Figura 9: Distintas aplicaciones del cincado	20
Figura 10: Principales acabados del niquelado.....	21
Figura 11: Ejes niquelados	22
Figura 12: Distintas aplicaciones del Cobreado	23
Figura 13: Cuba de Electrolisis para el cromado.....	25
Figura 14: Tonos que se puede encontrar en aluminio anodizado	27
Figura 15: Proceso de fleje en continuo	28
Figura 16: Pavonado, oxidación química de un perno	32
Figura 17: Conversión de Fosfato	33
Figura 18: Pieza recuperada por Soldadura.....	36
Figura 19: Recubrimiento reforzado con Fibras de Vidrio.....	37
Figura 20: Esquema de proceso recubrimiento de metales preciosos	42
Figura 21: Deposición de partículas para el recubrimiento	47
Figura 22: Max Ulrich Schoop y su pareja Frau Frieda Neininger, 1957	50
Figura 23: Sección transversal de la primera pistola de aspersión por alambre.....	51
Figura 24: Estructura del recubrimiento por proyección térmica.....	52
Figura 25: Estructura de un Splat	53
Figura 26: Defectos del recubrimiento por proyección térmica	55
Figura 27: Entrelazado de las partículas.....	58
Figura 28: Recubrimiento sobre una turbina Pelton.....	60
Figura 29: Barrera térmica de zirconia estabilizada con itrio.....	61
Figura 30: Recubrimiento sobre válvula con Proyección Térmica	62
Figura 31: Material cerámico que aísla eléctricamente el sustrato.....	63
Figura 32: Gripaje de rodamiento de un rotor eléctrico antes y después de ser metalizado.	64
Figura 33: Prótesis de material bionierte.....	65
Figura 34: Turbina aeronáutica	67
Figura 35: Cuchillas de cosechadora	68

Figura 36: Recubrimiento de rodillos laminadores	69
Figura 37: Procesos de Rociado térmico en gráfico Energía Térmica vs Cinética	75
Figura 38: Sistema Rociado térmico MetalJet 14F	76
Figura 39: Pistola de combustión alimentado con polvo y su esquema de proyección.....	77
Figura 40: Pistola de combustión alimentado con barra o alambre y su esquema de proyección	77
Figura 41: Estructura típica del proceso de Rociado térmico.....	79
Figura 42: Pistola de Rociado térmico por detonación	80
Figura 43: Microestructura típica de un recubrimiento de	81
Figura 44: Pistola de Rociado térmico por combustión de alta velocidad y su esquema de proyección.	82
Figura 45: Ejemplos de las microestructuras típicas en los recubrimientos obtenidos mediante HVOF:	86
Figura 46: Pistola y equipo de Rociado térmico por arco eléctrico.....	87
Figura 47: Arco formado en la punta de la pistola entre los dos electrodos de alambre	88
Figura 48: Diagrama de Rociado por arco eléctrico.....	89
Figura 49 Acero rociado por arco eléctrico utilizando alambres de diámetro pequeño	92
Figura 50: Pistola de proyección por plasma y su diagrama	93
Figura 51: Sistema de rociado por arco de plasma.....	95
Figura 52: Microestructura típica de rociado por plasma: (a) Alto nivel de oxígeno en recubrimiento NiAl. (b) Nivel típico de gas en recubrimiento 80Ni/20Cr.....	96
Figura 53: A la izquierda una botella de acetileno de 4kg y a la derecha una botella de oxígeno 8m ³	104
Figura 54: Reguladores de Oxígeno y Acetileno	108
Figura 55: Accesorios adicionales	109
Figura 56: Botellas de Oxígeno y Acetileno en 3D plasmadas a medida.....	111
Figura 57: Estructura principal del Gabinete Portabotellas, Diseño 3D	111
Figura 58: Reguladores de presión en 3D plasmados a medida	112
Figura 59: Diseño de soporte de Reguladores	112
Figura 60: a) y b)	113
Figura 61: Diseño 3D de Soportes y botellas en estructura inicial.....	114
Figura 62: Diseño en Programa	115
Figura 63: Análisis Estructural Gabinete Portabotellas.....	116
Figura 64: Módulo de Rociado Térmico	118
Figura 65: Proceso de construcción de Módulo	119
Figura 66: Modulo de Rociado Térmico	120
Figura 67: Primer bosquejo del soporte.....	121
Figura 68: Pistola Rototec1A en 3D.....	122
Figura 69: Soporte fijo de Pistola Rototec1A.....	123
Figura 70: Soporte con Pistola anclados al Torno.....	124
Figura 71: Análisis de Tensión de Soporte Fijo con una fuerza de 50N.....	124

Figura 72: Soporte Fijo Dividido en sus dos cuerpos principales	125
Figura 73: Soporte Fijo Dividido en sus dos cuerpos principales	126
Figura 74: Prueba de Soporte Fijo de Negro y amarillo en Torno de la UCSM.....	127
Figura 75: Diseño 3D Soporte móvil de pistola Rototec1A	128
Figura 76: Análisis de Tensión de Soporte Móvil con una fuerza de 50N.....	129
Figura 77: Soporte Móvil Dividido en sus cinco cuerpos	130
Figura 78: Soporte Móvil Dividido en sus cinco cuerpos principales.....	133
Figura 79: Prueba de Soporte Móvil de Plomo en Torno de la UCSM.....	134
Figura 80: Polvo Ultrabond 50000 a 100x, 500x, 1000x y 2500x. Imágenes de electrones secundarios (SE).....	142
Figura 81: Sección transversal de los polvos Ultrabond 50000 a 500x y 1000x. Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).....	143
Figura 82: Polvo Proxon 21071 a 100x, 500x, 1000x y 2500x. Imágenes de electrones secundarios (SE).....	143
Figura 83: Sección transversal de los polvos Proxon 21071 a 500x y 1000x. Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).....	144
Figura 84: Polvo Metaceram 29012 a 100x, 500x, 1000x y 2500x. Imágenes de electrones secundarios (SE).....	144
Figura 85: Sección transversal de los polvos Metaceram 29012 a 500x y 1000x. Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).....	145
Figura 86: Grafico de Velocidad Periférica vs RPM en cilindros de diferentes diámetros.	150
Figura 87: Partes del equipo de proyección por oxicombustión Rototec 1a	154
Figura 88: Frotar con solvente y cepillo la superficie a tratar	155
Figura 89: Pieza cilíndrica asegurada con el contrapunto en el torno	156
Figura 90: Protección de áreas que no necesitan ser recubiertas.....	156
Figura 91: Mecanizado y reducción con herramienta de corte de 90°	157
Figura 92: Eliminación del material fatigado y roscado recomendado	157
Figura 93: Pieza cilíndrica preparada	158
Figura 94: Preparación de superficies planas	158
Figura 95: Configuración correcta de la llama	159
Figura 96: Recubrimiento de superficies internas	162
Figura 97: Biselado de bordes de un canal chavetero	163
Figura 98: Procedimiento correcto de mecanizado	164
Figura 99: Correcto posicionamiento de la lanza de proyección Rototec 1A	167
Figura 100: Ejemplo de boceto de sustrato	173
Figura 101: Grafico de soporte de disposición de Rototec1A.....	175

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparación Proyección Térmica vs Electrodeposición.....	48
Tabla 2: Características y comparativa de los procesos de rociado térmico	74
Tabla 3 Velocidades de alimentación por proyección por arco eléctrico.....	90
Tabla 4: LPF (Factor de Prolongamiento de Vida útil) de algunos elementos de la Industria	98
Tabla 5: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Fijo	117
Tabla 6: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Fijo	126
Tabla 7: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Móvil.....	134
Tabla 8: Escala del 0 al 10 de algunas aleaciones de polvos metálicos de Eutectic Castolin según sus codificaciones numéricas	136
Tabla 9: Características de aleaciones de polvos metálicos de Eutectic-Castolin.....	137
Tabla 10: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Móvil.....	139
Tabla 11: Tamaño de distribución de Partícula	141
Tabla 12: Composición química de los polvos evaluada por EDX.....	145
Tabla 13: Fallas comunes durante el Proceso de Recubrimiento de polvos Metálicos.....	159
Tabla 14: Parámetros de mecanizado con la herramienta de carburo de tungsteno:.....	165
Tabla 15: Especificaciones recomendadas de Rectificado según producto	165
Tabla 16: Fallas comunes durante el Proceso de Recubrimiento de polvos Metálicos.....	166
Tabla 17: Enunciado de Protocolo Rototec 1A	169
Tabla 18: 1.- Check-List del Equipo	170
Tabla 19: 2.- Revisión de Presiones de Oxígeno y Acetileno	171
Tabla 20: 3.1.- Registro del material del sustrato.....	172
Tabla 21: 3.2.- Registro de tipo de desgaste sólo si aplica.....	172
Tabla 22: 3.3.- Registro de las dimensiones del sustrato	172
Tabla 23: 4.- Registro del Material a proyectar.....	173
Tabla 24: 5.- Registro de Preparación de Pieza.....	174
Tabla 25: 6.- Registro de Preparación de Pieza.....	175
Tabla 26: 7.- Registro de Parámetros dimensionales	176
Tabla 27: 7.- Registro de Parámetros de Presión y Oxígeno.....	177
Tabla 28: 8.- Listado para el control de calidad	177
Tabla 29: 8.- Listado para el control de calidad	178

LISTA DE MAPAS CONCEPTUALES

Mapa conceptual 1: Tipos de Polímeros	39
Mapa conceptual 2: Procesos de Proyección Térmica	72
Mapa conceptual 3: Procesos de Proyección Térmica	102



CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El rociado térmico, conocida también como aspersion térmica, termo rociado o su nombre genérico en inglés Thermal Spray, se puede definir como el proceso mediante el cual se aplica un recubrimiento metálico o no metálico mediante la deposición de partículas fundidas o semifundidas, las cuales son aceleradas y proyectadas a alta presión sobre la superficie de un material base o sustrato previamente preparado. La proyección térmica forma parte de las técnicas de deposición superficial integradas en lo que se denomina Ingeniería de Superficies y es un grupo de tecnologías empleadas para obtener recubrimientos de diferentes materiales, comúnmente constituidos de materiales metálicos, cerámicos o una combinación de ambos, sobre una gran variedad de sustratos, lo que permite conseguir una sustancial mejora en propiedades tales como resistencia al desgaste y a la corrosión de piezas y componentes [1].

El proceso consiste en primer lugar en fundir los materiales con los que se desea recubrir, empleando una gran variedad de fuentes de energía. Las más comunes son la combustión generada por mezclas de gases como oxígeno y acetileno, en el interior de una pistola convenientemente diseñada. El material fundido es proyectado hacia la superficie a recubrir usando para ello una corriente de aire (u otros gases) para conseguir que las partículas fundidas viajen y se impacten contra la superficie del sustrato para ir generando así el recubrimiento [2].

1.1. Antecedentes

El rociado térmico como proceso de recuperación tiene su origen a principios del siglo XX con la invención del proceso de metalización de Schoop-Günther en 1917. Cuando el Dr. MU Schoop de Zurich, Suiza, desarrolló el primer proceso para pulverizar metal y, posteriormente, el primer equipo para pulverizar metal en forma de alambre. Las primeras aplicaciones comerciales para el "Proceso de Schoop" o "metalización" tuvieron lugar en Alemania, y más tarde en Francia. Schoop posteriormente vendió sus derechos a una empresa alemana conocida como Metallizator. Fue esta firma la que fabricó y vendió unidades de rociado en Europa, Inglaterra y los Estados Unidos a partir de principios de los 1920. Entre las primeras compañías estadounidenses que adoptaron la tecnología se encontraban Metal Coatings Company y Metalweld of Philadelphia y Metallizing Company of Los Angeles. Las aplicaciones tempranas incluyeron el revestimiento de vagones cisterna de ferrocarril, tanques de buques de la Armada de los Estados Unidos, barcasas de carbón y la fumigación de las puertas de emergencia para el Canal de Panamá. [3]

Este proceso fue utilizado inicialmente para materiales de bajo punto de fusión como estaño o plomo, el cual fue extendido más adelante a metales refractarios y cerámicos. Es una de las técnicas más versátiles para la aplicación de materiales de recubrimiento utilizados para proteger componentes de desgaste por abrasión, adhesión, erosión, corrosión (como la causada por el agua de mar) y fatiga [3].

1.2. Descripción del problema

El deterioro progresivo de las superficies metálicas, debido a los fenómenos de corrosión y desgaste, conlleva a una drástica reducción de la eficiencia operativa de la pieza y, en el peor de los casos, a su ruptura definitiva.

Existe la creencia errada de que, a nivel industrial desarrollado, la política respecto al desgaste de partes y piezas consiste en el recambio de componentes desgastados por nuevos, sin observar la factibilidad desde un punto de vista económico de su reparación. Por el contrario, mientras mayor eficiencia operacional y desarrollo tecnológico alcanza la industria, mayor es su inclinación hacia la recuperación de partes y piezas [4].

La proyección térmica es una de las técnicas más económicas para aplicar recubrimientos metálicos resistentes a la corrosión y desgaste con buena calidad en cuanto a adherencia y composición química. Los bajos costos energéticos y las altas tasas de producción la hacen una técnica competitiva respecto a otros sistemas.

Es donde surge la necesidad de analizar y entender el proceso de rociado térmico como un método efectivo para la protección contra la corrosión y el desgaste de componentes que pueden ser recuperados o reforzados para evitar su deterioro y prolongar así su vida útil. A su vez establecer la secuencia adecuada del proceso en función a los parámetros a controlar elaborando un protocolo para rociado térmico por oxicomcombustión.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un protocolo donde se detalle la secuencia necesaria para desarrollar un adecuado procedimiento de Rociado Térmico por Oxicomcombustión.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar el Proceso de Rociado Térmico por Oxi-combustión convencional.
- Exponer la funcionabilidad del equipo Rototec 1A.
- Diseñar e implementar un Módulo para la realización del proceso de rociado Térmico por Oxidación.
- Adquirir los recursos necesarios que requiere el estudio del proceso de rociado térmico con Rototec1A.
- Investigar sobre los procesos actuales del avance de esta tecnología en la ingeniería de Superficies.

1.4. Alcances

Se plantea generar una nueva línea de investigación en la Universidad Católica Santa María implementando un módulo de Proyección Térmica con el proceso de Oxidación Convencional con una Rototec 1A proporcionando las pautas y recursos necesarios.

Conociendo la ingeniería de la Proyección térmica se plantea demostrar la efectividad del proceso y proyectar a la Universidad el estudio de los demás tipos de proyección térmica.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Deterioro de Superficies Metálicas

Son muchos los factores que pueden afectar una pieza o estructura metálica, causando daños o deformaciones en estas, las cuales van en decremento de las propiedades del material y en la economía de las industrias. Entre estos factores se pueden mencionar, el desgaste, la fatiga y la corrosión. El desgaste es uno de los principales responsables por la mayor parte de deterioro y salida de servicio de piezas mecánicas, mientras la corrosión es la responsable por el deterioro de estructuras metálicas. Por otro lado, la fatiga sólo causa daño cuando la pieza o elemento mecánico sobrepasa el valor de los esfuerzos cíclicos admisibles. Son varias las formas en que el hombre ha tratado de recuperar piezas deterioradas, como la utilización de recubrimientos duros. [5]

Gran parte de los componentes metálicos de máquinas y herramientas están expuestas a condiciones de deterioro o desgaste. Se define al desgaste como la pérdida progresiva de material sólido de la superficie de un determinado componente, el desgaste en operación es uno de los problemas que originan mayores pérdidas económicas; esto ha conllevado a que diferentes rubros de la industria busquen opciones viables y de bajo costo en el mantenimiento de componentes mecánicos. [5]

2.1.1. Fricción

El desgaste es una consecuencia de la fricción en la mayoría de los casos y comúnmente es una desventaja para los componentes que conforman un sistema. La fricción se define como la resistencia al movimiento que es experimentada durante el deslizamiento, cuando un cuerpo se mueve tangencialmente sobre otro con el cual está en contacto. La fuerza tangencial resistiva, la cual actúa en una dirección directamente opuesta a la dirección del movimiento, es llamada fuerza de fricción F , Figura 1. [6]

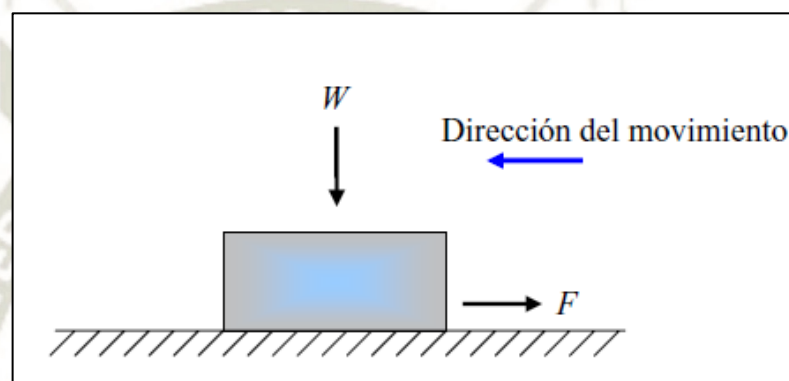


Figura 1: Diagrama cuerpo libre que ilustra el deslizamiento de un cuerpo sobre una superficie
FUENTE: Universidad de Barcelona, memoria caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, Maryori Astrid Gomez Botero

Si dos cuerpos se colocan en contacto, el valor de la fuerza tangencial que es requerido para iniciar el movimiento es la fuerza de fricción estática. La fuerza tangencial requerida para mantener el movimiento relativo es conocida como la fuerza de fricción cinética o dinámica. La fuerza de fricción estática es mayor o igual a la fuerza de fricción cinética. La fricción no es una propiedad del material, es una respuesta del sistema. [6]

La palabra tribología significa “estudio del frotamiento”, término cuya interpretación define la presencia de fricción en el movimiento relativo de superficies. El frotamiento de los cuerpos se traduce como la acción que ejerce un cuerpo cuando se desplaza sobre otro. De acuerdo al tema de interés en nuestra tesis y según el estudio mencionado, la fricción

siendo una fuerza de oposición al movimiento entre dos cuerpos de acero, genera lo que nosotros conocemos como desgaste. [7]

2.1.2. Desgaste

El desgaste es definido como el proceso de remoción de material de una superficie sólida, como un resultado del movimiento relativo de esta superficie respecto a otra en contacto. En el proceso continuado de desgaste, el material puede ser removido de la superficie y expulsado o puede resultar transferido a la otra superficie o también puede romperse y quedar atrapado dentro del contacto como una partícula libre de desgaste. En el caso de la transferencia de material desde una superficie a otra, la pérdida de masa o volumen neto de la interfase sería cero, aunque una de las superficies sería desgastada. En un proceso de contacto tribológico la fuerza de fricción también está asociada a la evolución del desgaste, sin embargo, su relación no es bien entendida. Algunas veces se asume que interfases de alta fricción exhiben altas tasas de desgaste. Esto no es necesariamente verdad, por ejemplo, las interfases entre metales pulidos y polímeros exhiben baja fricción y simultáneamente alto desgaste, mientras que las interfaces entre materiales cerámicos exhiben moderada fricción, pero muy bajo desgaste. Sin embargo, esto no es una regla general y hay contradicciones. [6]

El desgaste puede ser bueno o malo. Ejemplos de desgaste deseado pueden ser escribiendo con un lápiz, puliendo piezas con abrasivos mediante un desgaste controlado. El desgaste es indeseado en casi todas las aplicaciones de maquinaria donde es importante mantener indefinidamente la forma de las piezas y su integridad superficial como ocurre en los ejes, cojinetes, retenes o engranajes. [6]

El desgaste ocurre por mediación de fenómenos mecánicos y de fenómenos químicos. El desgaste por todos los mecanismos, excepto por fatiga mecánica ocurre mediante remoción gradual de material en numerosas porciones diminutas que pueden variar enormemente en su tamaño desde nivel atómico hasta micras. En varios casos, el desgaste puede ser iniciado por un mecanismo y puede avanzar por otros mecanismos distintos. En el proceso de desgaste se distinguen mecanismos principales que sólo tienen en común la remoción de material desde el roce de superficies. Los mecanismos más comunes son: adhesivo y abrasivo. [6]

2.1.2.1. Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo ocurre durante el deslizamiento constante de dos superficies, donde capas delgadas de un material se desprenden y se adhieren a otro, debido a que las fuerzas de enlace entre moléculas de la interfaz son mayores que aquellas que unen estas regiones con sus alrededores, en el cuerpo al que antes pertenecían. Ya que algún fragmento desprendido de una superficie alcanza la otra, ese fragmento puede permanecer ahí por la fuerza que existe entre los nuevos enlaces, como se ve en la Figura 2. Posteriormente, puede ser que dicho fragmento se desprenda nuevamente durante el avance del proceso formando residuos, sucede si se llega a tener gran variación de esfuerzos en las capas adheridas. [7]

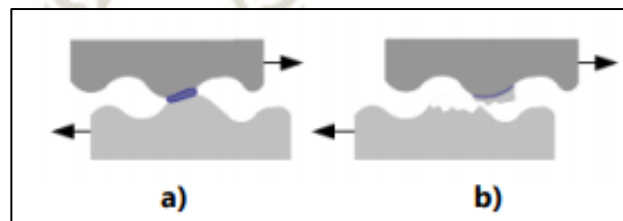


Figura 2 Desgaste adhesivo. a) Etapa de adhesión y b) desprendimiento.
Fuente: Modificado de Kopeliovich, 2017.

En los puntos de contacto reales entre dos superficies en deslizamiento, puede ocurrir la adhesión instantáneamente entre las asperezas de cada superficie y con el movimiento, los

contactos adheridos son cortados por el deslizamiento generando fragmentos. Los fragmentos resultantes pueden quedar adheridos y transferidos a la otra superficie o bien desprenderse y ser partículas de desgaste libres. El desgaste por adhesión también puede ocurrir átomo a átomo, resultando una huella de desgaste muy suave. [6]

El volumen en un desgaste adhesivo Vol es generalmente proporcional a la carga aplicada W y a la distancia de deslizamiento x y usualmente es inversamente proporcional a la dureza de la superficie que es desgastada, por tanto el volumen desgastado está dado por

$$Vol = \frac{kWx}{H}$$

donde k es un coeficiente de desgaste adimensional que depende de los materiales en contacto y su limpieza. Esta relación fue observada primero por Holm (1946) y Archard (1953). [6]

El análisis de Archard para justificar la expresión anterior sugiere dos reglas sencillas de desgaste: que el volumen desgastado es independiente del área aparente A_a y que es directamente proporcional a la carga aplicada. Estas reglas son análogas a las leyes de Amontons de fricción. Además, el desgaste se mantiene constante al aumentar la distancia de deslizamiento o el tiempo y es independiente de la velocidad de deslizamiento. [6]

2.1.2.2. Desgaste abrasivo

Es el segundo mecanismo de desgaste. Este tipo de desgaste sucede cuando asperezas de una superficie dura o bien partículas libres duras deslizan sobre una superficie más blanda y producen daño en esta superficie por deformación plástica y fractura. Las dos situaciones del desgaste abrasivo son presentadas en la Figura 3. En el primer caso Figura 3a, la superficie más dura de las dos que rozan (abrasión de un cuerpo sobre otro) produce abrasión

en la superficie más blanda y en el segundo caso figura 3b, la parte dura es un tercer cuerpo, generalmente pequeñas partículas abrasivas atrapadas entre las dos superficies y lo suficientemente duras como para producir abrasión en una o ambas superficies del contacto (abrasión por tercer cuerpo). En algunos casos el mecanismo de desgaste puede ser adhesivo al inicio, con lo que se generan partículas de desgaste que quedan atrapadas en la interfase actuando como un tercer cuerpo de desgaste abrasivo. [6]

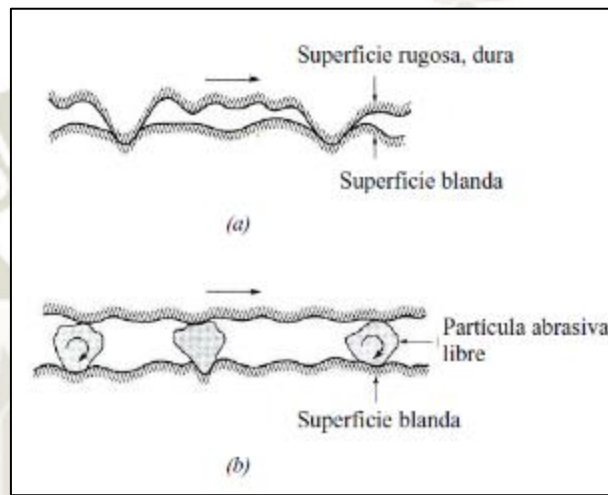


Figura 3: Ilustración de dos formas de desgaste abrasivo: (a) una superficie áspera y dura deslizando sobre una superficie más blanda y (b) partículas abrasivas libres (tercer cuerpo) atrapadas entre las superficies.

Fuente: Universidad de Barcelona, memoria caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, Maryori Astrid Gomez Botero

Si la interacción se lleva a cabo por cuerpos que se componen del mismo material, entonces el desgaste es aleatorio y depende del acabado superficial de las piezas de trabajo. [7]

2.1.2.3. Desgaste por fatiga

La fatiga en la superficie y sub-superficie se observa durante deslizamiento y apisonamiento repetido. Los repetidos ciclos de carga y descarga a los cuales los materiales son expuestos pueden inducir la formación de grietas superficiales y sub-superficiales, que eventualmente, después de un número crítico de ciclos resultarán en la rotura de la superficie con la formación de grandes fragmentos, dejando grandes hoyos en la superficie Figura 4. Antes

de este punto crítico el desgaste del material es despreciable, lo que no sucede con el desgaste causado por un mecanismo adhesivo o abrasivo, donde el desgaste causa un deterioro gradual del material desde el inicio del proceso. Por tanto, la cantidad de material removido debido a la fatiga no es un parámetro útil. Mucho más relevante es la vida útil en términos del número de revoluciones o ciclos de trabajo antes de que ocurra la falla por fatiga. [6]

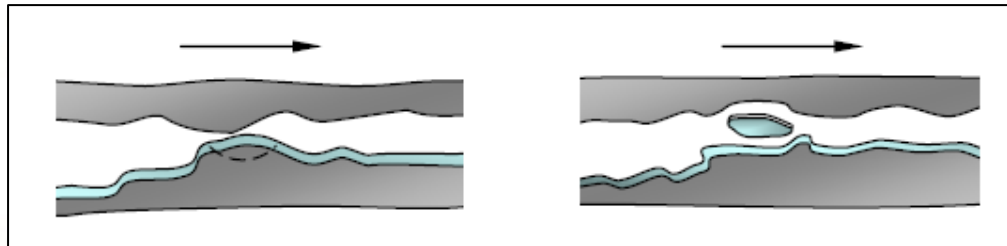


Figura 4: Desgaste por fatiga entre dos superficies en deslizamiento.
Fuente: Universidad de Barcelona, memoria caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, Maryori Astrid Gomez Botero

2.1.2.4. Desgaste por impacto

El desgaste por impacto comprende dos amplios tipos de fenómenos de desgaste: el erosivo (partículas al azar) y el percusivo (impactos repetidos en un punto). La erosión puede ocurrir por chorros y flujos de partículas sólidas pequeñas transportadas por un fluido, en general aire o agua, o también por gotas líquidas. La percusión ocurre por impactos repetidos de cuerpos sólidos de tamaño mayor. La Figura 5 muestra el mecanismo de erosión causado por el choque de partículas sólidas. Esto es una forma de abrasión, que generalmente se trata diferente porque la presión del contacto crece con la energía cinética del flujo de partículas en un chorro de aire o líquido cuando encuentra la superficie. La velocidad de las partículas, el ángulo de impacto y el tamaño medio de las partículas de abrasivo dan una medida de la energía cinética de las partículas que chocan. [6]

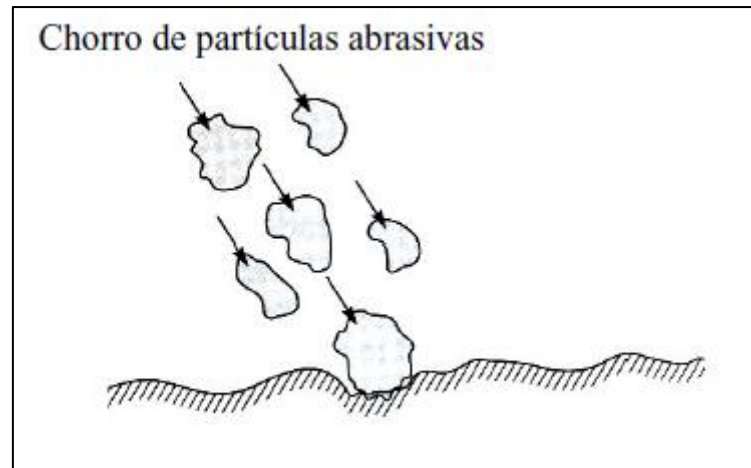


Figura 5: Esquema del desgaste por erosión

Fuente: Universidad de Barcelona, memoria caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, Maryori Astrid Gomez Botero

Como en el caso del desgaste abrasivo, el desgaste erosivo ocurre por deformación plástica y fractura frágil, dependiendo del material que está siendo erosionado y de los parámetros de operación. Los materiales dúctiles experimentan desgaste por deformación plástica. En los materiales frágiles, en cambio, el material es removido por la formación e intersección de grietas que se difunden desde el punto de impacto de la partícula erosionada. [6]

El desgaste por percusión se da por el impacto repetitivo de un cuerpo sólido, (martilleo). En la mayoría de las aplicaciones prácticas de maquinaria, el impacto está asociado con deslizamiento ejerciendo fuerzas con componentes normal y tangencial conocidas como impacto compuesto. El desgaste percusivo ocurre por mecanismos de desgaste híbridos los cuales combinan varios de los siguientes mecanismos: adhesivo, abrasivo, fatiga superficial, fractura y desgaste triboquímico. [6]

2.1.2.5. Desgaste químico

El desgaste químico o corrosivo ocurre cuando el deslizamiento entre dos superficies tiene lugar en un ambiente corrosivo, la Figura 6 ilustra este tipo de desgaste. En aire, el medio corrosivo más dominante es el oxígeno. Por tanto, el desgaste químico en aire generalmente es llamado desgaste oxidativo. En la ausencia de deslizamiento los productos químicos de corrosión (es decir, óxidos) podrían formar una película que podría detener la corrosión, pero la acción por deslizamiento desgasta la película, así que el ataque químico puede continuar. De esta forma, el desgaste químico requiere ambas la reacción química (corrosión) y frotamiento. [6]

En el desgaste triboquímico, la fricción modifica la cinética de las reacciones químicas de cuerpos en deslizamiento, y con el medio gaseoso o líquido, hasta tal punto que ciertas reacciones químicas que solamente ocurren a alta temperatura, pueden ocurrir a temperatura ambiente durante el deslizamiento. [6]

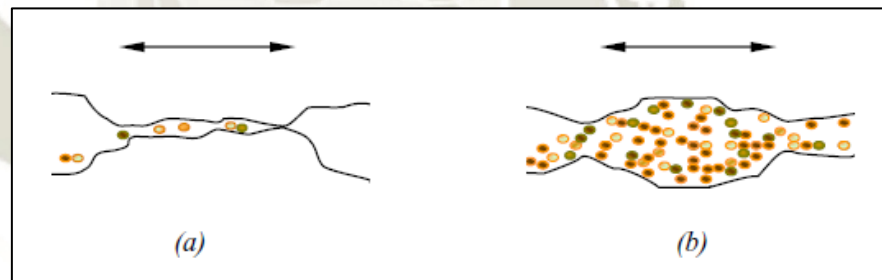


Figura 6: Ilustración del desgaste químico entre dos superficies en deslizamiento, (a) inicio del desgaste y (b) desgaste avanzado de las superficies.

Fuente: Universidad de Barcelona, memoria caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, Maryori Astrid Gomez Botero

2.1.2.6. Desgaste por cavitación

Es el fenómeno de cavitación, donde pequeñas cavidades de vacío (burbujas) se forman en un fluido sometido a grandes velocidades u ondas sónicas de gran energía. Este fenómeno erosiona el material debido a las grandes presiones transitorias durante el colapso de

burbujas, la Figura 7 muestra un esquema de este mecanismo. Este desgaste es más suave que la erosión y parece ser controlado por la resistencia a la fatiga de los materiales. [6]

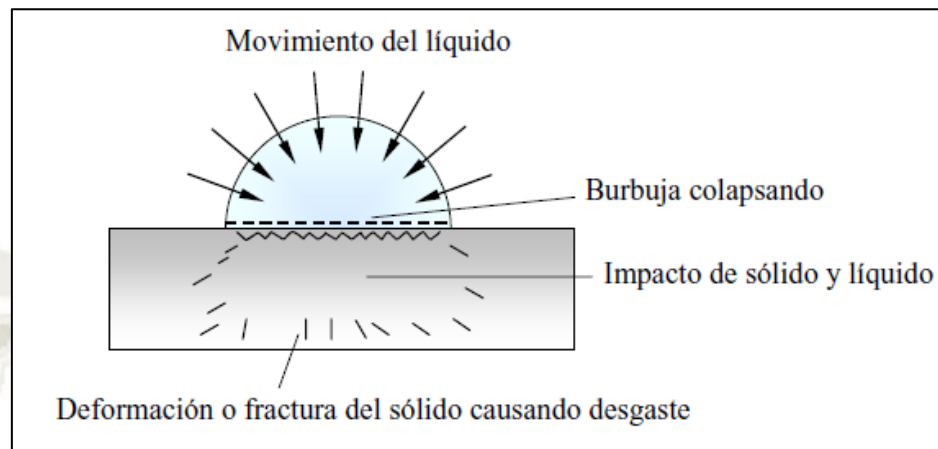


Figura 7: Esquema del mecanismo de desgaste por cavitación
Fuente: Universidad de Barcelona, memoria caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, Maryori Astrid Gomez Botero
BOTERO

2.1.2.7. Desgaste por vibraciones

Este tipo de desgaste ocurre cuando hay un movimiento oscilatorio de baja amplitud en dirección tangencial entre superficies en contacto que están nominalmente en reposo (amplitud de oscilación desde nanómetros hasta unos pocos micrómetros). La ocurrencia de este tipo de desgaste es común en la mayoría de maquinaria que está sujeta a vibración durante su operación. Básicamente el desgaste por vibración es una forma de desgaste adhesivo o abrasivo, donde la carga normal causa adhesión entre asperezas y el movimiento oscilatorio causa su rotura. [6]

El desgaste por vibración más común está combinado con corrosión, en este caso el modo de desgaste es conocido como corrosión por vibración. Por ejemplo, en el caso de partículas de acero, las superficies frescas que resultan del desgaste son oxidadas a Fe_2O_3 , en forma de partículas finas de color rojizo, las cuales son abrasivas. Debido al espacio cerrado entre las superficies y la pequeña amplitud del movimiento oscilatorio, las superficies nunca están

fuera de contacto y por tanto hay poca oportunidad para que estos productos puedan escapar. Usualmente una vibración externa causa el movimiento oscilatorio, que a su vez genera desgaste abrasivo y oxidación, y así sucesivamente. [6]

2.2. Introducción al recubrimiento de superficies

Los recubrimientos metálicos están conformados por una amplia variedad de procesos mediante los cuales se modifica la estructura inicial de una superficie -metálica otorgándoles nuevas propiedades para su protección, su función o por simple decoración.

El tratamiento de superficies metálicas está presente también como un subproceso interno o externo, en muchos tipos de industrias de diferentes sectores, como por ejemplo en automoción, aeronáutica, telecomunicaciones, sistemas de la información, ingeniería, construcción, electrodomésticos, utensilios de baño, soportes informáticos (hardware), etc.

Ahora el proceso de recubrimientos metálicos para regresar a la condición inicial del componente de la máquina y/o herramienta la llaman en las diferentes industrias proceso de recuperación, ya que se busca obtener las mismas condiciones iniciales de los componentes para que la operación de cualquier sistema continúe en el tiempo, con ahorro de tiempo y costos. [8]

En casi todas las industrias hay desgaste de piezas y maquinaria, por lo cual se requiere de minimizar este desgaste y recuperar estas piezas obteniendo una mayor relación costo- beneficio, además de aumentar las horas de servicio y la eficiencia de los equipos. Para hacer una buena selección del tipo de revestimiento protector y su aplicación, se necesita conocer los tipos de desgaste a los que puede estar sometida la pieza que se quiere

proteger. Los recubrimientos duros pueden controlar todos los tipos de desgaste, pero un mismo recubrimiento no soluciona todos los tipos de desgaste. [8]

Generalmente, hay una interacción de los diferentes mecanismos de desgaste y es así como en un sistema de succión podemos encontrar erosión, cavitación y fatiga térmica y en los álabes de una turbina se puede tener erosión y corrosión. Una vez se ha determinado los mecanismos de desgaste presentes en un equipo o componente, se recurre a la ciencia de materiales para determinar qué aleación o recubrimiento, ya sea metálico, polimérico, cerámico o una mezcla de ellos, permite prolongar su duración en servicio. Efectuada la selección del recubrimiento resistente al desgaste, se debe determinar el procedimiento con el cual se aplicará la aleación o esquema resistente al desgaste. El uso de revestimientos duros para mejorar la resistencia al desgaste de componentes mecánicos ha sido común en varias décadas, con diferentes técnicas de aplicación, que incluyen soldaduras especiales, rociado térmico electrodeposición, deposición física de vapor (PVD) y deposición química de vapor (CVD). [9]

Los diversos tipos de revestimientos pueden ser usados para combatir efectivamente todos los tipos de desgaste, incluyendo situaciones donde el desgaste es combinado. El análisis para la elección del revestimiento ideal y del proceso de aplicación debe tener en cuenta factores de costo y eficiencia a mediano y largo plazo, con miras a las limitaciones y especificaciones de cada proceso. Como ejemplo, a pesar de que la resistencia al desgaste de los revestimientos de PVD y CVD son bastante elevadas, estos revestimientos son normalmente finos y no muy resistentes al impacto o cargas con partículas abrasivas grandes. Además, el componente a ser revestido puede ser demasiado grande para ser revestido en una cámara de PVD o CVD, o presentar otras restricciones geométricas o térmicas a estos procesos. Los revestimientos aplicados por soldadura y rociado térmico son

usados para resistir muchos tipos de desgaste en prácticamente todo tipo de industria. Los materiales usados varían desde aleaciones blandas a aleaciones duras, pasando por carburos.

[9]

Los siguientes subtítulos describirán distintos procesos de recubrimiento de superficies actualmente utilizados, debido a la cantidad de aplicaciones y necesidades que surgen hoy en día en los diversos entornos industriales. Son varios los casos por los que se realiza recubrimiento de superficies, ya sea para procesos de recuperación, para mejorar algunas propiedades o cualidades en dicha superficie, protección contra la corrosión, o aumentar la resistencia al desgaste, acabado superficial, decoración. Etc.

2.2.1. Recubrimiento Electrolítico

El proceso de recubrimiento electrolítico de superficies metálicas y plásticas consiste en la modificación que se realiza por deposición de capas de metal sobre la superficie a tratar o por la conversión de dicha superficie, en ambos casos esta modificación le conferirá las propiedades anticorrosivas, decorativas o funcionales deseadas. En este caso los recubrimientos electrolíticos necesitan una fuente externa de corriente eléctrica para el intercambio iónico. Un proceso electrolítico requiere:

- solución electrolítica.
- electrodos conductores.
- corriente eléctrica.

El esquema general de un proceso electrolítico puede representarse en la figura 8.

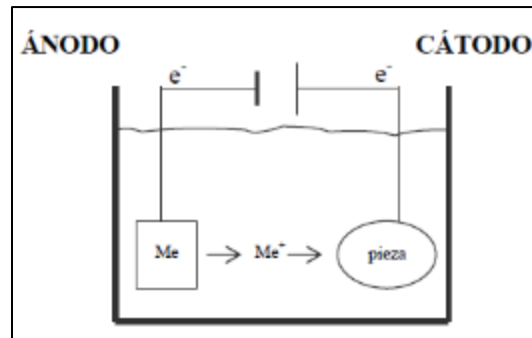


Figura 8: Esquema general del proceso electrolítico

FUENTE Gobierno de España, Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Publicación Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas 2009

El mecanismo de recubrimiento electrolítico consiste en sumergir la superficie a tratar en un electrolito que posee los iones del metal a depositar, la pieza a recubrir constituye el cátodo de la cubeta electrolítica. El ánodo está formado por piezas de gran pureza del metal de deposición cuya misión es mantener constante la concentración de los iones metálicos en el electrolito. En los procesos electrolíticos de modificación, la superficie es igualmente sumergida en un electrolito actuando en este caso como ánodo y utilizándose como cátodo un metal inerte cuya función es la de cerrar el circuito electrolítico. [10]

2.2.1.1. Cincado

El recubrimiento de piezas con cinc requiere un postratamiento que asegure la protección de las mismas frente a la corrosión, así, habitualmente, tras el proceso de cincado de piezas se procede a pasivarlas con soluciones de cromo hexavalente o trivalente. [10]

- Cinc ácido

Este tipo de cinc se utiliza para aquellas piezas que requieran un tratamiento anticorrosivo con una baja distribución del metal y un acabado brillante. [10]

- Cinc alcalino

De igual manera que el cinc cianurado, este tipo de recubrimiento se utiliza en piezas metálicas en las que se debe aportar una resistencia a la corrosión, con una mejor distribución del metal que el cinc cianurado.

Este proceso requiere una mejor etapa de pretratamiento (limpieza piezas) que en el caso de cinc cianurado. [10]

- Cinc cianurado

Este tipo de cincado no precisa de un proceso de desengrase tan exigente como en el caso anterior. Este proceso es cada vez menos utilizado, por su problemática ambiental y gracias a las buenas prestaciones de los dos baños de cincado alternativos. [10]

Las aleaciones de cinc también aportan una gran resistencia a la corrosión, siendo utilizadas en el sector de la automoción. Las principales aleaciones utilizadas son:

- cinc-hierro (< 1% Fe).
- cinc-cobalto (< 3% Co).
- cinc-níquel (< 15% Ni).

Una vez finalizado el proceso de cincado, para incrementar la resistencia a la corrosión, las piezas son sometidas a un proceso de pasivación crómica o cromatizado. Esta pasivación puede ser de cuatro tipos [10]:

- pasivación azul (resistencia a la corrosión baja).
- pasivación verde (alta resistencia a la corrosión).
- pasivación amarilla (resistencia a la corrosión similar a la verde).
- pasivación negra (resistencia de tipo mediana).

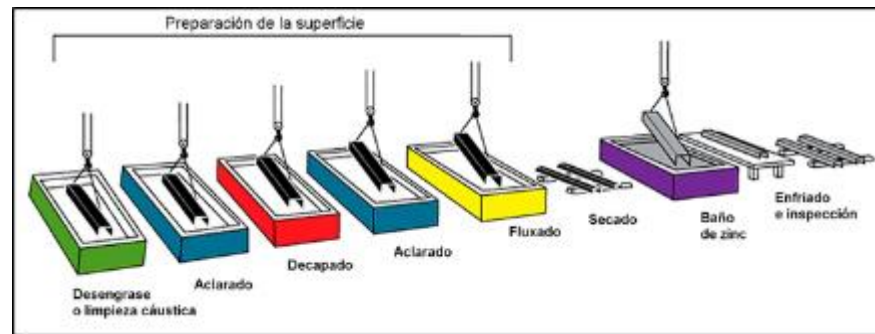


Figura 9: Distintas aplicaciones del cincado
Fuente: <https://ferrosplanes.com/proceso-galvanizado-ventajas/>

2.2.1.2. Cadmiado

El cadmio se utiliza para la protección de aleaciones de acero, aluminio o titanio. Este tipo de recubrimiento es más resistente que el de cinc, pero debido a su toxicidad se ha restringido en algunos usos. [10]

2.2.1.3. Niquelado

En el sector de tratamiento de superficies se llevan a cabo un gran número de acabados anticorrosivos y decorativos. En gran parte de ellos, previo al acabado final, se proporciona una subcapa de níquel que favorece la resistencia a la corrosión y la posterior electrodeposición del metal que ofrecerá el acabado final. El niquelado se utiliza normalmente como subcapa para tratar hierro, aluminio y sus aleaciones, latón, cobre, cinc y sus aleaciones. [10]

En el esquema de la figura 10 se resumen los principales baños de subcapas y acabados:

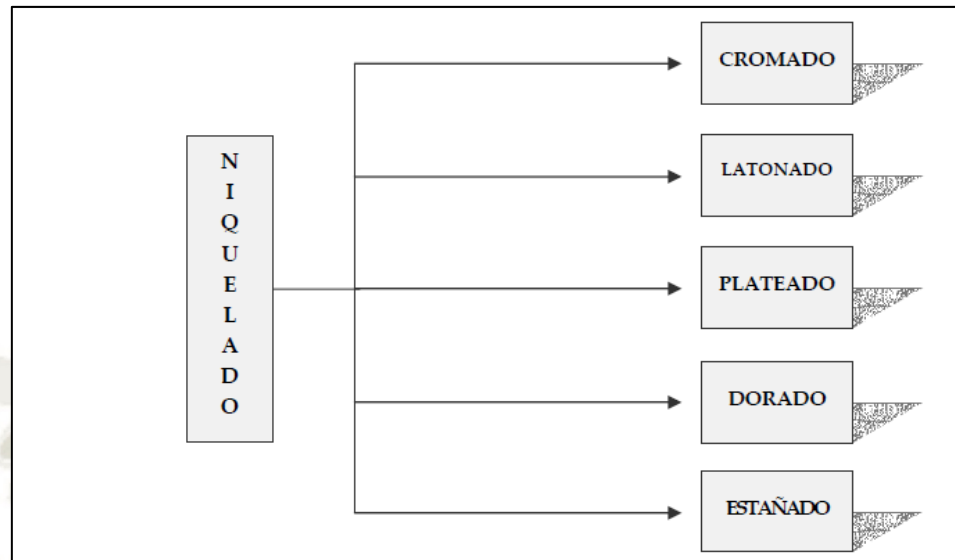


Figura 10: Principales acabados del niquelado

FUENTE Gobierno de España, Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Publicación Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas 2009

Este tipo de baño opera sin aditivos, aunque en ocasiones se adicionan agentes humectantes para reducir la generación de burbujas de aire en la superficie del baño. Sin embargo, en este baño pueden añadirse aditivos orgánicos que modifiquen la estructura del níquel y, por lo tanto, la apariencia final (brillante, semi brillante, satinado). [10]

También encontramos otro tipo de baño similar a la composición indicada en la tabla anterior, exento de cloruro de níquel. Este tipo de formulación se utiliza en aquellos casos en los que se debe depositar níquel, con la ayuda de ánodos, en grandes e inaccesibles cavidades que presenta la pieza a recubrir. [10]

Otro tipo de baños utilizados en el proceso de niquelado, son los siguientes:

- Níquel Wood: La composición con cloruro de Níquel y ácido clorhídrico. [10]
- Níquel-hierro (industria electrónica y como acabado decorativo), necesita aditivos para estabilizar el hierro en el baño y prevenir la oxidación el mismo. [10]
- Cinc-níquel, cada vez más utilizado puesto que incrementa hasta 10 veces la protección a la corrosión que aportar el cinc puro. [10]

- Electroconformado, es la producción o reproducción de piezas por electrodeposición sobre un mandril o modelo que es posteriormente separado. Este proceso se utiliza mayoritariamente, en la fabricación de discos compactos, DVD's, hologramas y en cilindros de impresión. [10]



Figura 11: Ejes niquelados

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Niquelado>

2.2.1.4. Cobreado

El cobreado es un recubrimiento metálico de cobre, realizado mediante baño electrolítico, que se da sobre piezas metálicas, ya sean de acero, latón, cobre o zamak, y que sirve para aumentar su resistencia a la oxidación, la corrosión o el desgaste, mejorar la conductividad y soldabilidad, y para mejorar su aspecto en elementos ornamentales. El cobreado se lleva a cabo tanto para embellecer y proteger piezas de metales menos nobles, y por ende más propensos a la oxidación, como para niquelar o cromar objetos de hierro o de acero que directamente sobre su propia superficie no admiten el niquelado ni el cromado; el recubrimiento de cobre sirve en este caso de asiento de la definitiva y externa capa de níquel o cromo. La industria automovilística se vale de esta técnica para fabricar infinidad de piezas

que a su gran resistencia deben unir su belleza y brillo exterior, como tiradores de las puertas, alza-cristales, montantes y guías, etc. [11]

Los tipos de cobreados que pueden encontrarse son:

- Cobre cianurado, en el caso del cobre cianurado, los baños deben estar a bajas temperaturas para prevenir cementaciones espontáneas del cobre o una pobre adhesión del metal. [10]
- Cobre alcalino exento de cianuros, es una subcapa para baños de níquel brillante y cromo. [10]
- Cobre ácido, actualmente es el más utilizado debido a su capacidad de homogeneización (nivel de espesor). [10]
- Otro baño, utilizado en fabricación de circuitos impresos, es el baño de cobre ácido con ácido fluobórico. Se trata de un proceso que puede ofrecer cualquier tipo de grosor a las piezas de todo metal que tenga una base de cobre. [10]



Figura 12: Distintas aplicaciones del Cobreado
Fuente: <http://www.electrometal.es/cobreados.php>

2.2.1.5. Latonado y acabados en Bronce

Latonado: Este tipo de recubrimiento se utiliza como acabado decorativo. Acabados en bronce: Se utilizan como recubrimientos decorativos, especialmente como sustituto del níquel para piezas de bisutería / joyería (níquel-free) para prevenir las alergias, y siendo el recubrimiento en dos colores: bronce blanco o bronce amarillo. El plomo se utiliza en concentraciones bajas para aportar brillo. El uso del plomo en según que productos ha sido prohibido por recientes directivas. [10]

2.2.1.6. Cromado

El cromo hexavalente, por las características de su acabado (aspecto, dureza y resistencia a la corrosión) se utiliza tanto en el acabado de piezas decorativas (cromo brillante y cromo negro) como en el recubrimiento de piezas que necesitan una gran resistencia (cromo duro) y en algunos pasivados y decapados ácidos. Una vez depositado, el cromo se reduce a su forma metálica perdiendo de esta manera su toxicidad. [10]

- Cromo decorativo. En el caso del cromo decorativo (brillante), se recubre la pieza tras una primera capa de níquel, con cromo, que puede ser trivalente o hexavalente (0,1-0,4 μm). La dureza y protección contra la corrosión son menores que las obtenidas con el cromo hexavalente y, además el color del acabado es también muy diferente no aceptado como acabado decorativo. [10]
- Cromo duro. El cromo duro se utiliza para aquellas piezas que requieren una gran resistencia mecánica (cilindros hidráulicos, amortiguadores, etc.) y se formula a través de cromo hexavalente. [10]
- Cromo negro. Un caso específico del cromo decorativo es el cromo negro, utilizado como recubrimiento decorativo de piezas negras. El tipo de catalizador y la

temperatura de trabajo tienen una gran influencia en las propiedades físicas, químicas y mecánicas que adquirirá la pieza. [10]



Figura 13: Cuba de Electrolisis para el cromado

Fuente: <http://stp.insht.es:86/stp/basequim/023-tratamientos-de-superficies-cromado-electrol%C3%ADtico-manual-exposici%C3%B3n-cromo-hexavalente>

2.2.1.7. Estañado

El estañado de piezas se utiliza en muchas aplicaciones debido a sus propiedades. Este tipo de recubrimiento no es tóxico, es dúctil, resistente a la corrosión y de fácil recubrimiento. Esto hace posible que piezas con formas complejas puedan ser perfectamente recubiertas. [10]

La principal aplicación de este tipo de recubrimiento la encontramos en la industria de fabricación de envases para alimentación, bebidas y aerosoles, así como en los circuitos impresos, componentes electrónicos y aparatos eléctricos, chasis, utensilios de cocina, etc. [10]

2.2.1.8. Anodizado de Aluminio

El anodizado de metales es un proceso de conversión de superficies, por vía electroquímica, mediante el cual se produce la oxidación de la superficie del metal en cuestión. El aluminio

(y sus aleaciones) es uno de los principales metales anodizados, formándose en su superficie óxido de aluminio (alúmina (Al_2O_3)). [10]

En este caso, a diferencia del resto de procesos electroquímicos vistos hasta ahora, la superficie a tratar actúa como ánodo produciéndose su oxidación. El anodizado del aluminio se lleva a cabo, mayoritariamente con ácido sulfúrico, aunque en ocasiones pueden utilizarse otro tipo de soluciones como el ácido fosfórico o crómico, siendo esta última aplicación cada vez menos utilizada y en aplicaciones muy concretas. [10]

La capa de alúmina formada durante el proceso de anodizado puede colorearse con colorantes orgánicos o compuestos inorgánicos metálicos. Posteriormente, se somete a un proceso de sellado con el propósito de aumentar la resistencia a la corrosión y retener la coloración dada a la superficie. A continuación, los tipos de anodizado que se pueden lograr. [10]

- Anodizado de aluminio con ácido sulfúrico
- Anodizado con ácido fosfórico

El anodizado con ácido fosfórico se utiliza como tratamiento previo a posteriores recubrimientos. Este tipo de anodizado aporta porosidad a la superficie, resistencia a la oxidación (hidratación) e incrementa la dureza. [10]

- Anodizado con ácido oxálico
- Anodizado de aluminio con ácido crómico
- Coloración del anodizado del aluminio

En ocasiones el aluminio debe colorearse durante o después del anodizado. Encontramos los siguientes métodos de coloración. [10]

- Coloración por inmersión: la más utilizada con una ampliada gama de colores. [10]

- Coloración electrolítica: el anodizado se lleva a cabo en una solución de ácido que contiene sales de metal y se le aplica corriente alterna. Esto provoca que el metal penetre 1-5 μm en el interior del poro de la alúmina. Se obtiene el color característico del metal usado. El electro-lito más usado hoy en día es a base de sulfato de estaño. Se utilizan también sales de níquel, de cobre y permanganato. [10]
- Coloración por interferencia: es una técnica especial basada en el principio de coloración electrolítica, con una modificación previa de la capa anódica antes de la deposición electrolítica. El aspecto se produce por la interferencia de 2 capas finas: la capa de metal depositada electroquímicamente en el fondo de los poros y la interfase de óxido de aluminio modificada por debajo. [10]
- Coloración integral: En este caso el óxido de aluminio se colorea durante el proceso de anodizado debido a las características de la aleación de aluminio utilizada. Esta técnica está siendo totalmente reemplazada por la coloración electrolítica. [10]



Figura 14: Tonos que se puede encontrar en aluminio anodizado
Fuente: Carta de acabados anodizados – Aluminios Garcilasos

2.2.1.9. Tratamiento en Fleje continuo

El fleje de acero se emplea en diferentes aplicaciones industriales de mecanizado. Para darle una resistencia a la corrosión se le somete a un proceso de tratamiento de superficies que es

el que se describe a continuación. En concreto, en este apartado, se efectúa un repaso de las principales etapas de metalizado electrolítico del fleje. [10]

El proceso electrolítico de recubrimiento del fleje es fundamentalmente el mismo que el empleado en los procesos descritos hasta el momento, empleándose incluso soluciones químicas muy similares. También los pretratamientos del fleje tales como el desengrase y decapado son similares, así como los postratamientos como pasivados y fosfatados que también tienen las mismas características que las descritas para el resto de aplicaciones. De hecho, las únicas diferencias con el resto de procesos se basan en la maquinaria y en los equipos empleados para el tratamiento. Por ello, sólo se procederá a realizar una descripción general del proceso, ya que los detalles de los diferentes tratamientos están detallados en su apartado correspondiente. [10]

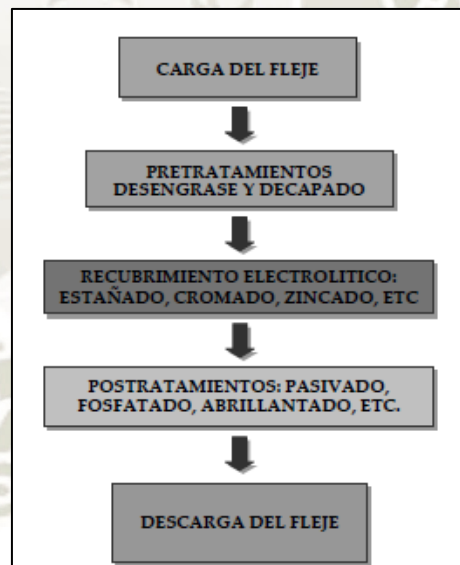


Figura 15: Proceso de fleje en continuo

FUENTE Gobierno de España, Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Publicación *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas 2009*

Los metales más utilizados en el recubrimiento electrolítico del fleje de acero son: estaño, cromo, zinc, cobre, plomo y sus aleaciones. Para el proceso, se emplean tanto ánodos solubles como insolubles. [10]

- Aplicación de aceite

En determinadas aplicaciones se lleva a cabo el recubrimiento de la superficie del fleje tratada con aceite para ofrecer una resistencia extra contra la corrosión a la superficie tratada, especialmente cuando el recubrimiento se ha hecho mediante zincado. Este aceite también sirve como lubricante para minimizar la abrasión durante los procesos de mecanizado posteriores. [10]

- Tratamientos de conversión de superficie

En determinados casos, es necesario un tratamiento con otro metal para ofrecer mayor resistencia a la corrosión; entre los procesos de conversión de superficies más utilizados encontramos el fosfatado y el pasivado crómico. [10]

- Secado

Finalmente, es habitual un proceso final de secado con aire caliente. [10]

2.2.2. Recubrimiento químico

Este tipo de tratamientos se basa en la presencia de metales auto catalíticos que permiten la realización de la reacción. Estos revestimientos de conversión se aplican sobre piezas metálicas para protección contra la corrosión. La reacción química hace que la superficie del metal mejore el rendimiento en uso y la adherencia de la pintura. Las ventajas de estos procesos son las siguientes:

- Siempre que se mantenga la agitación suficiente para asegurar el contacto con la totalidad de la superficie a tratar, la deposición es uniforme en toda la superficie por compleja que ésta sea. [10]
- La porosidad del acabado es menor que la conseguida con la deposición electrolítica del mismo metal. [10]

- El diseño de bastidores se simplifica. [10]
- Pueden recubrir superficies no conductoras (como plásticos). [10]
- El recubrimiento aporta propiedades químicas o físicas especiales puesto que es una aleación del metal y del compuesto formado con el agente reductor. [10]
- Los tratamientos químicos auto catalíticos normalmente generan más residuos que el resto de técnicas de recubrimiento, pero la eficiencia puede variar significativamente según las instalaciones. [10]

2.2.2.1. Niquelado

Se utiliza en la fabricación de soportes de almacenamiento de datos, componentes para la industria química y petroquímica etc.

Las características son las siguientes:

- Uniformidad en el grosor de la capa depositada independientemente del tamaño y forma de las piezas a recubrir. [10]
- Permite un elevado control del grosor de recubrimiento. [10]
- Dureza del acabado. [10]
- Gran resistencia frente al desgaste y la abrasión. [10]
- Elevada resistencia a la corrosión. [10]
- Buena adherencia. [10]
- Propiedades específicas como facilidad en soldadura, lubricidad y propiedades magnéticas. [10]
- También tenemos Níquel auto catalítico en plásticos, que se utiliza para generar una primera capa metálica conductora en material plástico, previo al tratamiento electrolítico. [10]

2.2.2.2. Cobreado o conversión de cromato

Conversión de cromato es un tipo de revestimiento de conversión utilizado para pasivar aleaciones de acero, aluminio, zinc, cadmio, cobre, plata, magnesio y estaño. Se utiliza principalmente como un inhibidor de corrosión, acabado decorativo, o para retener la conductividad eléctrica. [12]

El cobreado auto catalítico es el proceso clave en la fabricación de circuitos impresos, así como en la metalización de plástico. Las principales características del recubrimiento son la uniformidad de las capas y la ductilidad con bajo estrés interno. [10]

2.2.2.3. Pavonado

El pavonado consiste, en esencia, en la oxidación de la superficie controlando el proceso de tal modo que se forme óxido férrico que, dada su compacidad, protege el hierro. [10]

Este recubrimiento consiste en la aplicación de una capa superficial de óxido de hierro brillantado de un color que puede variar de azul hasta negro sobre una superficie metálica; es similar a una capa de pintura muy dura que forma parte del mismo metal. [13]

El pavonado es un acabado final para piezas de acero, es un proceso que se basa en la oxidación química controlada del acero, formando una capa generalmente de óxido de hierro (Fe_2O_3) o de óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4), adherida a la superficie de la pieza que actúa como una capa pasiva (capa inerte sobre la superficie de un metal). [13]

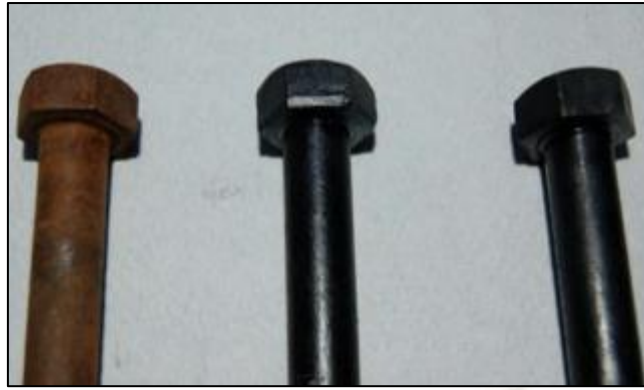


Figura 16: Pavonado, oxidación química de un perno
Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/pavonado-recubrimiento-para-superficies-met%C3%A1licas>

Se aplica principalmente sobre acero de bajo carbono, aunque también es posible recubrir piezas de latón, cobre y zinc. La principal ventaja de este proceso, es que no altera las dimensiones de las piezas ya que no es un depósito; siendo una excelente alternativa de protección cuando existen estrechas tolerancias dimensionales, además de proteger las piezas del óxido y de aumentar la durabilidad de las piezas. [13]

Este pavonado se implementa en piezas decorativas del hogar, como lámparas, marcos de cuadros, marcos de ventanas, esqueletos de camas. En el ámbito industrial, se usa en clavos, engranajes, tubos, partes de máquinas y herramientas, ejes de motores, anillos de pistón, válvulas, componentes ópticos y también en armas de fuego, sin embargo este es un método anticorrosivo temporal, debido a que por sí solo no protege la pieza de la corrosión, por lo tanto la implementación de un recubrimiento posterior es requerida. [13]

2.2.2.4. Fosfatado

La fosfatación es un pretratamiento que consiste en la formación de capas de fosfatos metálicos, amorfos o cristalinos, sobre las superficies de los metales, con el fin principal de conseguir dos objetivos:

- Buena protección anticorrosiva [10]

- Buena base de anclaje para los tratamientos posteriores (p. ej. pintura). [10]

Principalmente el proceso de fosfatación se utiliza para el pretratamiento del hierro, el zinc y el aluminio. El fosfatado de las piezas puede llevarse a cabo por aspersión o por inmersión (spray), dependiendo del número, tamaño y forma de las piezas a pretratar. [10]

Para conseguir una protección adicional contra la corrosión se utiliza habitualmente un pasivado químico basado en componentes de Cr(VI) y/o Cr(III), así como Zr(IV). El enjuague final de las piezas debe ser realizado con agua desmineralizada de calidad. [10]



Figura 17: Conversión de Fosfato

Fuente: <https://www.slideshare.net/greciaalvarez56/recubrimientos-obtenidosquimicamente>

A continuación, se describen los procesos de fosfatado más utilizados:

- **Fosfatado al hierro (amorfo)**

Consiste en la deposición sobre las superficies metálicas de un recubrimiento amorfo, cuyo constituyente principal es fosfato de hierro, el cual protegerá al metal de base contra la corrosión y permitirá un buen anclaje de los recubrimientos posteriores.

Las condiciones oxidantes necesarias para la formación de la capa fosfática son proporcionadas ya sea por acelerantes inorgánicos u orgánicos, así como por el propio oxígeno atmosférico. [10]

La fosfatación amorfa es el proceso adecuado cuando las consideraciones de coste son superiores a las de protección anticorrosiva (p. ej. muebles metálicos). [10]

- **Fosfatado al cinc (cristalino)**

Consiste en la deposición sobre las superficies metálicas de un recubrimiento cristalino, cuyo constituyente principal es fosfato de zinc, el cual protegerá al metal de base contra la corrosión y permitirá un buen anclaje de los recubrimientos posteriores. [10]

2.2.3. Recubrimiento Duros

Los revestimientos duros y la soldadura de mantenimiento prolongan la vida útil de la maquinaria, al obtener altos rendimientos durante más tiempo y reducir el número de fallas. La avanzada tecnología de los recubrimientos, provee a las industrias, uno de los medios más eficaces para combatir el desgaste prematuro, adelantándose a la falla o al momento en que el equipo deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta forma se optimiza la disponibilidad de la maquinaria, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil. Los recubrimientos duros que se aplican al mantenimiento industrial son para aumentar la disponibilidad inmediata de repuestos y disminuir costos de reparaciones. Con ello se logra un aumento en la disponibilidad de sistemas críticos y se reduce drásticamente la compra de repuestos. [14]

2.2.3.1. Recuperación por Soldadura

El recubrimiento y recuperación de piezas consiste en la aplicación de un material de aleación especial sobre una pieza metálica mediante diversos procesos de soldadura, con el fin de mejorar la resistencia al desgaste y/o recuperar las dimensiones apropiadas. La

propiedad que generalmente se quiere mejorar es la resistencia al desgaste producto de la abrasión, impacto, adhesión, calor, corrosión o una combinación de cualquiera de estos factores. Existe una amplia gama de aleaciones de recubrimiento apropiadas para casi cualquier pieza metálica. Algunas aleaciones son muy duras, otras son más suaves con partículas dispersas de alta resistencia a la abrasión. Algunas aleaciones están diseñadas para llevar una pieza hasta una dimensión determinada, mientras que otras están diseñadas para obtener una capa anti desgaste que proteja la superficie de trabajo. El aumento de dimensión mediante la aplicación de un material de relleno, se puede utilizar para volver una pieza a su dimensión original. La capa final de recubrimiento, se puede utilizar para otorgar a la pieza una resistencia adicional contra el desgaste. [15]

El aumento de dimensión o relleno y la capa final se pueden utilizar conjuntamente, esto es recomendable cuando concurre la necesidad de recuperación dimensional y de recubrimiento anti desgaste. [15]

La complejidad del fenómeno exige entender muy bien los mecanismos involucrados antes de seleccionar el material de recargue capaz de reconstituir una pieza desgastada. Sería fácil seleccionar una aleación de recargue si todos los componentes metálicos estuvieran sujetos solamente a un mecanismo de desgaste, pero, usualmente, se produce una combinación de dos o más factores. [15]

Esta situación hace que la selección de la aleación sea más complicada, por lo que se aconseja elegir el mismo recargue en una situación de compromiso entre cada uno de los diferentes mecanismos de desgaste. [15]

El análisis inicial debe centrarse en el proceso de desgaste principal y, luego, se deben considerar los secundarios. [15]



Figura 18: Pieza recuperada por Soldadura
Fuente: Industrias y Soluciones Metalmecánicas Colombia SAS

La selección de una aleación para recubrimiento duro en una superficie metálica, se basa en los ahorros y ventajas que se obtienen por la aplicación de la aleación. Tales ahorros y ventajas provienen del aumento de la producción, el uso de un menor inventario de piezas de repuesto y la reducción de tiempos muertos. Prácticamente, en todas las aplicaciones de recubrimientos duros en superficies, los materiales de recubrimiento representan el elemento menos importante en el costo total, ya que los salarios, la producción perdida durante los tiempos muertos y las tasas de sobre costo administrativo son mucho más importantes. [16]

La selección de la forma del cordón de soldadura está relacionada a las condiciones de servicio, ya que la forma del cordón de soldadura puede influir en el tiempo de servicio del recubrimiento y en el gasto de energía para realizar el mismo trabajo, ya que algunas formas del cordón permiten una mejor adherencia del material a mover que otras. Las formas de los cordones de soldadura más conocidos son el paso corto, cordón largo, puntos, diamante o rombo y espina de pescado. [17]

2.2.3.2. Revestimientos Poliméricos

La adhesión al sustrato es la propiedad más importante de un revestimiento polimérico, ya que, sin una buena adhesión, no pueden existir adecuadamente las otras propiedades como

resistencia al impacto, abrasión y corrosión entre otras. Además, el estado de la superficie, en el momento de aplicación tendrá influencia en el comportamiento del revestimiento en servicio. La fuerza de adhesión de una soldadura polimérica al sustrato depende de tres factores fundamentales como son el tipo de unión entre átomos, de las cadenas poliméricas y los átomos de sustrato metálico. El mojado del polímero al metal, que acerca los átomos de las cadenas poliméricas a los átomos del metal, para formar esa unión con la mayor densidad posible y la textura de la superficie del metal, que da el perfil de anclaje y que aumenta la superficie real y produce áreas de anclaje mediante cavernas cóncavas [18].

Los objetos deben cubrirse de tal manera que el metal base quede completamente aislado del medio agresivo. De ello se deduce principalmente que las piezas a recubrir deben estar acabadas de tal forma que no requiera ningún mecanizado posterior, ya que este deterioraría el recubrimiento. Se debe tener en cuenta las normas establecidas respecto a los espesores mínimos de los recubrimientos a las consideraciones económicas. Uno de los recubrimientos más importantes es por aislamiento eléctrico del material (pinturas, resinas, depósitos metálicos y no metálicos de espesor suficiente) [19].

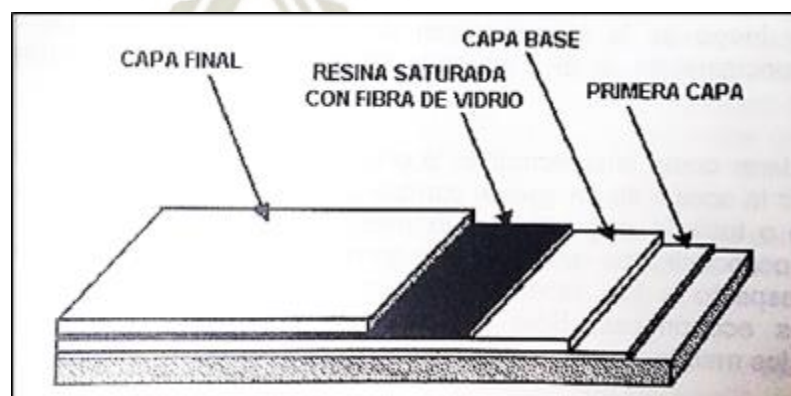


Figura 19: Recubrimiento reforzado con Fibras de Vidrio

Fuente: Jose Luddey Marulanda, *Fundamentos de la corrosión*. Colombia 2006.

- **Elección del recubrimiento**

Para lograr la mejor protección posible de un material con un recubrimiento, hay que estudiar detenidamente las condiciones de ataque a que ha de estar sometida la pieza protegida.

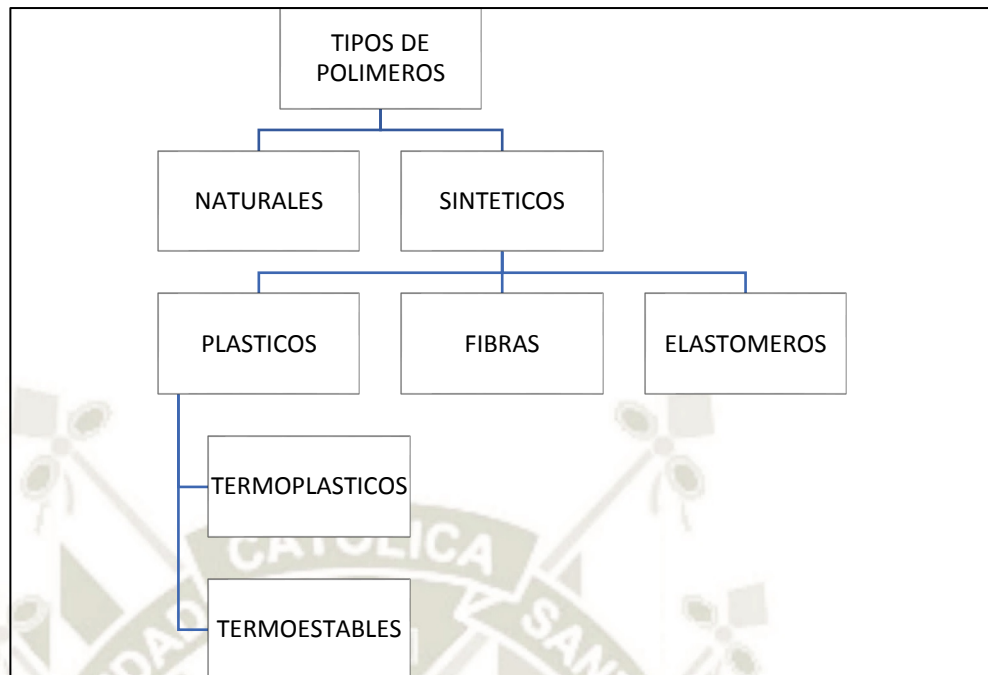
La elección de una buena protección debe ser en todo caso la que proporcione mayor seguridad, pero siempre se debe tener en cuenta que la protección es solo temporal.

El recubrimiento se gasta siempre más o menos por la acción del medio agresivo.

Todos los recubrimientos, cualquiera que sea su naturaleza, es normal que presente poros. Pero debe tenerse en cuenta, que es muy frecuente considerar inútiles los recubrimientos cuando la causa se debe a los defectos del metal base, tales como sopladuras, poros, grietas, etc. El medio corrosivo puede iniciar en ellos su ataque.

Para que el metal base sea capaz de protegerse es necesario que este sano, ya que frente a los defectos falla los mejores procedimientos, además se puede eliminar el efecto de la formación natural de poros [20].

- **Tipos de polímeros**



Mapa conceptual 1: Tipos de Polímeros

Fuente: <http://fresno.pntic.mec.es>

Naturales:

Provenientes directamente del reino vegetal o animal. Por ejemplo: Almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, etc. [21]

Sintético:

Son los que se obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular [21].

Plásticos:

Son polímeros que, bajo condiciones apropiadas de presión y temperatura, pueden ser modelados.

Termoplásticos:

Es un plástico que a bajas temperaturas son quebradizos, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular.

Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos [21].

Termoestables:

Son polímeros infusibles e insolubles. La razón de tal comportamiento estriba en que las cadenas de estos materiales forman una red tridimensional espacial, entrelazándose con fuertes enlaces covalentes.

Los plásticos termoestables poseen algunas propiedades ventajosas ejemplo, mayor resistencia al impacto, a los solventes y a las temperaturas extremas. Entre las desventajas se encuentran, generalmente, la dificultad de procesamiento, la necesidad del curado, el carácter quebradizo del material (frágil) y el no presentar reforzamiento al someterlo a tensión [21].

Fibras:

Una fibra polimérica es un polímero cuyas cadenas están extendidas en línea recta una al lado de la otra a lo largo de un mismo eje [21].

Elastómeros:

Ante una deformación, vuelven a la forma original cuando cesa la fuerza que la provoca. Tiene una estructura entrecruzada débil [21].

2.2.4. Otros tratamientos

2.2.4.1. Pasivado

Los pasivados se utilizan para aumentar la resistencia a la corrosión de la superficie recubierta con otro metal o tratamiento, siendo los más habituales los descritos a continuación. [10]

Pasivado crómico

Existen diferentes tipos de baños de pasivado crómico en función de su composición, temperatura y pH. Los más frecuentes son los amarillos y los azules, teniendo menor relevancia los verdes y negros. [10]

Es de especial interés para las piezas cincadas, puesto que aunque el material base esta óptimamente protegido, el recubrimiento de cinc se oxida progresivamente al ser un metal poco noble. La utilización de pasivados crómicos o de otro tipo tiene lugar para piezas latonadas o niqueladas en bombo, puesto que, en estas últimas, el revestimiento de bajo espesor suele ser poroso y poco resistente a la corrosión. [10]

La mayoría de los pasivados crómicos (amarillo, verde y negro) trabajan en base ácido crómico. El pasivado azul está formulado con cromo trivalente. Los tipos de pasivados son pasivado azul, pasivado verde, pasivado amarillo y pasivado negro. [10]

2.2.4.2. Sellado

El proceso de sellado con silicatos y otras sustancias orgánicas en base acuosa se está aplicando para mejorar las propiedades anticorrosivas del pasivado crómico. [10]

2.2.4.3. Lacado electrolítico

El lacado se aplica para proteger y realizar acabados decorativos.

Las operaciones de lacado electrolítico en base acuosa de piezas metalizadas tienen una presencia creciente en el mercado sobre todo como protección anticorrosiva de acabados decorativos de gran valor añadido (plata, latón, oro) o como sustituto de revestimientos electrolíticos de alto coste o de gran dificultad técnica (oro, bronce). [10]

Los baños de lacado exigen un alto grado de mantenimiento siendo necesaria al menos una ultrafiltración del baño para evitar la acumulación de ácidos orgánicos e impurezas metálicas. [10]

2.2.4.4. Metales preciosos

Dentro del sector de tratamiento de superficies debemos tener en cuenta el recubrimiento de piezas con metales preciosos. Las piezas a tratar normalmente son de:

- latón (aleación cobre (80%)-cinc (20%)). [10]
- peltre (aleación estaño 90-100%). [10]
- acero inoxidable. [10]

El esquema que sigue el proceso de recubrimiento con metales preciosos es el siguiente:

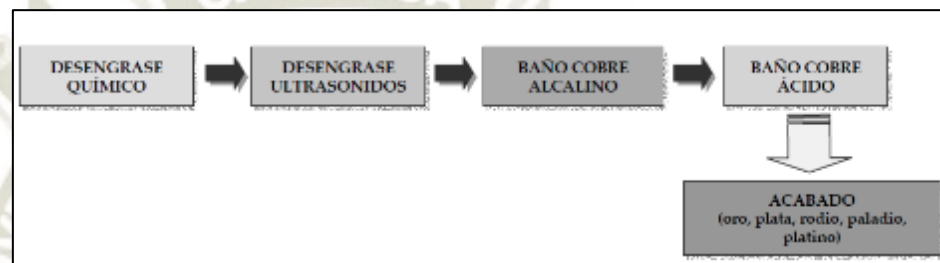


Figura 20: Esquema de proceso recubrimiento de metales preciosos
FUENTE Gobierno de España, Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Publicación *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas 2009*

Tras la limpieza de las piezas se procede a sumergirlas en un baño de cobre alcalino (cianurado o exento) el cual les proporciona una mayor adherencia, posteriormente se las sumerge en un baño de cobre ácido para conseguir brillo. Finalmente, se procede a facilitar el acabado deseado, que como ya se ha indicado puede ser de oro, plata, paladio, rodio o platino. [10]

- **Plata**

El recubrimiento con plata se utiliza mucho en cubertería (bandejas, etc.), así como joyería, decoración etc. El recubrimiento plata-paladio cada vez más utilizado en sustitución del oro. [10]

- **Oro**

El recubrimiento con oro se utiliza en la fabricación de conectores, circuitos impresos, joyería, etc. [10]

- **Paladio**

El recubrimiento con la aleación paladio-níquel (75-80 % Pd / 25-20 % Ni) aporta dureza, ductilidad y resistencia a la corrosión. [10]

- **Rodio**

La deposición de capas de rodio muy finas sobre plata confiere a la pieza un color blanco y se utiliza para prevenir las manchas típicas en la plata. [10]

Su dureza y propiedades de resistencia hacen que el rociado se utilice en diferentes aplicaciones técnicas tales como: conectores, reflectores, etc. [10]

- **Platino**

El recubrimiento con platino se utiliza para propósitos decorativos, en aparatos eléctricos, en equipos de química industrial, etc. [10]

2.2.4.5. Metalizado de plástico

La metalización de un plástico se logra depositando recubrimientos metálicos sobre material resinoso no conductor. Las ventajas de tal revestimiento sobre una pieza de plástico son:

- En ciertas aplicaciones, la convierte en el sustituto adecuado de una pieza metálica del mismo tamaño o diseño
- Produce artículos decorativos atractivos
- Ofrece un medio para explotar las propiedades tanto del plástico moldeado como del metal depositado

- La combinación de plástico y metal sirve para diversos fines funcionales (por ejemplo, protección electromagnética)
- Un recubrimiento metálico de espesor adecuado puede proteger al plástico de la absorción de aceites, solventes, humedad y mejorar la permeabilidad a los gases

El chapado electrolítico, la galvanoplastia electrolítica y la metalización al vacío son procesos comúnmente usados para depositar superficies metálicas en materiales plásticos. Sin embargo, los adhesivos o los métodos de estampado en caliente también pueden proporcionar superficies metálicas. Algunas piezas de plástico terminadas deben tener superficies metálicas brillantes. Además de proporcionar un acabado decorativo, los recubrimientos metálicos pueden proporcionar una superficie conductora eléctrica, una superficie resistente al desgaste y la corrosión, o una deflexión al calor adicional. [22]

El metalizado puede modificar drásticamente las propiedades físicas de las piezas moldeadas. Esto se debe en parte a la propia placa de metal y en parte al proceso de galvanoplastia. Para que una pieza sea galvanizada, la pieza debe estar lisa y sin manchas. No debe haber líneas de soldadura o marcas de rechupe en la pieza. El recubrimiento metálico ampliará cualquier irregularidad superficial. También debe haber muy poca tensión superficial, ya que esto afectará la adhesión del revestimiento sobre la pieza. [22]

Varios plásticos pueden ser chapados a escala comercial, algunos de ellos son:

- Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)
- ABS/Policarbonato (PC)
- Óxido de Polifenileno (PPO)
- Poliestireno (PS)
- Resinas Fenólicas
- Resinas Epóxicas

- Polímidas (PI)
- Nylon, poliamidas (PA)
- Poliéster (PET, PBT)
- Policarbonato (PC)
- Poliacetal (POM)
- Polipropileno (PP)
- Resina ionomérica (E-MAA ion)
- Polisulfonas
- Politetrafluoroetileno (PTFE)

Los polímeros más común y fácilmente pre-tratados y chapados incluyen al ABS y el PPO modificado, polipropileno modificado y la polisulfona. Algunos grados de plásticos espumados también pueden ser chapados. [22]

De todos los plásticos metalizables citados, el ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno) es el que acapara alrededor del 85% del recubrimiento de plástico y el ciclo recomendado para el proceso químico de metalización es el que sigue:

- **Mordentado:** proceso mediante el cual se consiguen pequeñas porosidades en la superficie del plástico que permiten el posterior recubrimiento metálico de la misma. Para ello se utilizan soluciones oxidantes fuertes, en ocasiones con grandes contenidos en ácido crómico y ácido sulfúrico. [10]
- **Neutralizado:** necesario para eliminar los restos de cromo hexavalente procedentes del mordentado. [10]
- **Catalizado:** proceso previo a la etapa de recubrimiento. En general, los catalizadores (activa-dores) son mezclas de ácidos fuertes con sales de estaño y paladio. [10]

- **Acelerado:** proceso que se utiliza para eliminar el exceso de estaño. En este caso, se utilizan soluciones diluidas ácidas o alcalinas.
- **Recubrimiento (sin corriente eléctrica):** deposición, preferentemente de níquel aunque también se utiliza cobre, necesaria para el posterior recubrimiento electrolítico. [10]
- **Recubrimiento (electrolítico):** la pieza se recubre con cobre ácido, o un baño previo de flash de níquel, seguido de níquel y, finalmente, de cromo. [10]

2.3. Recubrimiento por Rociado Térmico

Una vez conocidos algunos otros procesos de recubrimiento de metales convencionales en la Industria actual, de acuerdo a la necesidad y aplicación nos enfocamos en el proceso de Rociado Térmico, tema principal de nuestra tesis que busca desarrollarse como un proceso de investigación en la Universidad. Para lo cual debemos conocer a fondo su proceso de funcionamiento y los diferentes tipos de métodos que existen en la actualidad.

Los procesos de proyección térmica difieren de otros procesos para producir recubrimientos en que no son atomísticos, es decir, no depositan materiales sobre superficies en forma de iones individuales, átomos o moléculas. En vez de eso, las partículas del material a proyectar son depositadas en forma de gotitas, partículas sólidas o semi fundidas sobre la superficie a recubrir. Es definido por ANSI/AWS 3.0 como: Partículas metálicas o no metálicas finamente divididas que son depositadas en un estado fundido o semi fundido para formar un depósito de recubrimiento. Podemos ver en la figura 21 como las partículas son impactadas sobre una superficie previamente preparada. [1]

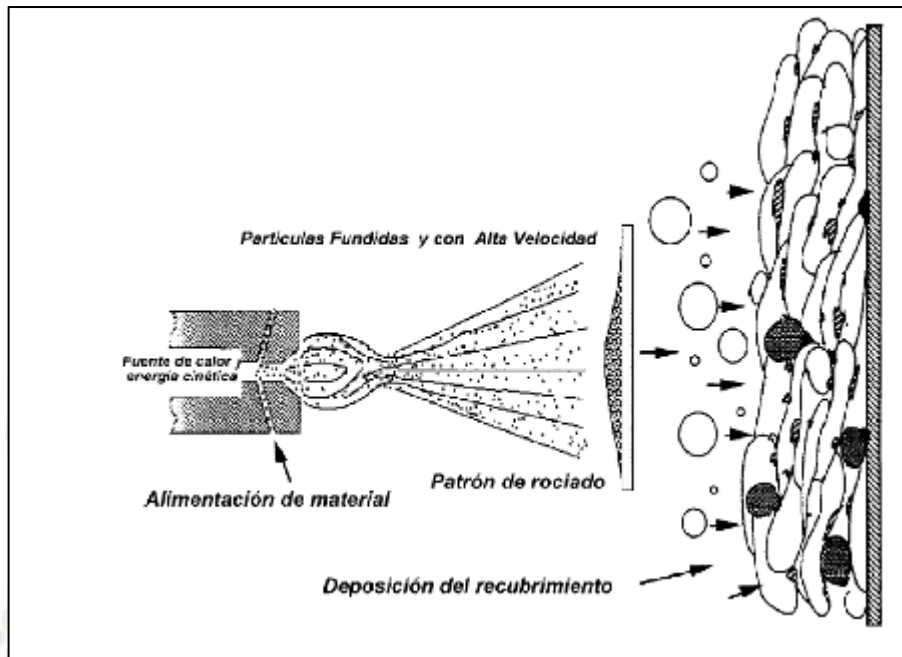


Figura 21: Deposición de partículas para el recubrimiento
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

Los materiales a proyectar se presentan usualmente en forma de polvos, barras o alambres. Dichos materiales alimentan al equipo para proyección térmica, posteriormente por medio de la energía generada por la combustión de gases, un arco eléctrico o plasma son calentados hasta el punto en el cual dichos materiales tienen un comportamiento como partículas fundidas. Habiendo alcanzado este estado, son entonces atomizados y rociados al sustrato.

El sustrato es la superficie donde los recubrimientos por proyección térmica elaboran recubrimientos sobrepuestos, donde se da una pequeña o nula disolución sólida, preservando así la composición del material base. Algunas formas de tratamientos superficiales son enteramente difusionales por naturaleza. En dichos tratamientos superficiales, los materiales que modifican la superficie del sustrato se añaden a éste mediante procesos de difusión, los cuales tienen lugar debajo de la superficie del sustrato, provocando un nulo aumento en el espesor de la pieza. Además, puede ocurrir que el sustrato y el recubrimiento generen aleaciones formando así fases y/o compuestos protectores de la superficie. [1]

La proyección térmica difiere de los otros procesos mencionados en que el recubrimiento sólo se forma en las porciones de superficie que han sido apuntadas con el dispositivo de proyección, lo cual permite la obtención de recubrimientos de espesores constantes (hasta cierta medida dependiendo del proceso) o múltiples dentro del mismo sustrato. Además, tiene la capacidad de depositar recubrimientos gruesos en poco tiempo. Adicionalmente, los procesos de proyección térmica son capaces de operar en un extenso rango de temperaturas, velocidades y condiciones atmosféricas, permitiéndoles ser aplicados en una gran variedad de materiales. [1]

A continuación, se muestra la Tabla 1 donde comparamos el proceso de recubrimiento por electrodeposición visto anteriormente, con respecto del proceso de proyección térmica.

Tabla 1: Comparación Proyección Térmica vs Electrodeposición

CARACTERÍSTICA DEL EQUIPO	RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO	PROYECCION TERMICA
Costo de equipo	Bajo	De bajo a moderado
Costo de operación	Bajo	De bajo a moderado
Entorno de proceso	Solución acuosa	De atmosférico a cámara de vacío
Geometría de recubrimiento	Omnidireccional	Limitado al área de impacto
Espesor de recubrimiento	De moderado a grueso: 10 μm -mm	Grueso: 50 μm -mm
Temperatura de sustrato	Bajo	De bajo a moderado
Adherencia	De adhesión mecánica moderada a muy buena adhesión química	Buena adherencia mecánica
Acabado superficial	De moderadamente áspero hasta brillante	De áspero a suave

Materiales para recubrimiento	Metales	Polvo / alambre, polímeros, metales / cerámicos
-------------------------------	---------	---

Fuente - Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY,

2.3.1. Historia del Rociado Térmico

Los primeros usos de los revestimientos metálicos fueron de carácter decorativo, utilizando oro en función de su brillo, color y resistencia, este podía ser procesado en hojas bien finas a través de la forja y estas hojas podían ser aplicadas a las superficies a través de un adhesivo. Como puede ser verificado por la lectura de la Sagrada Biblia, la mayoría de las partes del Templo de Salomón, fue revestida con Oro. Con la evolución del uso de los metales, diferentes métodos de revestir los propios metales con otro metal fueron descubiertos como, por ejemplo, el revestimiento por inmersión en un metal fundido [23].

Las Técnicas de Rociado Térmico se han empleado desde hace un poco más de un siglo, cuando, como se mencionó anteriormente, el ingeniero Suizo Max Ulrich Schoop, de Zurich, hacia las primeras experiencias para recubrir superficies metálicas sin el uso de adhesivo o inmersión. Basándose inicialmente en el 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 sufriendo 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 para recibirlo. [24]



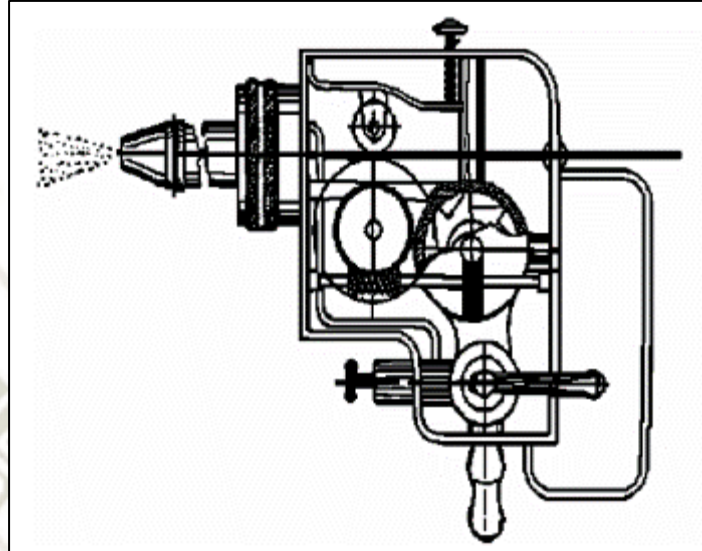
Figura 22: Max Ulrich Schoop y su pareja Frau Frieda Neining, 1957
Fuente: https://de.wikipedia.org/wiki/Max_Ulrich_Schoop

Como ciertos tipos de metales podían ser obtenidos en la forma de polvo, Schoop y sus colaboradores decidieron que sería posible rociar polvos para obtener revestimientos más adherentes. Los experimentos mostraron que eso solo sería posible si las partículas en polvo eran calentadas por un gas que las impulse al encuentro con la superficie a ser tratada [25].

Los procesos de rociado térmico por su aplicabilidad han tenido un notable desarrollo desde 1910. En el año 1912, el grupo de Schoop produjo el primer aparato para la aspersión de metal sólido en forma de alambre. El aparato fundía un alambre metálico con llama oxiacetilénica y con un chorro de aire comprimido era dirigido al lugar de fusión del material metálico, atomizando el metal fundido y proyectándolo sobre la superficie previamente preparada para recibir el revestimiento. Después de una serie de perfeccionamientos, este primer aparato del grupo del Dr. Shoop evolucionó a punto de permitir mayor uniformidad de la llama oxiacetilénica, alimentación continua del alambre metálico y mayor seguridad en la operación [23].

El primer uso práctico experimental del proceso fue hecho en Francia y Alemania durante la Primera Guerra mundial, pero el desarrollo comercial a una escala considerable ocurrió

solo en Inglaterra en los tempranos 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 puede ser visto en la figura 23. [25]



*Figura 23: Sección transversal de la primera pistola de aspersión por alambre
Fuente: MARULANDA, Jose Luddey. Rociado Térmico, Colombia*

La fase de mayor desarrollo del proceso se dio durante la Segunda Guerra Mundial, cuando la producción de materias primas fue reducida y el aprovechamiento de piezas y componentes era imperioso. El proceso permitía la recuperación de piezas, con deposición de materiales sobre los componentes sin calentarlos, característica fundamental del rociado térmico. [23]

En esta época fue desarrollado, por ejemplo, el uso de un motor eléctrico pequeño de corriente continua para la alimentación del alambre metálico. A partir de los años 60, se tiene una fase de desarrollo 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. [23]

Los procesos de rociado térmico 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 en

los 90`s con el cual, la adherencia de la capa rociada térmicamente es muy superior respecto a los métodos anteriores, además disminuye apreciablemente los costos de operación y no hay un apreciable calentamiento de las piezas entre sus principales ventajas. [23]

2.3.2. Fundamentos básicos

Los recubrimientos aplicados por la tecnología de rociado térmico son formados por la deposición de capas sucesivas de splats que provienen de la fusión del material de partida en forma de polvo o alambre (millones de partículas por cm^2/sec) que se aplanan y solidifican, resultando en una macro estructura conocida como lamela o splats la cual está anclada mecánicamente a las irregularidades de la superficie. La estructura típica de un recubrimiento por rociado térmico es la unión cohesiva de láminas del material rociado, en combinación con inclusiones de óxidos, micro grietas, partículas sólidas y porosidad [26]. Los rasgos esquemáticos de las características típicas de un recubrimiento por Proyección Térmica, representada en la figura 24, incluye la estructura laminar, poros, inclusiones de óxido, granos, y fases presentes de la microestructura.

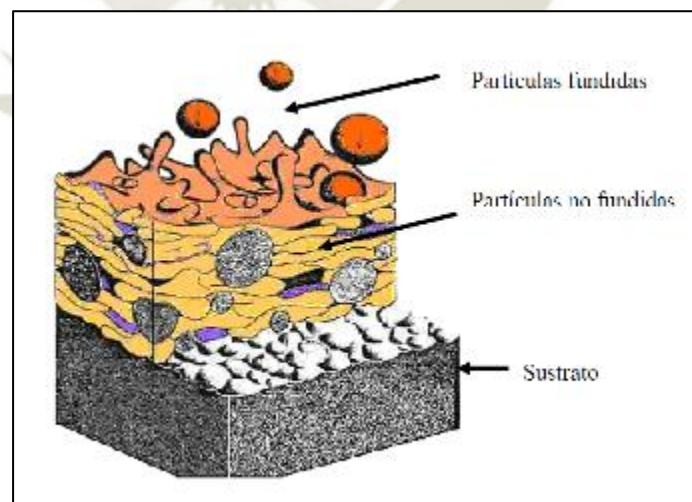


Figura 24: Estructura del recubrimiento por proyección térmica
Fuente: Estructura del recubrimiento. <http://www.gordonengland.co.uk/tsc.htm>

El “Splat” es un término que se refiere a una gota/partícula impactada, tal y como se ilustra en la figura 25. Varios splats superpuestos y contiguos se adhieren unos a otros para formar una capa contigua de recubrimiento. Los splats se forman cuando las partículas previamente fundidas y aceleradas del recubrimiento, se impactan sobre una superficie previamente preparada. Las partículas antes del impacto, tienen generalmente forma esférica, y en el momento del impacto éstas se extienden sobre el sustrato y llenan los intersticios propios de la rugosidad de la superficie. [1]

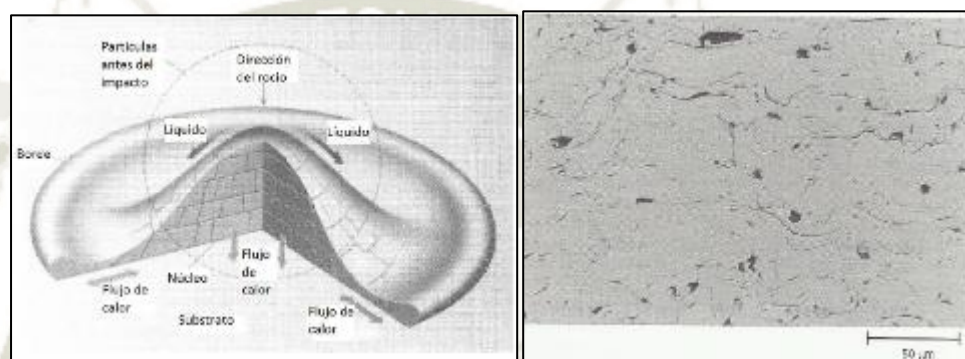


Figura 25: Estructura de un Splat
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY,

La estructura de un splat dentro de un recubrimiento es un indicativo del grado de derretimiento alcanzado por la partícula. En los recubrimientos por arco eléctrico, también son típicas e indican que las gotas atomizadas no han sido solidificadas antes del impacto. El grado de derretimiento en la estructura del recubrimiento influye generalmente en la determinación de la cohesión, la porosidad y las subsecuentes propiedades del recubrimiento. [27]

Los recubrimientos por proyección térmica también se caracterizan por una rápida solidificación del material fundido. El calor es liberado rápidamente debido a la gran diferencia en masas entre la partícula y el sustrato, y por supuesto, a la alta temperatura del recubrimiento fundido en relación con la temperatura del sustrato. Las tasas de enfriamiento (para metales) están en el rango de 10^5 a 10^8 [°C/s]. Estas rápidas tasas de enfriamiento

producen una amplia gama de estados del material, desde amorfo hasta metaestable. Al interior de los splats, la rápida solidificación crea tamaños de grano inferiores a $5[\mu\text{m}]$ y evita que muchos materiales alcancen sus fases de equilibrio, lo cual provoca propiedades anisotrópicas del recubrimiento. [27]

La sumatoria de estas láminas forma el recubrimiento. Las características del recubrimiento son afectadas por la temperatura y la viscosidad de las láminas, tensión superficial, así como otras variables tales como la velocidad de enfriamiento, criterios de solidificación, nucleación y crecimiento de cristales, formación de la fase, entre otras. Los aspectos de formación y solidificación de las láminas, son complejos y están correlacionados, además la forma de las láminas, es influenciada por el ángulo de aspersion y tiene un fuerte efecto en las características del recubrimiento, tales como porosidad, eficiencia y micro dureza. [27]

La porosidad es otro importante rasgo de los recubrimientos que influye fuertemente en las propiedades de éstos. Tal y como ocurre en las inclusiones de óxido, la porosidad puede ser una característica deseable. La postura más general es que la porosidad es indeseable. La porosidad genera una pobre adhesión del recubrimiento al sustrato permitiendo de este modo altas tasas de desgaste y óxidos. La porosidad se asocia generalmente con un alto número de partículas sin fundir o bien, resolidificadas que quedan embebidas en el recubrimiento, como se muestra en la figura 26. [1]

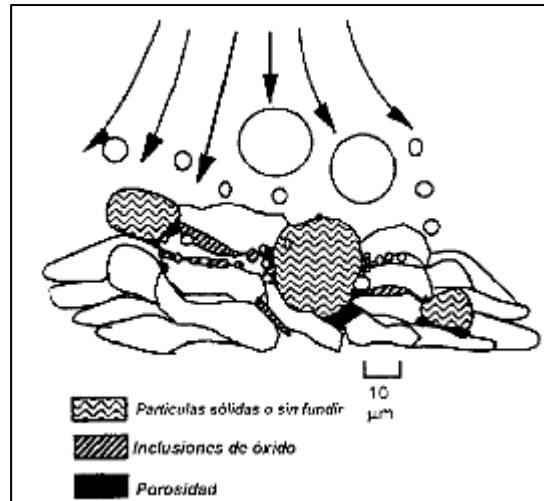


Figura 26: Defectos del recubrimiento por proyección térmica
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY,

La porosidad al descubierto, puede interconectar al ambiente con la superficie a recubrir, lo cual tiende a ocasionar corrosión u oxidación en ésta. La porosidad puede eliminar las características anticorrosivas propias de la composición del recubrimiento. [1]

La alta porosidad evita que esos acabados puedan ser alcanzados produciendo picaduras superficiales y acabados pobres, no uniformes por maquinado. Debido a que la porosidad es un rasgo microestructural importante, sus orígenes deben ser entendidos y controlados.

La porosidad puede originarse por:

- La contracción del material durante su enfriamiento a partir del estado líquido.
- La presencia de partículas embebidas sin fundir, parcialmente fundidas o resolidificadas que conducen a la formación de espacios vacíos.
- La creación de espacios vacíos debido a la “sombra” que producen las partículas embebidas sin fundir lo cual evita que las gotas permeen a través del espacio sombreado.
- Una pobre adhesión intrasplat, originando la separación de los splats.

- Un pobre esparcimiento de las partículas entre las superficies adyacentes o splats, lo que puede ser ocasionado por el enfriamiento, el movimiento lento de las partículas o debido a fenómenos de tensión superficial.
- Presencia de grietas intersplats o intrasplat.
- Altos ángulos de deposición, que generan zonas ensombrecidas.
- Rebotes de partículas en paredes ajenas a la pieza a recubrir que provocan el enfriamiento o resolidificación prematura de las partículas antes de que impacten sobre el sustrato.
- Sombras debidas a la presencia de superficies adyacentes.
- Porosidad inherente de los polvos debido a su proceso de manufactura.

Por lo que debemos entender que los procesos de proyección térmica sólo operan en el sitio hacia donde apuntan sus boquillas, lo que éstas no pueden “ver”, no lo recubren tal y como sucede con los pequeños orificios. Es así como el siguiente arribo de las partículas no puede llenar los espacios vacíos adyacentes a partículas sólidas atrapadas. En otros casos, aún en el mismo instante, algunas partículas semi fundidas se pueden deformar y densificarse completamente, proveyendo suficiente fluido para llenar cualquier espacio vacío formado alrededor de la pequeña cantidad del núcleo sólido existente. También es posible que partículas parcialmente fundidas actúen de manera similar a partículas sólidas, dejando espacios vacíos atrapados alrededor de sus porciones sólidas. [1]

2.3.3. Propiedades del Rociado Térmico

Las propiedades de los recubrimientos por proyección térmica se expresan usualmente en términos de adherencia con el sustrato, dureza, resistencia a la corrosión-oxidación, propiedades térmicas, propiedades eléctricas, tales como la conductividad, resistividad y resistencia dieléctrica, propiedades magneto-ópticas, como la absorbencia y la reflectividad, y Maquinabilidad. [1]

La importancia relativa de estas propiedades se basa en la función para la que el recubrimiento ha sido diseñado. La adhesión del recubrimiento con el sustrato, y la cohesión entre los splats se ve afectada por los esfuerzos residuales al interior del recubrimiento, el derretimiento y aleación localizada en el contacto entre las superficies de las partículas y entre el sustrato y las partículas colindantes, la difusión de especies elementales a través de los límites de cada splat, las fuerzas de atracción a nivel atómico y el entrelazamiento mecánico. La resistencia de adhesión con el sustrato medible es gobernada por los esfuerzos residuales en los recubrimientos. Típicamente, y aun cuando la falla del recubrimiento aparenta ocurrir en la intercara entre el sustrato y el recubrimiento, el material residual del recubrimiento se halla adherido al sustrato. Las fallas en la adhesión y la cohesión del recubrimiento se atribuyen usualmente a los esfuerzos al interior de la estructura. La mayoría de las fallas en el recubrimiento ocurren en la intercara recubrimiento-sustrato, debido a que es el lugar donde existen mayores discontinuidades en el sistema del material. [1]

En los lugares donde los materiales son compatibles y las superficies están apropiadamente preparadas, la adhesión entre la primera capa de splats y el sustrato es extraordinaria, debido a los fenómenos listados con anterioridad. [1]

La rugosidad superficial del sustrato es usada generalmente para incrementar el área de contacto de la superficie, lo cual aumenta la posibilidad de que las interacciones favorables mencionadas tengan lugar. [1]

El entrelazamiento mecánico, como se ilustra en la figura 27, ha sido visto históricamente como el principal mecanismo de adhesión de los recubrimientos por proyección térmica. El entrelazamiento mecánico juega una parte importante entre la adhesión y cohesión del recubrimiento cuando la superficie que está siendo recubierta permite al material fundido fluir al interior para llenar un relieve negativo, o los sitios en donde la parte contenga relieves negativos. [1]

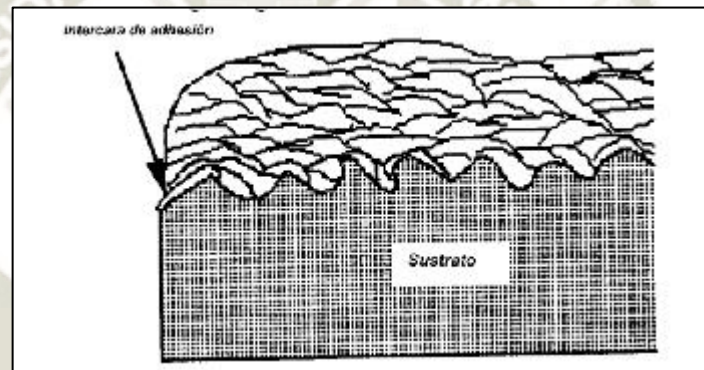


Figura 27: Entrelazado de las partículas
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY, pág. 5

En este caso, la adhesión con el sustrato y las partículas impactadas se estabiliza grandemente mediante el impacto de partículas que fluyen y solidifican alrededor de asperezas de la superficie del sustrato. Dichas asperezas con relieve negativo pueden formarse previamente a través del arenado u otras técnicas mecánicas de preparación de superficies, o bien, irregularidades superficiales inducidas por el proceso en la nueva superficie del recubrimiento. [1]

2.3.4. Aplicaciones según sus recubrimientos

La flexibilidad de los procesos de proyección térmica ofrece la posibilidad de aplicar casi cualquier material como recubrimiento sobre casi cualquier sustrato, lo cual genera una amplia gama de aplicaciones con sus respectivas propiedades, ya sea una sola o una combinación de estas propiedades.

Dichas propiedades y los materiales empleados frecuentemente para la elaboración de los diversos recubrimientos son:

2.3.4.1. Recubrimientos antidesgaste

Los recubrimientos por proyección térmica han sido usados para enfrentar varios mecanismos de desgaste incluyendo la abrasión, la erosión o la cavitación. En todos los sectores como el automovilístico, el aeronáutico, el petroquímico, el textil, el siderúrgico, el industrial, entre otros; presentan problemas de desgaste en sus equipos a los cuales buscamos soluciones efectivas y estos recubrimientos tienen alta resistencia al desgaste y pueden modificar el coeficiente de fricción. Recubrimientos como los CERMETS (partículas cerámicas duras + matriz metálica tenaz) WC-Co, CR3C2-NICr, TiC-Ni, los óxidos (Cr₂O₃, Al₂O₃), Aleaciones susceptibles de ser refundidas (NiCrBSi), metales y aleaciones (Mo, Acero, Bronce, Babbit) [28].

En la figura 28 se ve un problema de desgaste por erosión y abrasión de algunos componentes de una turbina debido a la existencia de partículas duras erosivas en el fluido, a la cual se le recomienda la utilización de un recubrimiento resistente al desgaste para aumentar la vida de los componentes. Por ejemplo, los cermets pueden ser usados para combinar la alta resistencia al desgaste con la baja conductividad térmica.



Figura 28: Recubrimiento sobre una turbina Pelton
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

Materiales antiadherentes y materiales con bajo coeficiente de fricción pueden ser combinados con recubrimientos de alta dureza. Materiales autolubricantes también pueden ser depositados. Las durezas de los recubrimientos pueden ser prediseñadas en el rango de 20 a 70 HRC. Los óxidos y los carburos son materiales antidesgaste comunes, teniendo a los óxidos de cromo y los cermetes de carburo de tungsteno-cobalto (WC/Co) como los 2 recubrimientos más comunes para este fin. [29]

2.3.4.2. Aislamiento térmico

Los recubrimientos para barreras térmicas están hechos usualmente de zirconia de baja conductividad térmica, los cuales se depositan para reducir la conducción de calor hacia el sustrato. La figura 29 muestra una barrera térmica de zirconia estabilizada con itrio rociada con equipo de plasma para proteger un álabe de turbina. [29]



Figura 29: Barrera térmica de zirconia estabilizada con itrio
Fuente: Alabe de Turbina. Fuente: www.siemens.com

Estos recubrimientos también pueden reducir el calor perdido, los efectos térmicos transitorios, y la corrosión/oxidación a alta temperatura mediante el mantenimiento del sustrato a una temperatura inferior. Los procesos por proyección térmica pueden introducir al sustrato niveles controlados de porosidad y micro-agrietamiento, lo cual tiende a realzar la capacidad aislante del recubrimiento e incrementar su resistencia al choque térmico. El material más comúnmente usado para este fin es la zirconia parcialmente estabilizada. [29]

2.3.4.3. Resistencia a la corrosión

Se utilizan en estructuras sometidas a la corrosión atmosférica, por niebla salina, o bajo ataque químico. Los recubrimientos de zinc, aluminio y sus aleaciones aplicados con los procesos de combustión por alambres y arco eléctrico ofrecen soluciones efectivas al problema de la corrosión. Capas con espesores entre 35 y 200 μm pueden expandir considerablemente la vida útil de equipos o estructuras. [30]

La protección anticorrosiva es usualmente obtenida también con materiales más nobles que el sustrato, cerámicos químicamente inertes o con polímeros, todos los cuales pueden ser proyectados térmicamente sobre partes expuestas en servicio a la corrosión atmosférica, ambiental, ácida o cáustica.

Se puede proteger por protección catódica, que se da con elementos menos nobles que el sustrato, con aleaciones de Zn, Al y ZnAlMg, tiene baja resistencia mecánica y elevada protección electroquímica. A su vez se puede crear una barrera con elementos más nobles que el sustrato, como el acero inox, cermets y aleaciones a base de Ni y Co. En la figura 30 se presenta como se puede recubrir válvulas con rociado térmico. [28]

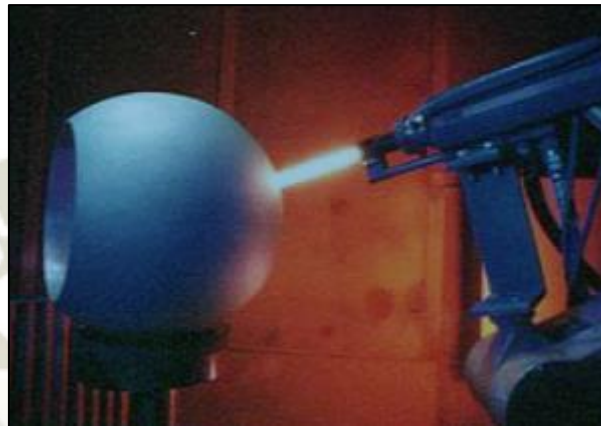


Figura 30: Recubrimiento sobre válvula con Proyección Térmica
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

2.3.4.4. Recubrimientos eléctricamente conductores y aislantes

La proyección térmica se usa frecuentemente para crear conductores o contactos, conexiones eléctricas, elementos de calentamiento, escudos contra interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia, entre otros usos eléctricos. La aplicación de metales de alta conductividad eléctrica disminuye los costos de fabricación, ya que permite la construcción de piezas con materiales de menor costo, quedando la conductividad localizada únicamente en las superficies de contacto. [30]

Los materiales conductores incluyen a la plata, el cobre, el aluminio, las aleaciones de estaño, los bronce aleados. Las conductividades típicas de esos materiales al ser proyectados térmicamente van del 40% al 90% de la propia de esos materiales al no ser rociados, dependiendo del método de proyección térmica empleado. El bronce al silicio, zinc

y babbitt se usan como escudos contra interferencias para proteger a los dispositivos electrónicos sensibles a las interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia. Entre los conductores comúnmente empleados para este fin figuran el titanato de aluminio, el titanato de bario, el molibdeno disilicílico y otros compuestos cerámicos. La proyección térmica se ha visto limitada a materiales que presentan resistencia eléctrica cero en el rango de bajas temperaturas a temperaturas intermedias de 77 K (-196.15°C). [29]

Los materiales aislantes más comunes usados en proyección térmica son los compuestos de alúmina, los cuales incluyen a la alúmina pura, la alúmina-óxido de titanio, o el silicato de aluminio. Estos recubrimientos pueden ser aplicados en dispositivos de comunicaciones e instrumentos quirúrgicos. [29]



Figura 31: Material cerámico que aísla eléctricamente el sustrato
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

2.3.4.5. Recubrimientos para la restauración dimensional

La proyección térmica tuvo sus inicios en aplicaciones para restaurar las superficies desgastadas de ejes y rodillos. Cuando una pieza ha salido de tolerancia por desgaste excesivo o ha tenido un error de medidas en el mecanizado, es posible recuperarla por medio de la aplicación de un recubrimiento con un material de propiedades similares al de la pieza, en muchos casos mejorándola. El hierro y el acero son los materiales típicamente empleados

para realizar dichas restauraciones. Mediante el uso de técnicas de proyección térmica por arco eléctrico se pueden obtener recubrimientos de varios milímetros de espesor. [29]

Con la metalización podemos recuperar piezas de grandes medidas como rodillos, asientos de balero, flechas, etc. Así como partes especiales y de distintas aleaciones, carcasas de aluminio cobre o bronce. Como se ve en la figura 32, se puede recuperar ejes desgastados o con daños severos que no afecten su estructura interna, dándole un acabado como nuevo. El metalizado en piezas de ingeniería es el método más rápido para la recuperación de piezas y para la prevención de desgaste de las mismas, los métodos convencionales de soldadura tienden a dañar o modificar el metal base por las altas temperaturas que se utilizan. En el Rociado térmico no presenta este problema ya que no calienta el sustrato a más de 150 °C. [29]



Figura 32: Gripaje de rodamiento de un rotor eléctrico antes y después de ser metalizado.
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

2.3.4.6. Recubrimientos para uso médico

Existen innumerables aplicaciones específicas donde se logran propiedades muy difíciles de obtener de otro modo. Tal es el caso de los recubrimientos médicos, que se dividen en dos grandes categorías: bioactivos y biocompatibles. Ambos tipos de recubrimientos se usan en prótesis para implante. Para generar recubrimientos biocompatibles se emplea típicamente titanio poroso con la finalidad de recubrir aleaciones de titanio; el nuevo tejido óseo crece dentro de la porosidad del recubrimiento asegurando así el implante. Los recubrimientos bioactivos están hechos generalmente de algunas formas de fosfato de calcio, incluyendo el fosfato tricálcico y la hidroxiapatita. Esos recubrimientos emulan las características del hueso natural para que el nuevo tejido óseo crezca sobre la superficie y con el tiempo reabsorba el recubrimiento. [29]



Figura 33: Prótesis de material bionierte.
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

2.3.4.7. Recubrimientos poliméricos

Muchos polímeros pueden ser proyectados térmicamente para ser usados como protección contra el ataque químico, la corrosión o la abrasión. A diferencia de los recubrimientos por proyección térmica inorgánicos, muchos recubrimientos por proyección poliméricos exhiben propiedades iguales o mejores que sus contrapartes por moldeo o por fundición. [29]

Los polímeros con una baja temperatura de transición vítrea (T_g) tales como el cloruro de polivinilo o PVC, el acetato de vinilileno y el nylon, son los que ofrecen mayor facilidad para ser empleados como recubrimientos por proyección térmica. [29]

2.3.5. Aplicaciones según industria

Los recubrimientos de metalización por proyección son aplicados en una infinidad de industrias. Sin embargo, existen sectores de fabricación y reparación que son altamente frecuentados por este tipo de recubrimientos. Aquí se repasan algunas de ellas:

2.3.5.1. Aeronáutica

Existen más de 200 aplicaciones sobre un avión. Los componentes más requeridos son componentes de turbinas a reacción, donde el objetivo de menor peso, mayor resistencia y mejor eficiencia, logrado por medio de los recubrimientos de barreras térmicas con polvos cerámicos aplicados por medio del proceso de Plasma Spray. En zonas de sello se logran reducir los huelgos entre los álabes y las carcasas por medio de materiales compuestos llamados abradalabes, aplicados con los sistemas de combustión por polvos. La mayoría de los fabricantes aeronáuticos tienen homologados en sus especificaciones y manuales de reparación a los sistemas y materiales de metalización desde hace ya varias décadas. Mas recientemente se han incorporado técnicas de HVOF para la sustitución de cromado duro en componentes de trenes de aterrizaje. [30]



Figura 34: Turbina aeronáutica
Fuente: Artículos de aeronáutica – interempresas.net

2.3.5.2. Turbinas estacionarias

Este sector comparte muchas de las aplicaciones desarrolladas para los motores de la industria aeronáutica. La aplicación de aceros por combustión o arco eléctrico para la restauración dimensional de rotores de cerámicas por Plasma Spray en las piezas de transición térmica, son aplicaciones normales en las paradas de mantenimiento de una central térmica. [30]

2.3.5.3. Máquinas agrícolas

La metalización por proyección ofrece alternativas económicas para el endurecimiento de superficies que sufren abrasión. Un caso típico es la aplicación de aceros duros sobre sinfines y codos de tuberías de transporte de granos por sistema de combustión por alambres y Arc Spray. Otra aplicación característica del sector es el recubrimiento en la zona de filo de las cuchillas de cosechadoras de maíz, soja, arroz, algodón, etc., como se ven en la figura 35. En este caso el recubrimiento se realiza con sistemas de combustión por polvos con el fusonado posterior del recubrimiento. Los ingenios de azúcar también tienen aplicaciones

de metalización debido al gran desgaste que producen las fibras de la caña sobre los implementos de corte, molienda y prensado. [30]



Figura 35: Cuchillas de cosechadora

Fuente: Bandeja Delantera de Cosechadoras en Torrevieja – milanuncios.com

2.3.5.4. Textil

El trabajo de hilo y los tejidos produce desgaste severo en todos los componentes involucrados. Existe una gran cantidad de aplicaciones de metalización por proyección sobre máquinas textiles, por ejemplo: recubrimiento sobre rodillos anillo por medio de Plasma Spray, componentes de transporte de hilos y tejidos también. [30]

2.3.5.5. Siderurgia

La metalización por proyección ofrece medios de recuperación de piezas desgastadas por el servicio, tales como rodillos de calandrado, zincado por inmersión, elementos de trefilas y trenes laminadores. Este tipo de reparaciones permite reducir el costo de mantenimiento, dado que posibilita salvar piezas de alto valor y agilizar los tiempos de parada de planta. Para la recuperación de rodillos laminadores, como los que se ven en la figura 36, existe una gama de materiales de muy alta resistencia al desgaste y dureza aplicables con sistemas de

arco eléctrico (Arc Spray). Por otra parte, en rodillos de zincado por inmersión, la aplicación de carburos de tungsteno en base a cobalto se realiza por medio del proceso de HVOF (Rociado Térmico a Alta Velocidad), el cual se explica más adelante. Capstans de trefilado y piezas con desgaste similares pueden ser recuperadas con efectividad utilizando un simple sistema de metalización por combustión con alambres de acero austeníticos que incrementan su resistencia al desgaste a medida que transcurre su vida útil. Otra aplicación común es el depósito de zinc y aluminio sobre tubos de costura, restituyendo la capa galvanizada en la zona de la unión soldada. [30]



*Figura 36: Recubrimiento de rodillos laminadores
Fuente: Sector Industria Siderurgia – tecnocaucho.com*

2.3.5.6. Minería y maquinarias viales

En máquinas excavadoras y camiones de transporte de minerales, la metalización por proyección ofrece soluciones anti desgaste muy variadas. Cilindros y vástagos hidráulicos son recuperados por medio de recubrimientos HVOF. Así se reemplazan las capas de cromado electrolítico, superando las exigencias ambientales actuales. [30]

2.3.5.7. Vidrio

El vidrio en estado plástico es un agente abrasivo severo. En plungers y moldes para la conformación de envases son habituales los recubrimientos con polvos en base Ni-Cr-Co refusionados aplicados por la técnica de combustión por polvos. [30]

2.3.5.8. Petroquímica

En conductos aislados térmicamente, la metalización ofrece una solución de bajo costo y efectiva al problema de la corrosión bajo aislación, conocido como CUI (Corrosion Under Insulation). Con la metalización con zinc y sus aleaciones, antes de aplicar la capa aislante se evita la corrosión del substrato oculto, evitando paradas imprevistas e incrementando la vida útil de los conductos en años. Este tipo de aportes se puede realizar con equipos manuales de combustión por alambres o arco eléctrico in situ, por lo que no es necesario el desarmado de la estructura para su recubrimiento. Otras aplicaciones típicas del sector incluyen intercambiadores de calor y compuertas de inspección. [30]

2.3.5.9. Automotriz

En componentes de cajas de velocidades, como horquillas selectoras, pernos y conos de sincronizado, el molibdenizado por metalización por combustión a alambres es una técnica probada con excelentes resultados desde hace décadas. Otras aplicaciones del metalizado en esta industria son: Aros de pistón (molibdeno por plasma), disco de frenos y embragues, escapes y múltiples, y válvulas de motores para competición. Desde hace algunos años, la aplicación de cerámicas en los interiores de los cilindros del block de motor por medio de equipos de plasma rotativo se ha convertido en una aplicación típica del sector. Existen

sistemas automatizados de alta productividad y eficiencia de depósito para el recubrimiento de componentes de cajas de velocidades y blocks de motor. [30]

2.3.5.10. Generación de energía hidroeléctrica

En hidroeléctricas con turbinas Francis o Pelton el metalizado es una técnica habitual para retrasar el desgaste por abrasión que se produce por la acción continua del agua. En cucharas de ruedas Pelton, la aplicación de carburos de tungsteno por medio de equipos de HVOF es una norma de la industria. Otra aplicación típica es sobre las agujas de inyección de agua. En deflectores y paletas de turbinas Francis, el recubrimiento se realiza con materiales de dureza intermedia pero resistente a la abrasión. Sobre compuertas de represas y estaciones de generación, es frecuente el uso de recubrimientos de zinc y aleaciones de zinc-aluminio para prolongar la vida útil de los paneles al máximo, protegiéndolos de la corrosión. [30]

2.3.5.11. Papel

Tanto en la producción de pulpa y papel, como en la industria gráfica, el metalizado se encuentra presente en la restauración dimensional de rodillos secadores y rodillos de transporte, también en la protección de tanques y digestores que sufren ataque químico ácido y alcalino. La aplicación de aceros inoxidable sobre rodillos secadores de gran diámetro (Yankee Dryers) y zonas de sellos, es tal vez la más frecuente de las aplicaciones. Rodillos para la fabricación corrugado son habitualmente recubiertos con materiales de carburo de tungsteno en base cobalto por medio de sistema de HVOF. [30]

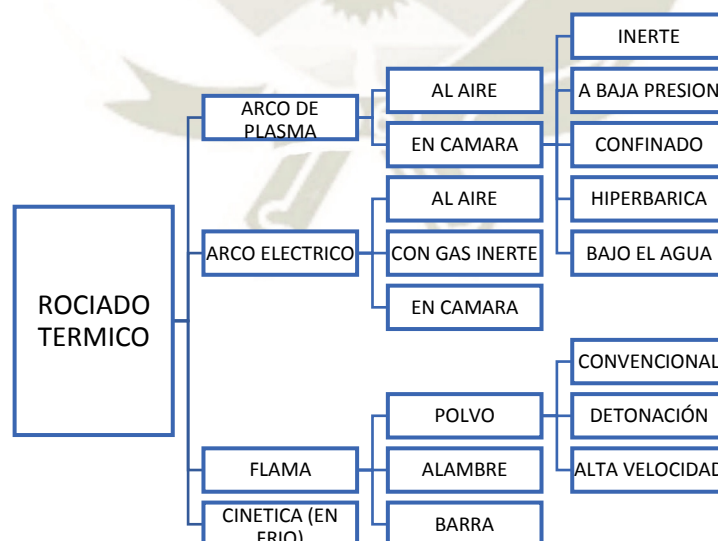
2.3.6. Clasificación de los procesos y tipos de Rociado térmico

Cada uno de esos procesos encierra a muchas más subcategorías, y cada una de éstas tiene sus propios rangos característicos de temperatura, entalpía y velocidad. Estos atributos permiten desarrollar, a cada proceso de proyección térmica, características únicas del recubrimiento obtenido: Adherencia, porosidad, inclusiones (óxidos comúnmente) y dureza.

[1]

La apropiada selección del proceso de rociado térmico está determinada por el material deseado en el recubrimiento, propiedades, tamaño y forma de la pieza, así como factores económicos. Las técnicas de rociado térmico utilizan sistemas de combustión por llama, Oxi-Combustible de Alta Velocidad (HVOF- High Velocity Oxygen Fuel), detonación. Sistemas de arco eléctrico y arco eléctrico con propulsión y sistemas de plasma con arco transferido (PSP- Plasma Arc Spraying) y no transferido (PTA- Plasma Transferred Arc) [29].

Podemos ver en el Mapa conceptual 2 una clasificación mejor distribuida de los procesos de rociado térmico.



Mapa conceptual 2: Procesos de Proyección Térmica
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

A pesar de las diferencias en sus orígenes entre los procesos por plasma, combustión o arco eléctrico, una vez generadas las partículas fundidas, éstas se impactan y deforman en la superficie de la pieza a recubrir de manera muy similar. Las diferencias físicas entre los diversos procesos de rociado térmico, (esto es, tamaño de las partículas, velocidades y temperaturas) y las temperaturas de los chorros generados en cada proceso distinto, provocan grandes variaciones en los recubrimientos obtenidos. [1]

La temperatura de una partícula dada en el proceso es función de su velocidad, trayectoria y de sus propias propiedades físicas y térmicas. Las temperaturas de los gases en la corriente rociada varían ampliamente de un proceso a otro. En los procesos de proyección por flama, la temperatura es determinada, en este orden, por las características del combustible, la relación aire (u oxígeno)-combustible y la presión en la cámara o zona de combustión. Las temperaturas que alcanzan los combustibles más comunes están en el rango de 2540 a 3150°C (4600 a 5700°F). Lo que no es frecuentemente tomado en cuenta es el gran calor generado por estos procesos. Una antorcha promedio que usa una mezcla de oxiacetileno para este proceso genera de 20 a 50 MJ (20,000 a 50,000 Btu). Los procesos HVOF (o de alta velocidad) generan entre 500 MJ y 1GJ (500,000 y 1,000,000 Btu). [1]

Los dispositivos de arco por plasma operan con energías de 72 a 720 MJ (20kW a 200kW), lo cual es el equivalente eléctrico de 68,280 a 682,800 Btu. La temperatura típica del arco de plasma es de 20,000 °C (36,000 °F), la cual es considerablemente superior a la del punto de fusión de cualquier sustancia conocida hasta la fecha. Las pistolas de arco eléctrico operan con energías de entre 1.3 y 36 MJ (0.38 y 10 kW). Las pistolas de arco eléctrico de alta tasa de rociado operan con energías superiores a los 132 MJ (37.5 kW). A continuación,

se muestra la Tabla 2 en la que se dan algunas de las características más importantes de los procesos de proyección térmica, y en la figura 37 podemos observar la posición de cada uno de los procesos de acuerdo a sus variables más importantes que serían la energía térmica y la energía cinética. [1]

Tabla 2: Características y comparativa de los procesos de rociado térmico

ATRIBUTO	PROYECCION POR FLAMA	HVOF	D-GUN	ARCO ELECTRICO	ARCO DE PLASMA DE AIRE	ARCO DE PLASMA AL VACIO
CHORRO						
Temperatura (°K)	3500	5500	5500	>25000	15000	12000
Velocidad (m/s)	10-100	500-1200	>1000	50-100	300-1000	200-600
Flujo de Gases (Lm)	100-200	400-1100	---	500-3000	100-200	150-250
Tipos de Gases	O2, C2H2	CH4, C3H6, H2, O2	O2, C2H2	AIRE, N2, Argon	Ar, He, H2, N2	Ar, He, H2
Potencia suministrada (Kw)	20	150-300	---	2-5	40-200	40-120
MATERIAL DE ALIMENTACION						
Temp. Máx. de la partícula (°C)	2500	3300	---	>3800	>3800	>3800
Velocidades de partícula (m/s)	50-100	200-1000	---	50-100	200-800	200-600
Tasa de alimentación de material (g/min)	30-50	15-50	---	150-2000	50-150	25-150
Velocidad de impacto de la partícula (m/s)	30 (polvo), 180 (alambre)	610-1060	910	240	240	240-610
RECUBRIMIENTO OBTENIDO						
Rango de densidad (%)	85-90	>95	>95	80-95	90-95	90-99
Resistencia de adhesión (Mpa)	7-18	68	82	10-40	<68	>68

Contenido de óxidos	Alto	Moderado	Bajo	Moderado a alto	Moderado	Nulo
---------------------	------	----------	------	-----------------	----------	------

Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

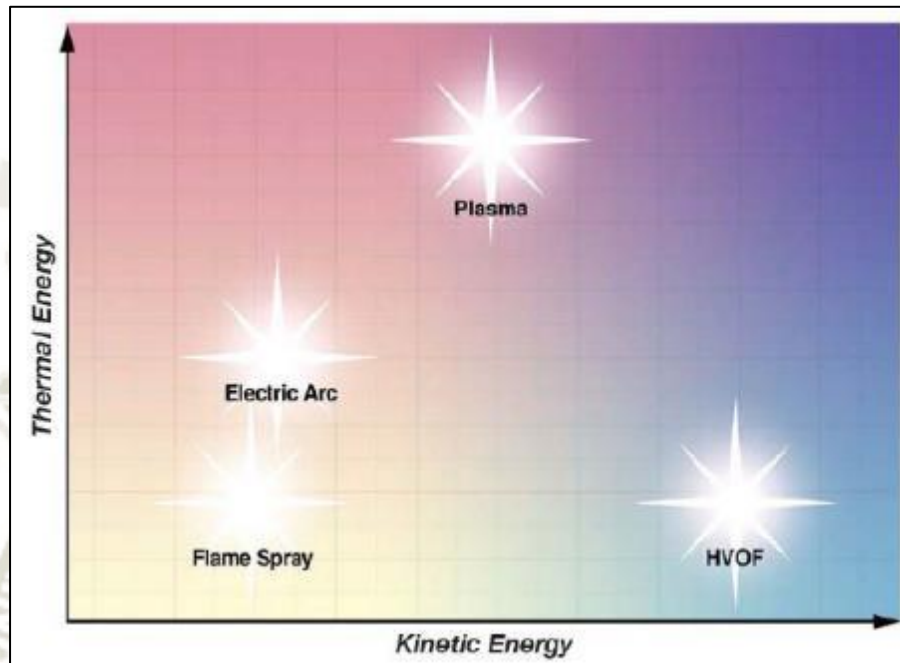


Figura 37: Procesos de Rociado térmico en gráfico Energía Térmica vs Cinética
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

A continuación, comentaremos cada uno de los procesos de rociado térmico a mayor detalle.

2.3.6.1. Rociado térmico por oxcombustión

La proyección térmica por oxcombustión o flama convencional fue el primer proceso de proyección térmica desarrollado, al rededor del año 1910, y aun es de uso común. Las antorchas modernas han cambiado poco a partir de los años 50`s. Los procesos por flama emplean energía química de los gases para generar calor. Las antorchas de oxiacetileno son las más comunes, usando acetileno en combinación de oxígeno para generar altas temperaturas de combustión, en comparación con las de oxígeno combinado con propano o

propileno. La figura 38 muestra el armado de los componentes del equipo de rociado térmico. [1]

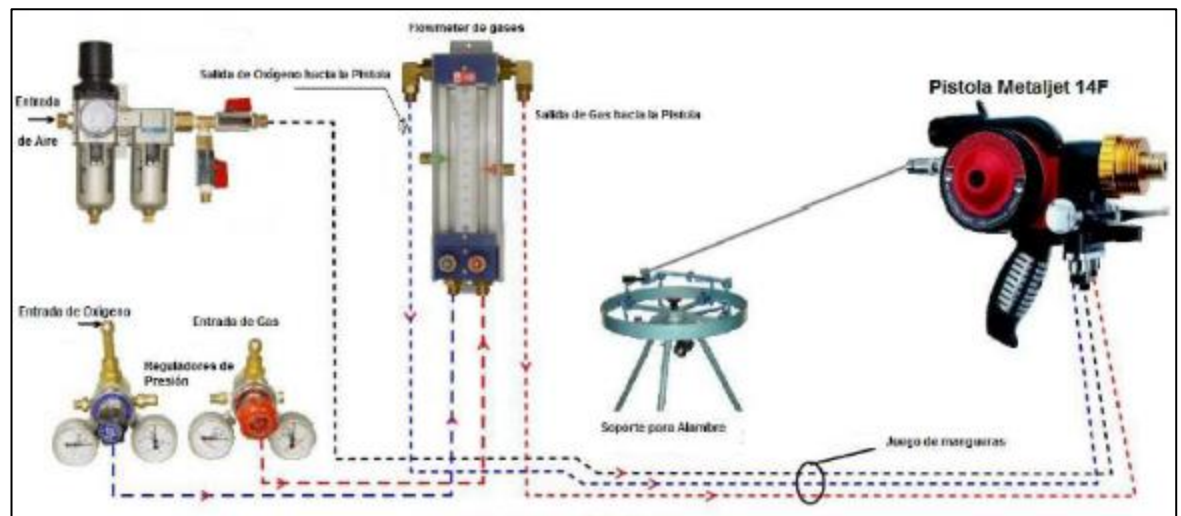


Figura 38: Sistema Rociado térmico MetalJet 14F

Fuente: www.metajet.com.ar

En las pistolas convencionales, un chorro de combustible y oxígeno hace combustión exteriormente al extremo frontal de la boquilla de la pistola. Las pistolas consisten en un arreglo de secciones de distribución de gases a través de la boquilla y orificios de mezclado de gases al final de dicha boquilla. En algunos diseños, un flujo de aire restringe a la flama, dicho flujo parte de un arreglo concéntrico de agujeros en la punta de la boquilla de la pistola, la restricción de la flama afecta a los gases en plena expansión, generando de esta forma una zona de combustión con temperaturas muy elevadas. Las boquillas también le dan forma al patrón de la flama. En los procesos que se alimentan por alambre o barra, se emplea un anillo coaxial a la barra por el cual fluye un chorro de aire, el cual atomiza posteriormente a las partículas fundidas del material de alimentación en la punta de la barra o del alambre. Dicha barra o alambre es alimentado mecánicamente al sistema [1].

En la figura 39 mostramos un sistema alimentado con polvos y su pistola. Mas abajo podemos observar en la figura 40 un sistema alimentado con barra o alambre.

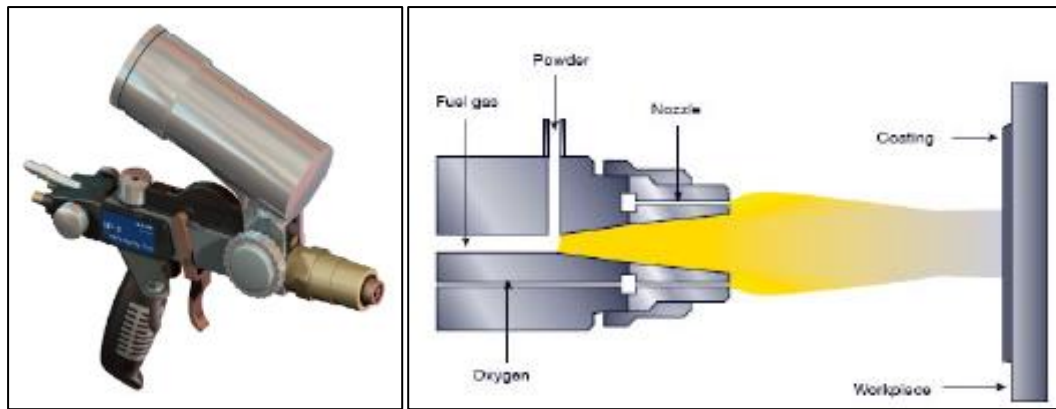


Figura 39: Pistola de combustión alimentado con polvo y su esquema de proyección
Fuente: ARSIDE, Rociado térmico y recargues.

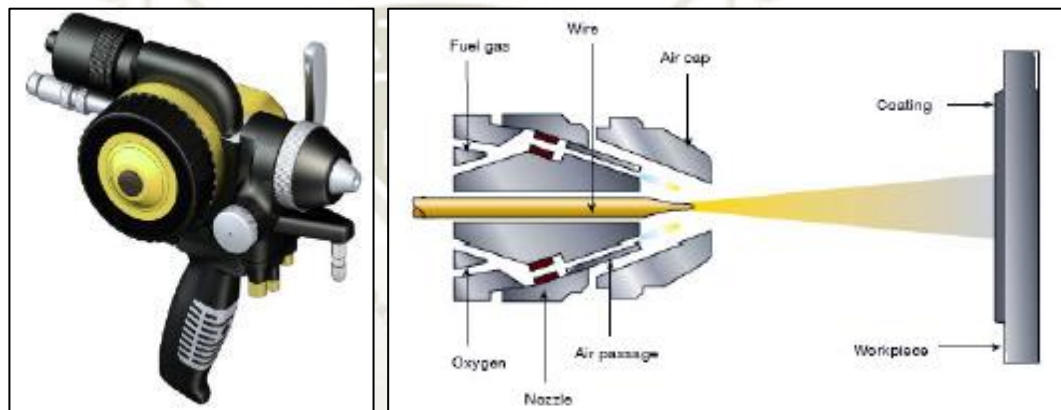


Figura 40: Pistola de combustión alimentado con barra o alambre y su esquema de proyección
Fuente: ARSIDE, Rociado térmico y recargues.

En los procesos por flama, la relación combustible – oxígeno y las tasas de flujo total de gas se ajustan para producir las condiciones térmicas de salida deseadas. Las velocidades del chorro de gas se encuentran típicamente debajo de los 100 m/s, generando velocidades de partícula antes del impacto por encima de los 80 m/s. La temperatura del chorro en flama abierta se encuentra generalmente por encima de los 2600 °C y se controla por la temperatura de combustión de la mezcla combustible – oxígeno (relación de combustión). La proyección térmica por flama es capaz de depositar una extensa gama de materiales, desde polímeros hasta cerámicos y metales refractarios. [1]

Los polvos alimentan a las pistolas mediante una de las dos formas: por gases de arrastre o por gravedad. Los dispositivos de alimentación por gravedad consisten en depósitos de polvos ubicados usualmente encima de la pistola. La taza de alimentación se fija mediante una válvula con la cual se introduce el polvo a la pistola, en donde es aspirado por los gases fluyendo a través de la pistola. Los equipos que utilizan gases de arrastre utilizan alimentadores de polvos externos a estos. Dichos alimentadores utilizan una corriente de gas de arrastre (usualmente aire o nitrógeno) para transportar los polvos hacia la pistola a través de una manguera. Los dispositivos alimentados con alambre utilizan turbinas de aire montadas dentro de la pistola las cuales impulsan a los rodillos alimentadores para mover dichos alambres o barras en el interior de la pistola. [1]

Los procesos de rociado térmico por flama generan normalmente densidades en los recubrimientos del orden del 85% al 98%, dependiendo del material y la técnica en particular. Esas bajas densidades son resultado de las bajas velocidades y temperaturas en el chorro obtenidas mediante estos procesos. La figura 41 muestra algunas microestructuras típicas de recubrimientos de metal NiCrBSiC rociado y fundido (izquierda), de cerámicos (centro) y polímeros (derecha), obtenidos con procesos por flama. Nótese la estructura con splats gruesos y la alta porosidad obtenida con estos procesos con relación a otros procesos de proyección térmica. [1]

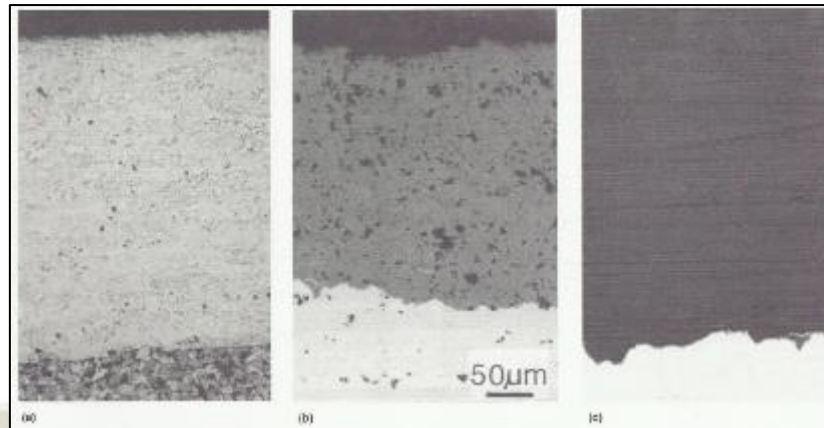


Figura 41: Estructura típica del proceso de Rociado térmico.
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

2.3.6.2. Rociado térmico por detonación o deposición (D-GUN).

La D-Gun (Desarrollada por Union Carbide, hoy Praxair Surface Technologies) genera un chorro con alta energía térmica y cinética mediante la confinación de la detonación de la combustión en una cámara en la cual los polvos son introducidos.

En el rociado térmico por detonación mostrada en la figura 42, una mezcla explosiva de combustible, oxígeno y polvos es introducida en un tubo largo (cañón), haciendo ignición por la chispa de una bujía. La onda de presión resultante de dicha detonación calienta y acelera las partículas de polvo contenidas en la mezcla, las cuales viajan a través del cañón enfriado por agua de la pistola para finalmente hacer impacto sobre un sustrato y las detonaciones se hacen varias veces por segundo. Se emplea nitrógeno para purgar el cañón entre detonaciones sucesivas.

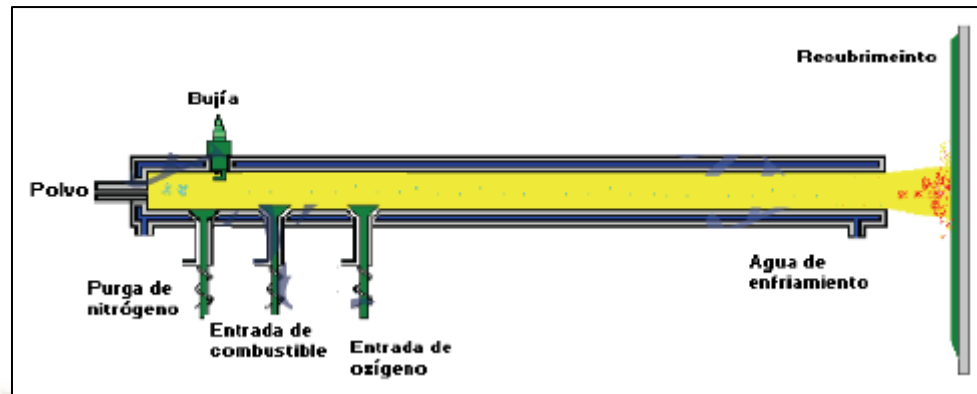


Figura 42: Pistola de Rociado térmico por detonación

Fuente: Diagrama de pistola por detonación. Fuente: <http://www.asiantss.com>

Este proceso es diferente del rociado por llama, en él se usa un proceso de combustión continuo con una serie de explosiones intermitentes que funden y proyectan las partículas hacia la superficie. El material es depositado a muy altas velocidades para producir recubrimientos muy densos y con altas durezas. Los procesos de rociado térmico por detonación trabajan a temperaturas y tiempos de permanencia de las partículas mayores que los procesos de proyección térmica por flama convencionales. La frecuencia y los niveles de ruido (145+ dBA) asociados con los procesos por detonación obligan a que se realicen en lugares con aislamiento acústico. Con este proceso se generan altas velocidades en las partículas, generalmente mayores a 800 m/s. Dichas velocidades aumentan la deformación de las partículas incrementando de esta forma de adhesión entre el sustrato y el recubrimiento, eliminando de este modo una gran parte de la porosidad encontrada típicamente en los procesos convencionales de proyección térmica por flama. [31]

La figura 43 muestra la microestructura típica de un recubrimiento de WC/Co (cermet y óxido) producidos por una D-Gun.

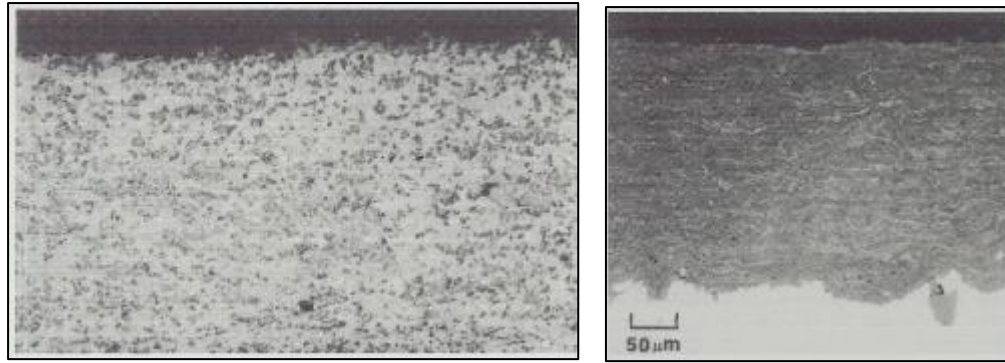


Figura 43: Microestructura típica de un recubrimiento de WC/Co (cermet y óxido) (Izquierda) y Al₂O₃ / TiO₂ (derecha) producidos por una D-Gun
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

Nótese que los splats obtenidos son más finos y alargados que los producidos por los procesos convencionales de proyección térmica por flama. Se nota también una presencia menor de óxidos. Lo anterior se debe a que las finas partículas han sido protegidas por el ambiente creado por los gases en combustión a lo largo del cañón y a un tiempo de permanencia pequeño. Este ambiente previene a las partículas de la oxidación típica en los procesos convencionales de proyección térmica por flama debida a la atmósfera abierta durante el calentamiento y la aceleración de las partículas. [1]

Los recubrimientos obtenidos por rociado térmico por detonación son los más densos y duros de todos los recubrimientos obtenidos por proyección térmica. Por esta razón, muchos recubrimientos antidesgaste utilizados en motores de aviones comerciales se especifican para un proceso con la D-Gun. [1]

2.3.6.3. Rociado térmico por oxidación a alta velocidad (High-Velocity Oxifuel “HVOF”).

El proceso HVOF, ver figura 44, se volvió comercialmente significativo en el inicio de los 1980s cuando el sistema JetKote fue introducido por James Browning. El HVOF es similar

en algunos aspectos a la proyección por detonación. Al igual que en la proyección por detonación, el HVOF tiene una combustión interna confinada, sin embargo, opera en un estado continuo, no intermitente a diferencia de la D-Gun.

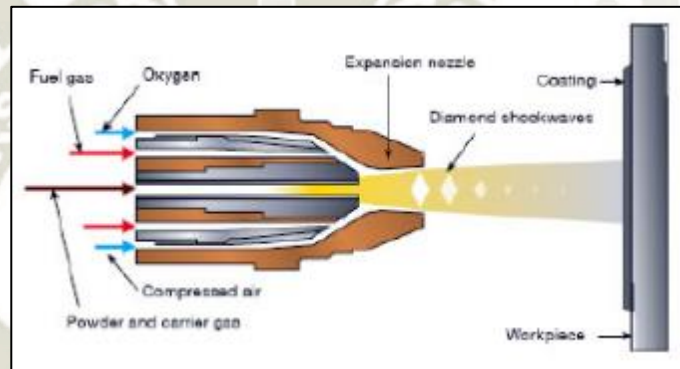


Figura 44: Pistola de Rociado térmico por combustión de alta velocidad y su esquema de proyección.
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

En principio, un alto volumen de gases combustibles es alimentado al interior de la cámara de combustión, en la cual se extienden de 8 a 30 cm. (3 a 12 pulgadas) a lo largo del cañón del dispositivo a través del cual los gases en combustión abandonan el dispositivo. La alta compresión y temperatura de combustión de los gases crean un flujo de alta velocidad del orden de 1525 a 1825 m/s a la salida del cañón. Entre los combustibles empleados están el hidrógeno, el propileno, el propano, el acetileno y el keroseno. [1]

Es importante señalar que existen dos clases de dispositivos para rociado térmico por combustión de alta velocidad, diferenciados de acuerdo a la presión en su cámara de combustión. La primera clase, que se ajusta mejor al término “de alta velocidad”, se

caracteriza por presiones en su cámara que exceden los 241 kPa (35 psi) y con entradas de energía nominales de 527 MJ (500,000 Btu). La segunda clase, que podría identificarse mejor con el término de “hipervelocidad”, operan nominalmente a presiones de 620 a 827 kPa (90 a 120 psi) con aproximadamente 1 GJ (1 millón de Btu) de energía de entrada, en los que el combustible típico es el keroseno. Las pistolas que emplean keroseno como combustible utilizan aire u oxígeno para mantener la combustión. [1]

Las pistolas HVOF tienen cámaras enfriadas por aire o agua en donde la mezcla combustible-oxígeno hace combustión bajo presión y el chorro o flama acelerada resultante se encauza mediante un cañón o tubo largo. Los polvos alimentan a la boquilla al final del cañón mediante un chorro de gas de arrastre para inyectarse en el chorro de alta velocidad creado por los gases en combustión. Los componentes básicos de un diseño de combustión interna en un proceso HVOF son, el enfriador por agua, inyección de polvos y una boquilla (tobera) para producir una expansión supersónica de los gases en combustión. En este diseño, la eficiencia y la transferencia de calor a la partícula aumentan de la mano con el tiempo de permanencia. [1]

La alta velocidad de la partícula generada por el HVOF es mucho mayor que la obtenida por métodos convencionales de proyección térmica por flama, lo cual repercute en un incremento en la densidad y adhesión del recubrimiento formado. La temperatura promedio en la partícula es menor en HVOF comparada con la obtenida por proyección térmica por plasma, lo cual reduce el derretimiento y la oxidación por alta temperatura. A pesar de lo anterior, las altas densidades en los recubrimientos se deben a las altas velocidades desarrolladas por las partículas, las cuales se deforman, aunque no se encuentren bien derretidas. Durante el impacto se genera cierto calentamiento debido a la conversión de la

energía cinética en energía térmica, lo cual también contribuye a la generación de recubrimientos densos. [1]

Los procesos HVOF se usan en general para obtener recubrimientos densos y duros de Cermets tales como el WC/Co o el Cr₂C₃/NiCr. Sin embargo, se han encontrado muchos usos para los recubrimientos metálicos proyectados por HVOF. Los recubrimientos de (M)CrAlY están siendo aplicados hoy en día en álabes para turbinas de aviación mediante el proceso HVOF con keroseno como combustible. [1]

Además de la pistola misma, el equipo para HVOF es similar a aquél usado en los procesos convencionales de proyección térmica por flama. Sin embargo, debido a que los equipos HVOF trabajan mediante combustión interna, un sistema de enfriamiento por agua debe ser añadido a la lista de equipos empleados. Los componentes de un sistema HVOF incluyen circuitos de tubería para el gas de arrastre de los polvos, para el combustible y para el oxígeno, mangueras resistentes a la alta presión de los gases, reguladores para altos flujos de oxígeno y combustible; controles para los altos flujos de gases; reguladores y válvulas anti-retorno. [1]

Una pistola para HVOF consistente en el cuerpo, la cámara de combustión, el inyector de polvos, el cañón y la boquilla (tobera para flujo supersónico). Además de, como se mencionó anteriormente, circuitos para enfriamiento con agua o aire, Alimentador de polvos de alta presión, consola de purgado y dispositivo de seguridad.

Las pistolas que emplean keroseno como combustible requieren controles adicionales tales como bombas para combustible líquido y, en algunos diseños, bombas para el manejo de altos volúmenes de aire con la finalidad de mantener la combustión y/o alimentar al sistema de enfriamiento.

Existen varias diferencias importantes entre los procesos HVOF y los procesos convencionales por flama. La necesidad de circuitos de enfriamiento es la más obvia. La alta entalpía de las pistolas HVOF produce altos esfuerzos térmicos y oxidación en los componentes de la pistola, particularmente en la cámara de combustión y en la boquilla. Un apropiado diseño y selección en los materiales de dichos componentes es necesario para prevenir que el agua de enfriamiento hierva en el interior de la pistola. Los materiales de la cámara de combustión necesitan ser resistentes a la oxidación, particularmente en los dispositivos alimentados por keroseno. Las boquillas están hechas normalmente de cobre o aleaciones de cobre de alta conductividad térmica libre de oxígeno (OFHC: Oxygen-Free High Conductivity). [1]

Los niveles de ruido para los sistemas HVOF de baja presión son 125 dBA (típicos en los procesos de plasma de alta energía), mientras que para los sistemas HVOF de alta presión es de 133 dBA (siendo la pistola alimentada con keroseno la más notable). [1]

La adherencia del recubrimiento por HVOF usualmente excede la norma ASTM C 633 (Método para la prueba estándar para adhesión o cohesión), la cual está limitada por el adhesivo a más o menos 83 MPa. (Alrededor de 12ksi). La eficiencia de deposición (ED) de las pistolas en HVOF que usan keroseno como combustible es mucho más baja que las convencionales. La ED para pistolas convencionales está en el rango de 50 a 70% y de 35 a 50% para las que utilizan keroseno. Al parecer, la porción más gruesa de la distribución del tamaño de la partícula en el material de alimentación no forma parte del recubrimiento. Además, a partir de las microestructuras y las ED obtenidas, es posible que estas partículas grandes “granallen” (que no se adhieran y solo reboten) al recubrimiento en formación, lo cual ayuda a generar esfuerzos residuales de compresión en el recubrimiento final. [1]

La figura 45 a), b) y c) muestran algunos ejemplos de las microestructuras típicas en los recubrimientos obtenidos mediante HVOF. De las cuales, la a): níquel, b): alúmina y c): WC/Co, se caracterizan por la dispersión de finas partículas de óxidos y la formación de splats densos y finos. La figura c) muestra una alta retención de carburos.

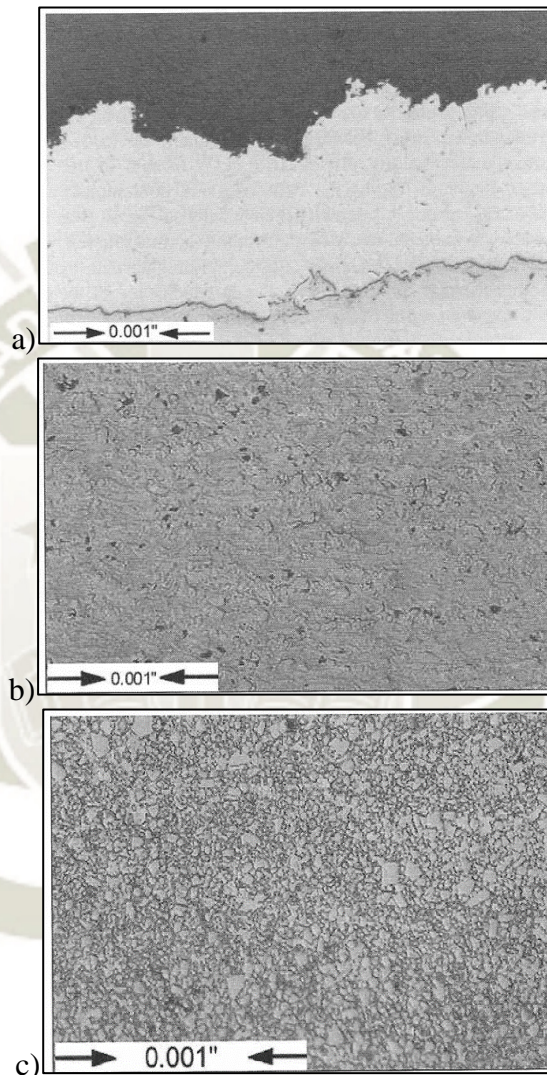


Figura 45: Ejemplos de las microestructuras típicas en los recubrimientos obtenidos mediante HVOF:
(a) Níquel. (b) Alúmina. (c) WC/Co.

Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

2.3.6.4. Rociado térmico por arco eléctrico

A diferencia de otros procesos de proyección térmica, los cuales indirectamente calientan las partículas usando chorros de gas caliente, los procesos de proyección por arco eléctrico,

como se ve en la figura 46, usan un arco eléctrico de corriente directa, cerrando entre dos electrodos de alambre consumible para efectuar la fusión directa. Un arco eléctrico es formado en el espacio entre la punta de los alambres y como los dos alambres son continuos alimentan simultáneamente. [1]



*Figura 46: Pistola y equipo de Rociado térmico por arco eléctrico
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.*

Dado que los alambres son fundidos directamente por el arco, la eficiencia térmica de este proceso es considerablemente más alta que ningún otro proceso de proyección térmica. Un chorro de aire de alta velocidad localizado atrás de la intersección de los alambres lanza el metal fundido que se forma continuamente conforme los alambres son alimentados en el arco y es fundido. El arco formado en la punta de la pistola es mostrado en la figura 47. [1]

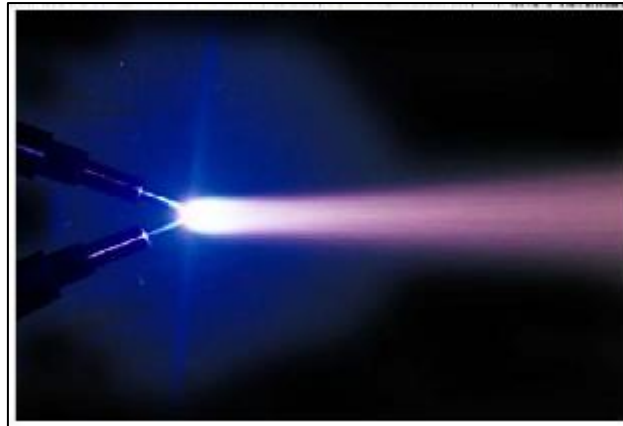


Figura 47: Arco formado en la punta de la pistola entre los dos electrodos de alambre

Fuente: Rociado térmico por arco eléctrico. - Primaloy.com/praxair_hp

Los rangos de flujo de aire de alta velocidad están alrededor de 0.8 a 1.8 m³/min. Conforme se forma el material fundido de los alambres, se atomiza el material en finas partículas, creando una fina distribución de gotas de metal fundido. El aire atomizado es usado para acelerar las partículas hacia la superficie del sustrato, donde impactan las partículas fundidas, se deforman y solidifican para formar el recubrimiento. [1]

A diferencia del rociado térmico por plasma o por flama, las gotas son fundidas cuando el material es tomado e introducido en el chorro, y a diferencia de otros procesos las partículas empiezan a enfriarse inmediatamente después de dejar la zona del arco. A fin de minimizar la oxidación en los procesos de proyección por arco eléctrico, el tiempo de estancia necesita ser reducido mediante el uso de distancias cortas y altos flujos de aire atomizado. La figura 48 muestra el diagrama del equipo de rociado por arco eléctrico.

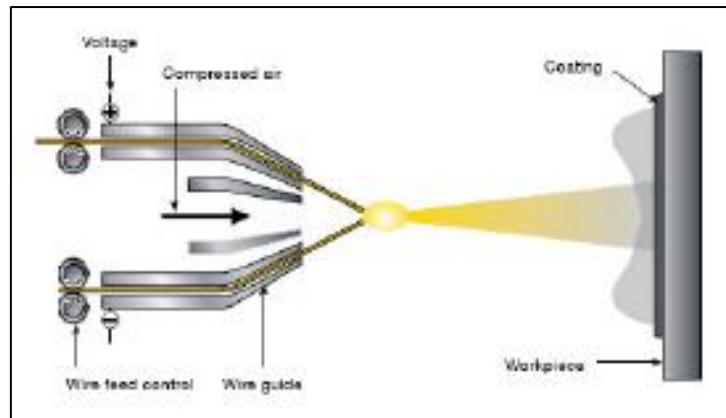


Figura 48: Diagrama de Rociado por arco eléctrico
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

El rociado térmico por arco eléctrico transfiere menos calor al sustrato por unidad de material proyectado que cualquier otro proceso de proyección térmica convencional debido a la ausencia de una flama o chorro de plasma. La única entrada de calor a la pieza es el calor sensible retenido por las partículas individuales en el vapor proyectado. Las partículas generadas por proyección en arco eléctrico son generalmente de tamaño y distribución similar a los alimentados por polvo usados en la proyección por plasma y por flama. [1]

El tamaño de partícula y la distribución son función de los parámetros utilizados. El tamaño de la partícula aumenta conforme se incremente la corriente eléctrica, se disminuya el voltaje, se disminuya la presión o flujo en el aire de arrastre o se aumente el diámetro del alambre a una velocidad de alimentación constante. Se ha observado que los tamaños de las partículas fundidas se encuentran en un rango desde submicroscópico hasta alrededor de 200 micrómetros. Dependiendo de los parámetros del proceso, las partículas fundidas son de forma esférica. Las irregularidades en la atomización están en función de la uniformidad de alimentación, estabilidad del voltaje y corriente del arco, variación de la distancia del arco, y la longitud del alambre que sale de la guía de los alambres. La variación en la distancia del arco en la punta de los alambres puede ser causada por varios factores, incluyendo

deformaciones permanentes en los alambres, desgaste, y/o desalineación de las guías de los alambres. [1]

Las velocidades de alimentación del material en la proyección por arco eléctrico son relativamente altas en comparación con otros procesos de proyección térmica. La tabla 3 nos menciona algunas velocidades de alimentación típicas para alambres comunes de proyección.

Tabla 3 Velocidades de alimentación por proyección por arco eléctrico

ALAMBRE	g/min (lb/h) / 100 A DC
Aluminio	45 (6)
Babbit	379 (50)
Latón	83 (11)
Cobre	83 (11)
Molibdeno	76 (10)
Acero	76 (10)
Acero Inoxidable	76 (10)
Estaño	341 (45)
Titanio	23 (3)
Zinc	182 (24)

Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

Los rangos de operación típicos están de 15 a 400A DC. y de 50 a 250A DC., con voltajes de circuito abierto a 40V DC. Pocas unidades utilizan fuentes de poder de tipo invertido, dado que los inversores requieren circuitos especiales para prevenir corto circuito de los alambres en la zona del arco. [1]

La característica de depósito más frío de la proyección por arco eléctrico minimiza el calor asociado al sustrato referente a otros procesos de proyección térmica. Esto da a la proyección por arco eléctrico una ventaja en el proceso para aplicaciones donde las temperaturas de recubrimiento/sustrato requieren mantenerse bajas. Esto habilita al proceso de proyección por arco eléctrico a depositar sobre polímeros, fibra de vidrio, madera, productos de papel, metales o vidrio. [1]

Las microestructuras de la proyección por arco eléctrico varían ampliamente según los parámetros de operación, el recubrimiento promedio por este proceso es caracterizado por salpicaduras que son más gruesas y variadas en tamaño que aquellas vistas en los recubrimientos por flama alimentados por alambre o por plasma y con más alto contenido de óxidos. En los procesos con alimentación por polvos, el material no fundido es comúnmente observado en sus recubrimientos. Apreciaciones similares son vistas en las microestructuras del proceso por arco eléctrico, pero en este caso, son partículas resolidificadas, esto es, partículas que se fundieron de los alambres y que resolidificaron antes del impacto. [1]

La figura 49 muestra algunos de esos efectos. Nótese que los splats y las series de óxidos son algo delgados y los niveles de porosidad son más bajos que aquellos típicamente observados en recubrimientos proyectados por flama y por plasma. Esos atributos pueden ser asociados en parte con las más elevadas temperaturas de las gotas de material fundido y el más corto tiempo de permanencia. La proyección por arco eléctrico de cámara inerte ha sido desarrollada; puesto que la proyección con gas inerte, en lugar de usar aire comprimido, sirve para reducir el contenido de óxidos. [1]

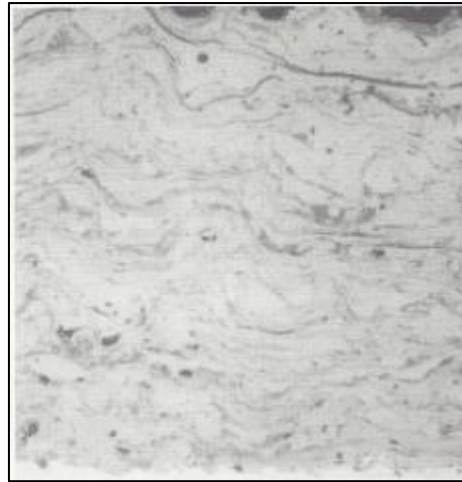


Figura 49 Acero rociado por arco eléctrico utilizando alambres de diámetro pequeño
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

La proyección por arco eléctrico ocupa un lugar importante en la tecnología de proyección térmica y está situada particularmente en la posición de alto porcentaje de deposición. [1] Áreas específicas de interés para este único atributo son las estructuras municipales y civiles como las estructuras de acero, puentes, tanques de almacenamiento de agua y recubrimientos marinos de cubiertas y chimeneas. En el caso de recubrimientos de zinc, la naturaleza algo porosa de este recubrimiento catódico deja excelente protección a la corrosión, particularmente cuando se impregna de pinturas epóxicas, las cuales sellan las porosidades abiertas. Los recubrimientos por arco eléctrico pueden hacerse mucho más rugosos que con otros procesos de proyección térmica, lo que los hace estar bien situados para ser usados como recubrimientos superficiales antiderrapantes. [1]

2.3.6.5. Rociado Térmico por plasma

Plasma, a menudo llamado el cuarto estado de la materia. Consiste normalmente de átomos neutros, iones positivos y electrones libres. El plasma es producido por transferir energía dentro de un gas hasta que el nivel de energía es suficiente para ionizar el gas, permitiendo

a los electrones y a los iones actuar independientemente uno del otro. El estado del plasma se logra cuando, bajo un campo eléctrico, las corrientes pueden ser sostenidas conforme los electrones libres se mueven a través del gas ionizado. [1]

El tungsteno es usado como cátodo por dos razones: primero por su alto punto de fusión (>3500 K), y segundo por ser un buen emisor termo-iónico que con facilidad libera electrones para mantener la descarga del arco. Los gases que forman el plasma son introducidos a través de la parte posterior de la pistola. Esos gases entran a la cámara del arco a través de un inyector de gas el cual proporciona un vórtice al gas. El vórtice estabiliza el arco en la punta del cátodo en la región de baja presión del vórtice y rota la unión del arco hacia el ánodo. A esto se le llama estabilización del vórtice. La rotación de la unión del arco del ánodo minimiza la erosión por arco del ánodo. La figura 50 muestra una pistola por arco de plasma. [1]

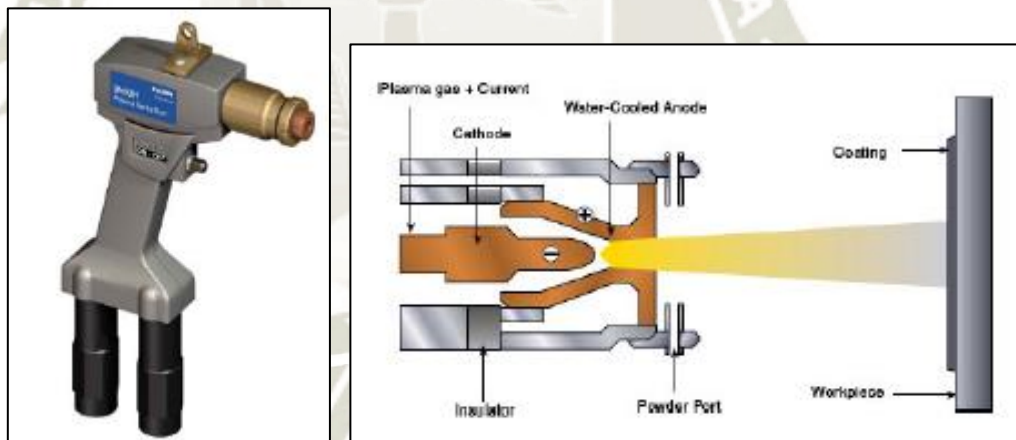


Figura 50: Pistola de proyección por plasma y su diagrama
Fuente: ARSIDE, Proyección térmica y recargues.

Los gases son calentados conforme pasan alrededor o a través del arco. Los gases calientes se expanden radial y axialmente, acelerando conforme estos se expanden y salen a través de la boquilla. Muchos diseños de pistolas son convergentes o divergentes para adquirir expansiones supersónicas, lo cual incrementa la velocidad de la partícula. Otros diseños usan

intencionalmente velocidades de plasmas subsónicas para incrementar el tiempo de permanencia. [1]

Los sistemas de proyección por arco de plasma, ilustrados en la figura 51, consisten de componentes similares a otros sistemas de proyección térmica. Los componentes principales son:

- Suministro de gas.
- Mangueras de gas.
- Reguladores de gas para transporte de gases para el plasma y polvos.
- Pistola de proyección por arco de plasma.
- Controles eléctricos para arcos de corriente y voltajes.
- Fuente de poder de DC.
- RF (plasma de inducción conjunta) de alta frecuencia para la ignición del arco.
- Circuito de enfriamiento por agua.
- Alimentador de polvos.
- Refrigeración por agua de cables de energía.
- Mangueras y cables.
- Cámara para proyección en atmósfera inerte y/o baja presión.

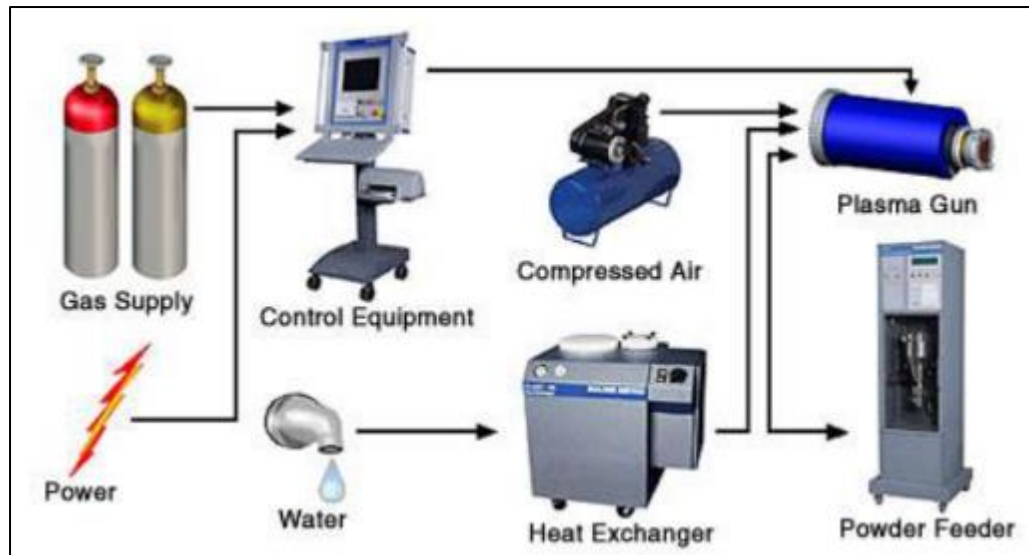


Figura 51: Sistema de rociado por arco de plasma

Fuente: Sistema de proyección por arco de plasma. - sulzermeco.com

El chorro de gas caliente creado por el arco de plasma se expande, introduce las partículas de polvo, calienta las partículas y las acelera hasta el sustrato, donde se impactan, deforman y resolidifican para formar el recubrimiento. El alto grado de partículas fundidas y la alta velocidad de partícula dejan depósitos de alta densidad y elevados esfuerzos de unión (34 a 69 MPa) comparados con los recubrimientos por flama o arco eléctrico. La baja porosidad de los recubrimientos por proyección por plasma puede ser comparados con los que produce el HVOF y la D-Gun que están arriba del 99%. El gas inerte usado en el plasma, ignorando los efectos del ambiente, contribuye a una baja cantidad de óxidos comparado con otros procesos de proyección térmica; la interacción de la turbulencia del chorro plasma con el ambiente introduce aire que oxida la superficie de las partículas fundidas en el vuelo permitiendo la formación de fases de óxido que se ven como inclusiones de óxido intersplat. La figura 52 a) y b) muestra la microestructura típica de proyección por plasma, ilustrando la oxidación del recubrimiento. [1]

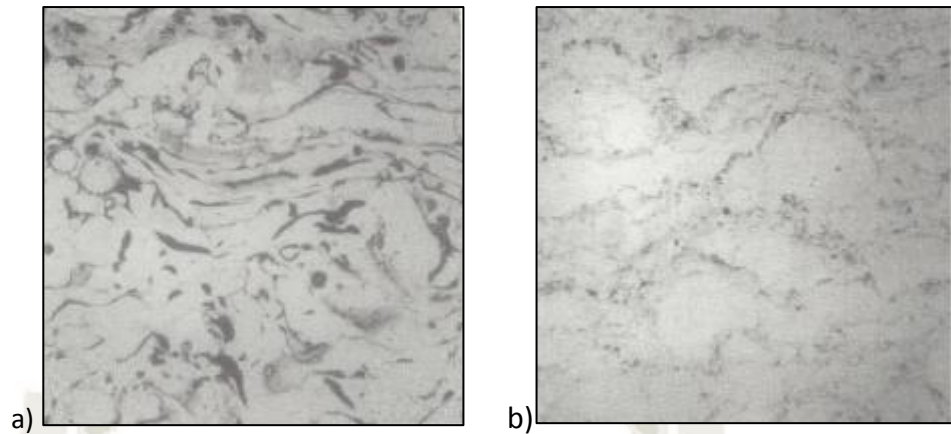


Figura 52: Microestructura típica de rociado por plasma: (a) Alto nivel de oxígeno en recubrimiento NiAl. (b) Nivel típico de gas en recubrimiento 80Ni/20Cr
Fuente: Handbook of THERMAL SPRAY TECHNOLOGY

La calidad de los recubrimientos también depende de parámetros o variables como los modelos o patrones de proyección, aumento del recubrimiento, variaciones del proceso, control de temperatura, movimiento de la flama o del sustrato y eficiencia de deposición.

[1]

2.4. Introducción a la Rototec 1A

El proceso Rototec fue desarrollado para permitir recubrimiento de piezas cilíndricas y planas en condiciones de frío siendo capaz de ser aplicado a la mayoría de los metales como: acero al carbono, acero inoxidable, hierro fundido, aluminio, bronce, aleación níquel, etc. [32]

En piezas cilíndricas, el revestimiento se realiza con la pieza en rotación, que permite una aplicación rápida y gran uniformidad de la capa de recubrimiento, disminuyendo la cantidad de material de recubrimiento y también el tiempo de mecanizado de la pieza. [32]

La unión entre el metal base y la aleación aplicada se obtiene acomodando la aleación micropulverizada en la superficie de la pieza preparada previamente. La aleación micropulverizada recibe energía térmica y cinética a medida que pasa a través de la llama

siendo deformada cuando golpea la superficie del sustrato, formando un depósito denso y altamente adherente que puede mecanizarse o rectificarse para producir un excelente acabado superficial. [32]

Las aleaciones micropulverizadas Rototec se fabrican en los centros de producción Eutectic-Castolin con varias formulaciones que le permiten recuperar una amplia gama de piezas y, lo más importante, proporcionar una mayor vida útil de la pieza recubierta e incluso se utilizan en piezas nuevas como recubrimientos preventivos. [32]

El proceso Rototec 1A también permite la aplicación de aleaciones fusibles, es decir, aleaciones diseñadas y luego fusionadas. Estas aleaciones se llaman RotoFuse. [32]

2.4.1. Capacidad y usos típicos

El equipo de deposición Rototec 1A, más la amplia gama de aleaciones micropulverizadas, tienen una serie de características y beneficios únicos: [32]

1. Es un proceso "en frío", es decir, los recubrimientos se aplican a una temperatura por debajo de 260°C. Esto significa menos posibilidades de flexión o alteración metalúrgica de la pieza que se está reparando. [32]
2. Los polvos para recubrimientos se pueden seleccionar para atribuir propiedades específicas, de modo que la vida útil de la pieza se extienda muchas veces más que la parte del equipo original.
3. RotoTec 1A se puede utilizar para aplicar polvos para recubrimientos del tipo ProXon autoadhesivas excepcionales, es decir, no se requiere una capa de unión.[32]
4. RotoTec 1A produce automáticamente la llama y el nivel de energía correcto para lograr recubrimientos siempre perfectos. [32]

5. RotoTec 1A no requiere ningún mantenimiento fuera del mencionado por el fabricante (Eutectic Castolin). [32]

Algunas partes recuperadas con éxito utilizando el sistema RotoTec se muestran en la tabla 4; "LPF" que significa "Factor de prolongamiento de vida útil", lo que significa una medida de cuánto más tiempo de vida útil se puede proporcionar a la pieza en relación con la vida útil de la pieza original. Por supuesto, el LPF varía según las condiciones específicas de desgaste. [32]

Tabla 4: LPF (Factor de Prolongamiento de Vida útil) de algunos elementos de la Industria

Elemento	Industria	LPF
Rotor (motor eléctrico)	Todas	300-500%
Ejes	Transportadora	200%
Cilindros	Papel y Celulosa	300%
Pistones Hidráulicos	Minería	350%
Juntas de Bombas	Papel y Celulosa	300%
Ejes de Bomba	Química	600%
Pistones de Bombas	Petróleo	400%
Rollos de Tinta	Gráfica	500%
Arboles (Ejes)	Agricultura	300%
Cubiertas (motor eléctrico)	Todas	200%
Válvulas	Todas	300-800%
Carcasa de bombas	Servicios Públicos	450%
Ejes de Conexión	Textil	400%

Carcasa de Bombas	Petroquímica	400%
-------------------	--------------	------

Fuente: Base de datos computarizada de aplicaciones RotoTec en industria de Eutectic + Castolin.



CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1. Esquema conceptual

Durante el proceso de investigación y la evaluación del plan de Tesis, surgieron varias ideas de cómo debemos enfocar la tesis y hacia dónde queremos llegar con el Rociado Térmico. Como se ve en el Capítulo 2, la teoría es extensa y demuestra lo importante y variado que puede llegar a ser el Rociado térmico tanto en la variedad de tipos como a las distintas aplicaciones que puede llegar a tener en la Industria actualmente. Es por eso que fue muy difícil en primera instancia, enfocar el camino correcto para desarrollar correctamente un tema tan extenso como este.

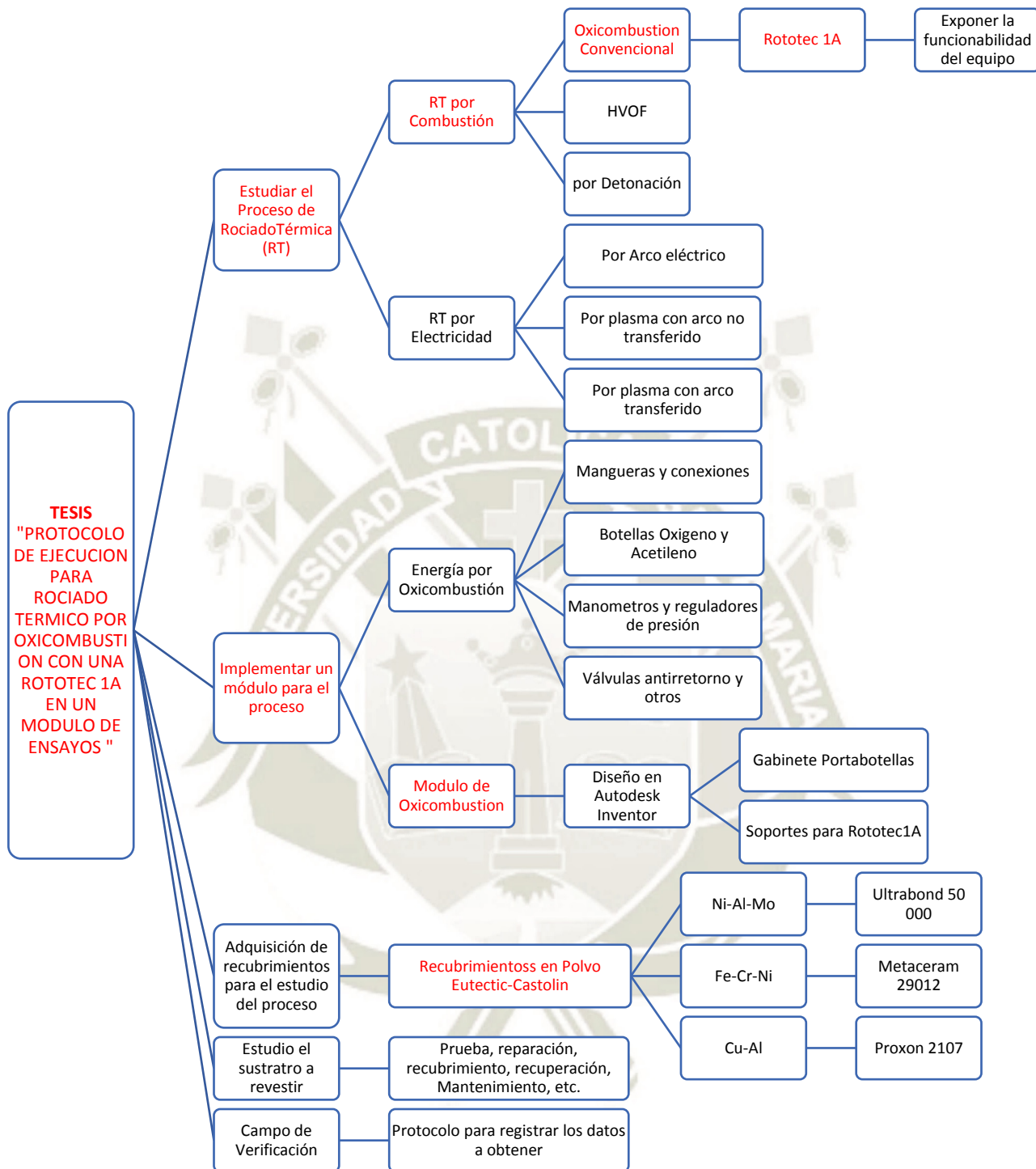
Planteamos estudiar y desarrollar el proceso de Rociado Térmico por Oxidación convencional o flama convencional, desarrollado con energía Oxigas; para lo cual necesitamos un equipo efectivo que cumpla los principios básicos del rociado térmico.

Después de analizar las distintas opciones, el equipo Rototec 1A de la empresa Eutectic-Castolin cumple con nuestras expectativas para iniciar en este mundo extenso del Rociado térmico de inyección de material utilizando recubrimiento dirigido hacia la mezcla combustible de Oxígeno y Acetileno, la cual es mencionada a mayor detalle en el capítulo anterior. Al ser este un equipo que funciona con un alimentador de polvos por gravedad, necesitamos recubrimientos de metales atomizados o también llamados polvos metálicos; y desarrollar sobre un sustrato metálico puro para pruebas de funcionamiento y evaluación de su rendimiento en comparación a un sustrato no recubierto.

De acuerdo a lo analizado desarrollamos un esquema de lo necesario para enfocar el objetivo de la tesis. A su vez iniciar y fomentar una nueva línea de investigación en la

Universidad Católica de Santa María. En el Mapa Conceptual 3 pudimos esquematizar la necesidad de estudiar el Proceso de Rociado Térmico por Combustión convencional y el funcionamiento con la Rototec 1A. Surge la necesidad de un módulo para la ejecución del Rociado Térmico en el centro de investigación de la Universidad, así como la elaboración de un protocolo en el cual se detalle los pasos necesarios para desarrollar un procedimiento efectivo.





Mapa conceptual 3: Procesos de Proyección Térmica
Fuente: Propia

El mapa conceptual 3 nos mostró la necesidad de desarrollar un módulo y adquirir la Rototec 1A con los polvos para recubrimiento metálicos comerciales Eutectic-Casllin. A

su vez se planteó el proceso por el cual estaría encaminada nuestra tesis y que es lo que deberíamos obtener para poder desarrollar correctamente esta nueva línea de investigación en la Universidad.

3.2. Implementación de módulo de Rociado Térmico

En este título presentamos los equipos y herramientas necesarias para un adecuado desarrollo del proceso de Rociado Térmico por Oxidación, las cuales se especifican a continuación.

3.2.1. Equipos y Herramientas

La presente investigación, en base al desarrollo experimental de la misma, determina la necesidad de un módulo de Rociado Térmico para su ejecución. Para ello se implementa un conjunto de equipos y herramientas en base al objetivo principal de nuestra tesis. Se diseñan esquemas y planos de los accesorios a fabricar para complementar este módulo, así como la revisión, corrección, mantenimiento y habilitación en operación de los equipos del centro de investigación de Rociado Térmico.

3.2.1.1. Equipo de Energía por Oxidación

El equipo Rototec 1A ha sido diseñado para funcionar con 2 gases, oxígeno y acetileno, obteniendo la energía térmica y cinética de la reacción química entre estos. Esta combinación produce una delgada llama color celeste, que puede llegar a una temperatura aproximada de 3500 °C.

Las botellas de oxígeno y acetileno adquiridas (como vemos en la Figura 53) son utilizados como ya conocemos en la soldadura oxiacetilénica o autógena. Este equipo es el conjunto

de elementos que, agrupados, permiten el paso del oxígeno y el acetileno hasta el soplete o antorcha, que está conectado a nuestra pistola Rototec1A por medio de mangueras, donde se produce la mezcla al contacto con una chispa, produciendo la combustión necesaria para formar la llama oxiacetilénica. Mas adelante se apertura al contacto los polvos de recubrimiento ocasionando el llamado Rociado Térmico sobre un sustrato.



Figura 53: A la izquierda una botella de acetileno de 4kg y a la derecha una botella de oxígeno 8m³
Fuente: Propia

3.2.1.2. Oxígeno

Este es un gas comburente, incoloro, inodoro e insípido (formula química O₂). Es un elemento muy activo que se combina fácilmente con la mayoría de los materiales formando óxidos. Cuando esta oxidación se produce con desprendimiento de luz o calor se llama combustión. [33]

Como la mayoría conocemos y como se ve en la figura anterior, los cilindros de oxígeno se identifican por su color verde (azul para uso industrial y blanco para uso medicinal). La capacidad de los cilindros de uso industrial es de 40 a 50 litros y vienen cargados a una presión de 150 a 200 bares (2200 a 2940 psi). [33]

El contenido de gas remanente se obtiene multiplicando la capacidad del cilindro (en Litros) por la presión (en bares) Indicada por el manómetro regulador de presión. [33]

$$\text{Vol. cilindro} \times \text{Presión} = \text{Volumen de gas (Lts)}$$

Algunas recomendaciones de seguridad:

- Siempre almacene los cilindros de oxígeno por separado de otros gases. [32]
- Asegure siempre los cilindros de oxígeno con cadena u otros medios, para que no puedan caer o golpearse entre sí u otros obstáculos, tanto en uso como almacenados. [32]
- Nunca use una manguera de aire industrial para oxígeno, ya que puede estar contaminado con aceite. [32]
- Nunca aplique grasa o aceite a donde pueden entrar en contacto con el oxígeno. [32]
- Afloje siempre el regulador de presión antes de abrir la válvula del cilindro. Abra la válvula suavemente. Usarlo siempre un regulador de buen origen. [32]
- Nunca intente reparar la válvula del cilindro de oxígeno o el regulador de presión. [32]

3.2.1.3. Acetileno

El acetileno es un gas incoloro, altamente inflamable e inodoro en estado puro (formula química C_2H_2). El acetileno de grado comercial contiene rastros de impurezas como fosfinas,

arsina, sulfuro de hidrógeno y amoníaco, y su olor es similar al ajo. El gas es ligeramente más liviano que el aire y soluble en agua y algunas sustancias orgánicas. El acetileno no se puede comprimir como otros gases, ya que a 15 PSI es muy inestable y a 30 PSI es auto explosivo. Es por esta razón, que para poder almacenarlo a las presiones requeridas para uso industrial se disuelve en acetona. Cuando el acetileno entra en contacto con plata, cobre o mercurio, forma compuestos explosivos llamados acetiluros, por tal razón debe evitarse el uso del gas en presencia de estos metales. [33]

Los cilindros de acetileno tienen en su interior una masa porosa y absorbente que cubre el 100% de la capacidad interna. Esta masa está impregnada con acetona para disolver grandes proporciones de acetileno. La combinación de estos dos factores, permite que el acetileno pueda ser envasado a presiones moderadas sin peligro de que pueda descomponerse y explotar. [33]

Estos cilindros o acumuladores de acetileno se identifican por su color rojo o naranjado (como se ve en la figura 53), van cerrados con una válvula de paso y su disco de seguridad para que escape gas cuando la presión pasa el límite previsto. La conexión para el regulador es de rosca izquierda. Comercialmente los acumuladores se suministran con un contenido entre 3.5 y 11 kg de acetileno. [33]

El contenido remanente de acetileno en un acumulador se puede calcular por medio de la presión, ya que la solubilidad de la acetona depende mucho de la temperatura. El contenido remanente debe calcularse por el peso. Sin embargo, puede hacerse un cálculo aproximado así (a unos 10 °C). [33]

$$\text{Vol. cilindro (lts)} \times \text{Presión (bar)} = \text{Volumen gas}$$

$$\text{Volumen gas}/1000 = \text{peso (kg)}$$

El cilindro de acetileno se debe mantener en posición vertical para impedir que la acetona se derrame. Si por algún motivo es transportado de forma horizontal, se debe dejar reposar verticalmente un tiempo prudente antes de usarlo.

Algunas recomendaciones de seguridad:

- Nunca use acetileno a una presión mayor que 1bar (15 psi). [32]
- Almacene siempre cilindros de acetileno separados de los de oxígeno [32]
- Asegure siempre los cilindros de acetileno con cadenas u otros medios, para que no puedan caer o golpearse entre sí u otros obstáculos, tanto en uso como cilindros almacenados. [32]
- Inspeccione todos los tubos o mangueras con frecuencia para detectar fugas. [32]
- Nunca use tubos o accesorios de cobre puro con acetileno [32]
- Nunca intente reparar fugas de cilindros acetileno En un caso de fugas, lleve el cilindro a un lugar abierto lejos de fuentes de fuego. Comunicarse con el proveedor de gases [32]
- Si los cilindros de acetileno están conectados entre sí formando una batería, se deben usar válvulas de retención de llama en cada cilindro. [32]

3.2.1.4. Reguladores de presión de gases

Los reguladores de presión son instrumentos construidos generalmente de latón o de bronce, que se utilizan para reducir la elevada y variable presión de los gases que fluyen de los cilindros de oxígeno y acetileno, además de proveer al soplete una presión de trabajo constante durante el tiempo que dure este.



Figura 54: Reguladores de Oxígeno y Acetileno

Fuente: Reguladores Harris

En la Figura 54 tenemos los reguladores Harris que utilizamos nuestro módulo. Los reguladores tienen las siguientes partes:

- Conexión o acople a cilindro de presión.
- Conexión o acople a la manguera
- Manómetro de alta presión (Marca la Presión del cilindro)
- Manómetro de baja presión (Para graduar la presión de trabajo)
- Tornillo de reglaje (Para regular la presión).
- Válvula de seguridad (limitadora de presión)

3.2.2. Gabinete Portabotellas y otros accesorios

Tenemos lo principal para poder trabajar en nuestro módulo. Adicional a lo mencionado se consigue los siguientes materiales para completar el equipo de energía de Oxidación y el módulo de Rociado Térmico:



Figura 55: Accesorios adicionales
Fuente: demaquinasyherramientas.com

- Gabinete Portabotellas. Se diseñará de acuerdo al tamaño de las botellas de oxígeno y acetileno con las que trabajaremos, para lo cual necesitaremos acero A36 de perfil L a la medida requerida y planchas de metal para los soportes. Se requiere a su vez llantas de transporte con su respectivo eje, y asas de soporte para apoyo de traslado. Este gabinete fue diseñado en un programa asistido por computadora modelando el sólido según parámetros reales como se menciona en el capítulo siguiente.
- Otros accesorios: Como se ve en la Figura 55, se necesitan varios accesorios importantes para completar el equipo de oxicombustión. Usaremos mangueras de 5 metros para acetileno y oxígeno (roja y verde respectivamente), a su vez un chispero para iniciar la combustión de la antorcha de la Rototec1A, y conectores para las respectivas instalaciones. Adicional dos válvulas antirretornos, que impedirán el flujo inverso de los gases evitando el retroceso de la llama.

3.2.3. Módulo de Rociado Térmico por combustión

Como se comentó anteriormente, los equipos y herramientas líneas atrás nos dieron la idea de cómo debería ser nuestro módulo, y las condiciones con las que queríamos trabajar. Se planteó las siguientes características principales:

- Portabilidad: Uso práctico que pueda facilitar el transporte de las botellas de oxígeno y acetileno, así mismo mantener y asegurar la posición vertical de las botellas. Se necesita espacio necesario para colocar los componentes adicionales que lleva el equipo de oxicomcombustión. Es importante verificar los datos de presión de los manómetros durante el proceso, por lo que se considera un tablero frontal para la visualización de las mismas.
- Resistencia: El módulo de pruebas se diseñó para que soporte las botellas de oxígeno y acetileno, así como los accesorios adicionales del equipo.

3.2.3.1. Diseño y esquema del módulo

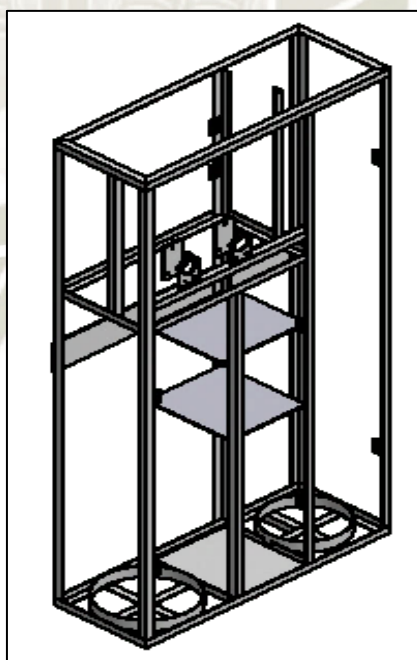
Plasmamos el diseño modulado en 3D en un programa computarizado, para evaluar a escala real de nuestros elementos, y diseñar un Módulo con una adecuada distribución.

En la figura 56 a continuación, vemos que, para implementar la estructura inicial del gabinete, necesitamos las medidas exactas de las botellas de oxígeno y acetileno. La botella de oxígeno a utilizar es de 8m³ con un diámetro de 220mm y una altura aprox de 1300mm. La botella de acetileno es de 4kg con un diámetro de 260mm y una altura aprox de 810mm. Los Planos se encuentran en los Anexos.



*Figura 56: Botellas de Oxígeno y Acetileno en 3D plasmadas a medida.
Fuente: Propia*

De acuerdo a las medidas de las botellas obtenidas diseñamos un gabinete como se muestra en la figura 57 colocando de acuerdo a sus dimensiones un lugar para la botella de oxígeno y otro para la botella de acetileno; dividiéndolas con un espacio donde se plantea colocar los equipos relacionados con el Rociado Térmico.



*Figura 57: Estructura principal del Gabinete Portabotellas, Diseño 3D
Fuente: Propia*

A continuación, vemos la figura 58 los reguladores de presión de Oxígeno y Acetileno que deberemos plasmar en un lugar adecuado para, como su nombre lo indica, regular las presiones adecuadas durante el Rociado de los gases que fluyen de los cilindros. Fue importante colocarlos a la misma altura en un lugar visible y de fácil acceso.

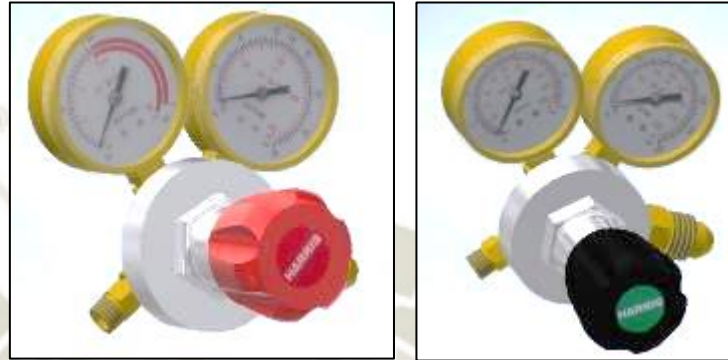


Figura 58: Reguladores de presión en 3D plasmados a medida
Fuente: Propia

Para poder posicionar adecuadamente estos equipos se diseñó un soporte a como se ve en la figura 59.

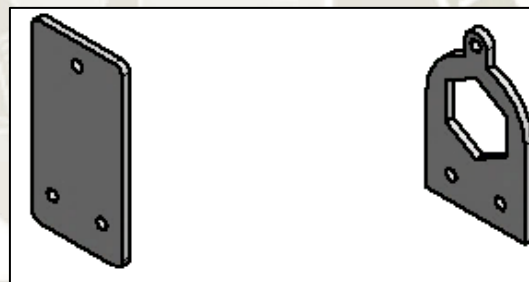
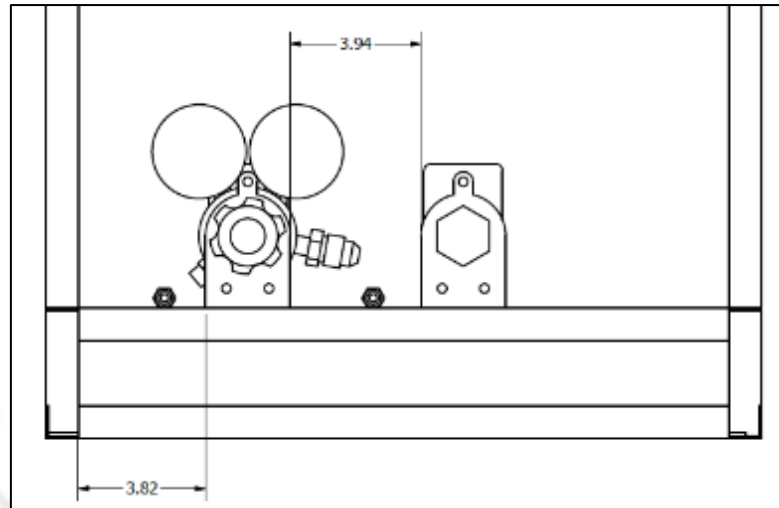
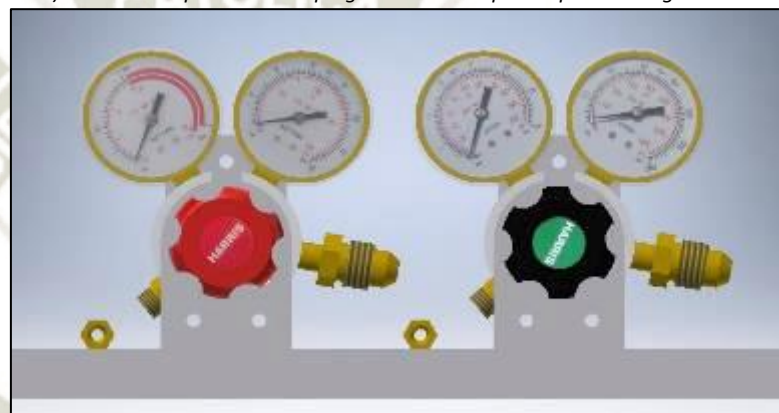


Figura 59: Diseño de soporte de Reguladores
Fuente: Propia

Estos soportes irán fijados a la estructura inicial en un compartimiento ya establecido como se ve en la figura 60 a) la distancia entre cada regulador y b) la ubicación final plasmada en 3D.



a) Distancia plasmada en pulgadas de los soportes para los reguladores



b) Ubicación de los reguladores en diseño 3D

Figura 60: a) y b)

Fuente: Propia

De tal manera que los equipos principales mencionados en el capítulo 3.2.1 estén bien ubicados, para proceder más adelante con las respectivas conexiones de mangueras. La ubicación y montaje de los soportes en la estructura inicial se muestra en la figura 61.

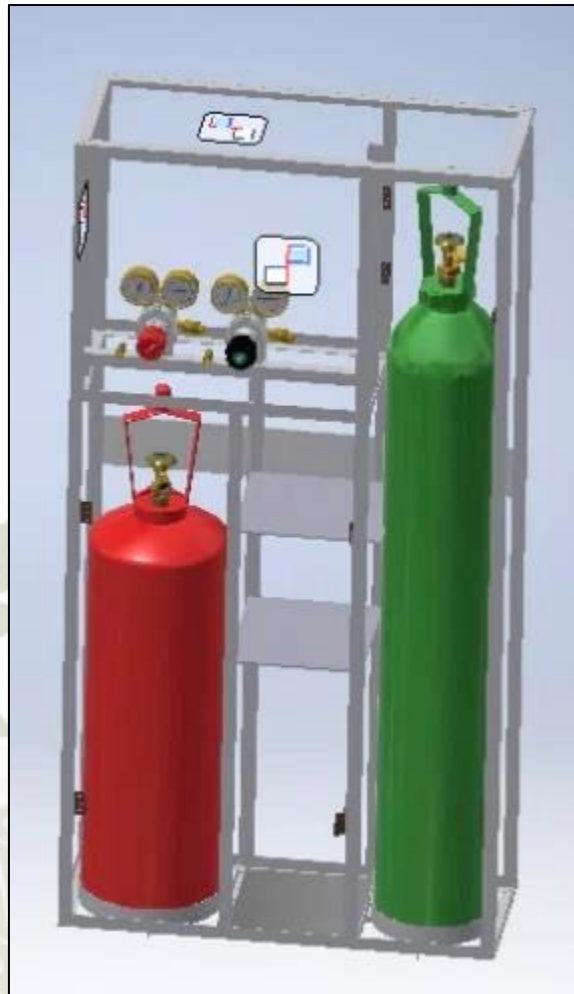


Figura 61: Diseño 3D de Soportes y botellas en estructura inicial
Fuente: Propia

El diseño contempla la instalación de puertas y subdivisiones en la parte media. Así como la instalación de ruedas y asas de sujeción para las maniobras de transporte.

El módulo contará con cinco secciones bien remarcadas como se ve en la figura 62. En las secciones 1 y 2 se colocarán las botellas de Acetileno y Oxígeno respectivamente, a las cuales se les colocará una cadena de seguridad para evitar su caída al momento del traslado; y puertas para cada una por seguridad y para evitar su manipulación. La sección 3 está ubicada en la parte central, y contemplará subdivisiones para el almacenamiento de distintos materiales de fácil acceso, asegurada con una puerta para seguridad. La sección 4 asegurará

un espacio adicional en la parte posterior para poder colocar más elementos, como la misma pistola Rototec1A y su asta, e incluso el Manual de utilización.

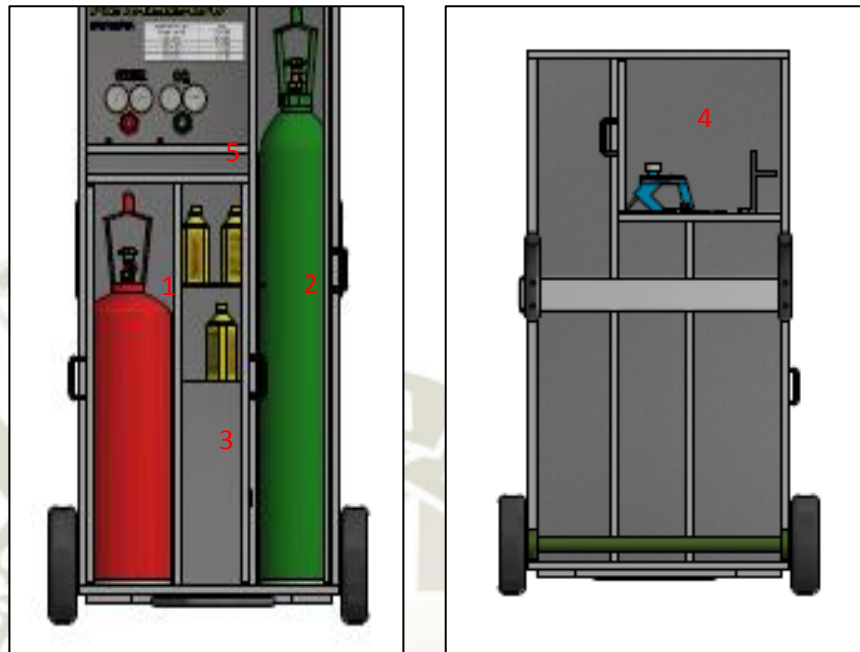


Figura 62: Diseño en Programa
Fuente: Propia

La sección 5 hace referencia al tablero de ubicación de los reguladores de Oxígeno y Acetileno, así como sus conexiones.

El diseño de la estructura del gabinete portabotellas será de acero ASTM A36, el cual deberá soportar el peso de las botellas de oxígeno y acetileno, así como de los componentes adicionales de oxicomcombustión, la pistola Rototec1A y todos sus insumos. Así como los distintos esfuerzos a la cual estará sometida en el momento de ser trasladada.

La botella de acetileno pesa 32Kg, la botella de oxígeno pesa 35Kg ambas en su máxima capacidad, los reguladores y la pistola Rototec1A pesa 15Kg aproximadamente, cada polvo 1.5kg, las mangueras, los soportes, los reguladores y otros pesan alrededor 8Kg adicionales. En total el peso estimado a soportar es de 95Kg. Sumando el propio peso del gabinete

tenemos 120kg, consideración importante para la selección de las ruedas de transporte. Estas ruedas por dato de fabricante tienen una capacidad de diseño de 200 Kg-f cada una.

A continuación, presentamos la simulación de la estructura diseñada. La carga total propia de la estructura, más la carga de las botellas de gases, manómetros y accesorios del sistema hacen un total de 120 Kg-f. Establecimos una carga de diseño máximo de 150 Kg-f o 1471 Newton. Esta carga es distribuida alrededor de la base del gabinete, pero por margen de seguridad fijamos una carga de manera puntual en el Software. Esta carga está ubicada en una de las aristas de la mitad de la base del gabinete. Los resultados son los que se muestran en la figura 63.

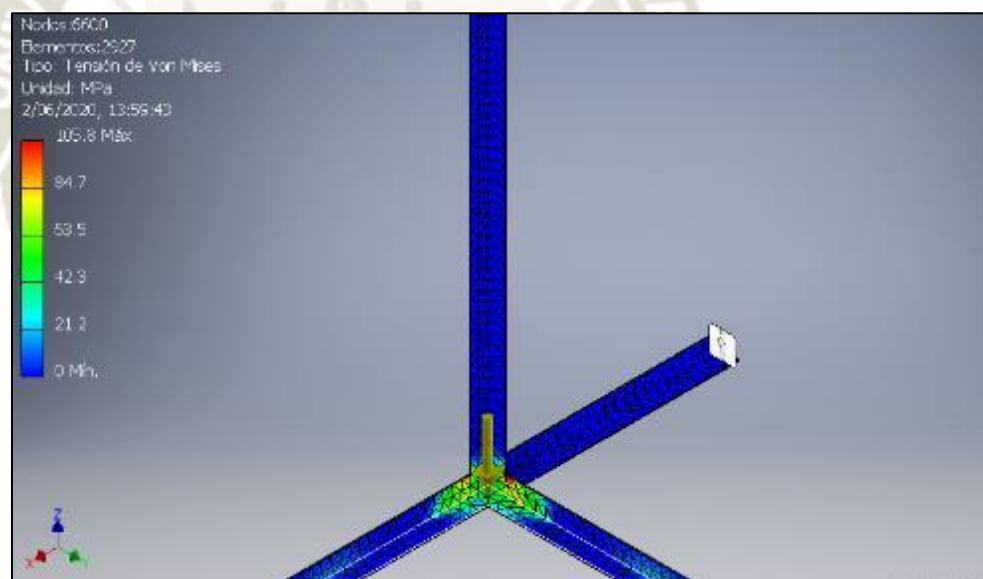


Figura 63: Analisis Estructural Gabinete Portabotellas.

Fuente: Propia

Tabla 5: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Fijo

Estructura Gabinete	ANALISIS COMPUTACIONAL (MPa)	CALCULO ANALITICO (MPa)	ESFUEZO MAXIMO (MPa)
Arista intermedia	105.8	98.2	248,225

CUMPLE

Fuente: Propia Anexada

Como se observa en el cálculo computacional, el esfuerzo máximo es de 105.8 Mpa, el cual es mucho menor a los 250 MPa del límite de elasticidad o esfuerzo a la fluencia del Acero ASTM A36. [34]

El cálculo computacional se realizó en un segmento de la estructura, específicamente en una de las aristas de la mitad de la base del gabinete. En los planos de corte establecimos restricciones en las 3 coordenadas, todo se detalla en los informes computacionales de análisis de tensión adjuntos en los Anexos.

Los planos de la estructura final se encuentran en los Anexos. A continuación, podemos ver en la figura 64 el modelo final del Módulo de Rociado Térmico en 3D como referencia. En este diseño podemos observar el planteamiento inicial de lo que construimos.

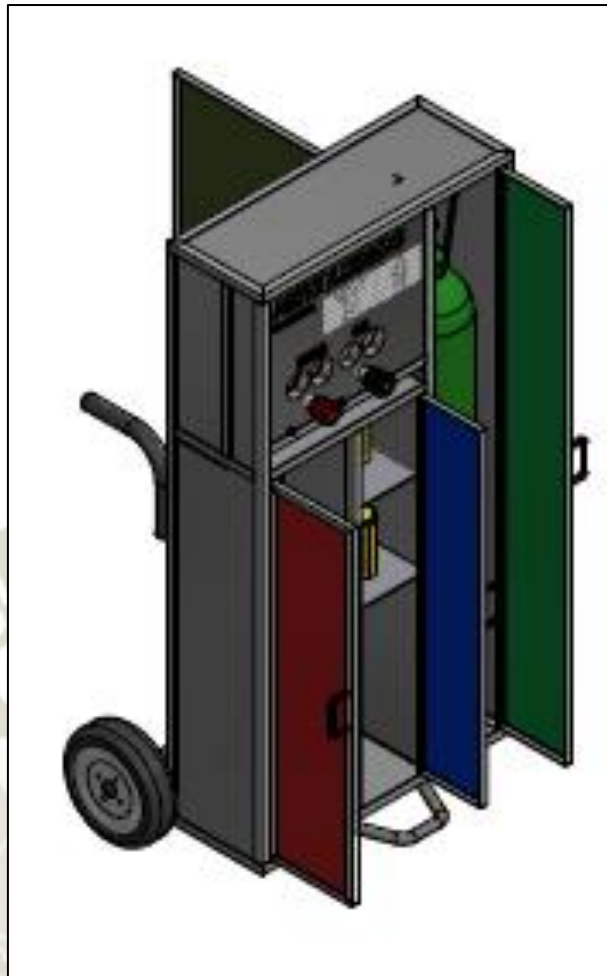


Figura 64: Módulo de Rociado Térmico
Fuente: Propia

3.2.4. Construcción y acabado final

A continuación, se muestran en la figura 65 el proceso de construcción y en la figura 66 el acabado final en base a nuestro diseño inicial. El equipo fue desarrollado y construido por nosotros.

Se utilizó lo siguiente:

- Perfiles de acero ASTM A36 en L de $\frac{1}{2}$ "x $\frac{1}{2}$ " de diferentes largos
- Bisagras y azas para las puertas.
- Planchas de acrílico blanco de 4mm de espesor para las puertas.

- Planchas de acero de 3mm de espesor para las repisas intermedias.
- Eje y llantas para el transporte de 200Kg-f.
- Aza para transporte.



Figura 65: Proceso de construcción de Módulo
Fuente: Propia



Figura 66: Módulo de Rociado Térmico
Fuente: Propia

3.2.5. Soporte de equipo Rototec 1A

De igual forma como en el anterior subcapítulo, se ve la necesidad de realizar un soporte para el equipo Rototec1A. Este fue diseñado a partir de un brazo que sostenga la pistola Rototec, de tal forma se pueda evaluar de acuerdo a parámetros exactos que podamos controlar, obteniendo datos estables e indicadores específicos de acuerdo a la posición del equipo de Rociado Térmico.

3.2.5.1. Diseño y desarrollo del soporte

El diseño empezó con un bosquejo inicial de lo que necesitamos para completar el circuito de Rociado Térmico. El proyecto es sostener la pistola Rototec fijamente mientras se realiza la proyección térmica a una pieza o sustrato que gira con ayuda de un torno, como se ve en la figura 67.

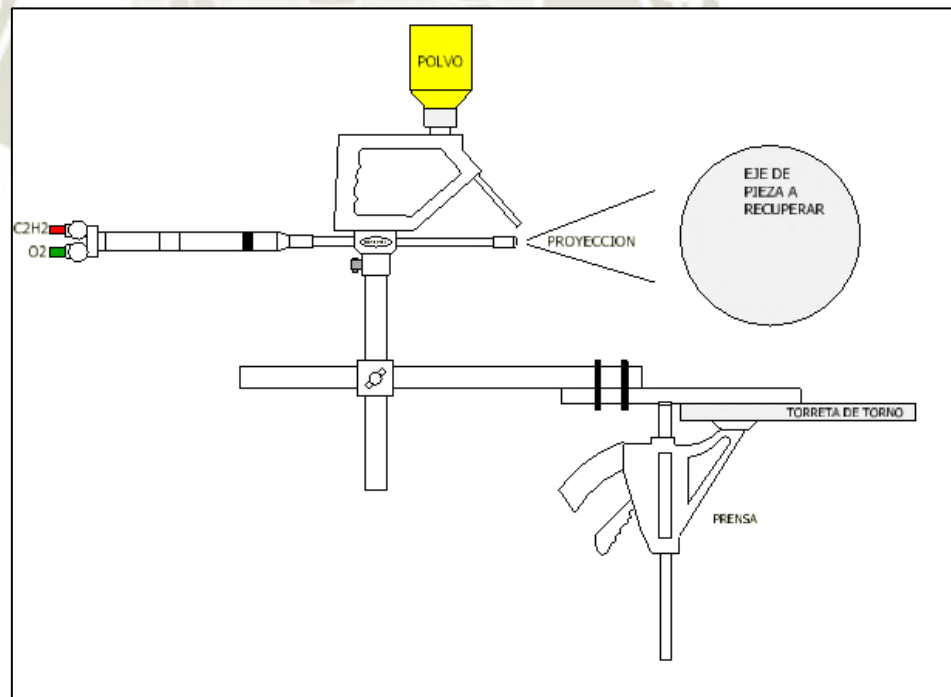


Figura 67: Primer bosquejo del soporte
Fuente: Propia

El planteamiento inicial nos exige un soporte anclado a la tornamesa del Torno o directamente a este, que a su vez sostenga la pistola Rototec de una forma segura, para lo cual debimos diseñar el equipo completo en 3D para sacar medidas y hacer simulaciones de acuerdo a la necesidad. En la figura 68 vemos el equipo en 3D.

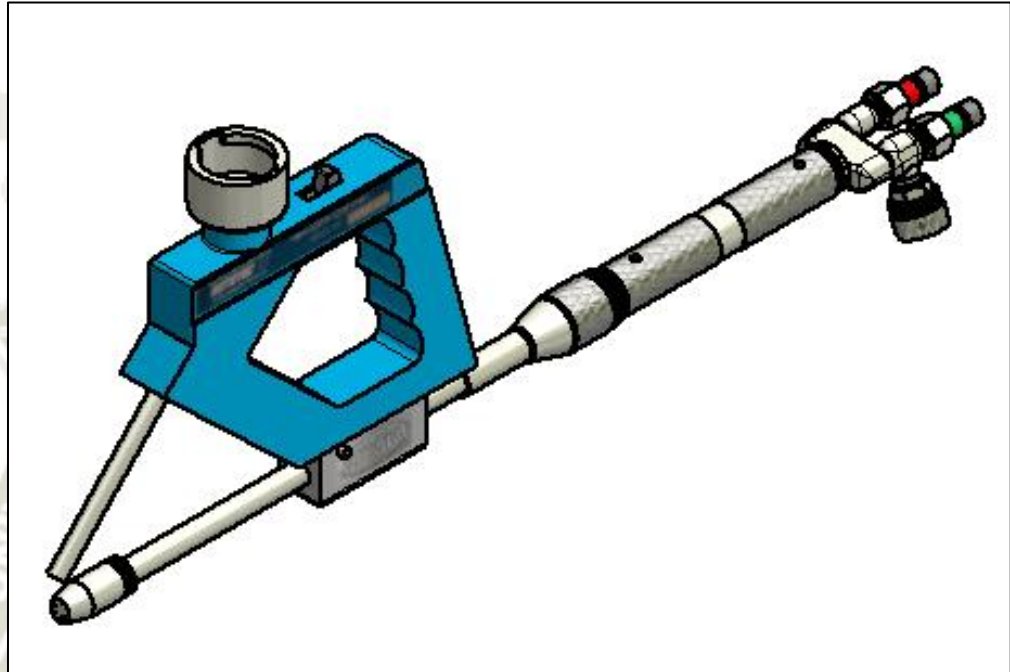


Figura 68: Pistola Rototec1A en 3D
Fuente: Propia

A continuación, mencionaremos los dos tipos de soportes desarrollados para este proyecto, los cuales fueron analizados y construidos únicamente para la pistola Rototec 1A.

3.2.5.2. Soporte fijo

Observamos que la Tornamesa del Torno (dispositivo que soporta normalmente las cuchillas de los tornos) nos ayudará a darle la libertad de movimiento medido que necesitamos, por lo tanto, el primer diseño debería tener un asiento para la pistola y un brazo fijo que pueda

ser fijado a los pernos de la tornamesa. Como se ve en la figura 69, el primer soporte o soporte fijo (así lo nombraremos) se plasma en 3D de la siguiente manera.

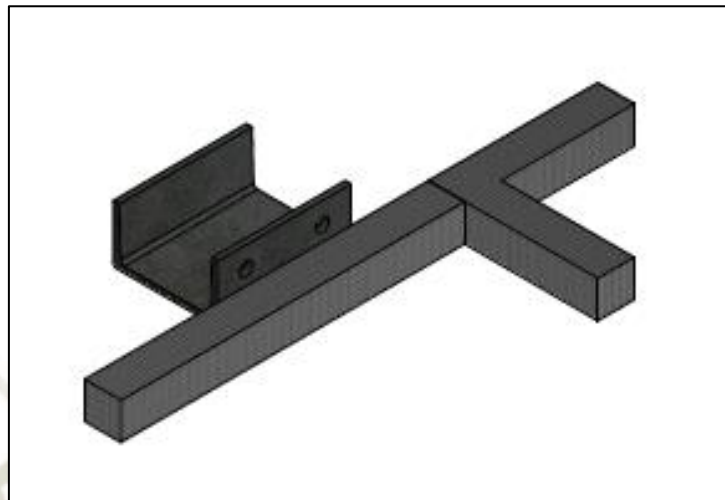
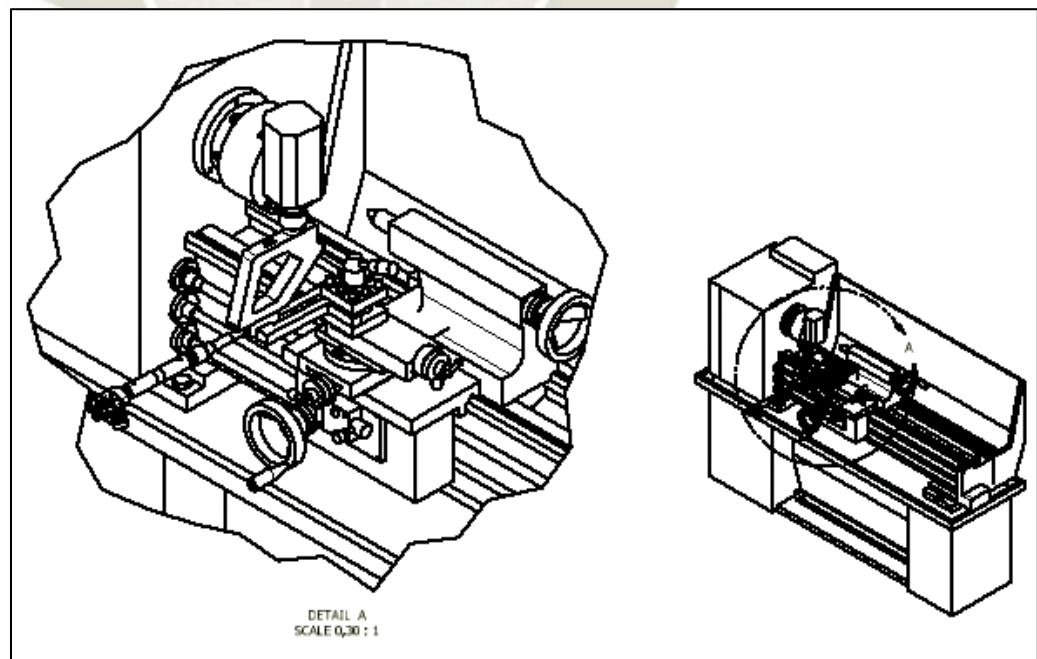


Figura 69: Soporte fijo de Pistola Rototec1A
Fuente: Propia

Este equipo presenta la facilidad de anclar el equipo Rototec a la Tornamesa del Torno, como se ve plasmado en las proyecciones en 3D que se realizaron en la figura 70, dando la tornamesa la movilidad en dos ejes, de forma horizontal.



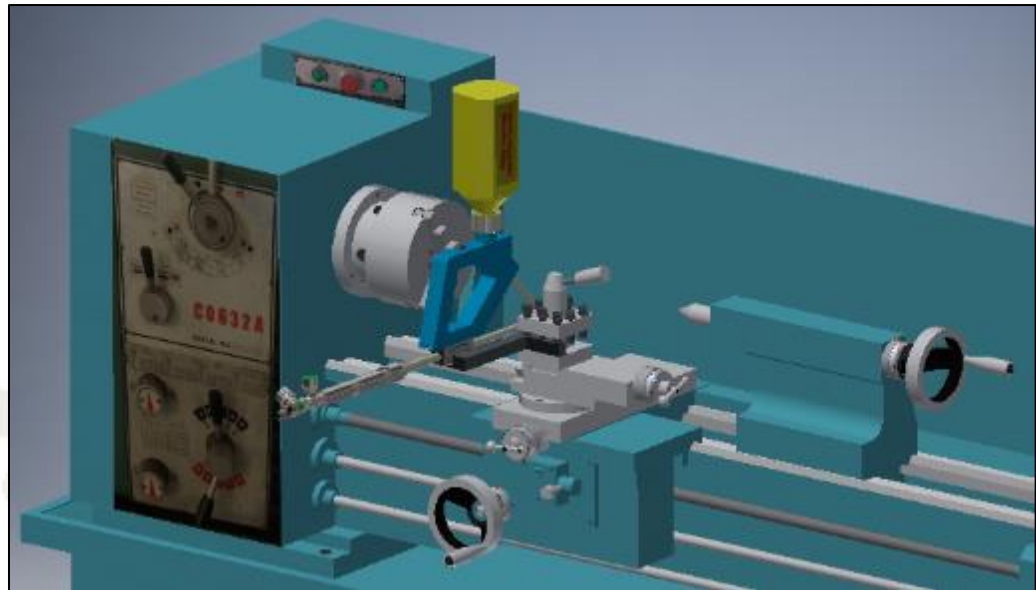


Figura 70: Soporte con Pistola anclados al Torno
Fuente: Propia

Realizamos un análisis de esfuerzos de tensión sobre el soporte fijo para verificar la resistencia al peso de la pistola, y evaluar cómo reaccionaría. El material de construcción es en Acero ASTM A36. En la figura 71 vemos cómo se comporta el soporte añadiendo una fuerza de 50N en contra la dirección Y donde se ubicaría la pistola.

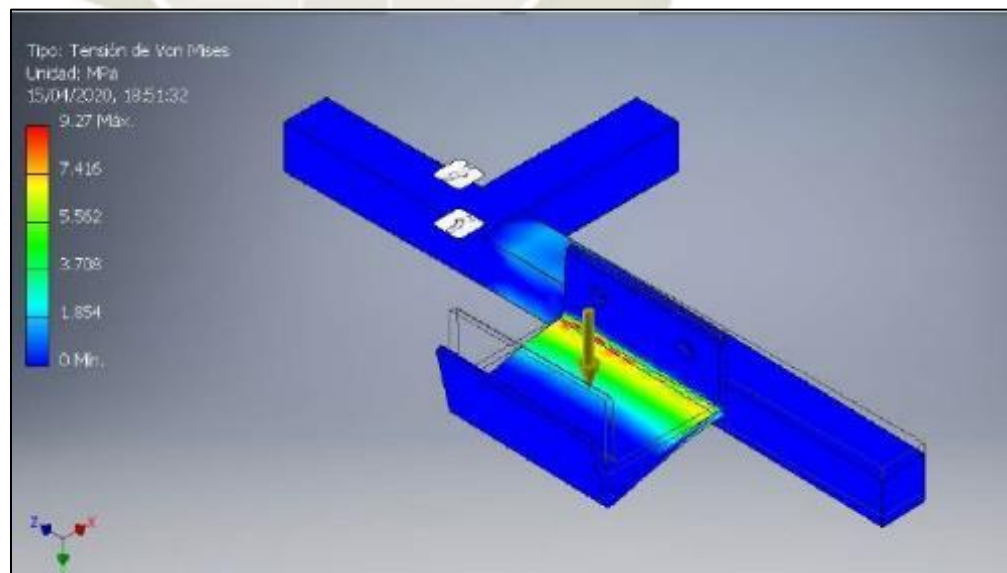
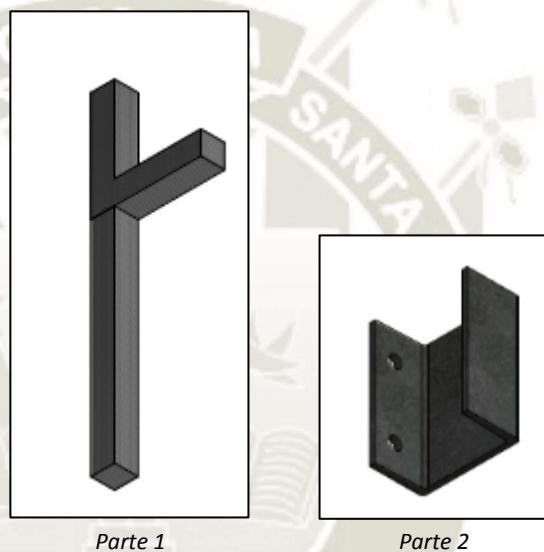


Figura 71: Análisis de Tensión de Soporte Fijo con una fuerza de 50N
Fuente: Propia

Como se observa en el cálculo computacional, el esfuerzo máximo es de 9.27 Mpa, el cual es mucho menor a los 250 MPa del límite de elasticidad o esfuerzo a la fluencia del Acero ASTM A36. [34]

El cálculo computacional se realizó en cada cuerpo, todo se detalla en los informes computacionales de análisis de tensión adjuntos en los Anexos. Como se ve en la figura 72, el soporte fijo se divide en dos cuerpos principales, los cuales se analizaron independientemente.



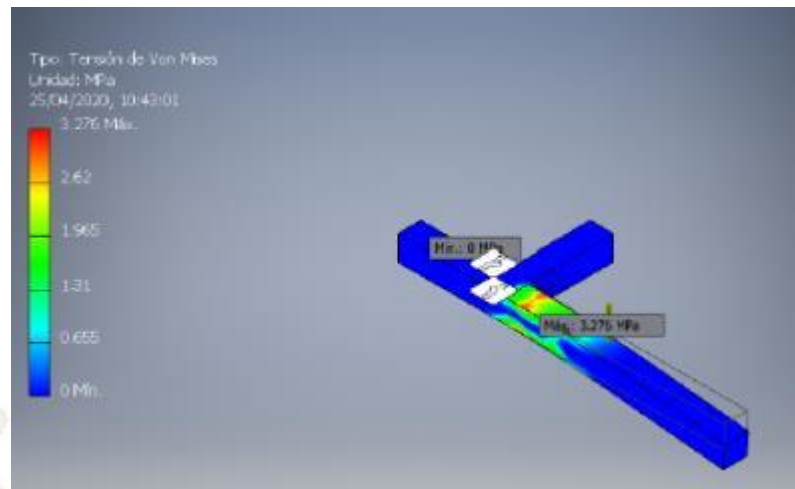
Parte 1

Parte 2

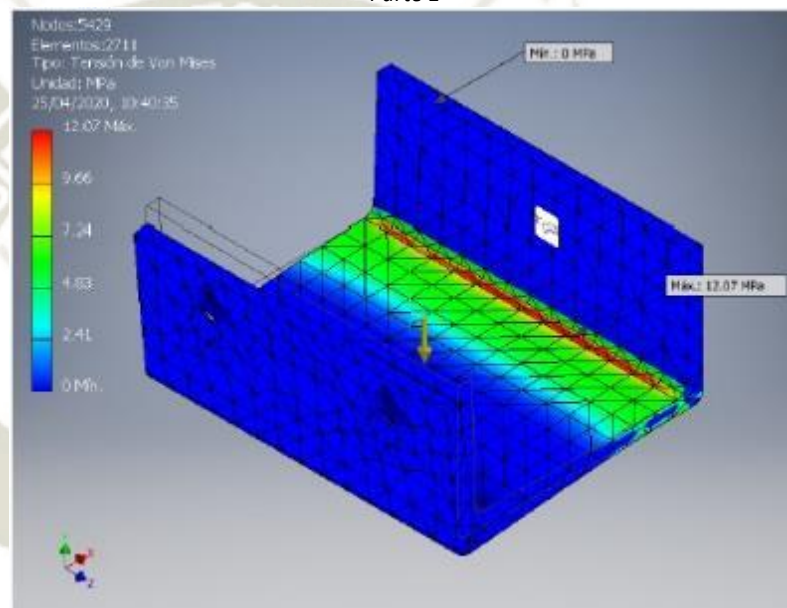
Figura 72: Soporte Fijo Dividido en sus dos cuerpos principales

Fuente: Propia

Se realizó una comparación detallada del análisis computacional con un cálculo analítico de cada parte del Soporte fijo, el cálculo se puede observar en los Anexos. Como se ven en la imagen 73, se realizó el análisis de tensiones de cada parte con una fuerza de 50N, de tal manera que se pueda comparar con el cálculo realizado que en resumen se presenta la Tabla 6, comparando de dos fuentes que el soporte de acero cumple con el objetivo de soportar la pistola Rototec sin ningún problema.



Parte 1



Parte 2

Figura 73: Soporte Fijo Dividido en sus dos cuerpos principales
Fuente: Propia

Tabla 6: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Fijo

SOPORTE FIJO	ANÁLISIS COMPUTACIONAL (MPa)	CÁLCULO ANALÍTICO (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)
PARTE 1	3,276	3,427	248,225
PARTE 2	12,07	13,34	248,225

CUMPLE
CUMPLE

Fuente: Propia Anexada

El equipo se probó en el centro de investigación de la UCSM y cumple con su objetivo principal fijando la pistola al Torno, como se ve en la figura 74 pintado de amarillo y negro. Este Soporte le da estabilidad al equipo durante la operación del Rociado Térmico

ubicándolo a la distancia adecuada del sustrato, fijando su medida, y como se mencionó anteriormente el movimiento horizontal lo hace la carrera del torno, adicionando la movilidad de la tornamesa del Torno para fijar el equipo como necesitemos antes de iniciar la proyección.



Figura 74: Prueba de Soporte Fijo de Negro y amarillo en Torno de la UCSM
Fuente: Propia

3.2.5.3. Soporte móvil

Se añadió la necesidad de mayor libertad de movimiento en los distintos ejes; ya que de acuerdo a la necesidad se deberían hacer otro tipo de evaluaciones dependiendo del tipo de sustrato que se quiere recubrir, sea por su geometría o para poder mover el equipo de tal forma que pueda incluso recubrir paredes internas de un cilindro. Como se observa en la figura 75, se diseñó un segundo soporte al cual llamaremos Soporte Móvil, el cual tiene una forma más compleja añadiéndole más cuerpos para incrementar su movilidad.



Figura 75: Diseño 3D Soporte móvil de pistola Rototec1A
Fuente: Propia

Como se ve en la figura 75, se plantea darle mayor movimiento, siendo este soporte un brazo de 5 cuerpos. Los cuerpos a los extremos serán, uno para anclar a la tornamesa del torno y el otro para sostener la Pistola Rototec, como en el primer diseño. Los otros tres cuerpos le darán la movilidad para poder posicionarlo de distintas maneras variando los parámetros de distancia y altura, a la vez del apoyo de la tornamesa para la movilización en el eje axial.

De igual forma se realizó un análisis de esfuerzos sobre el soporte móvil para verificar su resistencia al esfuerzo del peso de la pistola. Al contrario del anterior soporte, este tendrá cuerpos de acero ASTM A36 y otros de aluminio AI 6063. En la figura 76 vemos cómo se comporta el soporte añadiendo una fuerza de 50N en contra la dirección “Y” donde se ubicaría la pistola.

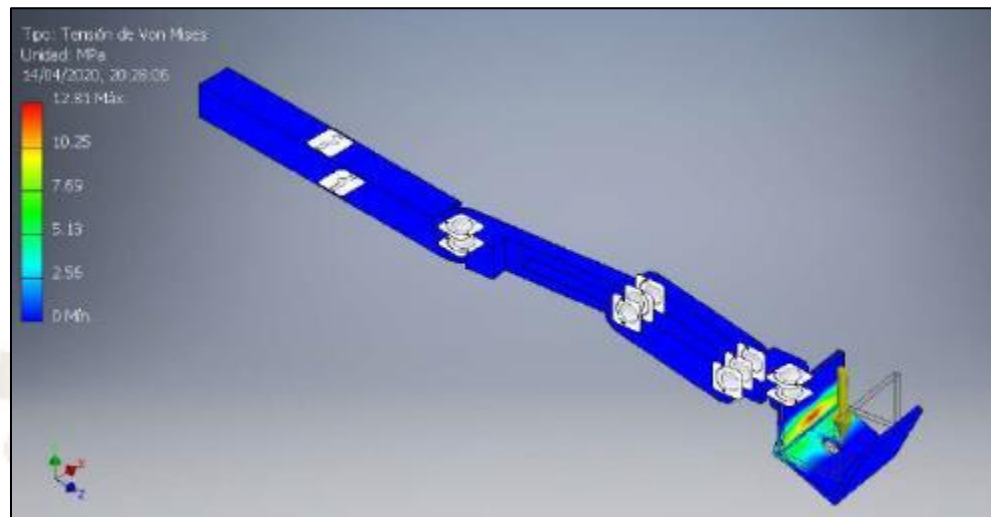


Figura 76: Análisis de Tensión de Soporte Móvil con una fuerza de 50N
Fuente: Propia

Como se observa en el cálculo computacional, el esfuerzo máximo es de 12.81 Mpa ubicado en el cuerpo extremo donde se sostiene la pistola, el cual es mucho menor a los 250 MPa del límite de elasticidad o esfuerzo a la fluencia del Acero ASTM A36 del que está construido. El cálculo computacional se realizó en cada cuerpo para verificar su resistencia al esfuerzo independientemente, en especial porque no todos los cuerpos serán de acero ASTM A36, sino también serán de Aluminio AI 6063 el cual tiene un límite de elasticidad diferente. El esfuerzo a la fluencia del Aluminio 6063 T5 es de 175MPa, todo se detalla en los informes computacionales de análisis de tensión adjuntos en los Anexos. Como se ve en la figura 77, el soporte móvil se divide en cinco cuerpos principales, los cuales se analizaron por separado. [35]

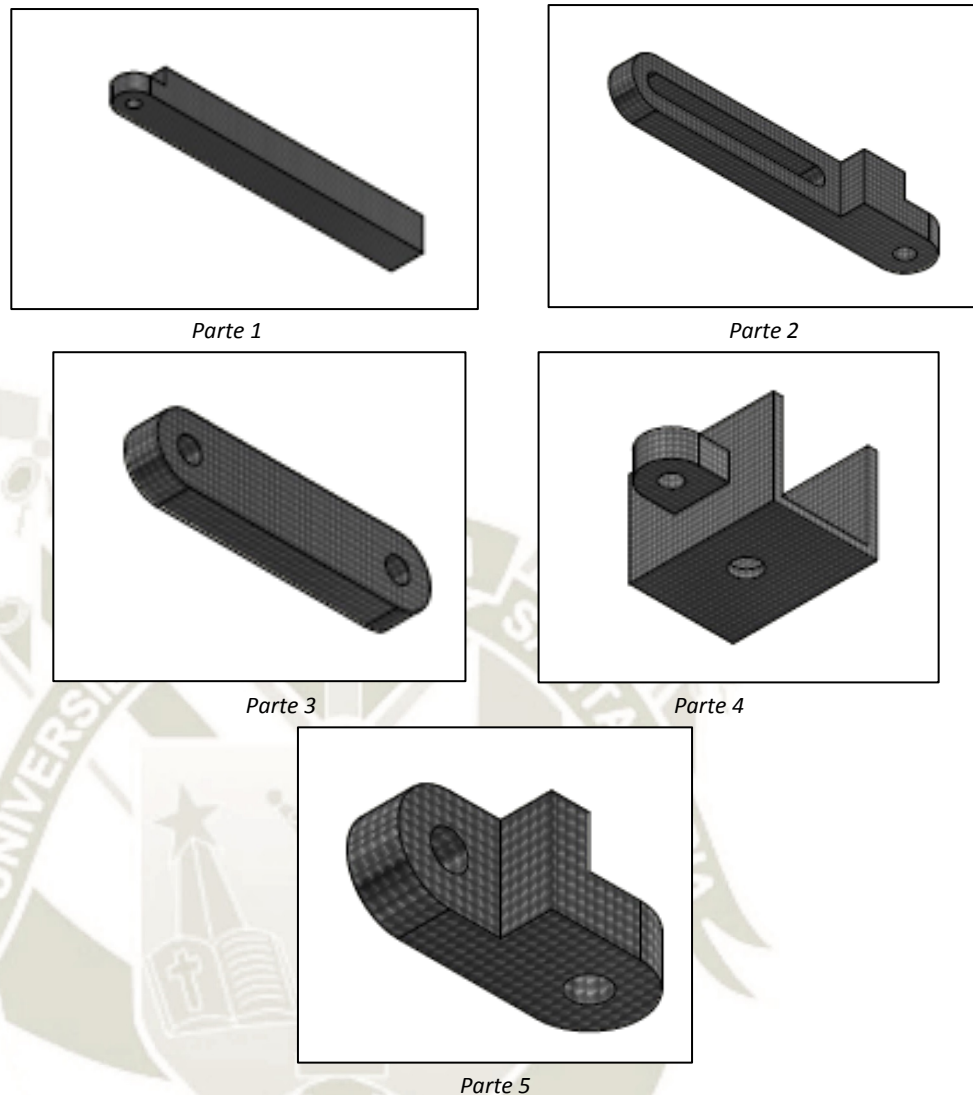
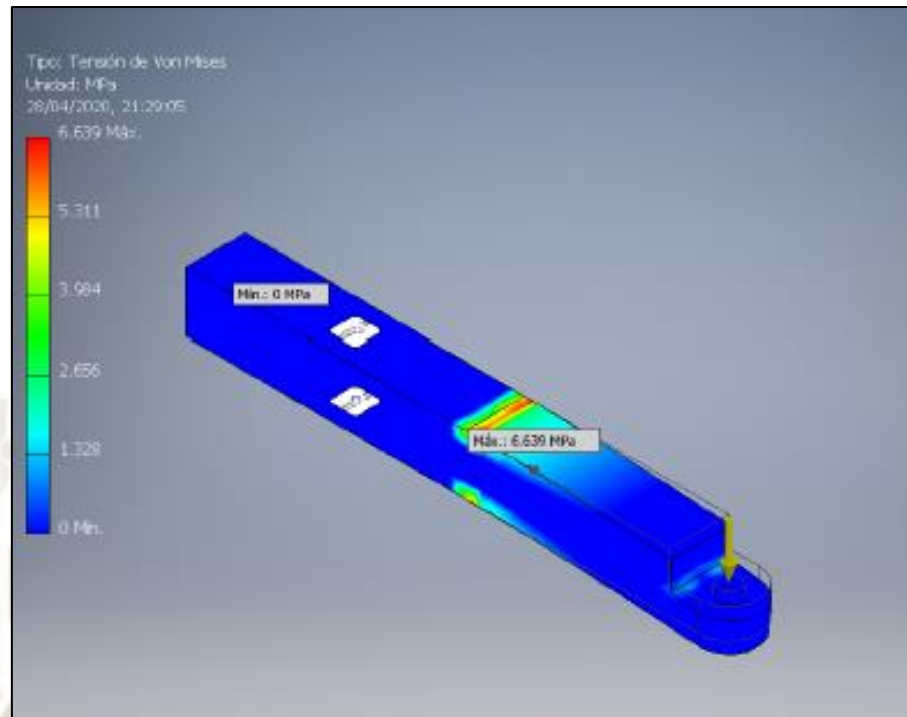
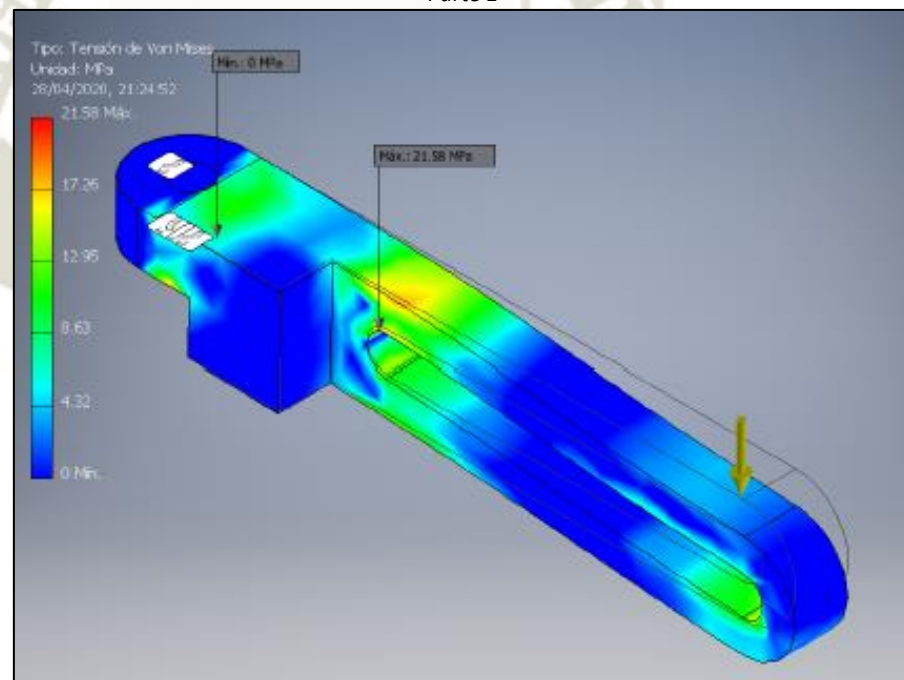


Figura 77: Soporte Móvil Dividido en sus cinco cuerpos
Fuente: Propia

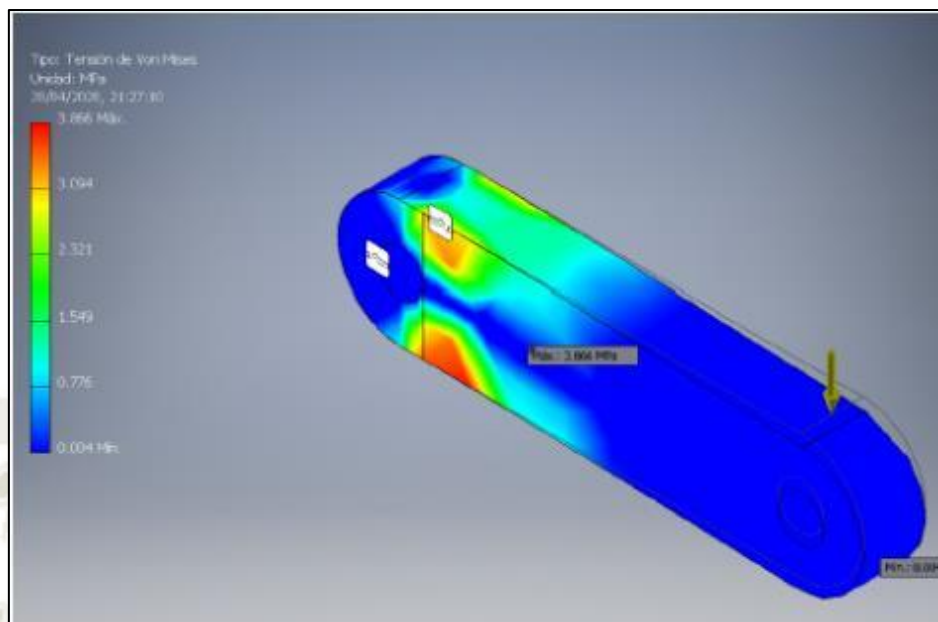
Se realizó una comparación detallada del análisis computacional con un cálculo analítico simplificado de cada parte del Soporte móvil, el cálculo se puede observar en los Anexos. Como se ven en la figura 78 imagen dividida en cada una de las partes del soporte. Se realizó el análisis de tensiones de cada parte con una fuerza de 50N, de tal manera que se pueda comparar con el cálculo realizado que en resumen se presenta la Tabla 7, comparando de dos fuentes que el soporte cumple con el objetivo de soportar la pistola Rototec sin ningún problema.



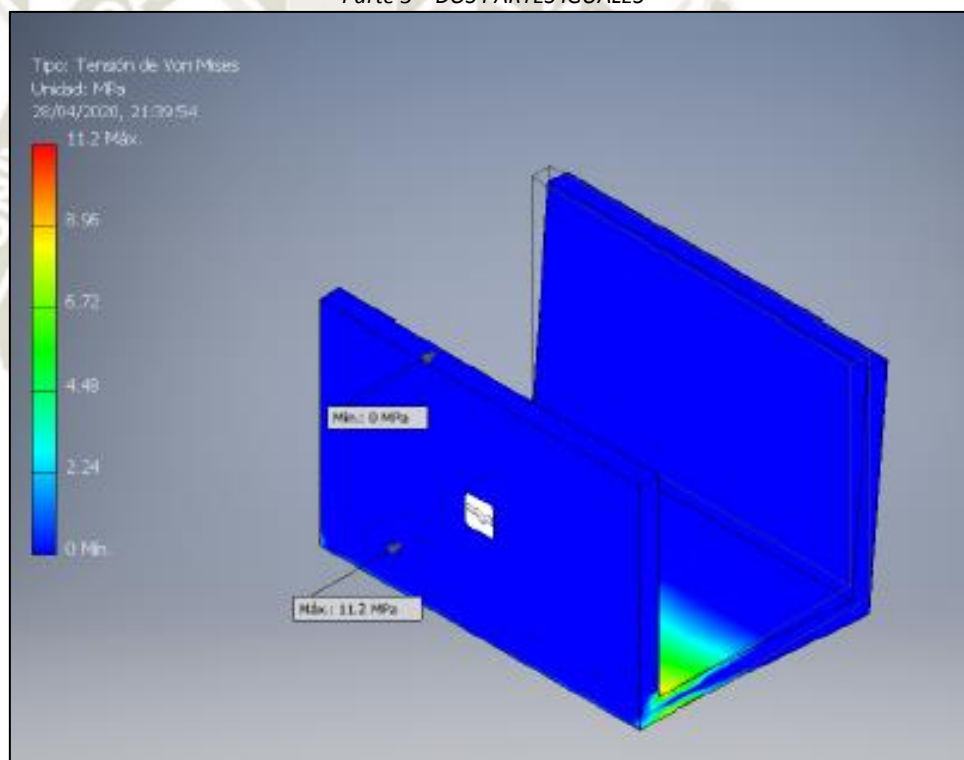
Parte 1



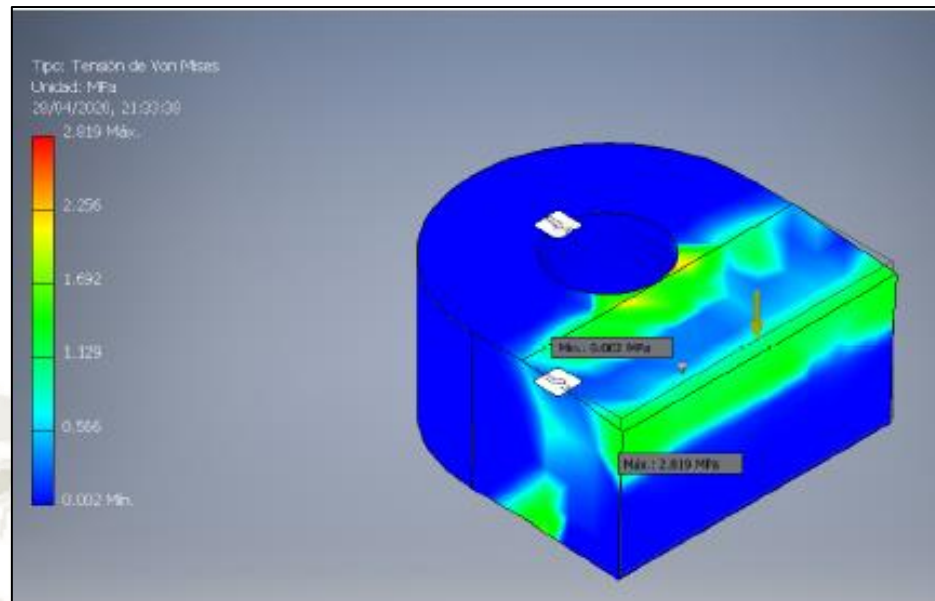
Parte 2



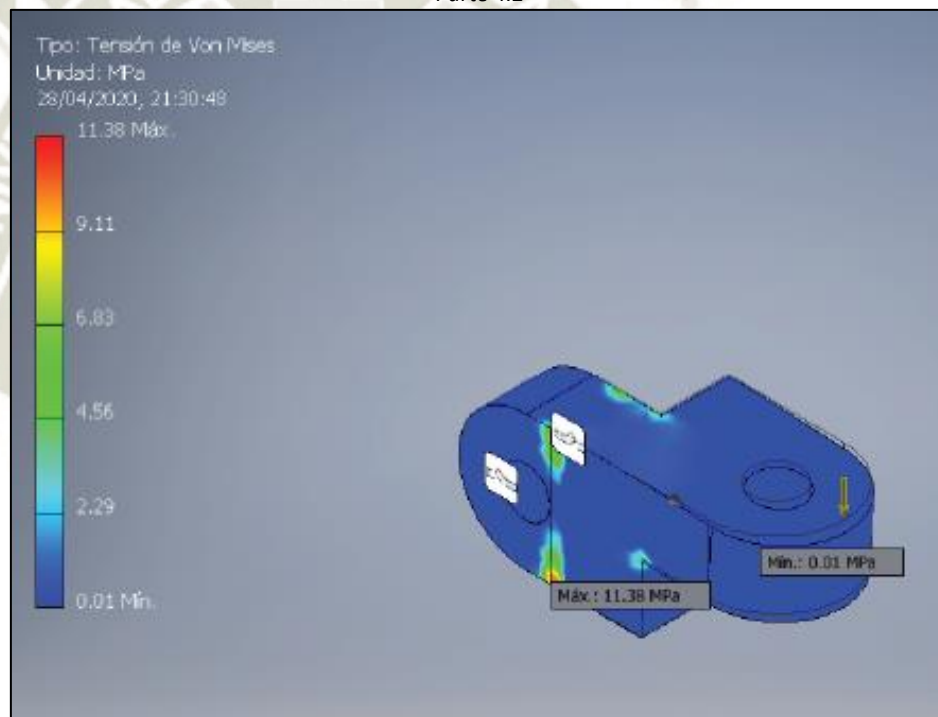
Parte 3 – DOS PARTES IGUALES



Parte 4.1



Parte 4.2



Parte 5

Figura 78: Soporte Móvil Dividido en sus cinco cuerpos principales
Fuente: Propia

Tabla 7: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Móvil

SOPORTE FIJO (Material)	ANALISIS COMPUTACIONAL (MPa)	CALCULO ANALITICO (MPa)	ESFUEZO MAXIMO (MPa)	
PARTE 1 (A36)	6.639	6.825	248,225	CUMPLE
PARTE 2 (Al)	21.58	17.815	175	CUMPLE
PARTE 3 (Al) x 2	3.866 x2	2.638 x2	175	CUMPLE
PARTE 4.1 (A36)	11.2	12.33	248,225	CUMPLE
PARTE 4.2 (A36)	2.819	1.48	248,225	CUMPLE
PARTE 5 (Al)	11.38	9.91	175	CUMPLE

Fuente: Propia Anexada

El equipo se probó en el centro de investigación de la UCSM y cumple con su objetivo principal fijando la pistola al Torno, como se ve en la figura 79. Este Soporte le da estabilidad al equipo durante la operación del Rociado Térmico ubicándolo a la distancia adecuada del sustrato, fijando su medida, y como se mencionó anteriormente añade movilidad en el eje vertical para fijar el equipo como necesitamos antes de iniciar la proyección.



Figura 79: Prueba de Soporte Móvil de Plomo en Torno de la UCSM

Fuente: Propia

3.3. Selección de recubrimientos

Como se mencionó, la selección del recubrimiento se determina mediante un análisis preciso de las condiciones de operación, realizamos nuestra selección en base a esta premisa, además en función a la disponibilidad en el mercado. Actualmente la tecnología del rociado térmico en nuestras múltiples industrias no es conocida, en consecuencia, el ámbito comercial para la adquisición de los recursos para desarrollar esta tecnología es limitada.

3.3.1. Polvos para recubrimiento según tipo de desgaste

Cada polvo para recubrimiento tiene características distintas que la hacen más resistente al desgaste en algunas aplicaciones que en otras. Estos recubrimientos, debido a los diversos factores de desgaste, se clasifican en la tabla 8 de acuerdo a los polvos comerciales Eutectic Castolin y su codificación. A su vez en la Tabla 9 se mencionan y describen cada uno de estas aleaciones de polvos metálicos y sus características. [32]

La selección de la capa de aleación se determina mediante un análisis preciso de las condiciones de operación. Por ejemplo, en el desgaste por fricción, los tipos de materiales en contacto son un factor importante. [32]

Tabla 8: Escala del 0 al 10 de algunas aleaciones de polvos metálicos de Eutectic Castolin según sus codificaciones numéricas

Aleaciones en frío										
Material	Maquinabilidad	Resistencia					Dureza típica	Temperatura máxima Operación Ar (°C)	Densidad (kg/dm)	Límite de espesor (aprox.)
		Fricción	Abrasión	Choque	Grapado	Corrosión				
19400	7	9	8	NO	9	9	30 HRC	540	7,69	1,5mm
19850	10	10	6	RE CO MEN DA DO	9	9	105 HB	540	7,50	3,8mm
19910	Ret	9	8		8	8	30 HRC	540	7,69	1,5mm
19985	8	8	7		9	9	130 HB	540	7,63	2,5mm
21021	6	10	6		10	9	135 HB	540	7,69	6,3mm
21022	9	9	8		9	7	145 HB	650	7,50	6,3mm
21032-S	9	9	9		9	10	30 HRC	650	8,07	6,3mm
21071	10	10	5		10	7	100 HB	370	7,5	6,3mm
25000	N/D	N/D	N/D		N/D	N/D	N/D	540	7,69	N/D

N/D = No Determinado

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

Tabla 9: Características de aleaciones de polvos metálicos de Eutectic-Castolin

POLVOS METALICOS PARA ROTOTEC 1A		
MATERIAL	DESCRIPCION	APLICACIONES TÍPICAS
HARDTEC 19400	Aleación martensítica de alto cromo. Resiste el desgaste por abrasión y características. Excelente tenacidad. Se puede usar en grandes rellenos Mecanizable	Piezas de presión, piezas de bomba, anillos de desgaste, camisas de cilindro.
FrixTec 19850	Aleación de bronce para uso general. Baja porosidad, endurecimiento en servicio, alto resistencia a la tracción, bajo coeficiente de fricción Excelente maquinabilidad.	Ejes de transmisión, cubiertas del motor, pistones, ejes transportadores.
DuroTec 19910	Rectificado, presenta excelente mano de obra. Bajo coeficiente de fricción. Alta dureza, resistencia superior a la abrasión, alta resistencia a la compresión.	Ejes de accionamiento del ventilador, ejes del ventilador rectificadores, husillos, pistones hidráulicos.
LubroTec 19985	Aleación de relleno resistente a la corrosión y Propósito general. Mecanizado, presenta superficie lisa. Excelente resistencia al desgaste por fricción. Alta resistencia a la compresión.	Ejes de motor, bujes de cojinetes, botellas de bomba, guías de máquina, soportes de rodamientos.
ProXon 21021	Aleación a base de níquel para uso general. Su alta resistencia de unión permite reconstrucciones en piezas gruesas.	Reconstrucción de piezas de acero y aleaciones. níquel, como ejes de bombas, ejes de motores, soportes de rodamientos, rodamientos y piezas ensambladas bajo presión.
ProXon 21022	Aleaciones de base de níquel, fácilmente mecanizables. Su alta fuerza de unión permite gruesas reconstrucciones.	Alojamientos, reconstrucciones donde el acabado es crítico y requiere mecanizado. Partes típicas: eje de bomba, eje de bomba motores, soportes de rectificado.

ProXon 21032-S	Aleación especialmente diseñada para alta resistencia. corrosión y abrasión en medios corrosivo.	Protección contra la corrosión, fricción y abrasión. en partes de bombas y partes de máquinas utilizado en la fabricación de papel.
Proxon 21071	Aleación de bronce aluminio de bajo coeficiente de fricción donde los depósitos pueden ser mecanizados con acabado pulido	Recomendado para aplicaciones de rodamientos de baja dureza, sellos de la bomba, válvulas Ideal para reconstruir partes de cobre y aleaciones bajas en carbono.
UltraBond 25000	Características superiores de agarre. Proporciona superficies texturizadas. adecuado para el posterior recubrimiento con aleación final RotoTec.	Capa de agarre requerida para todos los polvos de aleaciones de proceso en frío RotoTec.

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

3.3.2. Selección y adquisición de polvos

Según las propiedades y tipos de recubrimientos que ofrece Eutectic-Castolin para la Rototec1A, elegimos un recubrimiento en polvo del tipo autoadhesivo y otro que requiere una capa inicial para su aplicación. Seleccionamos los siguientes materiales para recubrimiento de superficies por oxidación según el análisis a desarrollar y la disponibilidad en nuestro mercado:

- Ultrabond 50000 (capa inicial de recubrimiento)
- Metaceram 29012
- Proxon 21071

El fabricante también ofrece un aditivo que tiene la capacidad de proteger áreas del sustrato que no queremos recubrir. Este aditivo tiene el nombre de “Solución 103”, necesario para

una correcta evaluación y estudio del rociado térmico. La Solución 103 está incluida dentro de nuestros materiales consumibles de nuestro módulo para Rociado Térmico.

La tabla 10 presenta la descripción, composición y especificación técnica para cada polvo seleccionado.

Tabla 10: Tabla de Comparación de análisis de Esfuerzos Soporte Móvil

POLVOS METALICOS PARA ROTOTEC 1A				
MATERIAL	DESCRIPCION	COMPOSICION	PROPIEDADES DEL POLVO	PROPIEDADES DE REVESTIMIENTO
UltraBond 50000	Características superiores de agarre. Proporciona superficies texturizadas. adecuado para el posterior recubrimiento con aleación final RotoTec.	Ni-Al-Mo alloy (Eutectic Castolin)	Tº max de servicio : 540°C Temp. de aplicación : mín y máx 100° y 250°C Límite de espesor del depósito: 0.1 a 0.2 mm	Recubrimiento de unión resistente que ofrece la mejor protección contra falla de recubrimiento. Su utilización en combinación con otros recubrimientos como capa inicial se especifica en el rotulo de otros polvos, generalmente de la línea de Proxon.
Metaceram 29012	Aleación de relleno resistente a la corrosión y Propósito general. Mecanizado, presenta superficie lisa. Excelente resistencia al desgaste por fricción. Alta resistencia a la compresión.	Fe-Cr-Ni alloy (Eutectic Castolin)	Densidad típica: 7.0 g / cc Densidad aparente: 2.7 g/cc Dureza :37Rc Temp. máxima de servicio : 538°C Temp. de aplicación : mín y máx: 100° y 250°C Límite de espesor del depósito: 0.1 pulg	Polvo que debe usarse junto con un polvo de capa adhesiva como 50000 o 21021 o 21031. El control del tamaño de partícula y la química aseguran que los recubrimientos ofrecerá una excelente resistencia al desgaste abrasivo y al desgaste debido a choque mecánico.
Proxon 21071	Aleación de bronce aluminio de bajo coeficiente de fricción donde los depósitos pueden ser mecanizados con acabado pulido	Cu-Al-Fe alloy (Eutectic Castolin)	Densidad aparente: 4.3 g / cc Cobertura de polvo: 0.19 kg / mt2 a 0.025 mm de espesor	Aleación de bronce de aluminio atomizado con gas, polvo diseñado para producir recubrimientos homogéneos, tanto para los procesos de proyección con plasma como de proyección por oxcombustión.

Fuente: Manual Rototec1A, Productos de revestimiento de Eutectic Castolin.

3.3.3. Evaluación de polvos comerciales seleccionados

El Laboratorio Nacional CENAPROT (Mexico) en convenio con la UCSM, realizó la evaluación de polvos para recubrimiento seleccionados en nuestra investigación.

Polvo 1: Ultrabond 50000 Ni-Al-Mo alloy (Eutectic Castolin)

Polvo 2: Metaceram 29012 Fe-Cr-Ni alloy (Eutectic Castolin)

Polvo 3: Proxon 21071 Cu-Al-Fe alloy (Eutectic Castolin)

La evaluación experimental de los polvos comprende:

- Distribución y tamaño de partícula
- Morfología y microestructura
- Composición química
- Características estructurales

La distribución del tamaño de partícula de los polvos comerciales se realizó en un analizador de partículas por difracción láser (HELOS H3421, Sympatec). Se utilizaron dos tipos de sensores RODOS que son sensibles en el rango 0.25/0.45-87.5 μm (R2) y de 0.5/1.8-350 μm (R4) utilizando una presión de dispersión de las partículas de 1 bar. Cada una de las medidas se realizó por duplicado. [36]

Posteriormente, se llevó a cabo la preparación de la sección de los polvos, los cuales se montaron en resina en frío y se prepararon metalográficamente mediante desbaste y pulido utilizando lijas de SiC (P400 a P2500) y suspensión de alúmina, respectivamente. Como paso final de la preparación metalográfica, las probetas se colocaron en una vibropulidora (GIGA-0900, Pace Technologies) durante 2 horas utilizando una suspensión de sílice coloidal. [36]

La morfología de los polvos se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido utilizando un microscopio XL30 ESEM, Philips. El voltaje de aceleración utilizado fue de

20kV con un spot size alrededor de 4.0. Las imágenes se tomaron a 100x, 500x, 1000x y 2500x con un detector de electrones secundarios para evaluar la morfología y un detector de electrones retrodispersados para evaluar la sección transversal. Posteriormente, se evaluó la composición química de los polvos para determinar que corresponde a la indicada en la etiqueta de los mismos. Esta se realizó en el mismo microscopio electrónico de barrido, adaptado con un detector EDX Xflash6I10, Bruker. [36]

Finalmente se llevó a cabo la caracterización estructural para determinar las fases presentes en los polvos mediante difracción de rayos X (Dmax2100, Rigaku). [36]

3.3.3.1. Distribución de tamaño de partícula

Todos los polvos mostraron una distribución de partículas en ambos rangos de los sensores utilizados (R1 y R2), lo que sugiere que: 1) el rango de tamaño de partícula es amplio o 2) la presencia de una distribución bimodal. La tabla 11 indica los valores de las distribuciones de los polvos determinados con cada uno de los sensores. [36]

Tabla 11: Tamaño de distribución de Particula

Polvo ID	X ₉₀ (μm)	X ₅₀ (μm)	X ₁₀ (μm)	VMD (μm)
Ultrabond 50000 (R2)	47.0	24.0	3.67	24.5
Ultrabond 50000 (R4)	120.1	81.0	13.5	76.5
Metaceram 29012 (R2)	45.3	37.2	22.3	35.2
Metaceram 29012 (R4)	128.7	88.8	51.8	89.0
Proxon 21071 (R2)	52.4	39.6	24.9	38.9
Proxon 21071 (R4)	121.3	92.1	63.7	92.5

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

3.3.3.2. Morfología y microestructura

En el análisis del polvo Ultrabond 50000 se puede observar que estos presentan morfología en su mayoría irregular, aunque las partículas más pequeñas son esféricas. En la sección transversal de los polvos se puede observar que algunas partículas presentan porosidad en su interior. [36]

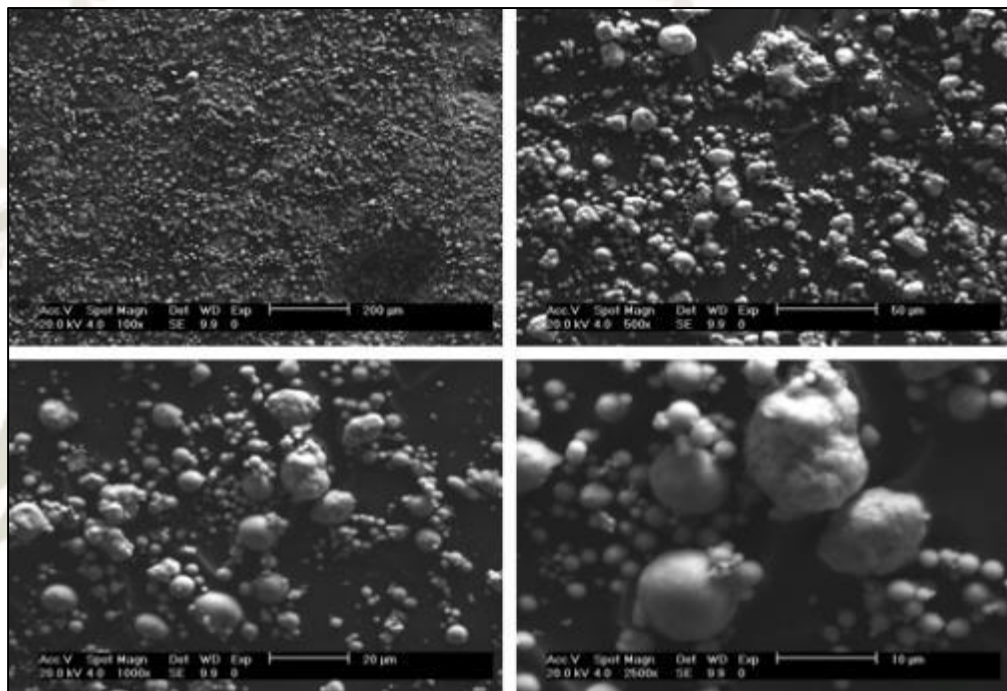


Figura 80: Polvo Ultrabond 50000 a 100x, 500x, 1000x y 2500x. Imágenes de electrones secundarios (SE).

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

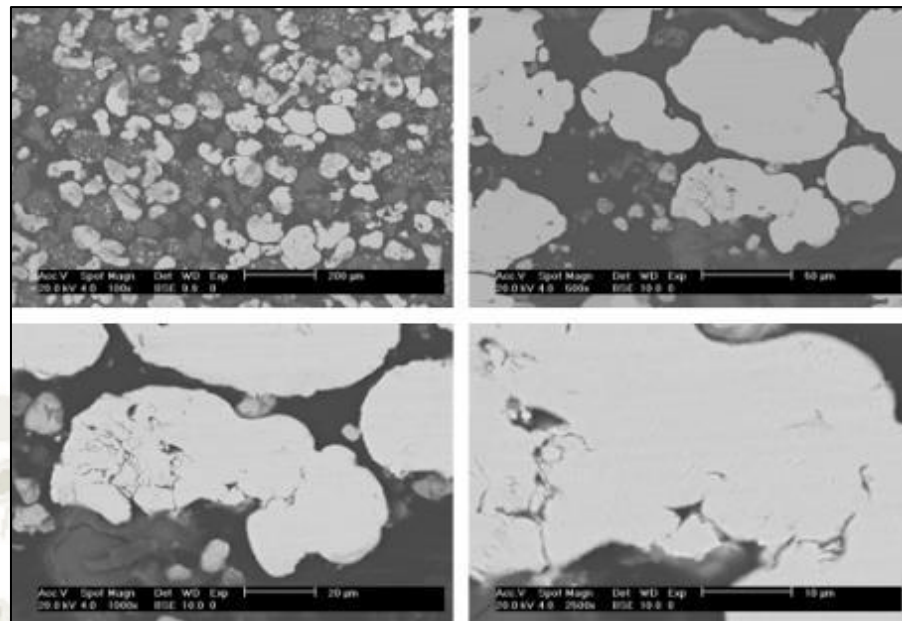


Figura 81: Sección transversal de los polvos Ultrabond 50000 a 500x y 1000x. Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

En el análisis del polvo Proxon 21071 muestran morfología esférica regular. La sección transversal reveló que los polvos Proxon 21071 son densos. [36]

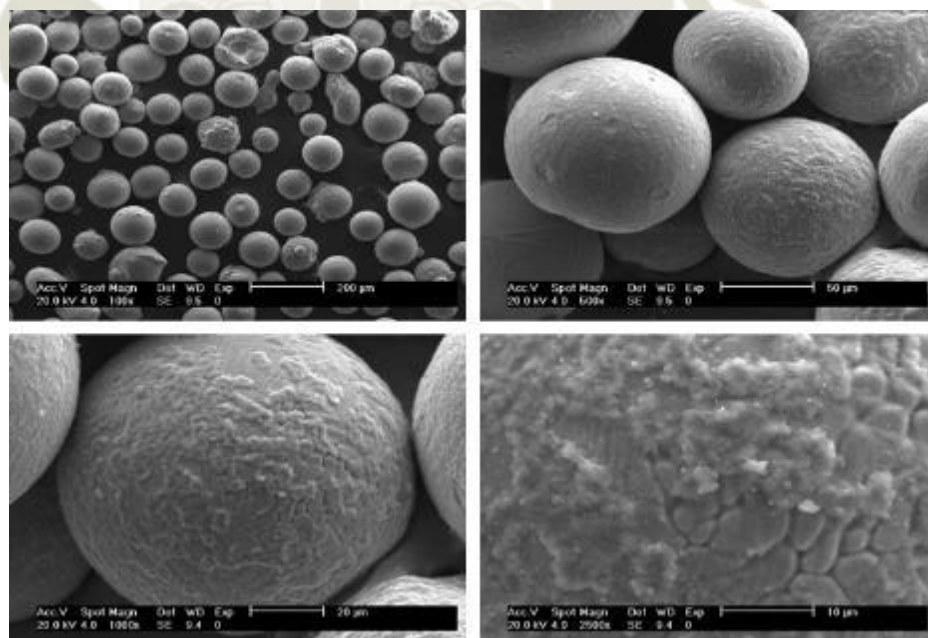


Figura 82: Polvo Proxon 21071 a 100x, 500x, 1000x y 2500x. Imágenes de electrones secundarios (SE).

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

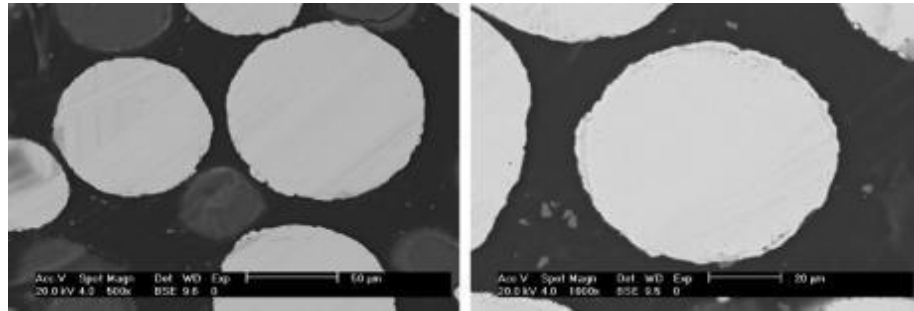


Figura 83: Sección transversal de los polvos Proxon 21071 a 500x y 1000x. Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

En el análisis del polvo Metaceram 29012 muestra que consiste de partículas irregulares y en su mayoría densos. La sección transversal muestra dispersión en su composición. [36]

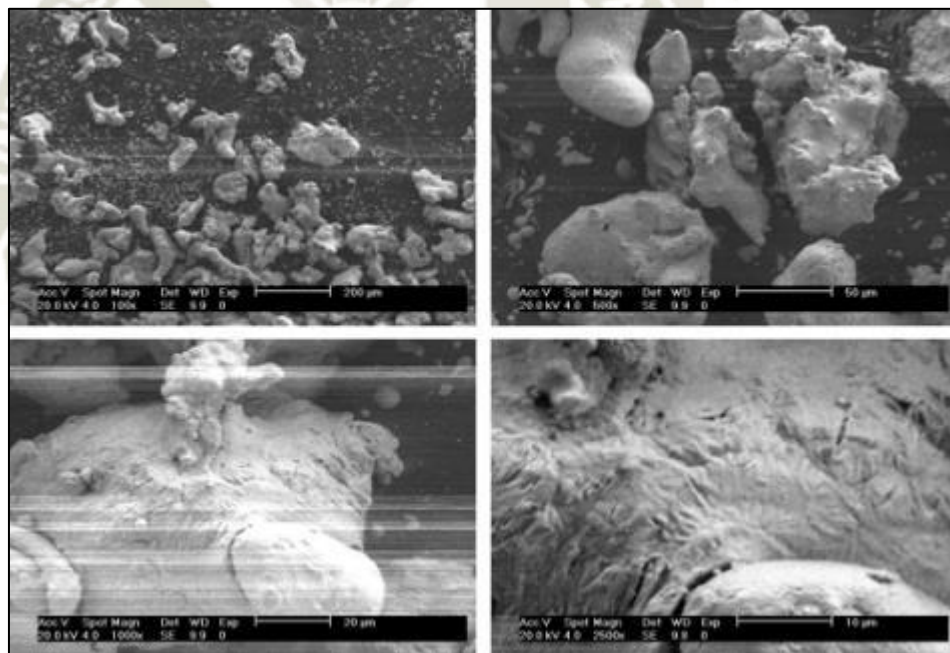


Figura 84: Polvo Metaceram 29012 a 100x, 500x, 1000x y 2500x. Imágenes de electrones secundarios (SE).

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

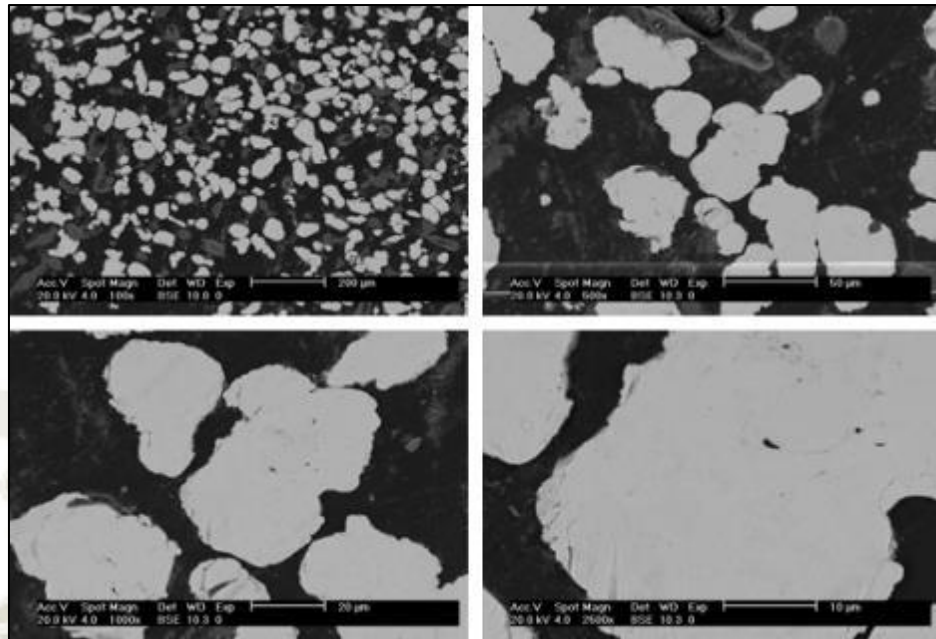


Figura 85: Sección transversal de los polvos Metaceram 29012 a 500x y 1000x. Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

3.3.3.3. Composición química

En la tabla 12 muestra los datos de composición química por microscopio electrónico de barrido (Dispersión de energía por rayos X - EDX). Es gracias a este análisis que se comprueba la presencia de los elementos señalados en la etiqueta de los polvos. Únicamente en el caso de los polvos Metaceram 29012, no se detectó contenidos de Ni. Además, se observó un alto contenido de oxígeno en los polvos lo que sugiere contaminación en la superficie de las probetas u oxidación de los mismos. [36]

Tabla 12: Composición química de los polvos evaluada por EDX

Composición (% at.)									
ID	Ni	Al	Mo	Fe	Cr	Cu	Mn	Ta	O
Ultrabond 50000	64.4	15.8	0.02	-	-	-	-	1.9	17.9
Metaceram 29012	0.0	-	-	48.1	18.1	-	-	-	33.8

Proxon 21071 - 20.4 - 1.2 - 67.0 - - 11.4

FUENTE: CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

3.3.3.4. Características estructurales

En los polvos Ultrabond 50000 se observó la presencia de la fase Ni₃Al, así como de NiO y Al metálico. Debido al bajo contenido de Mo observado por Energía de Difracción por Rayos X (EDX) se asume que el Mo se encuentra en solución sólida con alguna de las fases anteriormente mencionadas. [36]

Los polvos Metaceram 29012 mostraron un patrón de difracción ruidoso y con un bajo número de cuentas, a pesar de que este se midió dos veces. Con este patrón sólo se pudieron identificar picos correspondientes al Fe. El alto contenido de oxígeno en el polvo Metaceram 29012 sugiere la presencia de algún óxido de Fe, Cr o Ni, o sus combinaciones, sin embargo, no se pudo confirmar por difracción de rayos X. [36]

En el caso del polvo Proxon 21071. La base de datos con la que cuenta el software X'Pert no fue posible identificar las fases presentes. Sin embargo, en la Figura 160JOSS se muestra un patrón de la fase Cu₃Al. [36]

CAPITULO IV

4. PROTOCOLO DE EJECUCION PARA ROCIADO TERMICO POR OXICOMBUSTION

4.1. ¿Qué es un protocolo?

Un protocolo es un reglamento o una serie de instrucciones que se fijan por tradición o por convenio. Partiendo de este significado, es posible emplear la noción en diferentes contextos. Un protocolo puede ser un documento o una normativa que establece cómo se debe actuar en ciertos procedimientos. De este modo, recopila conductas, acciones y técnicas que se consideran adecuadas ante ciertas situaciones. [37]

El protocolo desarrollado en esta tesis es un documento que busca implementar un procedimiento de fácil entendimiento con la intención de establecer parámetros fijos antes, durante y finalizado el proceso de Rociado Térmico por oxidación con una Rototec 1A sobre sustratos que mayormente, por cuestiones de estudio e investigación, se sugieren que sean de acero y de forma cilíndrica para las futuras pruebas en el Torno durante la operación de rociado.

4.2. Verificación y uso de la Rototec 1 A

El proceso en frío Rototec desarrolla una técnica de recubrimiento que no requiere calentamiento posterior al depósito, siendo la temperatura de la pieza controlada con lápiz térmico, no superior a 250°C, lo que evita cualquier cambio en la estructura del metal base y el riesgo de deformación de la pieza. [32]

Rototec 1A es un sistema para aplicar polvos para recubrimiento de distintas aleaciones para varios tipos de superficie (sustrato). Los polvos para recubrimientos se pueden mecanizar con una herramienta de corte o rectificado a las dimensiones deseadas, como cualquier metal. Esto significa: [32]

- a) Las piezas gastadas se pueden reconstruir a las dimensiones originales.
- b) Los errores de mecanizado pueden corregirse.
- c) Los materiales altamente resistentes al desgaste se pueden aplicar a metales de bajo costo y fáciles de fabricar para aumentar la vida útil de las piezas y reducir los costos.

4.2.1. Consideraciones técnicas

4.2.1.1. Cálculo del consumo de las aleaciones de polvos metálicos

Para calcular la cantidad de aleación requerida para recubrir un eje, utilice el siguiente procedimiento. [32]

$$V_{eje} = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot e}{1,000,000}$$

V_{eje}: Volumen de aleación en eje

D: Diámetro del eje

L: Longitud del eje

e: Espesor del revestimiento

Para superficies planas: área de superficie x espesor de recubrimiento / 1,000,000 = volumen de aleación requerido. [32]

$$V_{sup} = \frac{A \cdot e}{1,000,000}$$

V_{sup} : Volumen de aleación en superficie plana

A: Área de superficie

e: Espesor del revestimiento

Ahora multiplique el valor del volumen por la densidad (kg / dm³) del producto seleccionado (consulte la tabla 8) y dividir por 0.85 (rendimiento promedio). El valor encontrado es el consumo de aleación requerido. [32]

$$\text{CONSUMO DE ALEACION} = \frac{V \cdot d}{0.85}$$

V: Volumen de aleación (Ejes o Sup. Plana)

d: densidad

4.2.1.2. Cálculo de rotación de pulverización (RPM)

Como la velocidad periférica se mide en función del diámetro y las revoluciones por minuto de la pieza cilíndrica, como se ve en la formula siguiente:

$$Vp = \pi * D * RPM$$

Las RPM recomendadas se hallan de la siguiente manera:

$$RPM = \frac{Vp * 320}{D}$$

RPM: Rotaciones por minuto

D: Diámetro de la pieza en mm

Vp: Velocidad periferica m/min

Vminima= 45 M/MIN

Vmaxima= 60 M/MIN

Este cálculo nos permite obtener la rotación en RPM en relación al diámetro en mm de la pieza cilíndrica, a velocidades periféricas de entre 45 y 60 m/min, como se recomienda en el Manual.

A continuación, vemos en la figura 86 el comportamiento de la rotación de la pieza, variando diámetros estándares de entre 30 y 250 mm a velocidades periféricas ya establecidas.

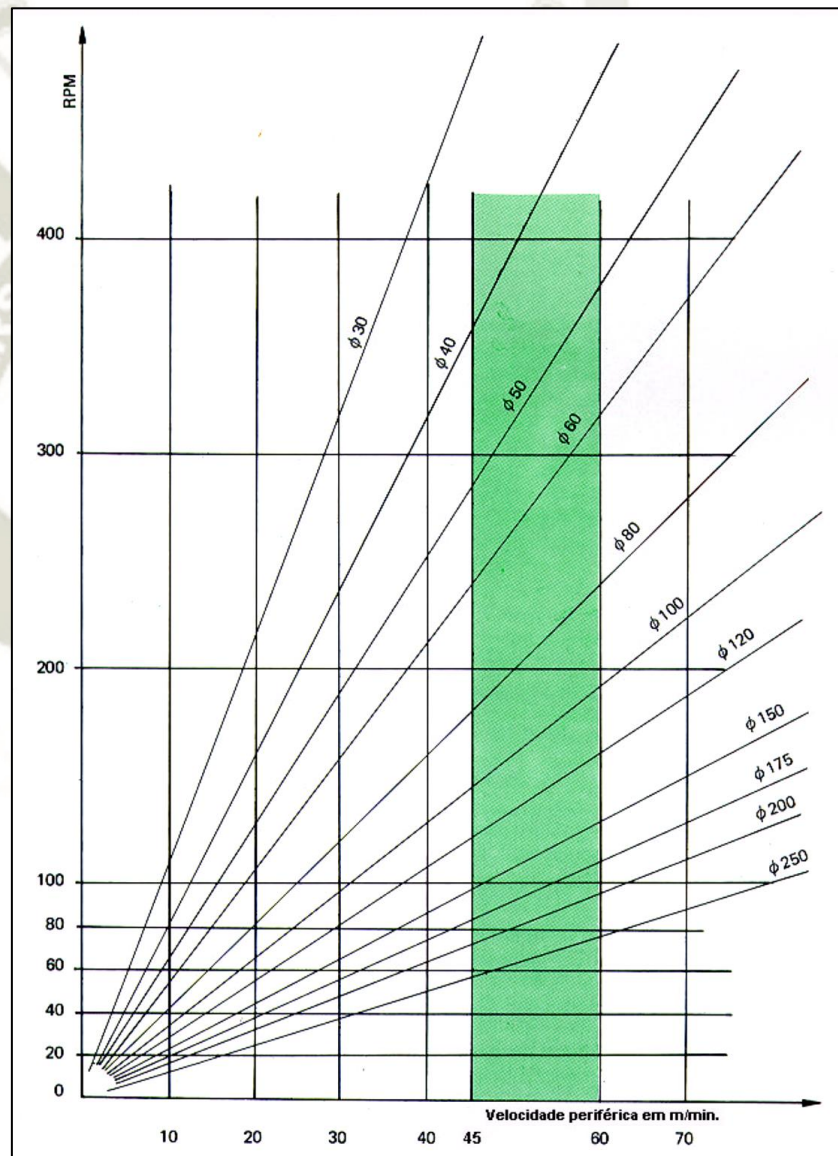


Figura 86: Grafico de Velocidad Periférica vs RPM en cilindros de diferentes diámetros.
Fuente: Base de datos computarizada de aplicaciones Rototec en industria de Eutectic-Castolin.

4.2.2. Consideraciones de seguridad

Cada Rototec 1A es calibrado en fábrica a estrictos parámetros de operación. El único mantenimiento de rutina que requiere es mantener la boquilla y los conductos de aleación de micro rociado sin algún tipo de obstrucción y limpios. [32]

4.2.2.1. Mangueras

Asegurarse de que las mangueras estén libres de obstáculos. No use mangueras que puedan contener polvo o aceite. No apretar demasiado las conexiones. No se debe pisar las mangueras, esto podría causar su deterioro precoz y futuras pérdidas de presión por fugas [32]

4.2.2.2. Precauciones de operación

El proceso de Rociado Térmico debe hacerse preferiblemente en áreas amplias, con un sistema de ventilación que ayude a la evacuación de los gases generados por la oxicomcombustión. [32]

La Universidad Católica de Santa María aporta al desarrollo de esta nueva línea de investigación, otorgando un ambiente específico para el Rociado Térmico. Este ambiente requiere características técnicas específicas, como la antes mencionada, así como el uso de equipo para protección personal que incluyen lentes oscuros y careta facial que protegen los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactivos para protección a la radiación que emite la combustión del acetileno con el oxígeno, mascarilla respiratoria para humos metálicos, guantes de cuero tipo mosquetero con costura interna para protección de manos y muñecas, colete o delantal de cuero para protección de salpicaduras, tapones de

oídos para protección de oídos frente, lentes de seguridad para protección de los ojos, zapatos de seguridad para prevenir aplastamiento de los dedos de los pies ante la caída de cualquier material. Aquí se llevarán a cabo los trabajos de investigación de rociado térmico con toda la precaución y seguridad necesaria para el desarrollo de esta nueva rama de investigación en nuestra escuela.

4.2.2.3. Seguridad personal

La seguridad personal es el conjunto de normas para prevención y operación que se apoyan en procedimientos, programas y equipos de seguridad de protección que están dirigidos a minimizar, controlar o eliminar los peligros y en efecto los riesgos a los que nos exponemos frente al desarrollo de, en este caso, el proceso de rociado térmico por Oxidación.

Conocer las consecuencias de los accidentes por la operación de la Rototec 1A y los factores desencadenantes de las enfermedades por la inadecuada operación de la misma, se constituye como acción de obligatorio cumplimiento, es por ello que bajo las recomendaciones dadas por el fabricante Eutectic-Castolin y sumando las que por experiencia laboral conocemos mencionamos: [32]

- a) La pulverización térmica puede producir humos y gases eso puede ser dañino para tu salud.
- b) Los rayos de calor (radiación infrarroja) de la llamas o metales calientes pueden dañar sus ojos.
- c) Mantenga la cabeza alejada del humo.
- d) Use mucha ventilación, extractor de humos o ambos, para mantener los humos y gases lejos de su área de respiración y el área general.
- e) Use protección adecuada para los ojos, los oídos y el cuerpo.

- f) Verificar el buen estado de las mangueras de gases.
- g) No tener en el área de trabajo material inflamable.
- h) Mantener aseguradas las botellas contenedoras de gases para que estas no pierdan el equilibrio
- i) Mantener las presiones recomendadas en las válvulas reguladoras de presión.
- j) Cuando se deje de operar el equipo, purgar las líneas de baja presión y cerrar las válvulas de las botellas contenedoras de gases.
- k) El orden de encendido es primero con acetileno y paulatinamente luego oxígeno.
- l) El orden de apagado correcto es primero cortar el oxígeno luego el acetileno.

4.2.3. Mantenimiento del sistema Rototec 1A

El sistema de Eutectic Eutalloy para Rociado Térmico por oxicomustión Rototec1A, sistema seleccionado para nuestra investigación, nos brinda directrices para su correcto mantenimiento y conservación, esto para poder mantener las características y propiedades del mismo. Es importante mencionar que los distintos materiales y partes que conforman este equipo, mostrados en la figura 87, deben manipularse según lo detallado en el manual del mismo y que aquí lo mencionamos: [32]

- a) Mantener el equipo limpio. No se debe permitir que diferentes aleaciones se mezclan en la válvula y en el tubo de alimentación. Se indica que la limpieza de los conductos de rociado debe ser después de cada uso. [32]
- b) Se debe proteger los polvos para recubrimiento de la humedad y otras formas de contaminación que afecten las características del mismo. [32]

- c) Los polvos para recubrimiento que fueron expuestos a cualquier tipo de humedad, se pueden secar en una bandeja de aluminio o acero inoxidable a una temperatura de 100 a 150 °C según manual. [32]
- d) Finalmente, después de un periodo amplio de uso, los dos anillos de goma que se encuentran al interior de la tuerca de conexión de la asta con el mezclador pueden requerir reemplazo. Para esto debemos retirar el anillo de retención o arandela de seguridad de su posición en la zona de muesca y luego mover la tuerca hacia adelante. Esto deja los anillos expuestos para su correcta sustitución. Remplacémoslo y volvamos a ensamblar el conjunto. [32]

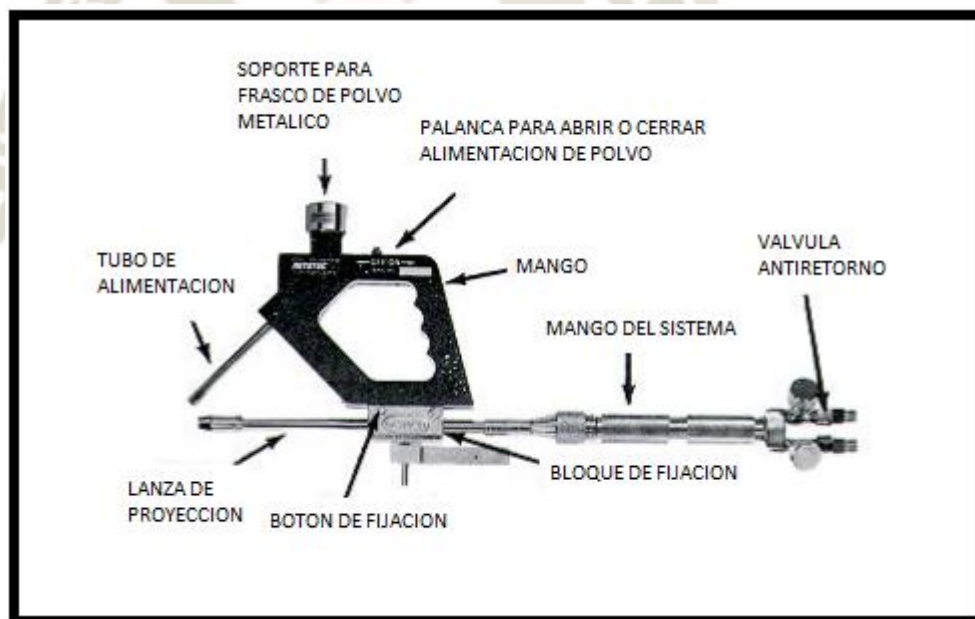


Figura 87: Partes del equipo de proyección por oxicomustión Rototec 1a
Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.4. Operación del equipo Rototec 1A

4.2.4.1. Equipo necesario para la operación

- Cilindro de acetileno, regulador y manómetros

- Cilindro de oxígeno, regulador y manómetros.
- Lápiz indicador térmico de 95°C
- Herramienta de corte 90°
- Un torno si la parte es cilíndrica
- Equipo de granallado
- Una rectificadora para el mecanizado de acabado de recubrimientos más duros
- Disolvente de tricloroetileno para desengrasar la pieza
- Solución 103 [32]

4.2.4.2. Preparación de la pieza

Desengrasado

1. Use solvente para eliminar todo el aceite y la grasa.
2. Frote con un cepillo duro o un paño limpio.
3. En materiales porosos e impregnados de aceite quemar todo el aceite con una llama hasta que el humo desaparezca, y eliminar el carbón residual con un cepillo. [32]

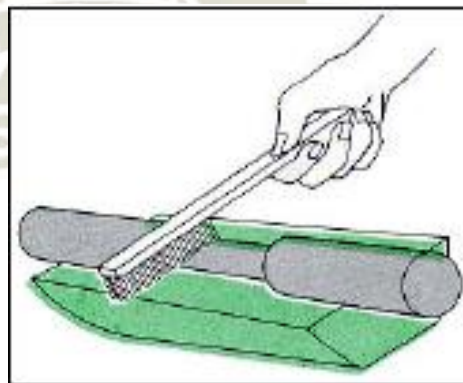


Figura 88: Frotar con solvente y cepillo la superficie a tratar
Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.4.3. Sujeción de la pieza de trabajo

1. Centrar las partes cilíndricas en un torno.
2. Si es posible, use el contrapunto.

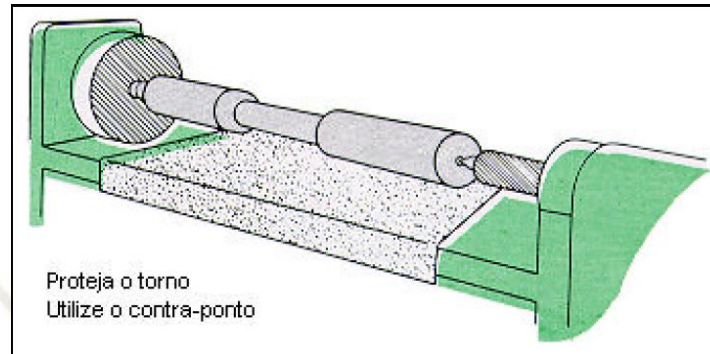


Figura 89: Pieza cilíndrica asegurada con el contrapunto en el torno
Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.4.4. Protección de áreas adyacentes

Aplique Eutectic-Castolin Solución 103 a las áreas adyacentes al área usada, para protegerlos de proyección de aleación micropulverizada. [32]

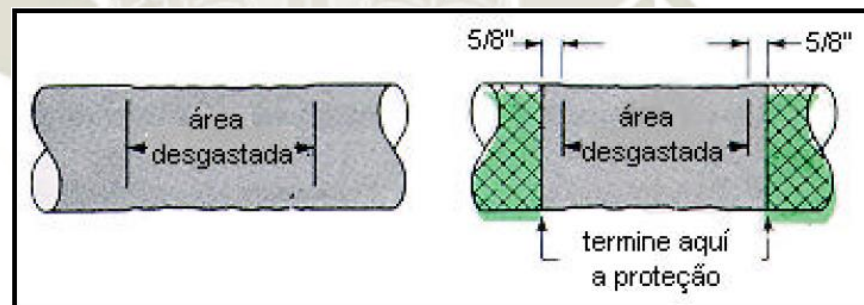


Figura 90: Protección de áreas que no necesitan ser recubiertas
Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.4.5. Reducción del área desgastada

Baje 12 mm adicionales del área a recubrir en ambos lados. Este mecanizado debe estar seco. No use refrigerante. Use una herramienta limpia y afilada de 90 °. Baje hasta que retire el área desgastada: [32]

1. Piezas de acero: al menos 1.0 mm de diámetro.
2. Piezas de bronce: al menos 1,5 mm de diámetro.

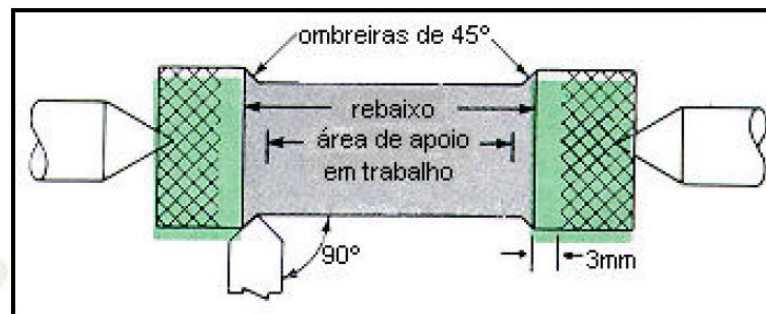


Figura 91: Mecanizado y reducción con herramienta de corte de 90°
Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.4.6. Arenado o roscado

Arenado

Granallado de acero SAE G18 a G25 o 12 a 35 malla de óxido de aluminio, puede ser utilizado en todas las aplicaciones. Para máxima adherencia se recomienda un roscado seguido de un arenado. [32]

Roscado

Promueva una superficie rugosa en el receso con una herramienta de corte de 90°. [32]

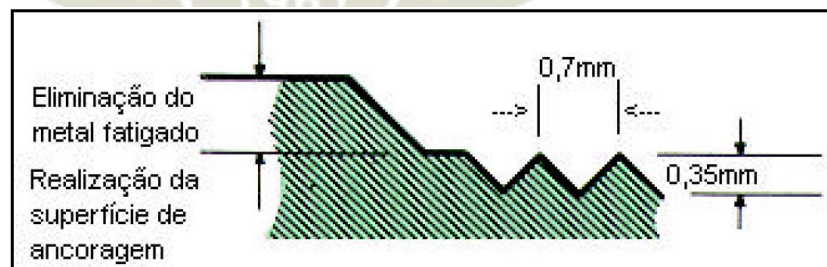


Figura 92: Eliminación del material fatigado y roscado recomendado
Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

Comience con el roscado con la herramienta inclinada tocando al final (a cero) del socavado; penetrar con la herramienta a medida que se avance hasta llegar al 0.35 mm de profundidad (0.2 mm en bronce o latón). [32]

Haga lo contrario cuando llegue al final del hilo. Aplique una lima a las crestas de los tornillos y al costado del chaflán para eliminar bordes que se oxidan durante el precalentamiento. Cepille con una herramienta limpia. No toque la superficie a recubrir. [32]

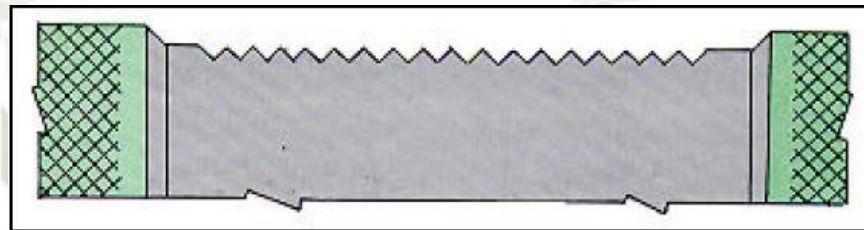


Figura 93: Pieza cilíndrica preparada

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.4.7. Preparación de superficies planas

Bisele todos los bordes a 45°. Lije la superficie o raspe con una lima o con una lija manual. Ranurar la superficie si es posible. Ranurar los bordes con una lima o sierra. [32]

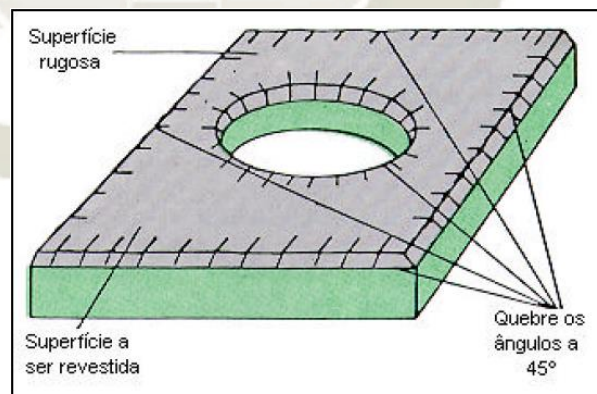


Figura 94: Preparación de superficies planas

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.5. Aplicación del revestimiento protector

- a) Sujetar el envase del polvo elegido en el receptáculo de la Rototec 1A. Asegúrese de que la válvula "OFF-ON" está en la posición "OFF". [32]
- b) Abra la válvula de acetileno 1/4 de vuelta y encienda la antorcha de la Rototec1A. Luego apertura la válvula de oxígeno y regule gradualmente hasta obtener la llama como se muestra en la figura 95. La Rototec 1A produce automáticamente la llama correcta, que se oxida ligeramente como se muestra abajo. Si no puede obtener esta configuración flamee, revise o reemplace los reguladores. [32]

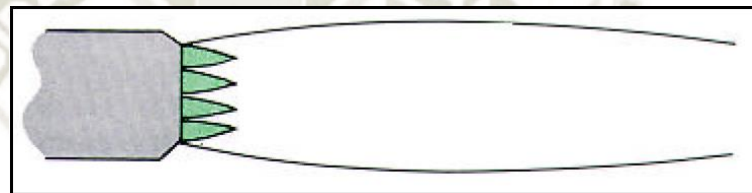


Figura 95: Configuración correcta de la llama

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

- c) Ajuste la velocidad de rotación de las partes cilíndricas, para obtener una velocidad periférica de 45 a 60 m/min. [32] Ver tabla 13.

Tabla 13: Fallas comunes durante el Proceso de Recubrimiento de polvos Metálicos.

Díámetro de pieza de trabajo (mm)	RPM
Menor que 50	280-380
50 a 100	190-280
100 a 150	95-190
150 a 200	70-130
200 a 250	55-95
250 a 350	45 - 70

350 a 500

30 – 55

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

- d) Precalear a 95°C. Verificar con pirómetro que se encuentre en 95 ° C (200 ° F) la superficie a recubrir. [32]
- e) Marque la distancia de deposición correcta, que debe ser estar entre **180 a 200 mm** entre la superficie de la pieza y la boquilla Rototec 1A para todas las aleaciones. [32]

4.2.5.1. Aplicación de aleaciones autoadhesivas

- a) Estos recubrimientos no requieren de una capa inicial de adhesión. Deposite inmediatamente después de precalentar. [32]
- b) Desplazar la Rototec 1A con una velocidad constante para que no aparezcan espirales en la superficie depositada: aproximadamente con un avance horizontal de 6 a 12 mm por rotación. Para superficies estacionarias: **15 cm/s**, separadas 12 mm entre pases. [32]
- c) El sustrato no debe superar una temperatura de 260°C. Durante la operación verificar la temperatura con ayuda del pirómetro. Si es necesario, aleje la llama de la pieza y déjela enfriar, comenzando de nuevo el rociado cuando la temperatura es inferior a 260°C. [32]

4.2.5.2. Aplicación de recubrimientos con capa inicial

- a) Aplicar una capa adhesiva de UltraBond 50000 en un espesor de 0.1 a 0.2 mm, inmediatamente después del precalentamiento. [32]
- b) Aplicar el recubrimiento en polvo inmediatamente después de la capa inicial. [32]

- c) Nueva RotoTec1A con velocidad para que no aparezcan espirales en la superficie depositada: 15 cm / s, 12 mm de separación pases. [32]

Nota: Al aplicar aleaciones de bronce como FrixTec 19850, se puede evaporar. Aumentar presión de oxígeno de 1.4 bar (20 psi) a 2.1 bar (30 psi), hasta 2.2 bar (32 psi) o reducir presión de acetileno de 0.55 bar (8 psi) a 0.4 bar (6 psi) o al menos 0,35 bar (5 psi). No cambie las presiones. para ningún otro polvo metálico. [32]

- d) La pieza no debe superar una temperatura de 260°C. Durante la operación verificar la temperatura con ayuda del pirómetro. Si es necesario, aleje la llama de la pieza y déjela enfriar, comenzando de nuevo el rociado cuando la temperatura es inferior a 260°C. [32]

4.2.5.3. Culminado del Rociado Térmico

- a) Para detener el flujo del recubrimiento, coloque el Válvula "ON-OFF" en la posición "OFF". [32]
- b) Apague la llama cerrando primero la válvula de acetileno completamente y luego el oxígeno completamente. [32]
- c) También cierre las válvulas del cilindro si la detención es prolongada. [32]

4.2.5.4. Rociado en superficies planas

Las superficies planas pueden ser tratadas utilizando algunos criterios. Las capas gruesas deben evitarse debido a la alta concentración de tensión en superficies planas, que puede causar la separación del metal base. Ver en punto 4.2.4.7 la preparación de superficies planas. [32]

4.2.5.5. Superficies internas

Una aplicación que a menudo se pasa por alto es la de recubrimientos de superficies internas como la de un cilindro o tubo. La única regla que debería ser recordada, es que el ángulo de rociado con relación al ángulo de la superficie no debe ser inferior a 45° . Entonces la máxima profundidad que se puede depositar a ambos lados de un cilindro abierto, por ejemplo, es igual a su diámetro interno (mitad si es bronce o latón), como se ve en la figura 96. [32]

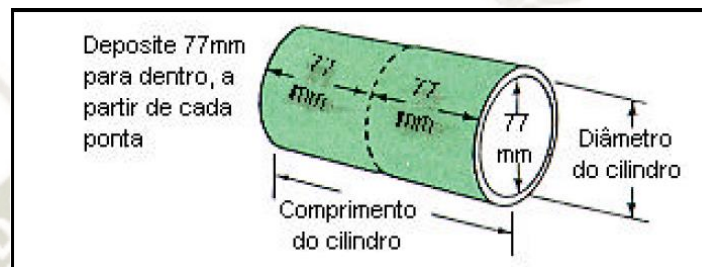


Figura 96: Recubrimiento de superficies internas

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

Nota: Al revestir superficies internas, la tendencia al sobrecalentamiento es mayor y se debe tener cuidado si el depósito es grueso. Use el pirómetro para verificar la temperatura de la pieza (260°C). [32]

4.2.5.6. Esquinas interiores

Cuando se requiere una reparación en esquinas interiores, es bueno dejar un rango de aproximadamente 1,6 mm entre la reparación y la pared. Sin embargo, muchos de los recubrimientos han sido satisfactorios, incluso sin esto, debido a la imposibilidad de mantenerlo. Se recomienda usar el procedimiento normal ligeramente modificado cuando se quiere depositar en esquinas interiores. La posición de la RotoTec1A que es perpendicular a la superficie, debe cambiar con respecto al ángulo de la esquina que requiera reparación en aproximadamente 30° . Esto reproducirá una capa que se unirá a la base de la junta. [32]

4.2.5.7. Ranuras y orificios de lubricación

Los recubrimientos Rototec pueden ser satisfactoriamente aplicado a chaveteros y agujeros de lubricación. [32]

Antes del mecanizado, bisele todos los bordes y esquinas de las ranuras para los chaveteros y agujeros de lubricación con una lima o amoladora manual si es más conveniente. Retire la pieza del torno. La dirección de corte con la lima siempre debe ser tal que no debe existir ningún esfuerzo para rasgar el revestimiento del metal base. En rectificado, la dirección de rotación de la rueda también obedece a las instrucciones anteriores. Lime o muela lo suficiente como para exponer el metal como se muestra en la siguiente ilustración [32]:

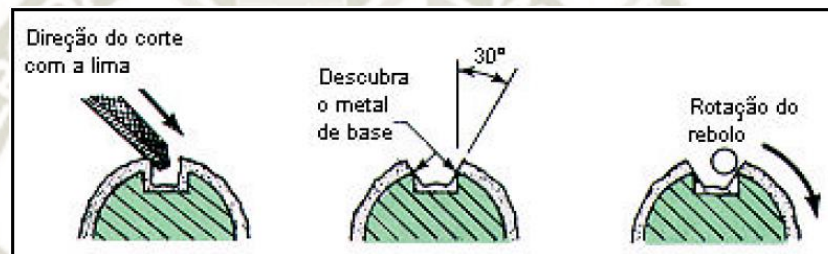


Figura 97: Biselado de bordes de un canal chavetero

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

Después de que todas las esquinas del recubrimiento están biseladas, reemplazamos la pieza en el torno y mecanizamos el recubrimiento como se describe anteriormente. Existen procesos alternativos que producen resultados aceptables. El más común es el uso de una chaveta "Falsa" que se estrecha en la parte superior y permanece aproximadamente 1.6 mm más alto que la medición final del eje. Esta chaveta especial se inserta antes de pulverización y el eje se trata como una parte sólida. Después de retirar la chaveta, los bordes de la carcasa adyacentes están achaflanados para evitar que se desprendan durante el servicio. [32]

4.2.6. Mecanizado

La capa aplicada debe ser ligeramente más grande que las dimensiones finales para permitir un acabado. En general, dejamos un radio adicional de 0.5 mm en 25 mm o menos de diámetro. Por cada 25 mm más de diámetro, agregue 0.08 mm hasta un máximo de 0.9 mm en el eje. [32]

Algunos recubrimientos son demasiado difíciles de mecanizar. El mecanizado necesita hacerse con una herramienta de corte para ser rectificadas. Todos los recubrimientos, no obstante, pueden ser rectificadas, siempre que se proporcione una superficie lisa con bajo coeficiente de fricción. Si los parámetros para mecanizado por herramienta de corte no se dan el revestimiento debe ser rectificado. [32]

4.2.6.1. Mecanizado de recubrimientos Rototec

Se de utilizar una herramienta de corte de carburo de tungsteno muy afilado, con un ángulo de 90° . Inicialmente remover con avance de 45° para eliminar el bordes y reflejos. Avance la herramienta central hacia afuera y su profundidad no debe ser mayor que 0.25 mm por pase. Siempre que se indique, use refrigerante. Nunca ejerza presión en la dirección que tiende a levantar el depósito. [32]

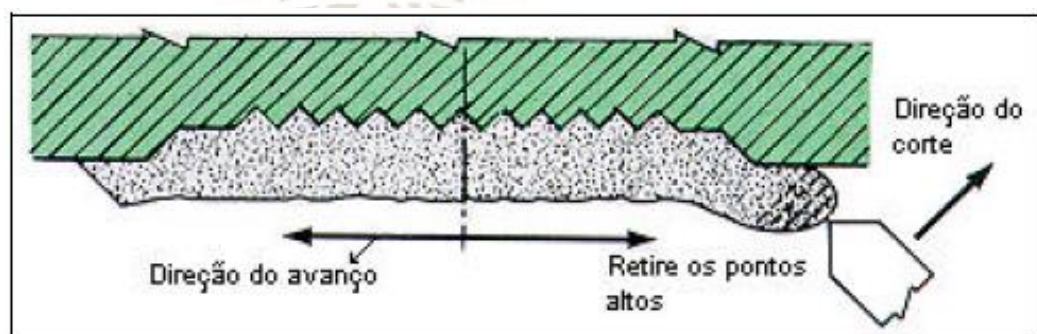


Figura 98: Procedimiento correcto de mecanizado

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

Tabla 14: Parámetros de mecanizado con la herramienta de carburo de tungsteno:

PRODUCTO	NORMA ISO	ANGULO DE ATAQUE	ANGULO DE INCIDENCIA	VELOCIDAD DE CORTE (m/min)	AVANCE (mm/Rotación)		PROFUNDIDAD (mm)		REFRIGERACION
					D	A	D	A	
HardTed 19400	K10	-5°	5°	32	0,2	0,08	1,0	0,05	No
FrixTec 19850	K10	8 a 10°	6-8°	70	0,2	0,08	1,0	0,05	No
DuroTec 19910	K10	-5°	5°	32	0,2	0,08	1,0	0,05	No
LubroTec 19985	K10	+5°	5°	50	0,2	0,08	1,0	0,05	No
ProXon 21021	K10	+5°	5°	20 -24	0,2	0,08	1,0	0,05	No
ProXon 21022	K 10	+5	-	32	0,2	0,08	1,0	0,05	No
ProXon 21032-S	K10	-5° a +5°	5°	32	0,2	0,2	1,0	0,05	No
ProXon 21071	K10	8 a 10°	6-8°	70	0,2	0,2	1,0	0,05	No

D = Desbaste A = Acabado

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.6.2. Rectificado

Se debe hacer bordes con chaflan por esmerilado. Se recomienda usar abundante refrigerante. Ver tabla 15.

Tabla 15: Especificaciones recomendadas de Rectificado según producto

PRODUCTO	ESPECIFICACION DE MUELA ABRASIVA	ROTACION DE PIEZA (m/min)	REFRIGERACION
HardTec 19400	11C80F13VPmf	25-30	Si

FrixTec 19850	11C80F13VPmf	25-30	Si
DuroTec 19910	11C80F13VPmf	25-30	Si
LubroTec 19985	11C80F13VPmf	25-30	Si
ProXon 21021	11C60H5V	20-25	Si
ProXon 21022	11C80H5V	25-30	Si
ProXon 21032-S	11C80F13VPmf	25-30	Si
ProXon 21071	11C8013VPmf	25-30	Si

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.2.7. Tipificación de fallas comunes en el proceso

Es importante analizar la calidad del producto después de haber sido realizado el recubrimiento en una pieza. Debemos observar detenidamente si el acabado final es el deseado. De presentarse fallas como grietas o desprendimiento, debemos tomar en cuenta lo siguiente mencionado en la Tabla 16.

Tabla 16: Fallas comunes durante el Proceso de Recubrimiento de polvos Metálicos.

FALLAS EN EL DEPOSITO	CAUSAS COMUNES
GRIETAS	<ul style="list-style-type: none"> • Capa muy gruesa • Sobrecalentamiento durante la aplicación. • Pieza muy voluminosa; mantener más control preciso de la temperatura
DEPÓSITO MUY DURO	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecalentamiento durante el rociado térmico. • Distancia de aplicación demasiado grande.
DEPÓSITO MUY BLANDO	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de aplicación demasiado corta.
EL DEPÓSITO SE DESPRENDE	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la corrosión en la interfaz, esto es generalmente causado por el medio corrosivo que penetra a través de la pequeña porosidad del recubrimiento. Sellar la superficie porosa con RotoGuard. • El proceso de Rociado Térmico con amplio rango de temperaturas puede causar suficiente tensión para romper de la capa de adhesión. Si el ciclo térmico es inevitable, mantenga el

	<p>grosor de la capa y temperatura máxima inferior a 260°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parte contaminada en alguna área de la superficie del sustrato; limpiar mejor.
--	--

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

Las distintas partes del equipo de rociado térmico por oxidación Rototec 1A tienen la capacidad de desmontarse para realizar limpieza debido al propio uso y a que se trabaja con polvos de tamaños en el orden de los micrones y estos tienden a impregnarse en los conductos del mismo. También el equipo puede manipularse para realizar el cambio de componentes deteriorados para su reemplazo. [32]

El manual nos brinda un alcance de la correcta posición de ubicación de tubo de alimentación con respecto a la distancia de la lanza de proyección de flama generada por la oxidación mostrado en la figura 99. El posicionamiento correcto de estos componentes es fundamental para garantizar que el mayor porcentaje de micropartículas de polvo para recubrimiento lleguen a fundirse, ser arrastrados por la velocidad de la oxiflama e impregnarse en el sustrato. [32]

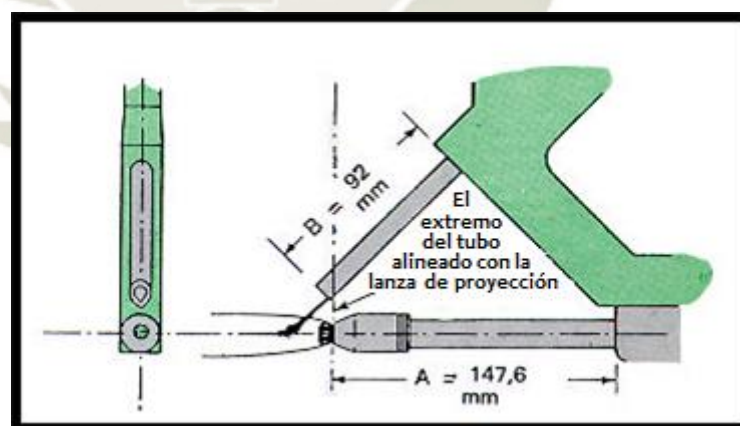


Figura 99: Correcto posicionamiento de la lanza de proyección Rototec 1A

Fuente: Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN

4.3. Desarrollo del protocolo para Rototec 1A

El protocolo desarrollado está compuesto de diez divisiones principales, los cuales están separados y enumerados según la secuencia correcta durante el proceso de rociado térmico. Este documento consignará datos iniciales y evidencias finales, como indicadores, que ayudarán a la investigación y estudio del Rociado térmico.

Los parámetros y valores escritos determinarán una correcta ejecución del proceso. En estos controles se detallan anotaciones importantes que están resaltadas para su atención y revisión.

El Protocolo final se encuentra Anexado al final de la Tesis.

4.3.1. Registro e identificación de trabajo

El documento debe facilitar el acceso a la ubicación y orden, registrando los datos necesarios como la fecha de ejecución y el registro del personal a realizar el documento, el cual será firmado por la persona o grupo de trabajo.

Es importante tener un registro básico y rápido del tipo de trabajo a realizar los cuales se enuncian en el siguiente listado, para poder agrupar fácilmente los documentos que se irán archivando a lo largo del proyecto. Tipos de trabajos:

- Prueba
- Mantenimiento
- Reparación
- Recubrimiento
- Recuperación

Consideramos importante, colocar en el enunciado del documento la versión de este, para mantener un registro activo de las modificaciones o mejoras hechos sobre el protocolo

presentado. Cabe recalcar que el propósito principal de este documento es registrar valores para el proceso de Rociado Térmico por oxidación para una Rototec1A (como se encuentra enunciado en la tabla 17), siendo este el propósito principal de nuestra tesis. En la tabla 17 mostramos el enunciado propuesto para el protocolo de Rociado Térmico Versión 00.

Tabla 17: Enunciado de Protocolo Rototec1A

VERSION 00				
 PROTOCOLO DE ROCIADO TERMICO POR OXICOMBUSTION ROTOTEC 1A				
FECHA	____/____/____	EJECUTADO POR	TIPO DE TRABAJO	
EQUIPO		REGISTRO	Prueba	<input type="checkbox"/>
TIPO DE SUSTRATO			Mantenimiento	<input type="checkbox"/>
			Reparacion	<input type="checkbox"/>
			Recubrimiento	<input type="checkbox"/>
			Recuperacion	<input type="checkbox"/>
			Otro	<input type="checkbox"/>

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V01

4.3.2. Check-list del equipo

Antes de iniciar cualquier trabajo se debe realizar un check-list preoperacional del equipo, verificando si este se encuentra en óptimas condiciones antes del Rociado Térmico. La Rototec1A debe estar completa, así como todos los recursos necesarios para el proceso de Rociado térmico por oxidación mencionados en la tabla 18 como los cilindros de Oxígeno y Acetileno, el Chispero, las Mangueras de O₂ y C₂H₂. En el documento se deberá mencionar si alguno de estos se encuentra en malas condiciones antes de su operación, de tal manera mantener un registro para un posible análisis post operación o análisis de Fallas que registre fácilmente lo que pudo haber ocurrido durante una operación.

Es importante mencionar si el lugar de trabajo está en óptimas condiciones para realizar cualquier tipo de trabajo, como la limpieza de la zona, si se encuentra con mucho polvo o contaminación por diversos motivos, y registrar el clima para evaluar si el clima sea húmedo, seco, lluvioso o normal pueda afectar el proceso de Rociado Térmico. Ver tabla 18.

Por último, en esta sección del protocolo se debe mencionar todos los implementos adicionales con los que se va a realizar el trabajo, tales como los soportes de sujeción de la pistola Rototec1A al torno, sea el fijo o el móvil el que vayamos a utilizar; así como los implementos de seguridad, llaves para ajuste, solución 103 (si es necesario), manta ignífuga para proteger el torno (sólo para piezas cilíndricas) u otros elementos que sean necesarios antes de empezar el trabajo.

Tabla 18: 1.- Check-List del Equipo

VERSION 01			
PROTOCOLO DE ROCIADO TERMICO POR OXICOMBUSTION ROTOTEC 1A			
FECHA	___ / ___ / ___	EJECUTADO POR	
EQUIPO		REGISTRO	
TIPO DE SUSTRATO			
1.- Check-list del Equipo			
			Descripción
1.1	Limpieza de la zona		
1.2	Lugar de Trabajo		Abierto / Cerrado
1.3	Clima		Soleado / Húmedo / Seco
1.4	Rototec 1A Completo	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.5	Soporte Fijo de sujecion al Torno	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.6	Soporte Móvil de sujecion al Torno	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.7	Cilindros de Oxígeno (O2) y Acetileno (C2H2)	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.8	Reguladores y manómetros de O2 y C2H2	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.9	Chispero	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.10	Mangueras de O2 y C2H2	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.11	Pirómetro	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.12	Cepillo de acero manual	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.13	Implementos de seguridad		Lentes / Guantes / Zapatos / Traje de cuero
1.14	Llave Allen 3/8" para ajuste de pistola	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.15	Torno operativo	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.16	Manual del Proceso	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.17	Solución 103	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.18	Disolvente para desengrase	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.19	Manta ignífuga para proteger torno	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	OTROS		
1.20		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.21		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.22		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
1.23		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

4.3.3. Revisión de presiones de oxígeno y acetileno

Se debe revisar las presiones de Oxígeno y Acetileno en los manómetros de los reguladores ubicados en el módulo de Rociado Térmico para verificación de niveles y correcto estado.

Se recomienda por Eutectic-Castolin en el capítulo 4.2 que las presiones de Oxígeno y Acetileno de 20 y 8 PSI respectivamente.

Como observamos en la tabla 19 se documenta la revisión de las presiones antes de iniciar la proyección de rociado térmico.

Tabla 19: 2.- Revisión de Presiones de Oxígeno y Acetileno

2.- Revisión de Presiones Oxígeno y Acetileno					
			Presion (PSI)	Recomendación	Nivel
2,1	Manometro de Tanque O2 *	<input type="checkbox"/>		-	m3
2,2	Manometro e Salida Regulador de O2	<input type="checkbox"/>		1,4 bar (20 PSI)	-
2,3	Manometro de Tanque C2H2 **	<input type="checkbox"/>		-	kg
2,4	Manometro de Salida Regulador de C2H2	<input type="checkbox"/>		0,5 bar (8 PSI)	-

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

4.3.4. Revisión del sustrato

Antes de iniciar el proceso de Rociado Térmico debemos identificar el material del sustrato que vamos a recubrir, si es de acero u otro, ya que como vimos en el capítulo 4.2, si el material es de bronce los parámetros iniciales de O2 y C2H2 cambian. Como se ve en la tabla 20, registramos el material, equipo y función principal que realiza el sustrato. Así como el tipo de recubrimiento que se recomienda aplicar dependiendo del alcance inicial.

Tabla 20: 3.1.- Registro del material del sustrato

3.- Revisión del sustrato		Descripción
3.1	MATERIAL	
3.1.1	Material del Sustrato	
3.1.2	Equipo al que pertenece	
3.1.3	Funcion principal	
3.1.4	Tipo de Recubrimiento a aplicar	

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

Debemos identificar el tipo de desgaste al que fue sometido la pieza a analizar. Presentamos la tabla 21 como ayuda para futuro análisis:

Tabla 21: 3.2.- Registro de tipo de desgaste sólo si aplica

3.2 TIPO DE DESGASTE	A <input checked="" type="checkbox"/>	N/A <input type="checkbox"/>	SI	NO
3,2,1	DESGASTE ADHESIVO		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2.2	DESGASTE ABRASIVO		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3,2,2	DESGASTE POR FATIGA		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2.3	DESGASTE POR IMPACTO		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3,2,3	DESGASTE QUIMICO O ABRASIVO		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2.4	DESGASTE POR CAVITACION		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3,2,4	DESGASTE POR VIBRACIONES		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V01

Se debe consignarlas dimensiones iniciales de la pieza cilíndrica o plana antes de proceder con el rociado. En la tabla 22 anotamos los datos solicitados:

Tabla 22: 3.3.- Registro de las dimensiones del sustrato

3,3	DIMENSIONES	Descripción	
3,2,1	Geometría de pieza	Cilindrica <input type="checkbox"/>	Plana <input type="checkbox"/>
3,2,2	Dimensiones	mm	
3,2,3	¿Se cuenta con plano de fabricante?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V01

Como se ve en la tabla 22, para la ejecución de rociado térmico de un sustrato de procedencia externa de la Universidad, se necesita el plano de fabricación de la pieza analizada. Si bien la mayoría de las piezas industriales constan de un plano de fabricación, es probable que no contemos con este documento al inicio, para lo cual debemos hacer un bosquejo del sustrato con todas las medidas necesarias antes de aplicar un recubrimiento. El boceto es parte del registro de dimensiones del sustrato como se ve en el ejemplo de la figura 100.

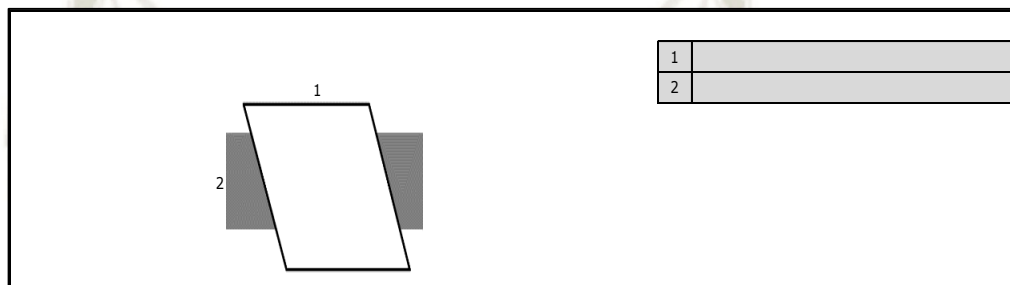


Figura 100: Ejemplo de boceto de sustrato
Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V01

4.3.5. Material a proyectar

A continuación, se realizará un registro del material a proyectar. En la tabla 23 anotamos el tipo de material, si es un polvo autoadhesivo o no, así como las diferentes fórmulas para cálculo del volumen y consumo de la aleación del recubrimiento a proyectar.

Tabla 23: 4.- Registro del Material a proyectar

4.- Material a proyectar						
4.1	Tipo de Material	Anticorrosivo <input checked="" type="checkbox"/>	Aislante <input type="checkbox"/>	Antidesgaste <input type="checkbox"/>	Alta dureza <input type="checkbox"/>	Otros <input type="checkbox"/>
4.2	Provista por:	UCSM <input type="checkbox"/>	OTRO <input checked="" type="checkbox"/>	Observaciones		
4.3	Marca:	Eutectic Castolin				
4.4	Nombre comercial:	Metaceram				
4.5	Cantidad actual. (Peso)	Kg				
4.6	¿Necesita recubrimiento base?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Usar Ultrabond 50 000 **		
4.7	¿Se verificó el estado del Material? **	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>			
4.8	Volumen de aleación	EJE <input type="checkbox"/>	V_eje=(π.D.L.e)/1000000 (*)			
		SUP. PLANA <input type="checkbox"/>	V_sup=(A.e)/1000 (*)			
4.9	Consumo de Aleación	Kg			CONSUMO DE ALEACION=(V*den)/(0.85) (*)	

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

Como se observa en la tabla 23, también registraremos el peso actual disponible del polvo a aplicar como recubrimiento, evaluando de esa manera si la cantidad actual de polvo en Kg será suficiente para este nuevo recubrimiento, creando un registro del consumo realizado en esa pieza para futuros trabajos.

Es importante verificar el estado inicial del recubrimiento para no tener imprevistos durante la ejecución del mismo.

4.3.6. Preparación de la pieza

Esta etapa del proceso de rociado térmico toma demasiada importancia debido que se iniciará el proceso en sí. Si no tenemos una condición inicial ideal para la adhesión del recubrimiento en el sustrato caemos en posibles fallas futuras y malos resultados. A continuación, en la tabla 24 se presenta un listado del tratamiento inicial a aplicar en la pieza.

Tabla 24: 5.- Registro de Preparación de Pieza

5.- Preparacion de pieza			
		Descripción	
5,1	Desengrasado	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	<i>Limpieza con solvente, cepillo duro, paño limpio. En materiales porosos con aceite quemar con una llama y eliminar el carbón residual con un cepillo.</i>		
5,2	Proteccion de áreas adyacentes	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
5,3	Reducción del área desgastada	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	<i>Baje 12 mm adicionales del área a recubrir en ambos lados. Este mecanizado debe estar seco. No use refrigerante. Use una herramienta limpia y afilada de 90 °. Baje hasta que retire el área desgastada.</i>		
5,4	Arenado	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	<i>Granallado de acero SAE G18 a G25 o 12 a 35 malla de óxido de aluminio.</i>		
5,5	Roscado	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	<i>Generar una superficie rugosa con una herramienta de corte de 90 °. Penetrar con la herramienta a medida que se avance hasta llegar al 0.35 mm de profundidad (0.2 mm en bronce o latón). Limar crestas para eliminar bordes que se oxidan durante el precalentamiento.</i>		
5,6	Superficies planas	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	<i>Biselar los bordes a 45°. Limar o lijar la superficie. Ranurar los bordes.</i>		


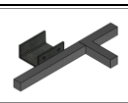

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

4.3.7. Disposición de Rototec 1A

De acuerdo a la geometría del sustrato, la disposición de la pistola Rototec1A varia. Si el sustrato tiene forma plana deberemos realizar un rociado sostenido por el técnico que realizará el trabajo, cumpliendo con el uso de la protección de seguridad necesaria dentro de los parámetros sugeridos. De lo contrario, siendo la pieza de geometría cilíndrica deberá ser trabajado sobre el Torno utilizando los soportes entregados.

Colocaremos el soporte fijo o el soporte móvil para el trabajo, realizando un pequeño esquema de la disposición final del equipo Rototec 1A sobre el soporte apuntando al sustrato. Tomaremos medidas, siendo la distancia recomendada de entre 180 a 200 mm entre la boquilla de la pistola y el sustrato a recubrir, sea cual sea su geometría. Observamos en la Tabla 25 los datos a registrar, además del gráfico de apoyo mostrado en la figura 101.

Tabla 25: 6.- Registro de Preparación de Pieza

6.- Disposición de Rototec1A						
6.1	Soporte a utilizar	MOVIL <input type="checkbox"/>	FIJO <input type="checkbox"/>	MANUAL <input checked="" type="checkbox"/>		
					6.2	Distancia D1
					6.3	Distancia D2
						D. Real
						mm
						D. Recomendada
						180 a 200 mm
						Perpendicular al eje

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

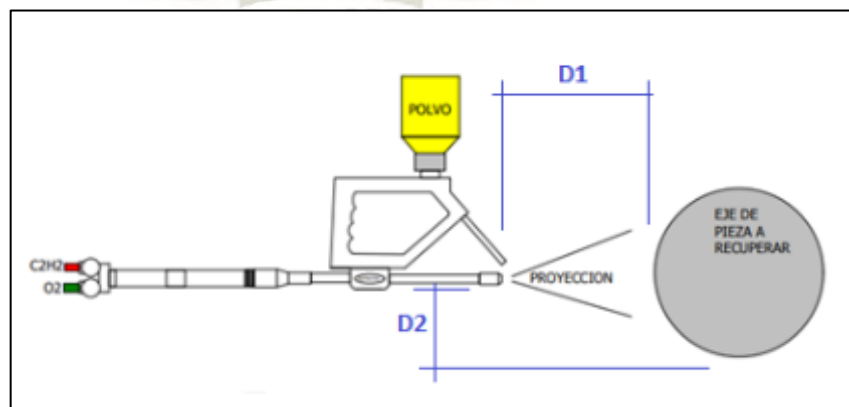


Figura 101: Gráfico de soporte de disposición de Rototec1A

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V01

4.3.8. Registro de parámetros

El registro de parámetros durante el proceso de rociado térmico es la parte más importante del protocolo. En esta división anotaremos los indicadores principales para una correcta evaluación del rociado térmico. Registramos la distancia o diámetro inicial y final del sustrato antes y después de aplicado el recubrimiento. Como se sabe, la capa aplicada debe permitir un proceso de mecanizado para obtener las medidas requeridas de acuerdo al tipo de trabajo. De tal manera registramos de manera separada la medida final, de la medida de mecanizado.

A su vez examinamos la correcta rotación de pulverización anotando la velocidad obtenida en RPM, para lo cual la velocidad de giro será proporcionada por el Torno, con la que se realizará la proyección, como observamos en la tabla 26.

Tabla 26: 7.- Registro de Parámetros dimensionales

7.- Registro de Parámetros		
	Descripción	Observaciones
7.1	Diametro inicial	mm Se recomienda usar micrómetro para las medidas de diámetros en piezas cilíndricas
7.2	Diametro final *	mm
7.3	Diametro Mecanizado *	mm
7.4	Rotación de Pulverización *	RPM $RPM=(Vp \cdot 320)/D$ (*)
7.5	Velocidad de giro del Torno	RPM Se aplica de acuerdo a velocidades proporcionadas por el Torno

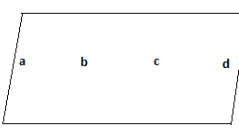
Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

Durante el proceso de Rociado Térmico debemos anotar y verificar la temperatura y la presión de trabajo, como se observa en la tabla 27. El control de la temperatura es lo más importante, ya que durante la operación esta no deberá superar los 260°C en el sustrato, debido a que generaría esfuerzos y variaciones internas que alteran la estructura original de la pieza. Esta deberá ser tomada por lo menos en cuatro puntos dependiendo de las dimensiones del sustrato.

La revisión constante de las presiones en los manómetros de salida de los reguladores de O₂ y C₂H₂ son de igual importancia, ya que la pérdida de presión podría ocasionar un mal impregnado del recubrimiento sobre el sustrato.

Observamos el registro a realizar en la tabla 27.

Tabla 27: 7.- Registro de Parámetros de Presión y Oxígeno

7.6 Verificación de Temperaturas **							
N°	HORA	Temperatura inicial del sustrato	Temperatura del Sustrato (°C) ***				Observaciones
			a	b	c	d	
1							
2							
3							
4							
5							
7.7 Verificación de Presiones							
N°	HORA	Presión O2 inicial	Presión O2 (PSI)	Presión C2H2 inicial	Presión C2H2 (PSI)	Observaciones	
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

4.3.9. Control de calidad

La calidad del producto es importante después de haber sido realizado el proceso de rociado térmico en una pieza. Debemos observar el acabado final y verificar que no presente fallas como grietas, porosidad o desprendimiento, tomando en cuenta lo mencionado en la Tabla 28.

Tabla 28: 8.- Listado para el control de calidad

8.- Control de Calidad de Proceso			
		SI	NO
8.1	¿Se presentaron grietas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.2	¿La capa final es muy gruesa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.3	¿Hubo sobrecalentamiento durante la aplicación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.4	¿Se midió Dureza culminado el recubrimiento?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.5	¿El recubrimiento es muy duro?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.6	¿La distancia de aplicación fue demasiado grande?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.7	¿El recubrimiento es muy blando?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.8	¿La distancia de aplicación fue demasiado corta?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.9	¿El depósito se desprende?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.10	¿Hubo un medio corrosivo durante la interfaz?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.11	¿Hubo un exceso de temperatura?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.12	¿Hubo alguna área contaminada en la superficie del sustrato?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.13	¿Las presiones de O2 y C2H2 fueron controladas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.14	¿El extremo del tubo de la pistola está alineado a la lanza de proyección?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.15	¿La velocidad del Torno es próxima a la velocidad de rotación calculada?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00

4.3.10. Observaciones y registro fotográfico

En este segmento se adjuntará un registro fotográfico donde se evidenciará un antes y un después de la pieza sometida al proceso de rociado térmico. El registro fotográfico o registro auxiliar, como dato de segundo orden o complemento, nos ilustrará como se fue dando nuestro proceso de rociado térmico.

Al analizar las imágenes observaremos detalles que durante el proceso no tuvieron la atención necesaria, y estos quedarán registrados para un posible análisis de causa raíz de presentarse una falla o un buen proceso de rociado térmico. Se plantea de la siguiente manera en la tabla 29.

Tabla 29: 8.- Listado para el control de calidad

9.- Observaciones Generales		
10. SEGUIMIENTO FOTOGRÁFICO		
1. Preparación del equipo	2. Manómetro O2	3. Manómetro C2H2
4. Preparación de Sustrato	5. Material de Revestimiento a aplicar	6. Torno

Fuente: Propia. Anexo: Rototec1A Protocolo V00



CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

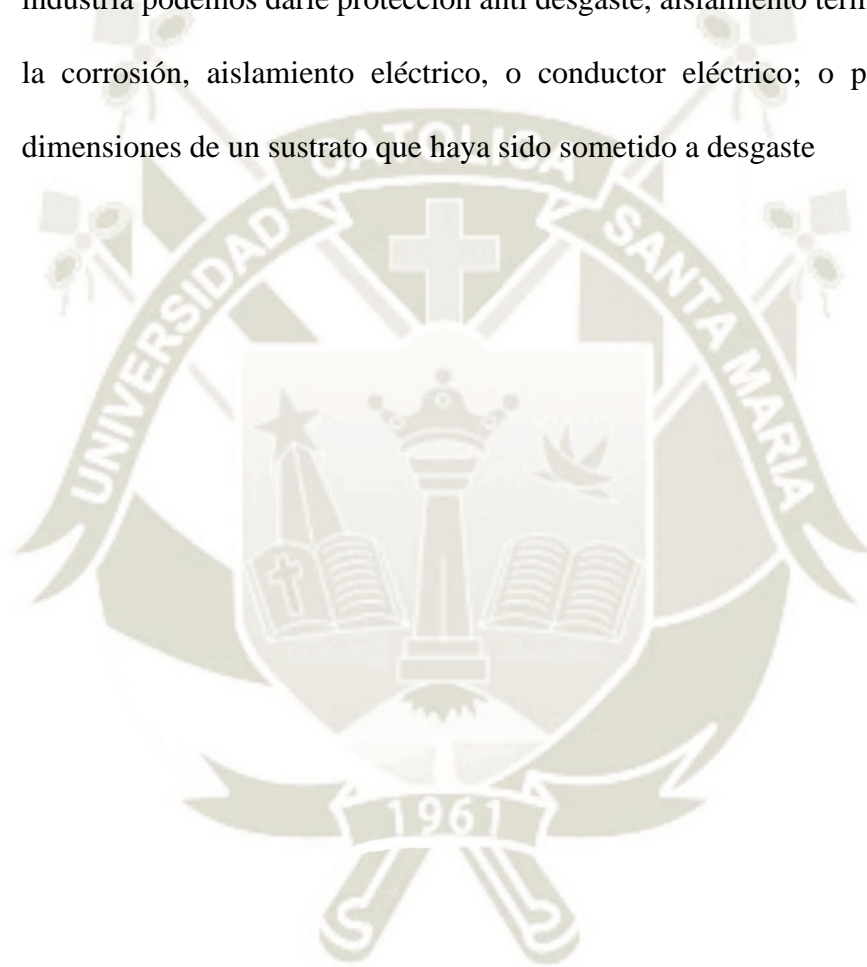
- Se implementa el protocolo según la experiencia que obtuvimos en el proceso de ejecución y pruebas de la Rototec 1A en el centro de investigación. Así mismo añadimos los parámetros que el fabricante recomienda para el uso de Rototec 1A. Es así que la combinación de la teoría y la práctica hicieron que el protocolo para la ejecución de rociado térmico sea de fácil asimilación y ejecución por investigadores nuevos en el área del rociado térmico.
- Los procesos de Rociado térmico tienen características únicas de adherencia, porosidad, inclusiones y grado de dureza. De manera que estos procesos en la actualidad suprimen fallas y mejoran características finales de adherencia, porosidad, inclusiones y grado de dureza como bien lo mencionamos antes. Es así que el rociado térmico por oxicomcombustión es el inicio y la base para los procesos actuales.
- El proceso por oxicomcombustión o flama abierta es la combinación de la energía térmica y la energía cinética, donde las micropartículas son calentadas hasta su temperatura de fusión y son arrastradas hacia el sustrato todo esto por la reacción en cadena que se produce en la oxicomcombustión.
- Una baja temperatura, una oxicomcombustión incorrecta, un recubrimiento oxidado o un ambiente húmedo ocasionaran propiedades finales no deseadas que pueden conllevar a la falla inmediata de la pieza tratada.

- El equipo Rototec1A nos permite realizar revestimiento de piezas de distinta geometría al frío siendo un proceso que no altera la estructura interna del metal base y no genera deformaciones por temperatura de la misma. Esto dependerá de la técnica y habilidad que se tenga para recubrir el sustrato, así como del control de la temperatura mientras se realiza el proceso de rociado térmico.
- La correcta preparación del sustrato es la clave para una eficiente adherencia del recubrimiento a rociar sobre la pieza
- El diseño y construcción se realizó en base al concepto de estudio e investigación del proceso de rociado térmico por oxicomustión o flama abierta. Es por ello que el diseño contempla y satisface la necesidad de transporte, almacenamiento, seguridad, practicidad y verificación de datos y parámetros a controlar durante el proceso.
- La importancia de la adquisición de recursos nos brinda la capacidad de realizar un estudio más detallado de los diferentes tipos de aleaciones de recubrimiento disponibles para proyectar sobre el sustrato de acuerdo a la necesidad.

5.2. Recomendaciones

- El módulo de rociado térmico necesita ser revisado periódicamente, verificando los niveles de oxígeno y acetileno, estado de las conexiones, así como las mangueras, manómetros, válvulas antirretorno y reguladores de presión. Lo más importante es la revisión y verificación de un correcto almacenamiento de los polvos para recubrimiento. Debemos evitar su exposición al sol y humedad, así como cualquier tipo de contaminación por líquidos o polvo ambiental.

- Completar el protocolo siguiendo la secuencia según el orden establecido nos ayudara a realizar un correcto procedimiento de rociado. A su vez es importante registrar e identificar el trabajo para documentar información de cada nueva prueba a realizar en el centro de investigación.
- Existen recubrimientos con aleaciones para cada necesidad, según la aplicación a la industria podemos darle protección anti desgaste, aislamiento térmico, resistencia a la corrosión, aislamiento eléctrico, o conductor eléctrico; o para restaurar las dimensiones de un sustrato que haya sido sometido a desgaste



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

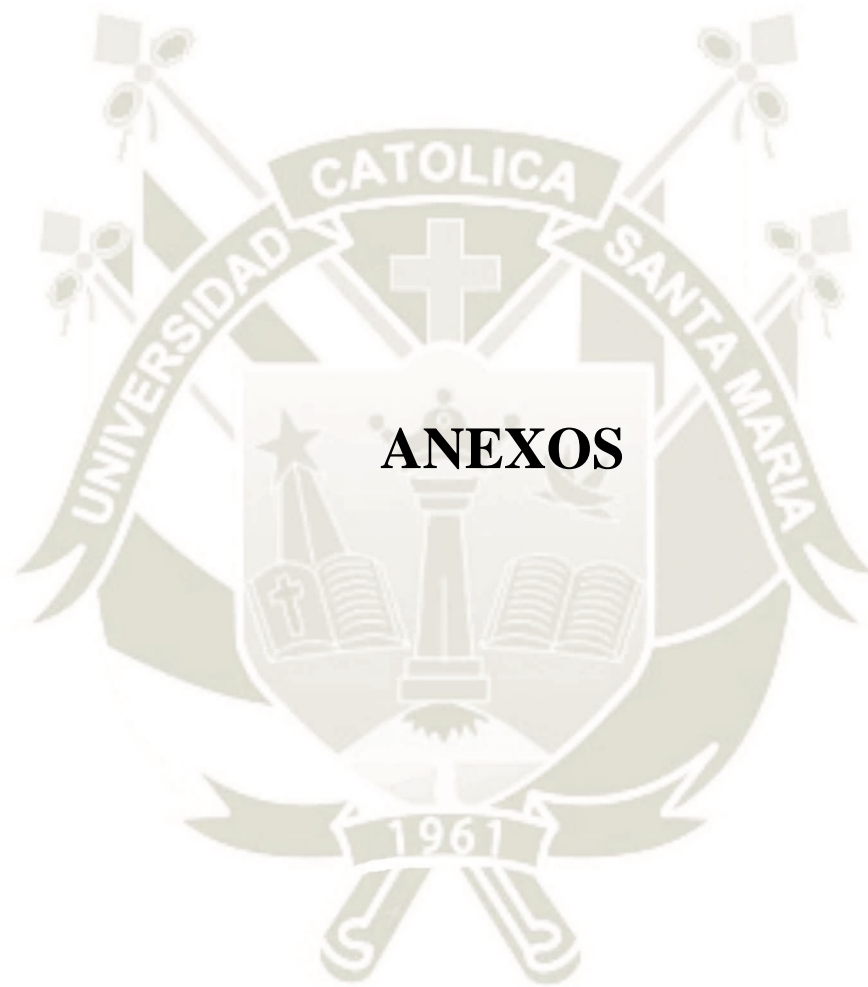
- [1] Handbook of Thermal Spray Technology, 2004 ASM International.
- [2] Hanbook of termal spray technology. 1a edición. Vol. 6. ASM International. Metals Park. OH. USA, 2004.
- [3] DIMATÉ L.M., ORTÍZ M. F., MORALES J.A., OLAYA J.J. Recubrimientos producidos por proyección térmica por arco para aplicaciones en la industria naval.
- [4] DESGASTE Y RECUPERACIÓN. Raúl Ortúzar Maturana.
- [5] NOTAS DEL DIPLOMADO EN SOLDADURA, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, TECNOLOGÍA MECÁNICA, 2005.
- [6] UNIVERSIDAD DE BARCELONA, MEMORIA CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES TRIBOLOGICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS DUROS, MARYORI ASTRID GOMEZ BOTERO
- [7] UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – TESIS: Metodología para la caracterización de fricción, rugosidad y dureza del UHMWPE
- [8] RECUPERACIÓN DE PIEZAS DESGASTADAS CON RECUBRIMIENTOS PROTECTORES. Scientia et Technica Año XIII, No 37, diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701
- [9] RECUPERACIÓN DE PIEZAS DESGASTADAS CON RECUBRIMIENTOS PROTECTORES. Scientia et Technica Año XIII, No 37, diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701
- [10] Gobierno de España, Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Publicación Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas 2009
- [11] MOTORGIGA-DICCIONARIO-COBREADO / ELECTROMETAL - COBREADO - <http://www.electrometal.es/cobreados.php>
- [12] RECUBRIMIENTOS-OBTENIDOSQUIMICAMENTE – Slideshare.net
- [13] RECUBRIMIENTO-PARA-SUPERFICIES-METALICAS– blog.laminasyaceros.com
- [14] Notas del Diplomado en soldadura, Universidad Tecnológica de Pereira, Tecnología Mecánica, 2005.
- [15] Universidad Libre, Facultad de ingeniería instituto de postgrados Trabajo de Grado Christian Camilo Wilches

- [16] O. J. Gómez, Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. 1993.
- [17] Tecnología Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2005.
- [18] EUTECTIC – CASTOLIN, Manual de soldadura, Eutectic – Castolin, Bogotá 2002.
- [19] Jose Luddey Marulanda, Fundamentos de la corrosión. Colombia 2006.
- [20] Besendnjak, Materiales Compuestos. España 2009.
- [21] Tipos de Polímeros o Macromoléculas. <http://fresno.pntic.mec.es>
- [22] Metalización en polímeros, www.todopolimeros.com, 2018
- [23] TREVISAN, R. LIMA. C. ASPERSAO TERMICA FUNDAMENTOS E APLICACOES. Editorial Artliber. Sao Paulo – Brasil 2002.
- [24] Thermalspray.org - itsa-history – INTERNATIONAL THERMAL SPRAY ASSOCIATION, Comité Permanente de la American Welding Society
- [25] MARULANDA, jose Luddey. Rociado Térmico, Colombia, 136p. (s.f.) (s.p)
- [26] Zhang, H., Wang, X., Zheng, Z. & Jiang, X. (2001). Studies of splat morphology and rapid solidification during thermal spraying. International
- [27] Tariq S., Chunmei X. & Pravansu M. (2007). Modeling and analysis of combustion assisted thermal spray processes.
- [28] ARSIDE, Proyección térmica y recargues.
- [29] TESIS - CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ROCIADO TÉRMICO DE ACERO INOXIDABLE SOBRE ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
- [30] Informe de Metalización por proyección – Lic. Bruno Giuntini – EDIGAR
- [31] Termspray. <http://prof.usb.ve/hreveren/Termo.htm>
- [32] Manual de Utilización del Proceso ROTOTEC 1A – EUTECTIC CASTOLIN
- [33] Soldadura-y-corte-oxiacetilénico - <https://es.slideshare.net>
- [34] Propiedades mecánicas del Acero Estructural Acero ASTM A36 - SUMITEC
- [35] Propiedades mecánicas de Aluminio 6063 (Aluminio – Magnesio – Silicio) – ALACERMAS

[36] CENAPROT, Laboratorio Nacional de Proyección térmica, Querétaro - México, Technical Report "Caracterización de polvos para proceso de rociado térmico", 2019

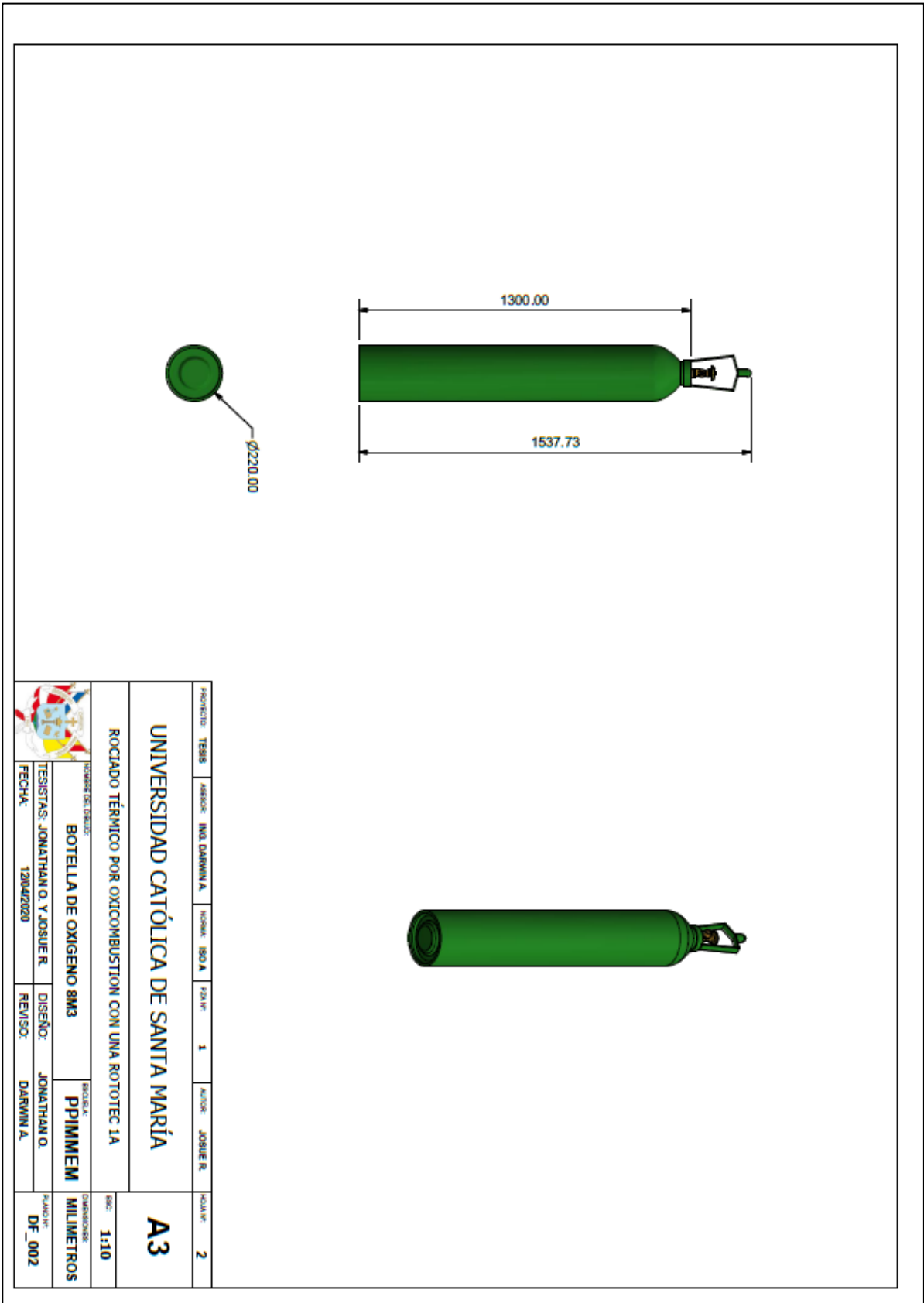
[37] Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2013. Actualizado: 2015. Definicion.de: Definición de protocolo (<https://definicion.de/protocolo/>)

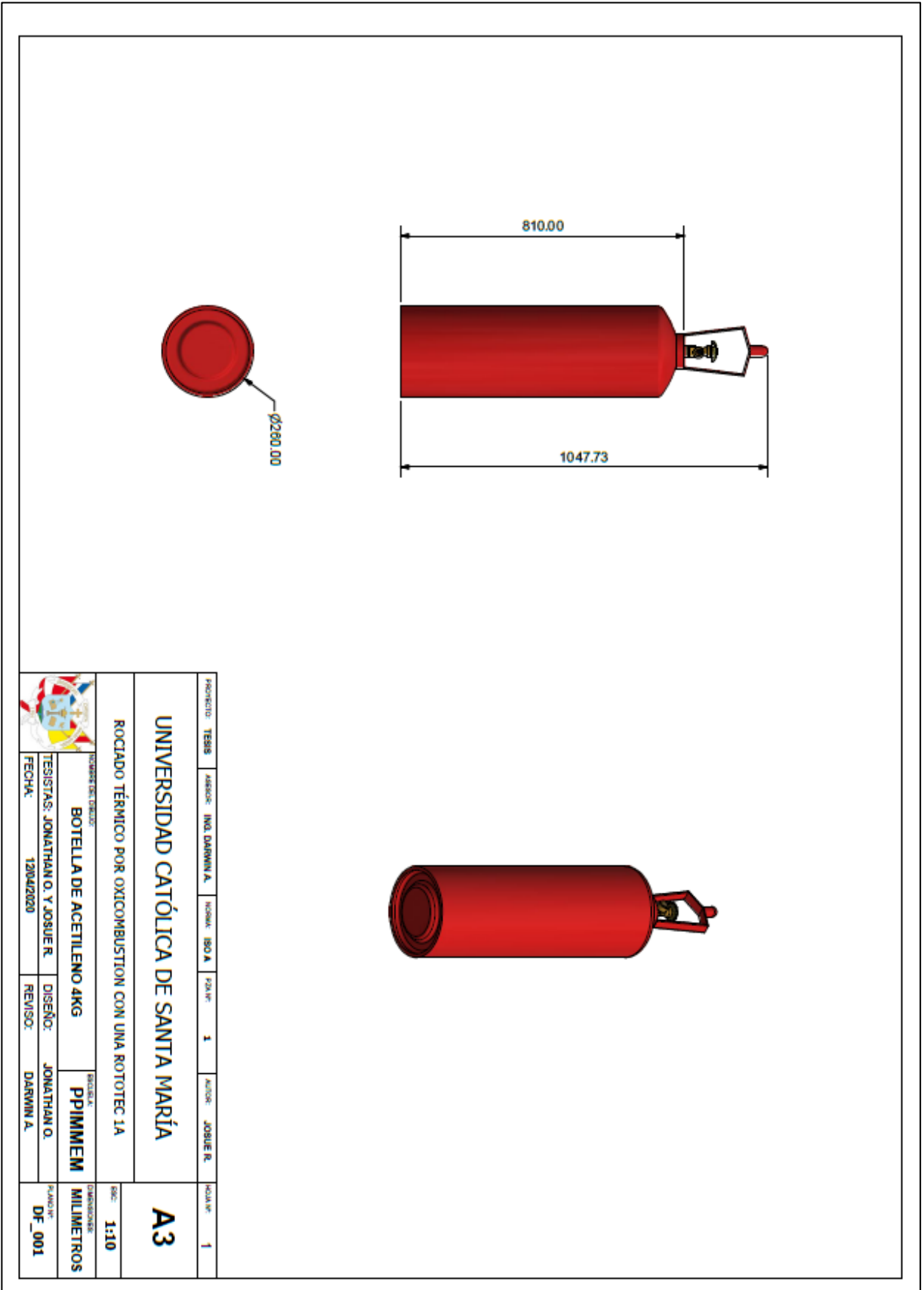


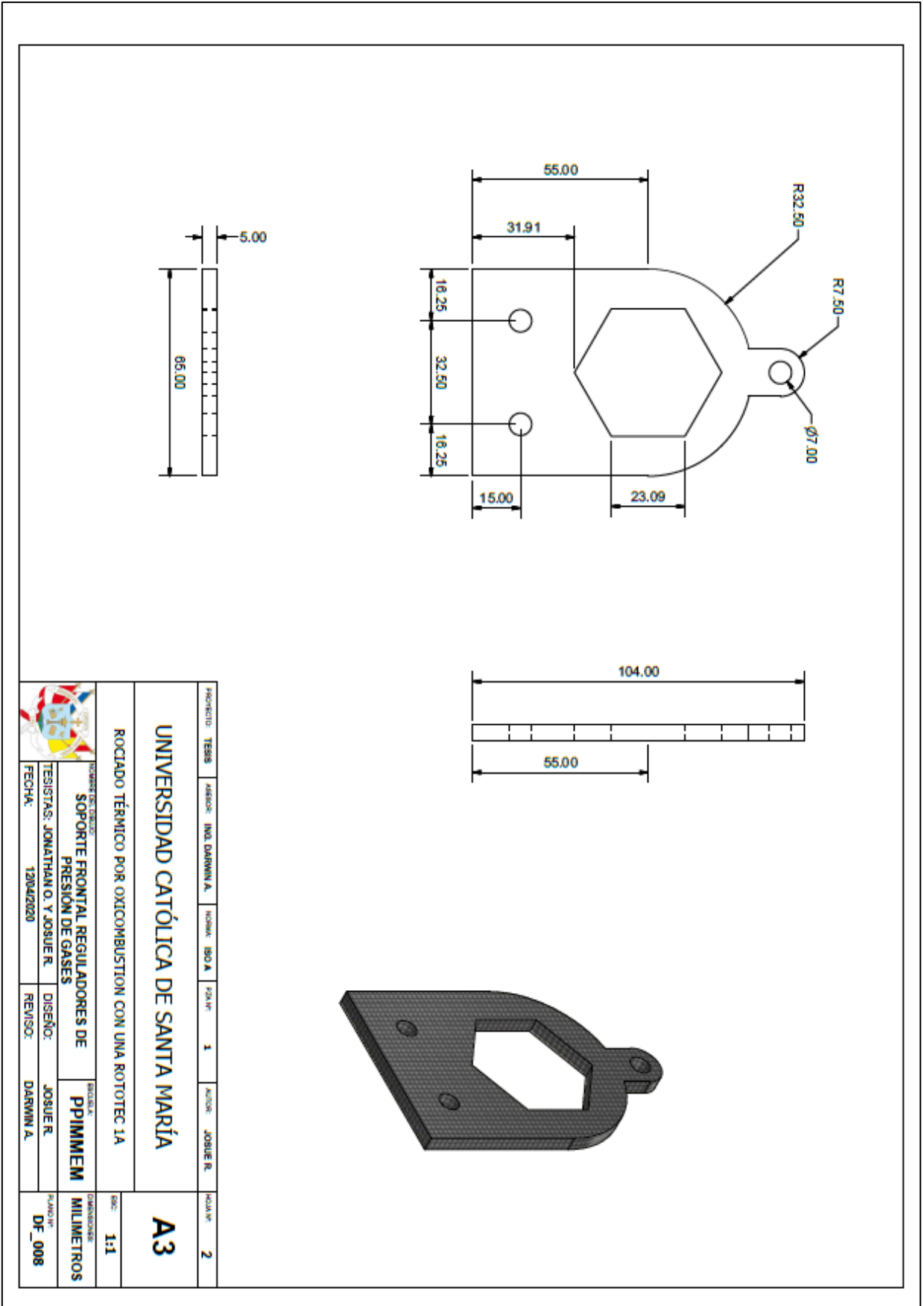


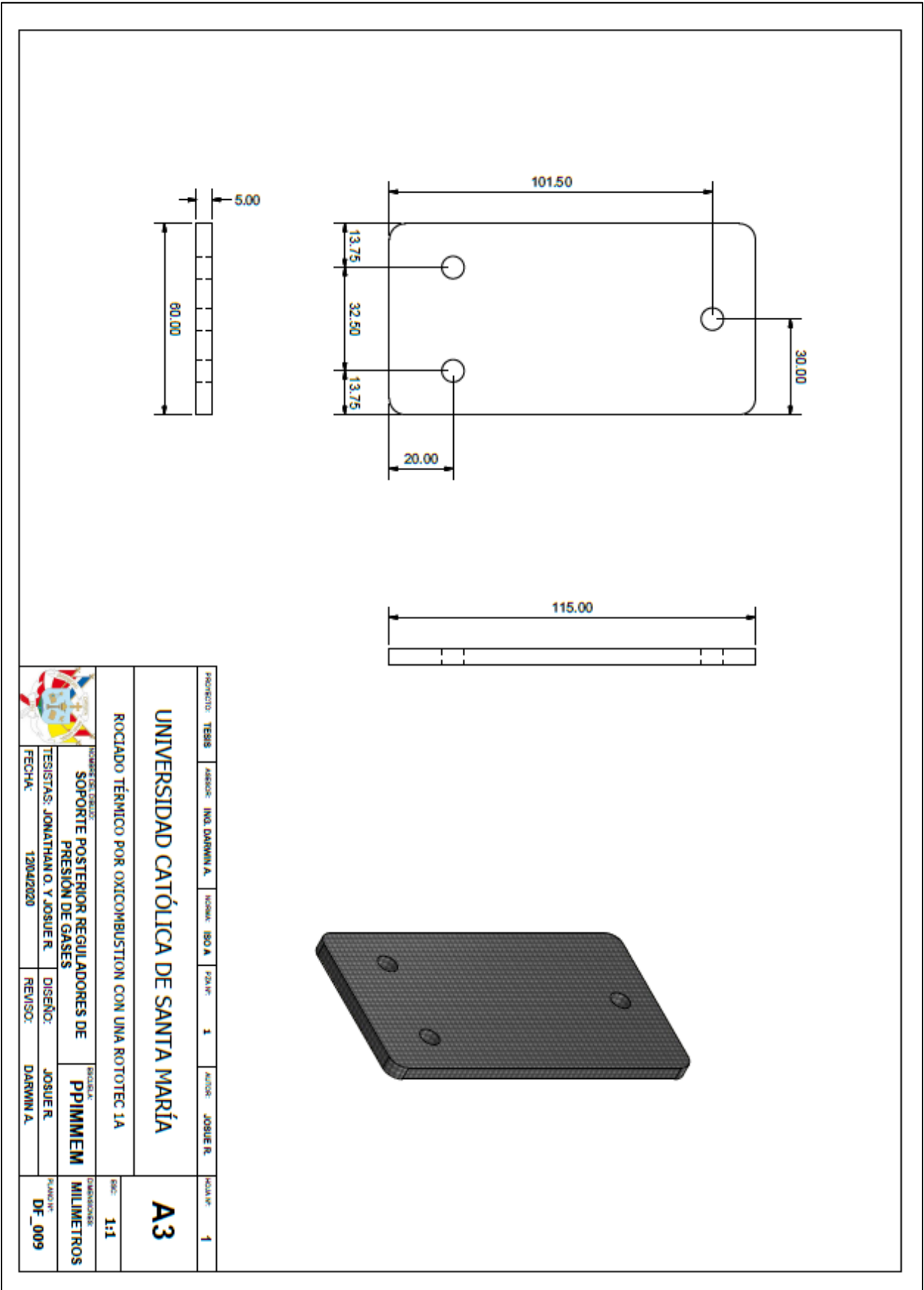


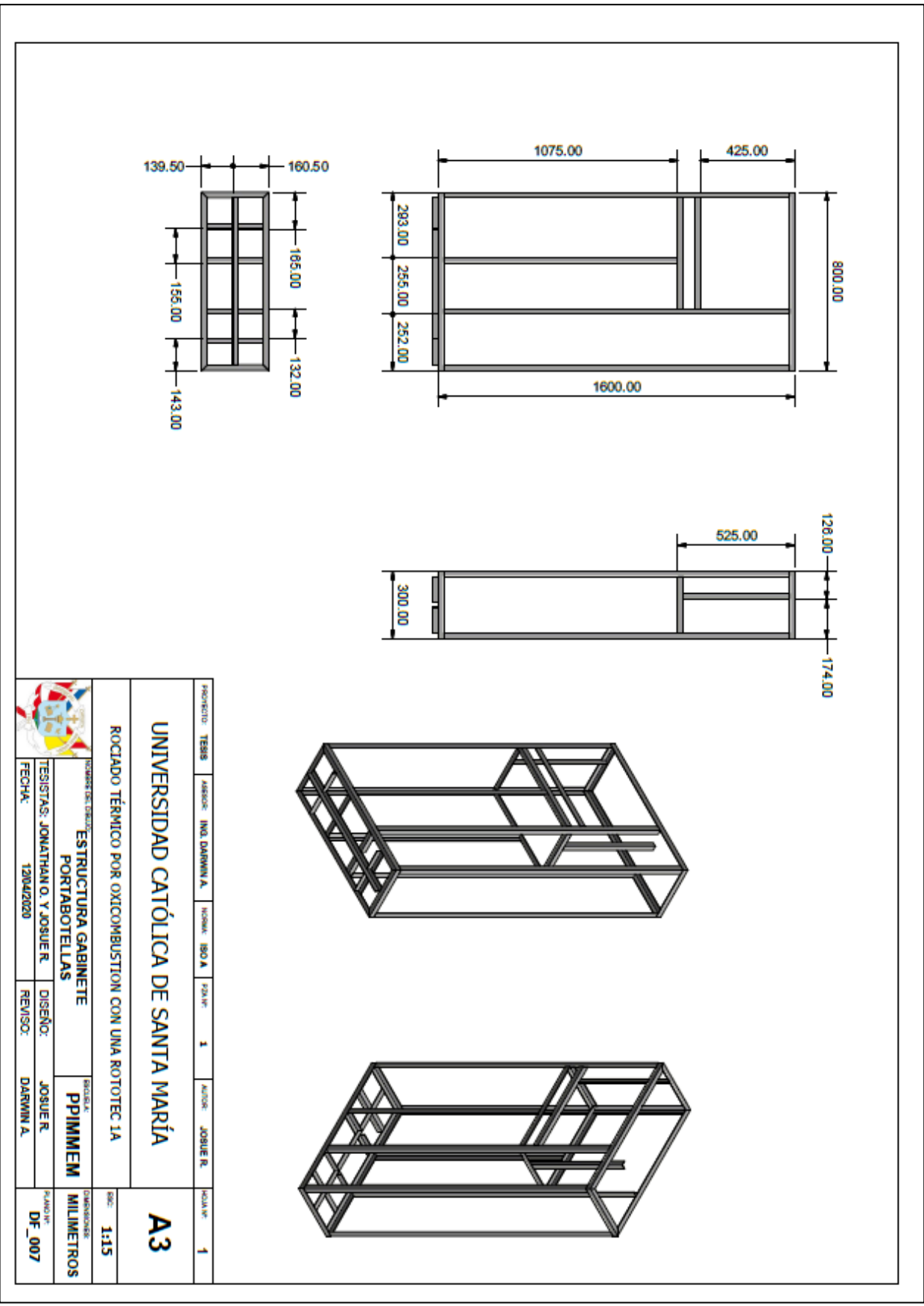
**PLANOS Y DISEÑO DEL MÓDULO DE ROCIADO
TÉRMICO**

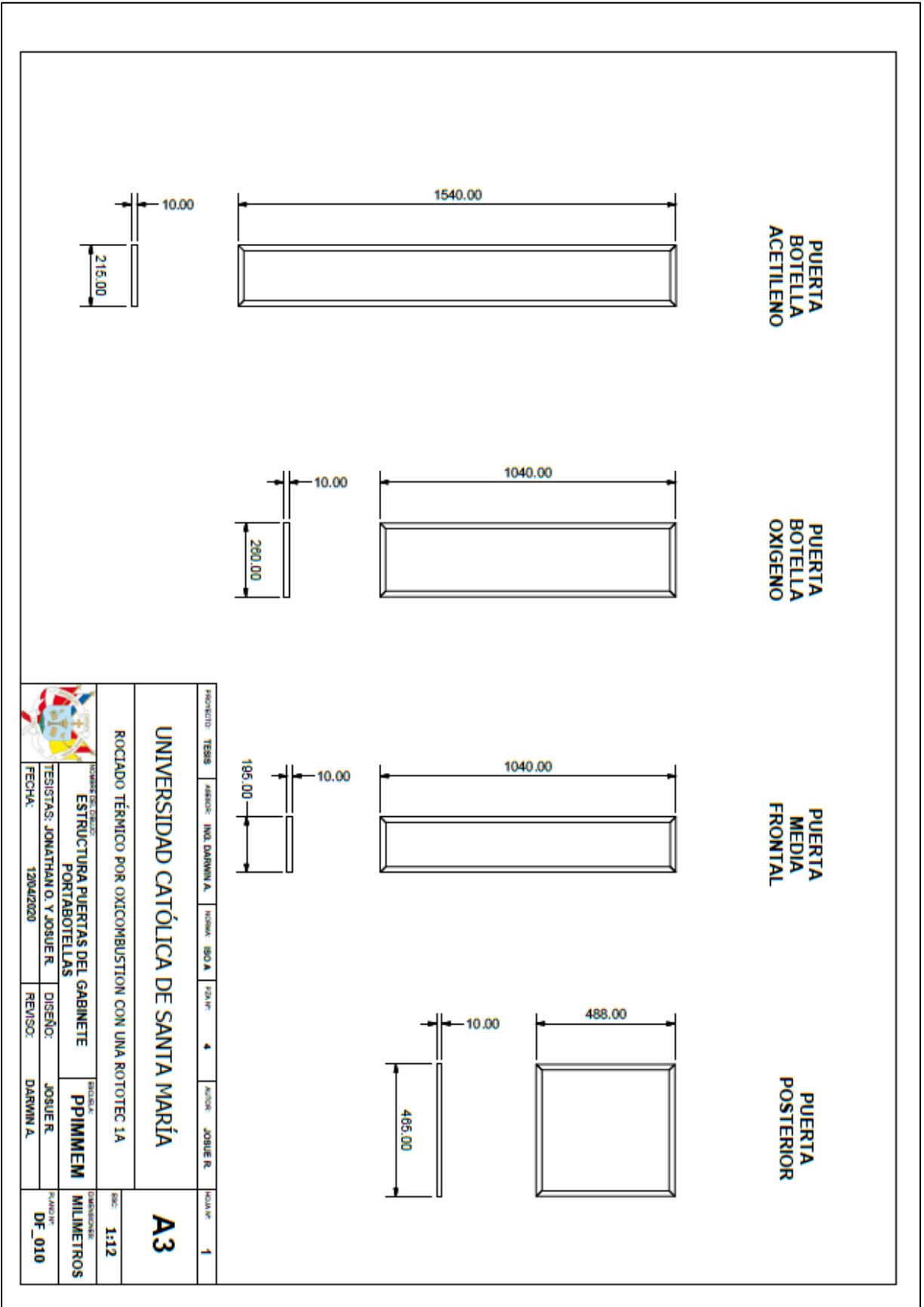


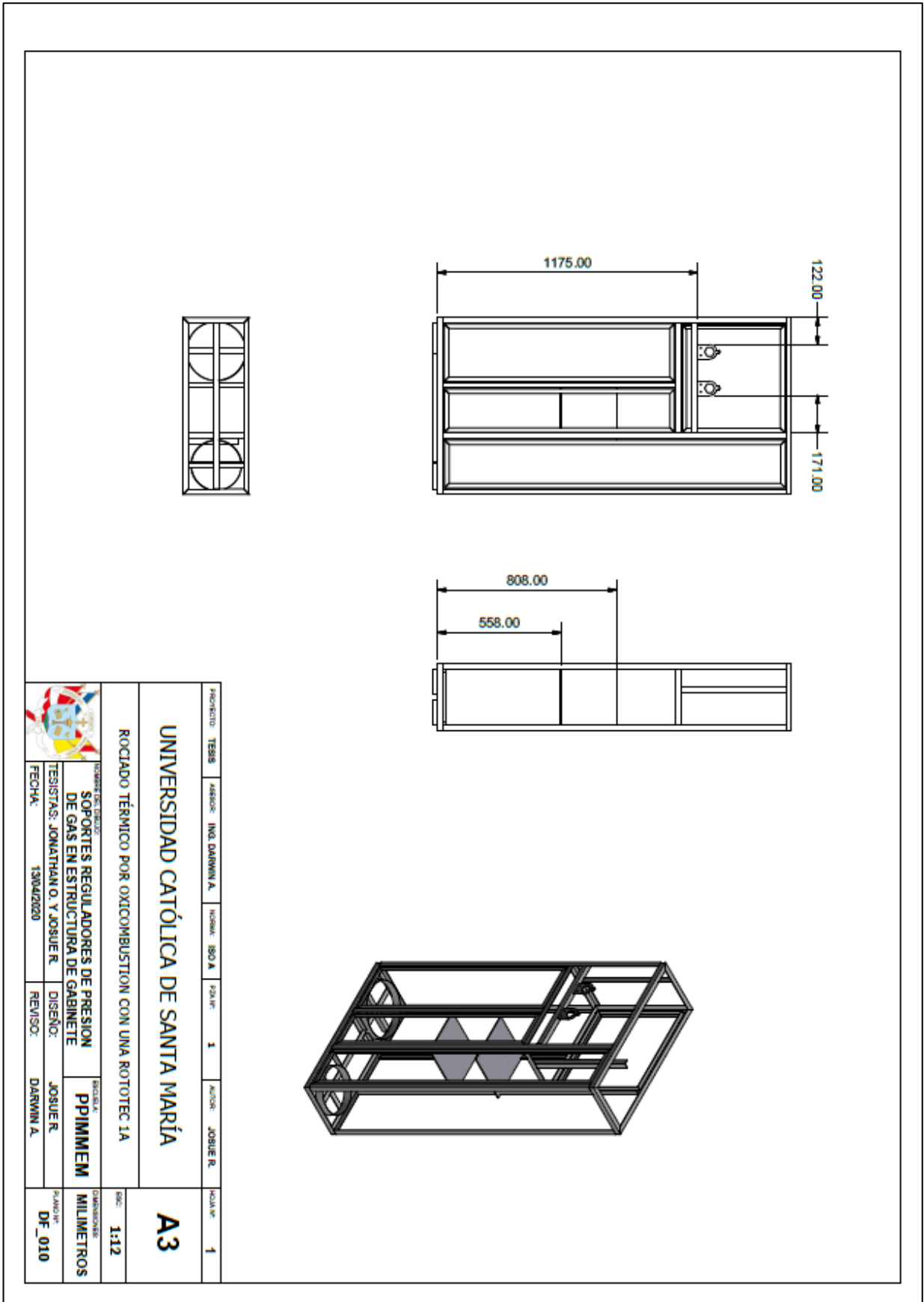






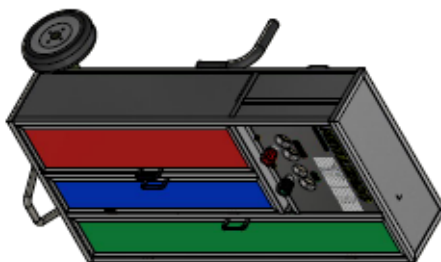
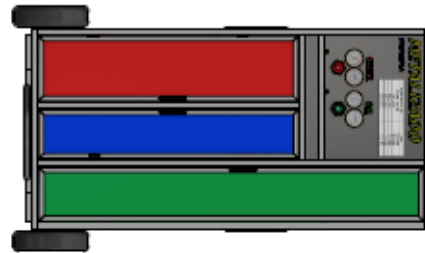






	PROYECTO: TESIS	AUTOR: ING. DARWIN A.	TÍTULO: 980 A	PÁGS: 1	AUTOR: JOSUE R.	ESCALA: 1
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA						
ROCIADO TÉRMICO POR OXICOMBUSTION CON UNA ROTOTEC 1A						
NOMBRE DEL TÍTULO: EJE Y LLANTAS PARA TRANSPORTE GABINETE PORTABOTELLAS			AUTOR: PPIMMEM			
TESISTAS: JONATHAN O. Y JOSUE R.			DISEÑO: JOSUE R.			
FECHA: 13/04/2020			REVISOR: DARWIN A.			
						ESCALA: MILIMETROS
						RÉG.: 1:15
						PLANO Nº: DF_012

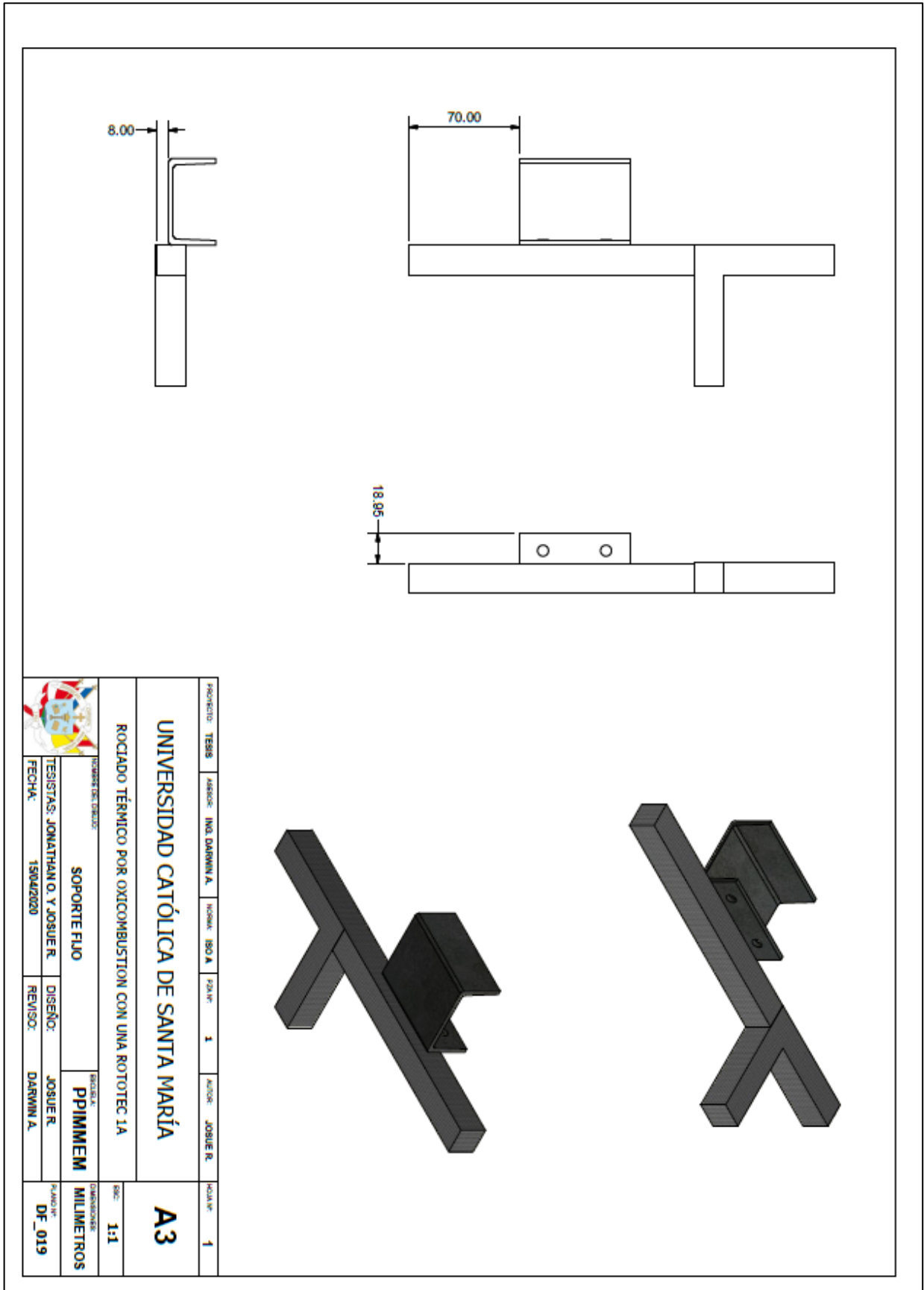
	PROYECTO: TESIS	ASESOR: INGL. DARWIN A.	NUMER. 880 A	FECHA: 1	AUTOR: JOSUE R.	ESCALA: 2
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA					
ROCIADO TÉRMICO POR OXICOMBUSTION CON UNA ROTOTEC 1A						
NOMBRE DEL TÍTULO: GABINETE PORTABOTELLAS DE GAS Y MATERIALES I	ESPECIAL: PPIMMEM					DIMENSIONES: MILIMETROS
TESISISTAS: JONATHAN O. Y JOSUE R.	DISEÑO: JOSUE R.					PLANIFICACION: DF_015
FECHA: 14/04/2020	REVISOR: DARWIN A.					

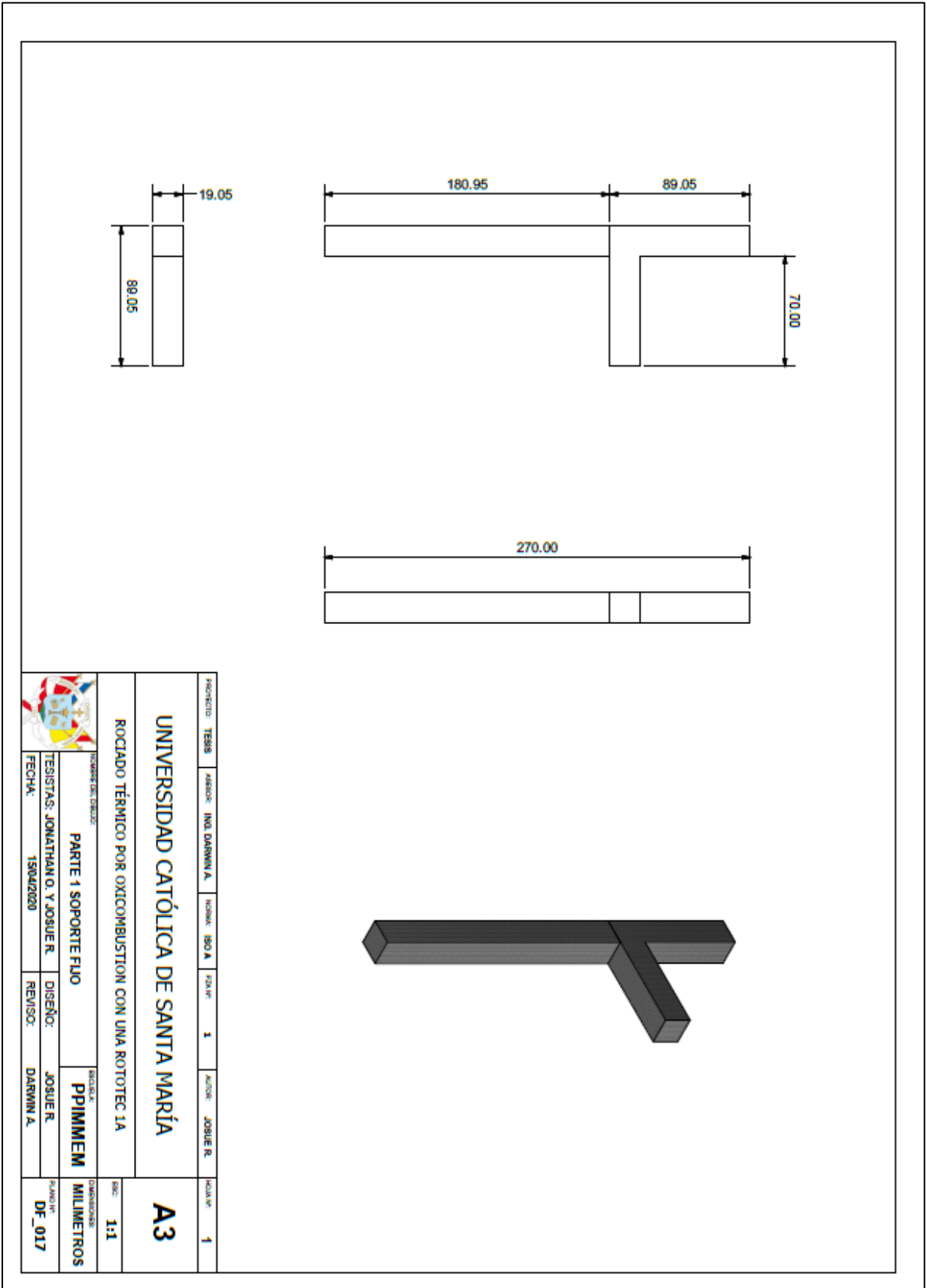


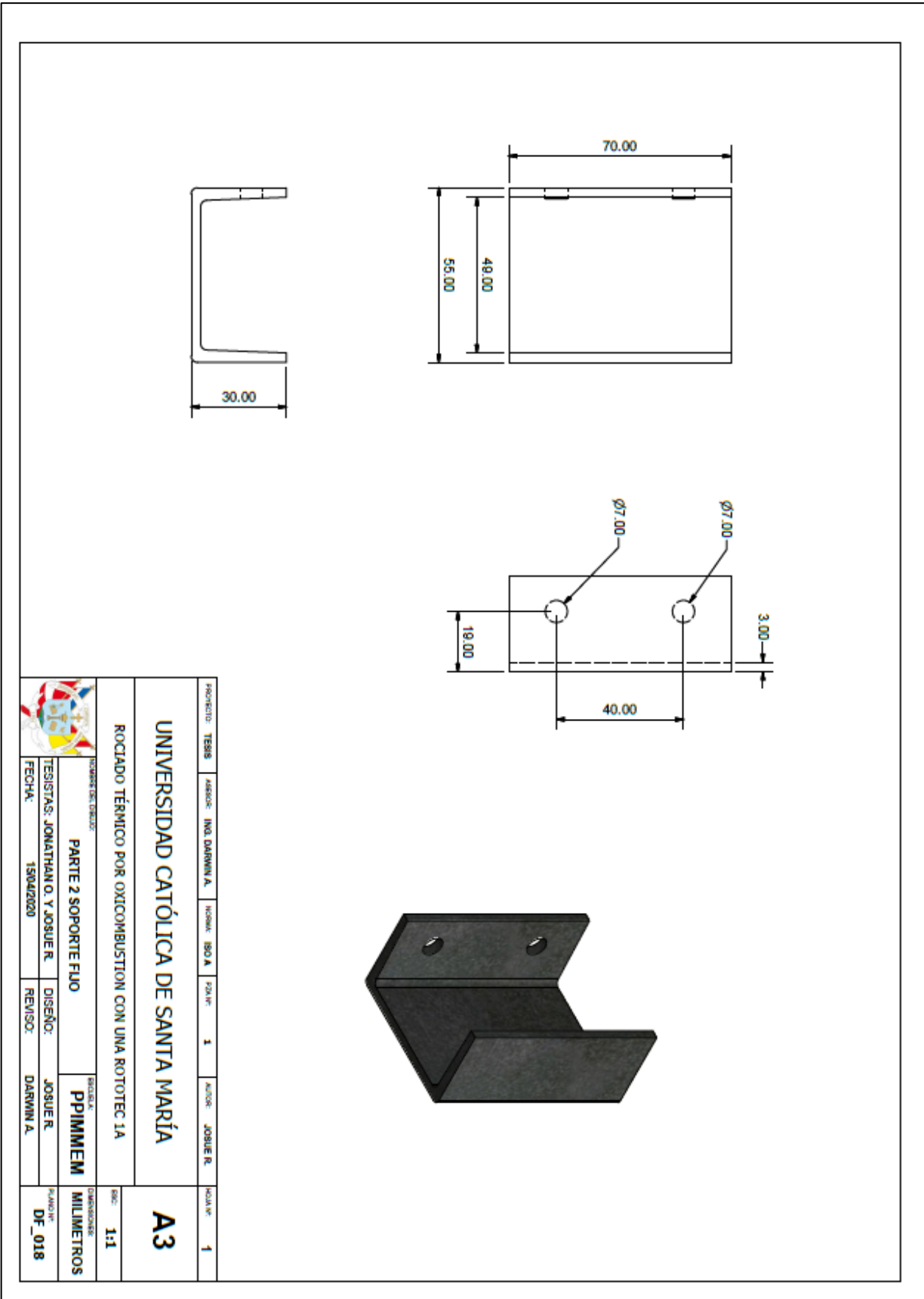
PROYECTO:	TESIS	ASesor:	ING. DARWIN A.	Norma:	ISO A	Página:	1	Autor:	JOSUE R.	Hoja N°:	2	
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA												
ROCIADO TÉRMICO POR OXICOMBUSTION CON UNA ROTOTEC 1A												
NOMBRE DEL TÍTULO:			GABINETE PORTABOTELLAS DE GAS Y MATERIALES			PROYECTO:			PPIMMEM			
TESISTAS:			JONATHAN O. Y JOSUE R.			DISEÑO:			JOSUE R.			
FECHA:			14/04/2020			REVISOR:			DARWIN A.			
										ESCALA:		1:15
										DIMENSIONES:		MILIMETROS
										PLANO N°:		DF_014

A large, faint watermark of the Universidad Católica de Santa María logo is centered on the page. It features a shield with a cross, a crown, and two open books, flanked by two crossed keys. The text 'UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA' is arched over the shield, and '1961' is written on a banner below it.

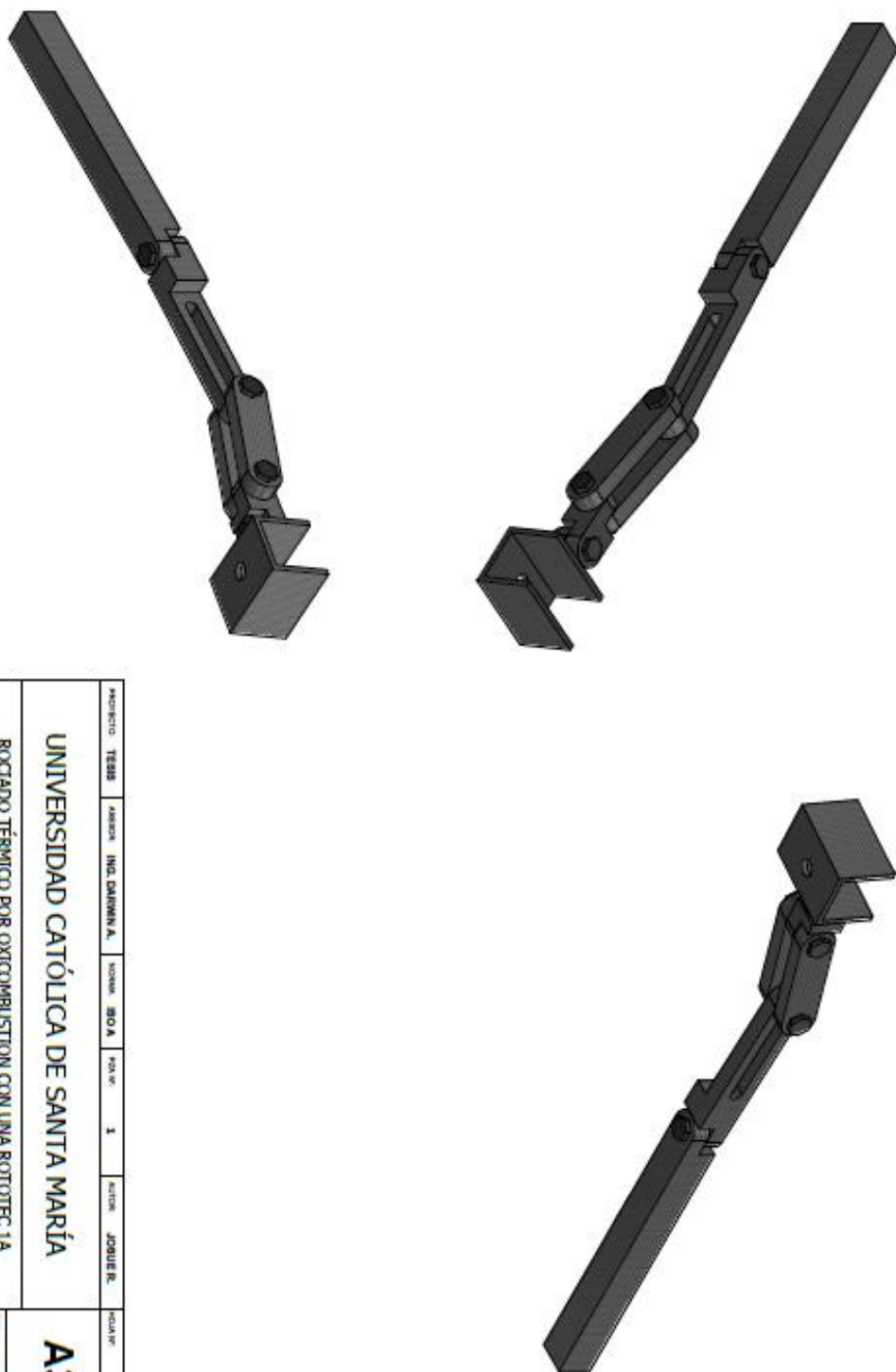
PLANOS Y DISEÑO DE SOPORTES FIJO Y MÓVIL




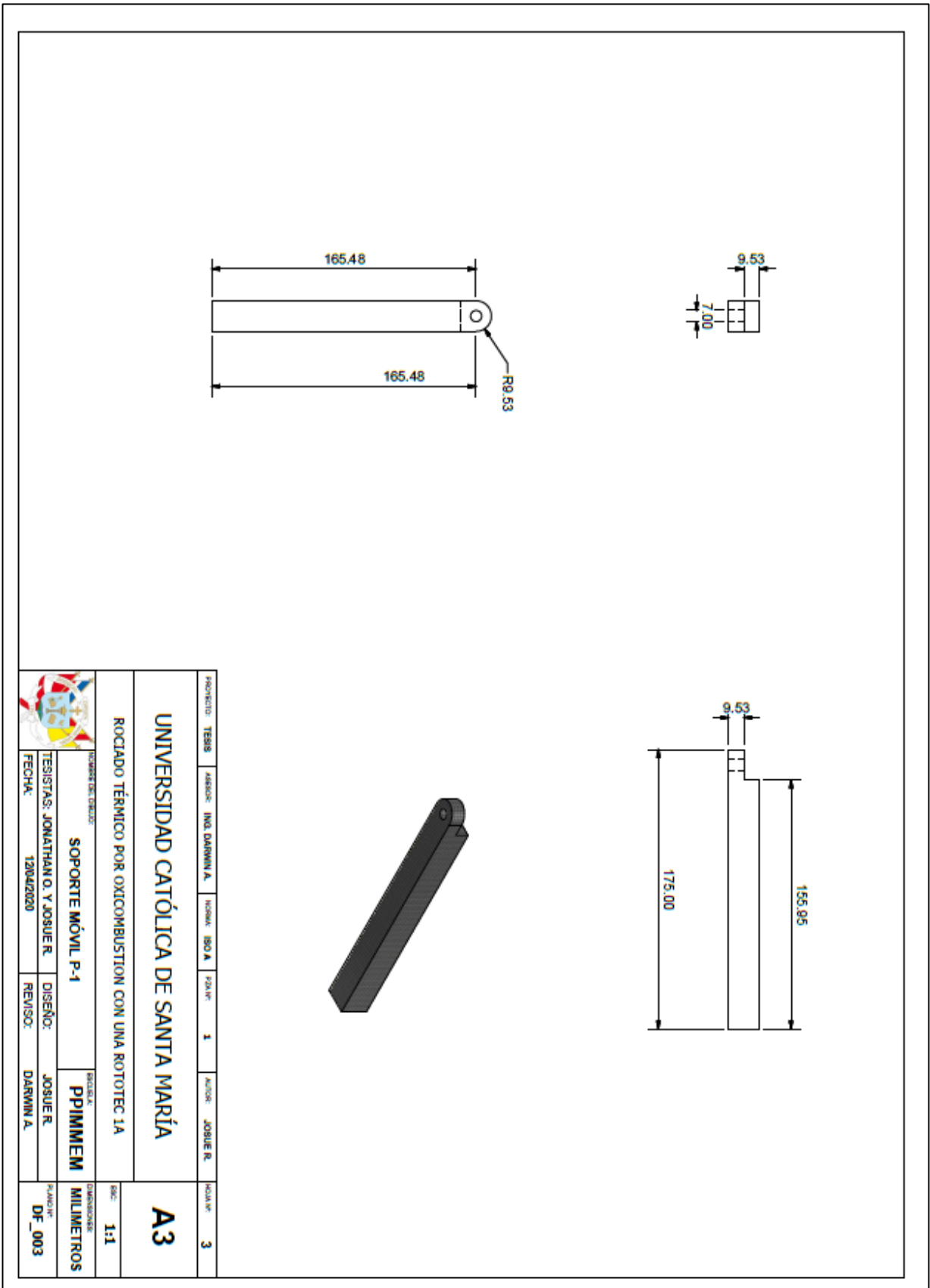


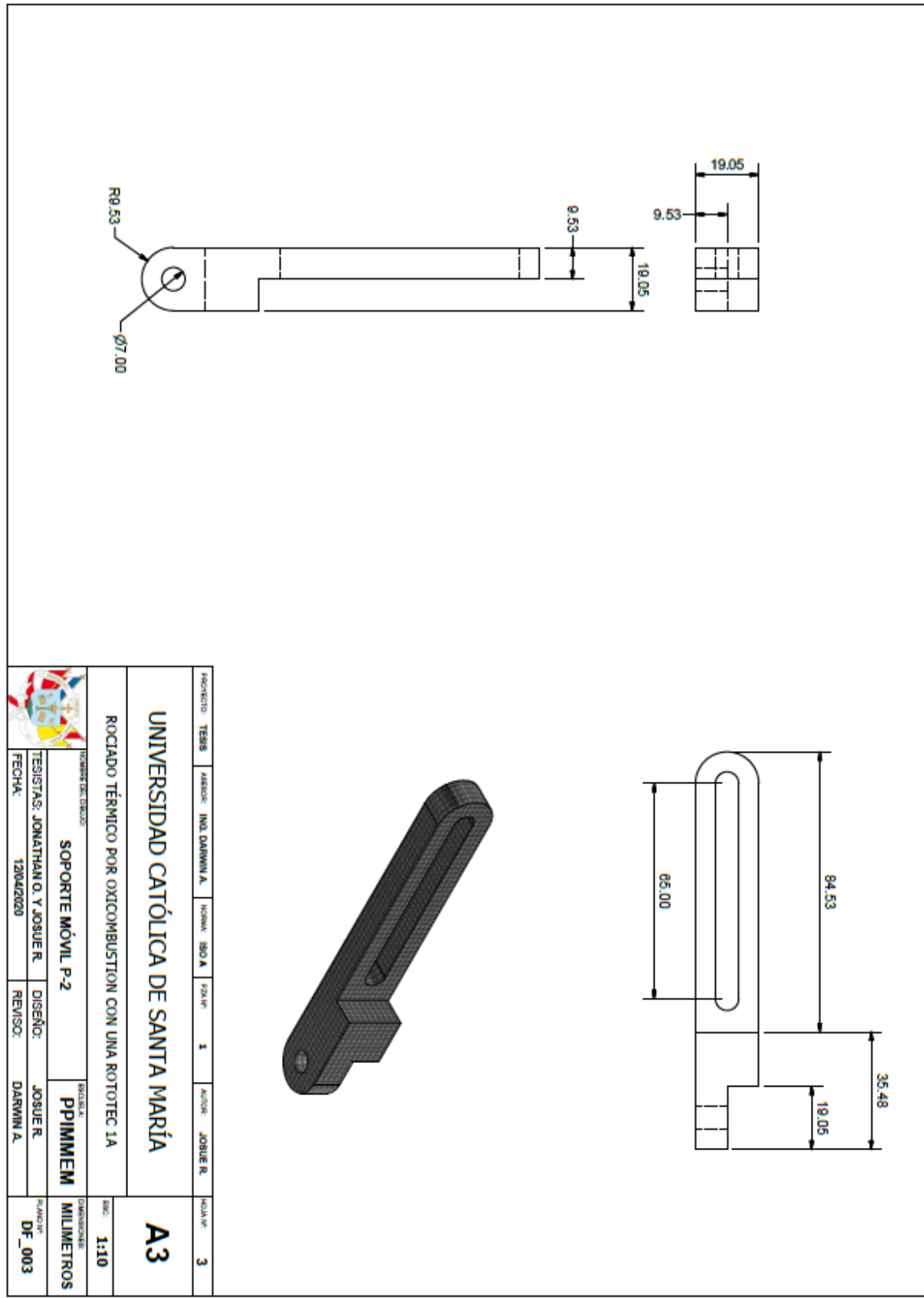


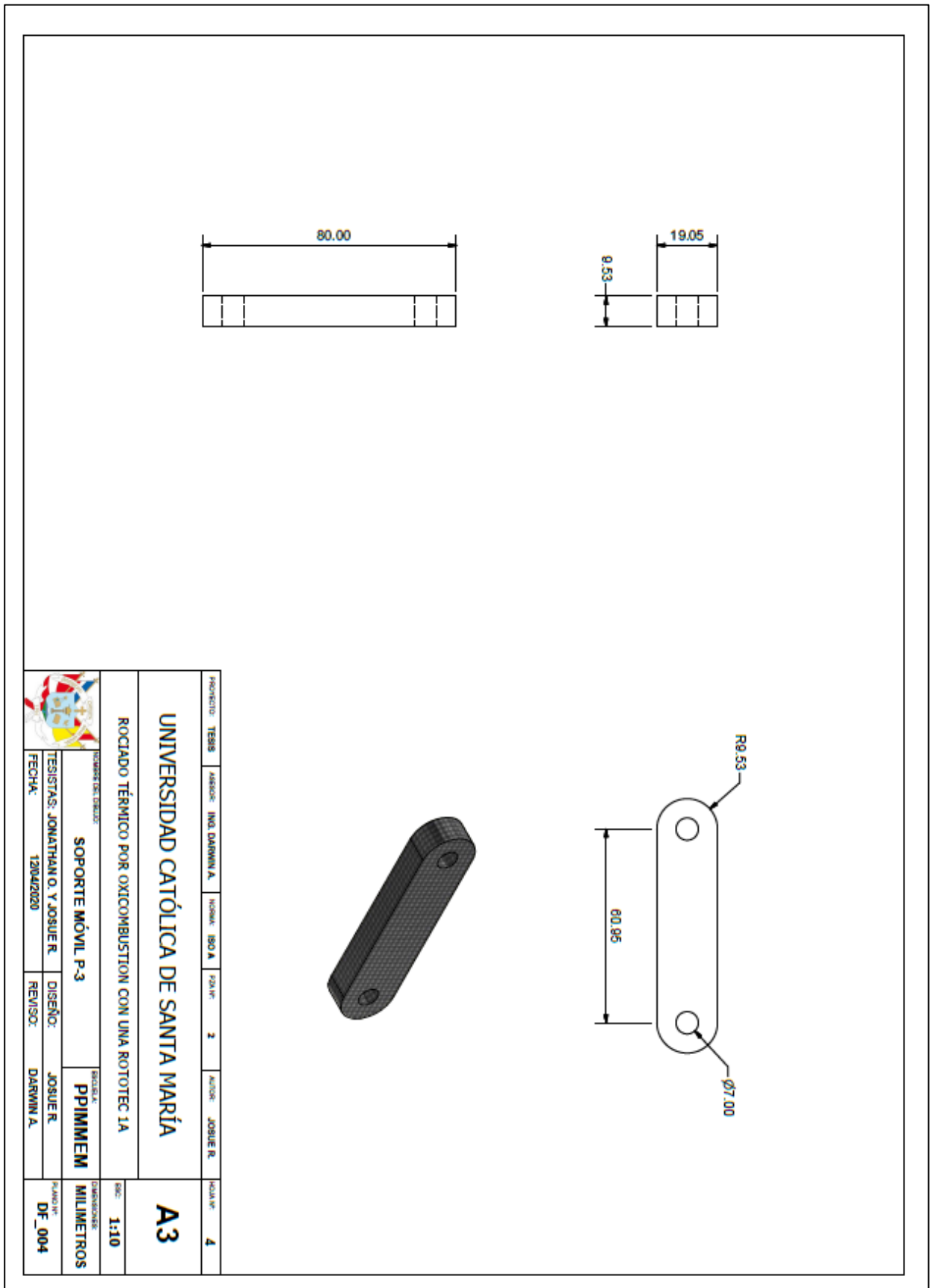
PROYECTO: TESIS	ASIGNA: ING. DARWIN A.	INFORM: ISO A	PSA Nº: 1	AUTORE: JOSUE R.	FECHA Nº: 1
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA					
ROCIADO TÉRMICO POR OXICOMBUSTION CON UNA ROTOTEC 1A					
TÍTULO DE LA PARTE: PARTE 2 SOPORTE FLUO			AUTOR: PIMMEM		
TESISTAS: JONATHAN O. Y JOSUE R.			DISEÑO: JOSUE R.		
FECHA: 15/04/2020			REVISOR: DARWIN A.		
ESCALA: MILIMETROS					FECHA: DF_018
Escala: 1:1					

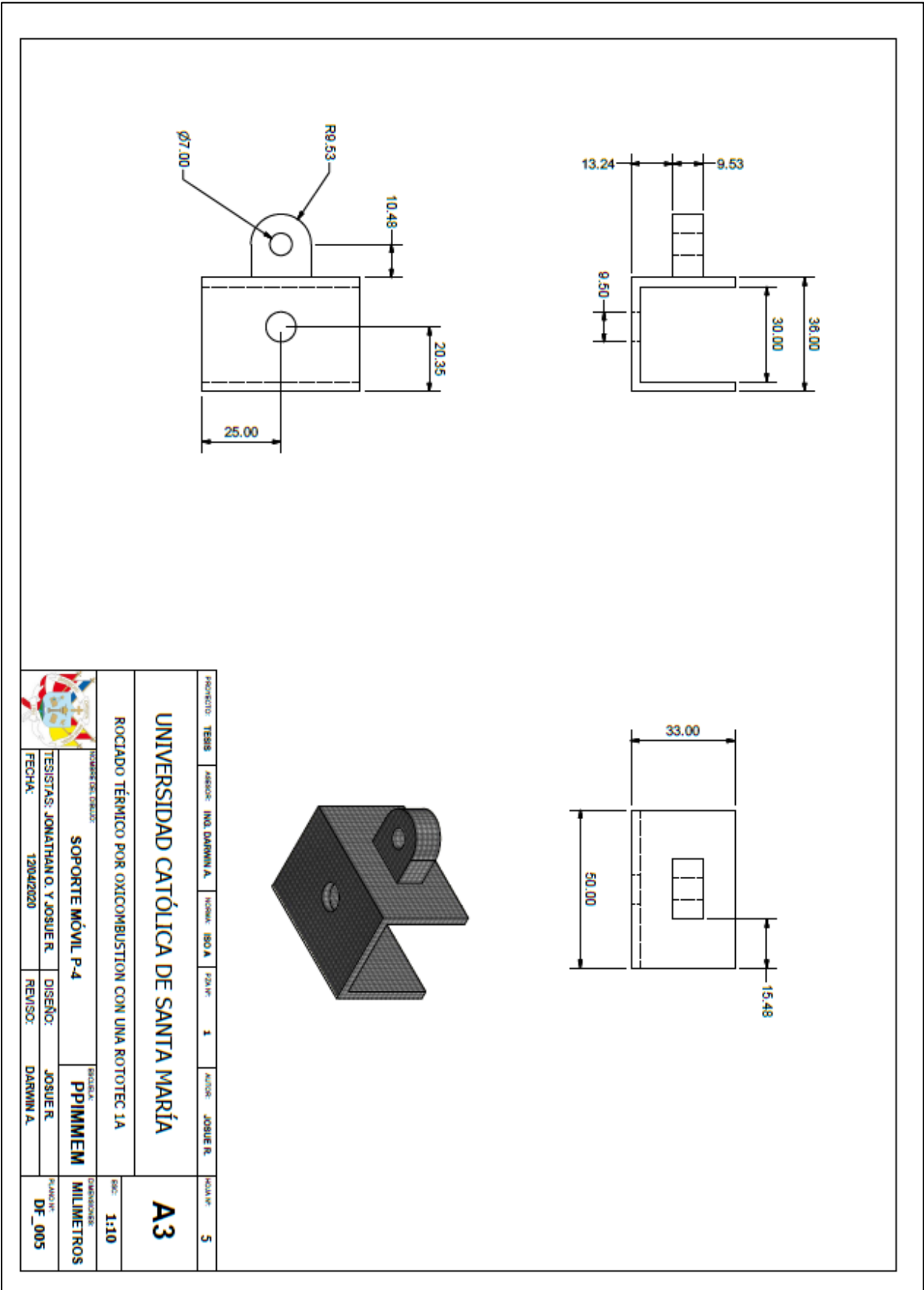


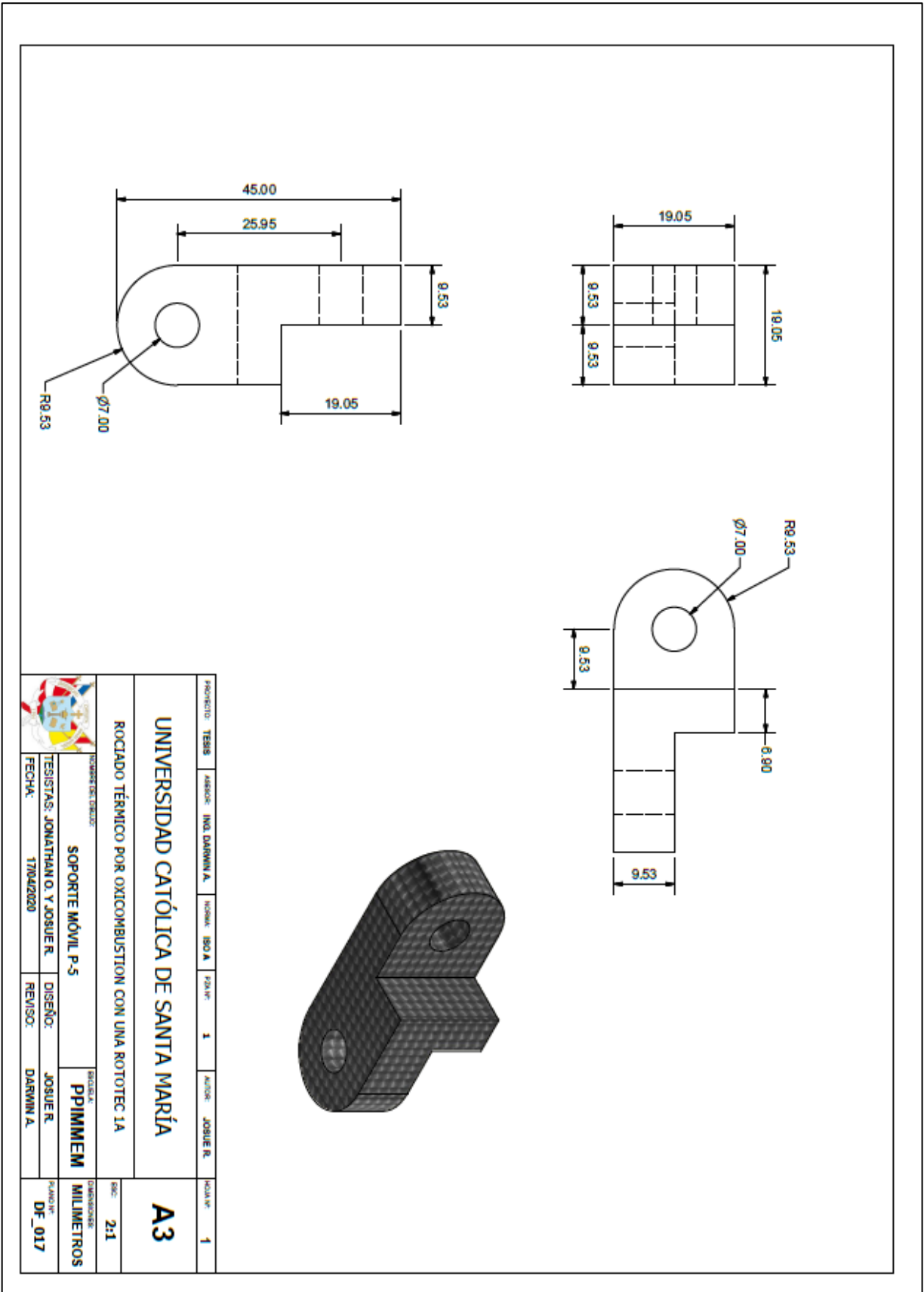
		TESIS		FASES:		ING. DARWIN A.		NOMB.:		BOA		CONV.:		1		AUTOR:		JOSUE R.		HOJA Nº:		7	
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA																							
ROCIADO TÉRMICO POR OXICOMBUSTION CON UNA ROTOTEC 1A																							
NOMBRE DE DISEÑO:												ESPECIALIDAD:											
SOPORTE MÓVIL ISOMETRICO												PPIMEMEM											
TESIS TIA:												DISEÑO:											
JONATHAN O. Y JOSUE R.												JOSUE R.											
FECHA:												REVISIO:											
12/04/2020												DARWIN A.											
PLANIFICACION:												ESCALA:											
DF_007												1:10											
UNIDADES:												A3											
MILIMETROS																							













**INFORME ANALISIS DE TENSION COMPUTACIONAL
SOPORTE FIJO**

Informe de análisis de tensión



Archivo analizado:	Soporte Fijo.iam
Versión de Autodesk Inventor:	2018 (Build 220112000, 112)
Fecha de creación:	15/04/2020, 18:54
Autor del estudio:	Josue R.T.
Resumen:	

Información de proyecto (iProperties)



Resumen



Autor Josue Ramirez / Jonathan Osorio



Proyecto

Part Number	SOPORTE FIJO
Coste	S/0.00
Fecha de creación	15/04/2020



Estado

Estado del diseño Trabajo en curso



Propiedades físicas

Masa	1.16551 kg
Área	42665 mm ²
Volumen	148473 mm ³
Centro de gravedad	x=1.5478 mm y=-1.24138 mm z=4.85157 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.



Análisis estático:1

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/04/2020, 18:51
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No

Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Material(es)

Nombre	Acero ASTM A36	
General	Densidad de masa	7.85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	248.225 MPa
	Resistencia máxima a tracción	399.9 MPa
Tensión	Módulo de Young	199.959 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.3 su
	Módulo cortante	76.9073 GPa
Nombre(s) de pieza	PARTE 11 PARTE 22	

☐

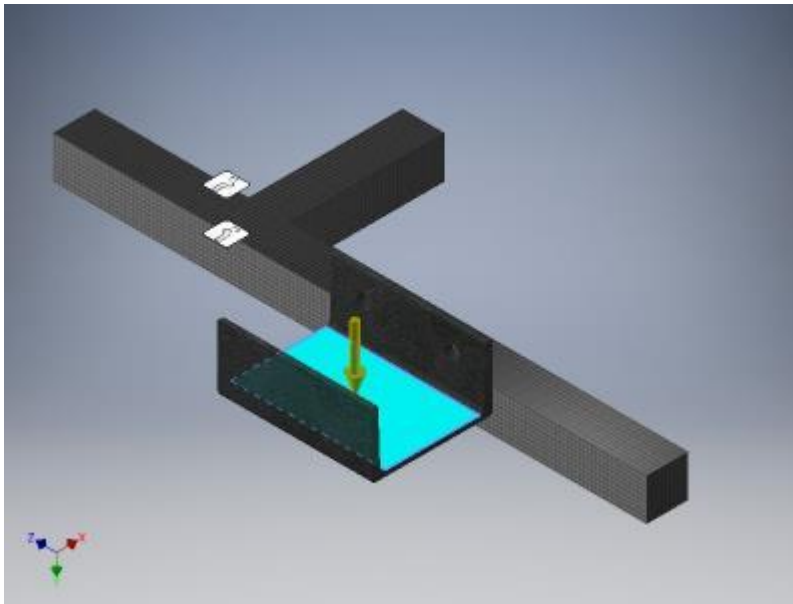
Condiciones de funcionamiento

☐

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	50.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	50.000 N
Vector Z	0.000 N

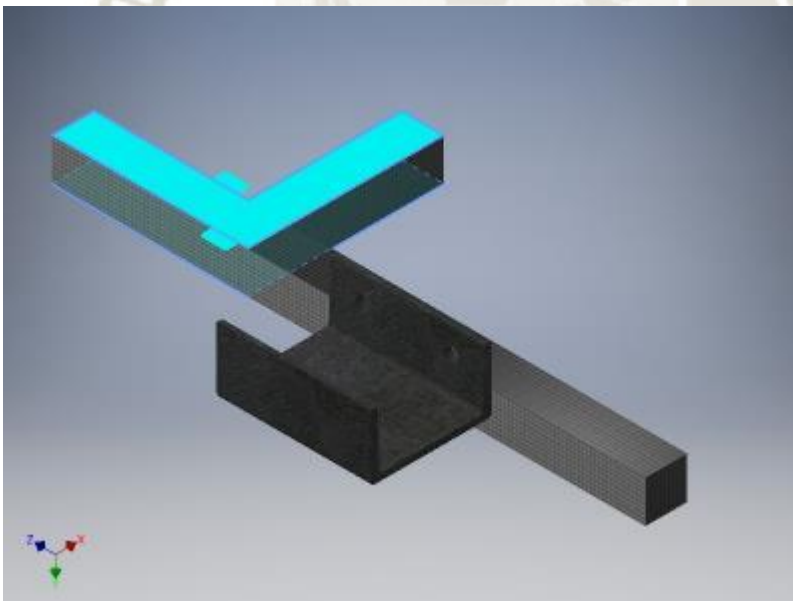
☐ **Cara(s) seleccionada(s)**



☐ **Restricción fija:1**

Tipo de restricción Restricción fija

☐ **Cara(s) seleccionada(s)**



☐ **Contactos (Bloqueado)**

Nombre	Nombre(s) de pieza
Bloqueado: 1	PARTE 11:1 PARTE 22:1

☐ **Resultados**

☐ **Fuerza y pares de reacción en restricciones**

☐

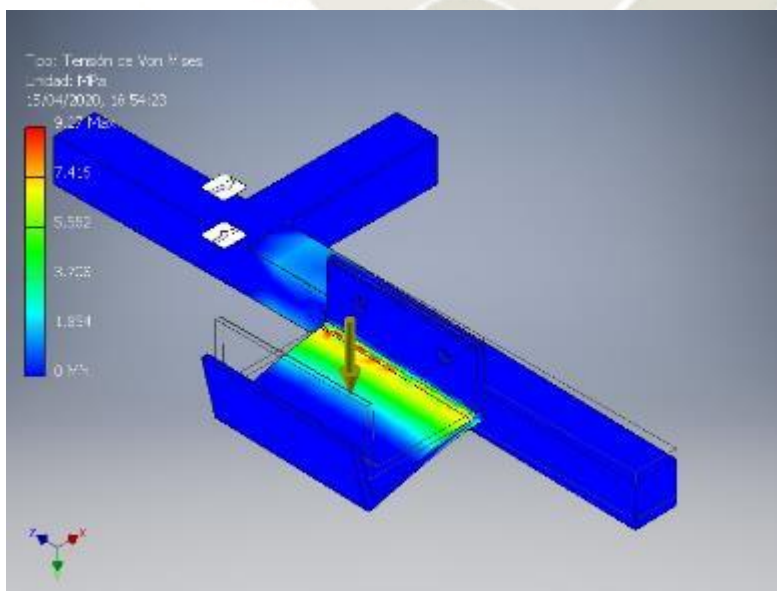
Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	50 N	0 N	5.96735 N m	-5.25262 N m
		-50 N		0 N m
		0 N		2.83183 N m

☐ **Resumen de resultados**

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	148473 mm ³	
Masa	1.16551 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000183663 MPa	9.27032 MPa
Primera tensión principal	-0.749998 MPa	11.9205 MPa
Tercera tensión principal	-8.89174 MPa	2.72017 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.0361878 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su

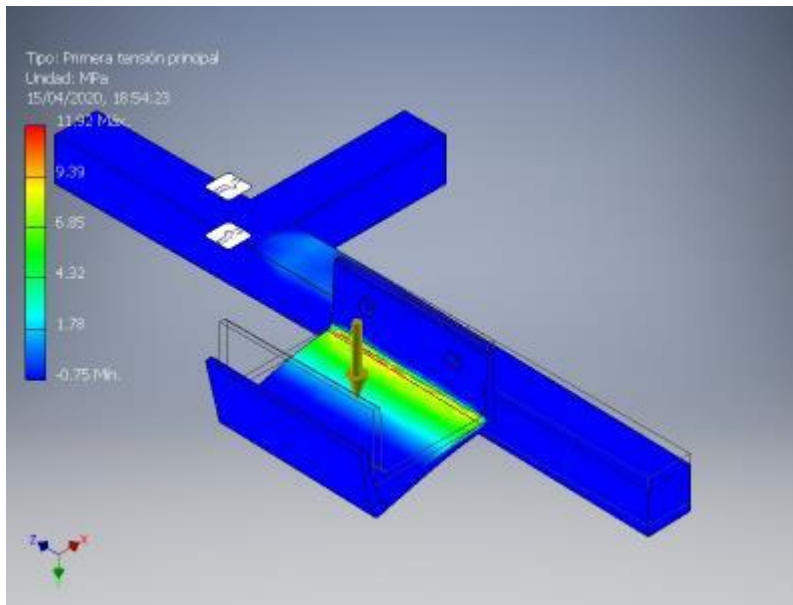
☐ **Figuras**

☐ **Tensión de Von Mises**

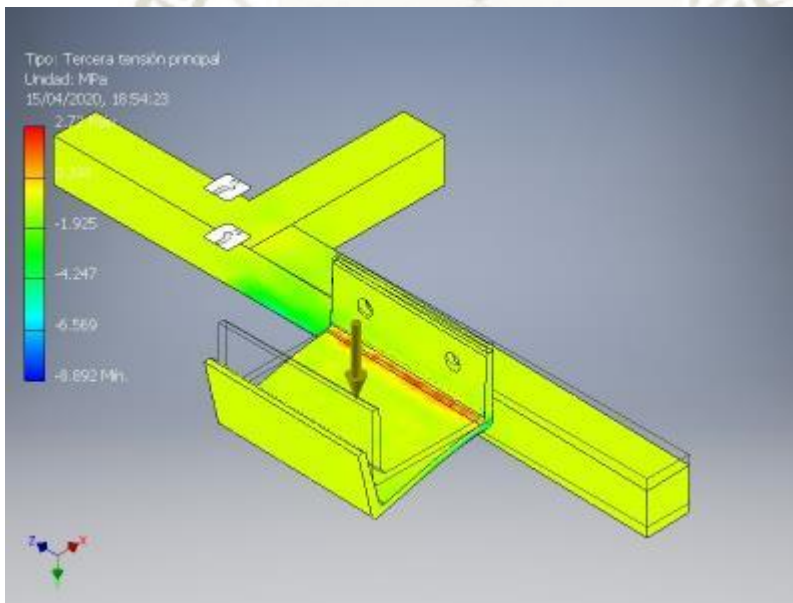




Primera tensión principal

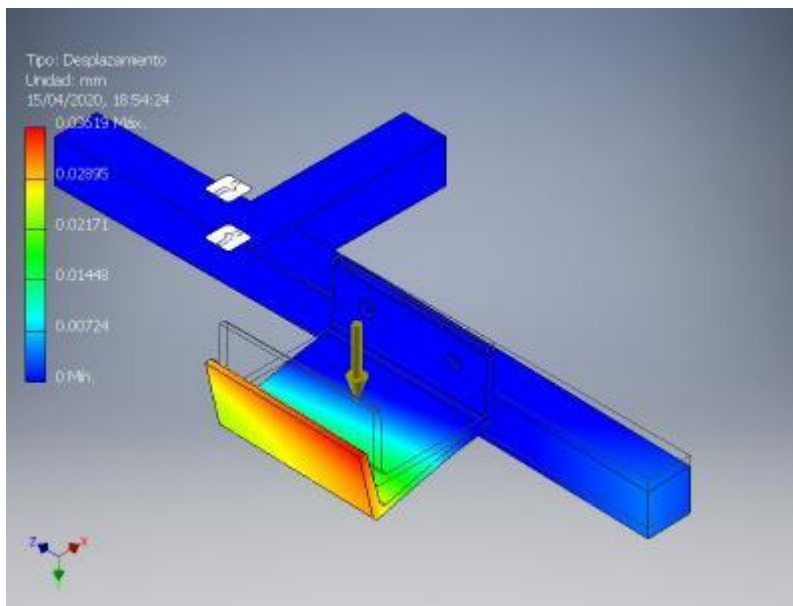


Tercera tensión principal

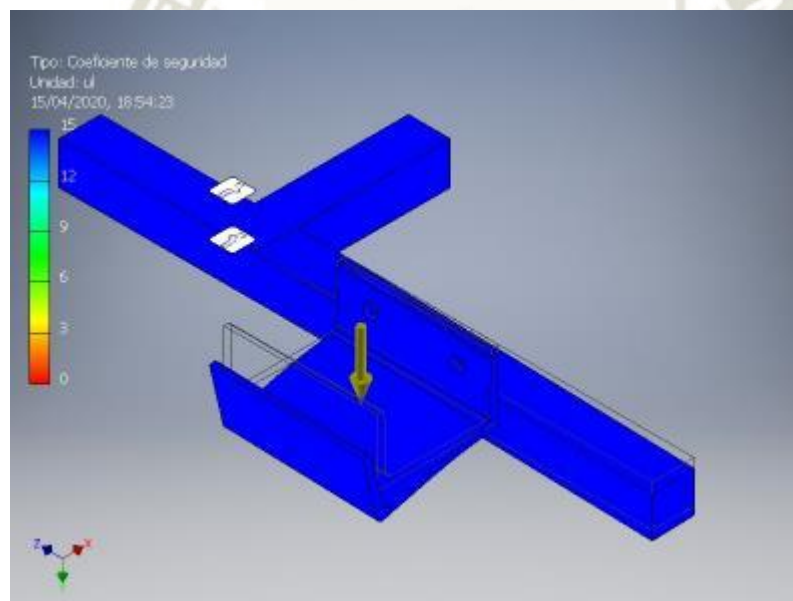




Desplazamiento



Coefficiente de seguridad





**INFORME ANALISIS DE TENSION COMPUTACIONAL
SOPORTE MOVIL**

Informe de análisis de tensión



Archivo analizado:	Soporte Móvil.iam
Versión de Autodesk Inventor:	2018 (Build 220112000, 112)
Fecha de creación:	14/04/2020, 21:27
Autor del estudio:	JOSUE R.T.
Resumen:	

Información de proyecto (iProperties)

Proyecto

Designer	Josue Ramirez / Jonathan Osorio
----------	---------------------------------

Análisis estático:2

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	14/04/2020, 21:24
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Material(es)

Nombre	Acero ASTM A36	
General	Densidad de masa	7.85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	248.225 MPa
	Resistencia máxima a tracción	399.9 MPa

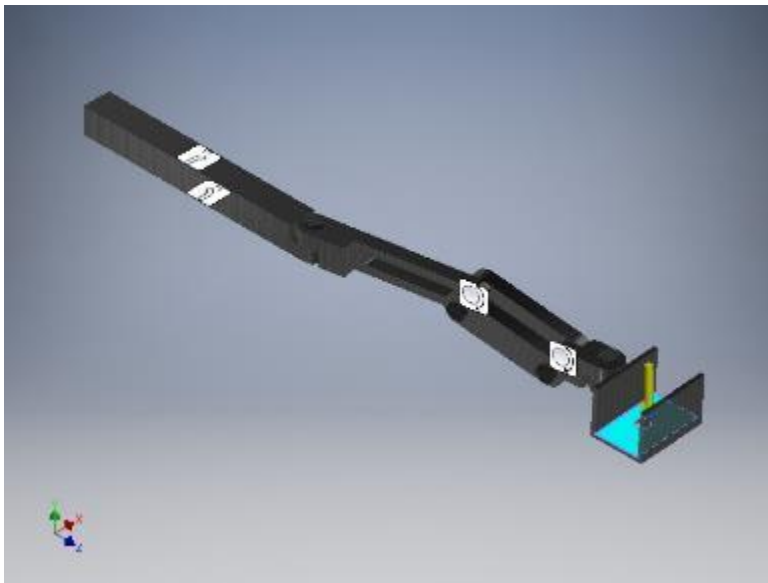
Tensión	Módulo de Young	199.959 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.3 su
	Módulo cortante	76.9073 GPa
Nombre(s) de pieza	PARTE 1 PARTE 4 PASADOR SOPORTE II PASADOR SOPORTE II PASADOR 1 SOPORTE II PASADOR 1 SOPORTE II	
Nombre	Aluminio 6061, soldado	
General	Densidad de masa	2.7 g/cm ³
	Límite de elasticidad	55 MPa
	Resistencia máxima a tracción	62 MPa
Tensión	Módulo de Young	68.9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.33 su
	Módulo cortante	25.9023 GPa
Nombre de la Pieza	Parte 2 Parte 3 Parte 5	

☐ **Condiciones de funcionamiento**

☐ **Fuerza:1**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	50.000 N
Vector X	0.085 N
Vector Y	-49.997 N
Vector Z	0.562 N

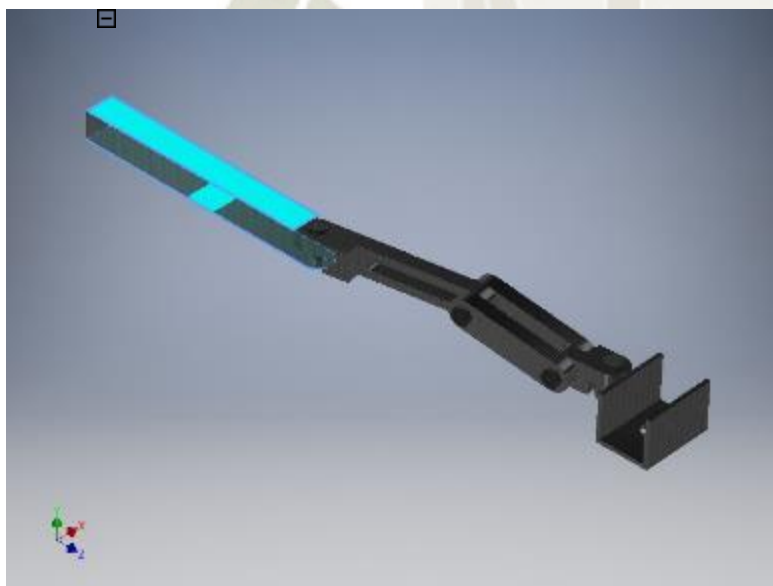
☐ **Cara(s) seleccionada(s)**



☐ **Restricción fija:1**

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

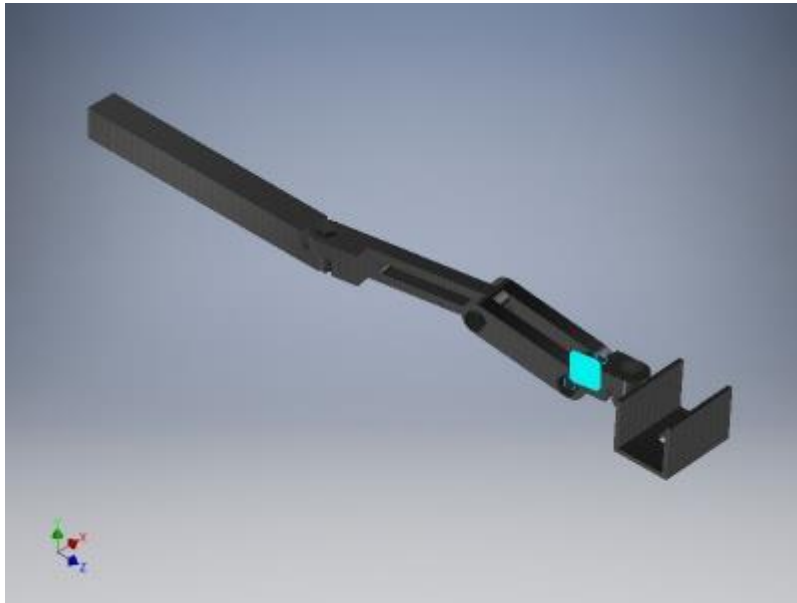
☐ **Cara(s) seleccionada(s)**



Restricción de pasador:1

Tipo de restricción	Restricción de Pasador
Fijar dirección radial	Sí
Fijar dirección axial	Sí
Fijar dirección tangencial	No

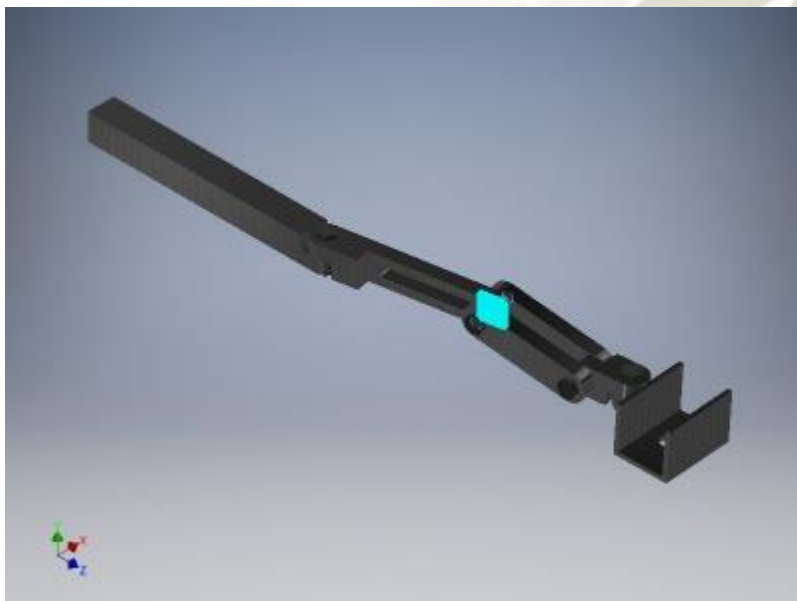
☐ **Cara(s) seleccionada(s)**



☐ **Restricción de pasador:2**

Tipo de restricción	Restricción de pasador
Fijar dirección radial	Sí
Fijar dirección axial	Sí
Fijar dirección tangencial	No

☐ **Cara(s) seleccionada(s)**





Contactos (Bloqueado)

Nombre	
Bloqueado:1	PARTE 4:1 PARTE 5:1
Bloqueado:2	PARTE 1:1 PARTE 2:1
Bloqueado:3	PARTE 2:1 PARTE 3:2
Bloqueado:4	PARTE 2:1 PARTE 3:1
Bloqueado:5	PARTE 3:1 PARTE 5:1
Bloqueado:6	PARTE 3:2 PARTE 5:1
Bloqueado:7	PARTE 4:1 PASADOR SOPORTE II:2
Bloqueado:8	PARTE 4:1 PASADOR SOPORTE II:2
Bloqueado:9	PARTE 1:1 PASADOR SOPORTE II:1
Bloqueado:10	PARTE 1:1 PASADOR SOPORTE II:1
Bloqueado:11	PARTE 2:1 PASADOR SOPORTE II:1
Bloqueado:12	PARTE 2:1 PASADOR SOPORTE II:1
Bloqueado:13	PARTE 5:1 PASADOR SOPORTE II:2
Bloqueado:14	PARTE 3:2 PASADOR 1 SOPORTE II:1
Bloqueado:15	PARTE 3:2 PASADOR 1 SOPORTE II:2
Bloqueado:16	PARTE 3:1 PASADOR 1 SOPORTE II:1
Bloqueado:17	PARTE 3:1 PASADOR 1 SOPORTE II:2
Bloqueado:18	PARTE 5:1 PASADOR SOPORTE II:2
Bloqueado:19	PARTE 2:1 PASADOR 1 SOPORTE II:1
Bloqueado:20	PARTE 2:1 PASADOR 1 SOPORTE II:1
Bloqueado:21	PARTE 2:1 PASADOR 1 SOPORTE II:1

Bloqueado:2 2	PARTE 3:1 PASADOR 1 SOPORTE II:1
Bloqueado:2 3	PARTE 3:2 PASADOR 1 SOPORTE II:1
Bloqueado:2 4	PARTE 3:1 PASADOR 1 SOPORTE II:2
Bloqueado:2 5	PARTE 3:2 PASADOR 1 SOPORTE II:2
Bloqueado:2 6	PARTE 5:1 PASADOR 1 SOPORTE II:2

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	1.16707 N	0.110054 N	0.0631308 N m	-0.0627545 N m
		1.00753 N		0.00685623 N m
		0.578637 N		0.000603446 N m
Restricción de pasador:1	88.7651 N	2.48643 N	0.108033 N m	0.0188588 N m
		87.6798 N		-0.019985 N m
		13.6125 N		0.10448 N m
Restricción de pasador:2	41.546 N	-2.65054 N	0 N m	0 N m
		-38.7584 N		0 N m
		-14.7253 N		0 N m

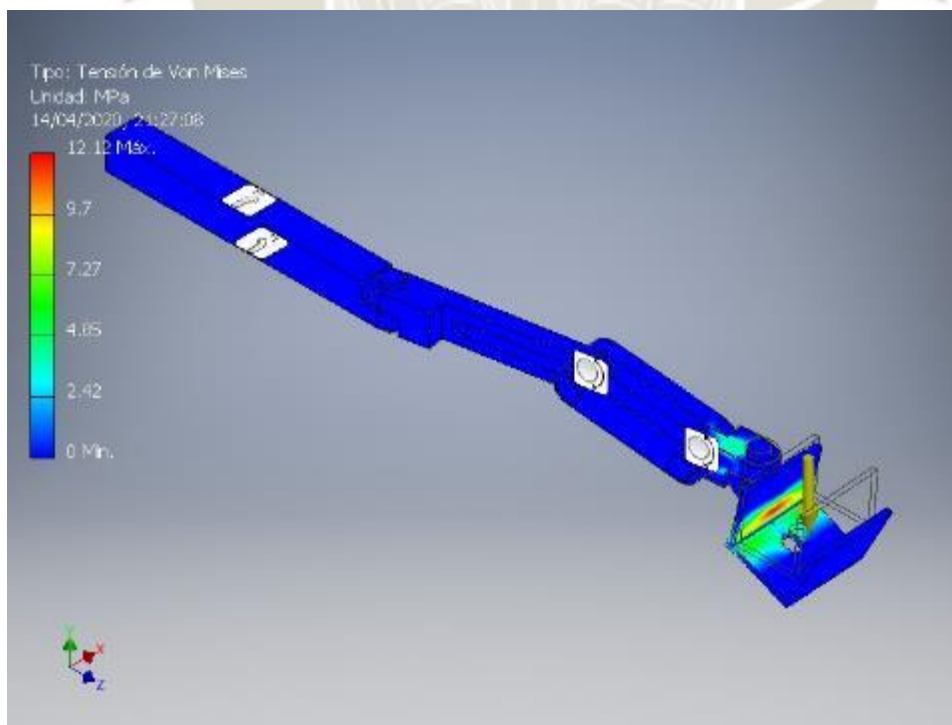
Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	135579 mm ³	
Masa	0.791501 kg	
Tensión de Von Mises	0.000000353251 MPa	12.1205 MPa
Primera tensión principal	-4.12311 MPa	13.5565 MPa
Tercera tensión principal	-12.5112 MPa	3.48606 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.0531661 mm
Coefficiente de seguridad	6.60077 su	15 su
Tensión XX	-4.74462 MPa	4.17232 MPa
Tensión XY	-3.00949 MPa	2.9527 MPa
Tensión XZ	-1.99788 MPa	2.72247 MPa
Tensión YY	-12.4812 MPa	13.5267 MPa

Tensión YZ	-4.33397 MPa	4.70027 MPa
Tensión ZZ	-10.0363 MPa	8.50872 MPa
Desplazamiento X	-0.00318548 mm	0.00102869 mm
Desplazamiento Y	-0.0483292 mm	0.000661245 mm
Desplazamiento Z	-0.0165267 mm	0.0223755 mm
Deformación equivalente	0.000000000000162628 su	0.000109866 su
Primera deformación principal	-0.0000000423298 su	0.000124133 su
Tercera deformación principal	-0.00011008 su	0.00000126696 su
Deformación XX	-0.0000227733 su	0.0000261925 su
Deformación XY	-0.0000250026 su	0.0000278679 su
Deformación XZ	-0.0000385657 su	0.0000525528 su
Deformación YY	-0.0000673551 su	0.0000607813 su
Deformación YZ	-0.0000462519 su	0.000030558 su
Deformación ZZ	-0.0000963598 su	0.000107031 su
Presión de contacto	0 MPa	18.0193 MPa
Presión de contacto X	-3.41944 MPa	6.46726 MPa
Presión de contacto Y	-9.13848 MPa	15.4604 MPa
Presión de contacto Z	-8.71959 MPa	13.3761 MPa

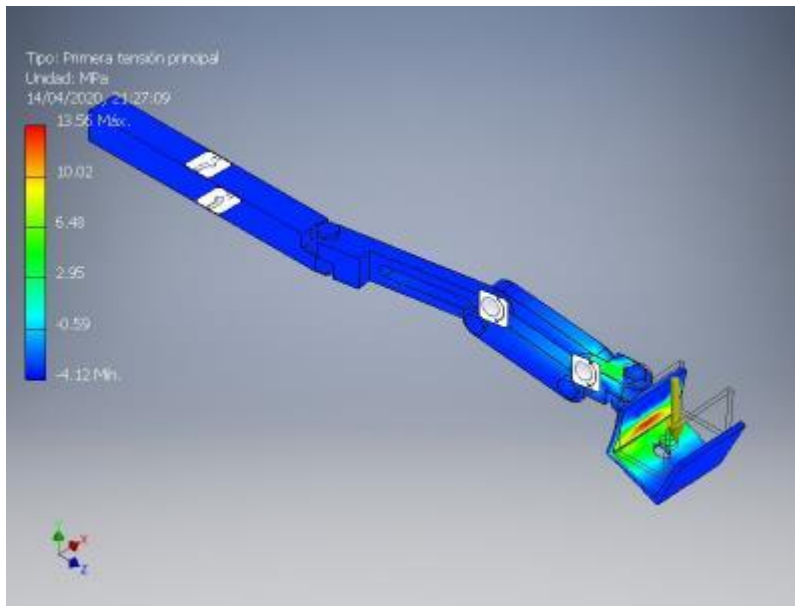
Figuras

Tensión de Von Mises

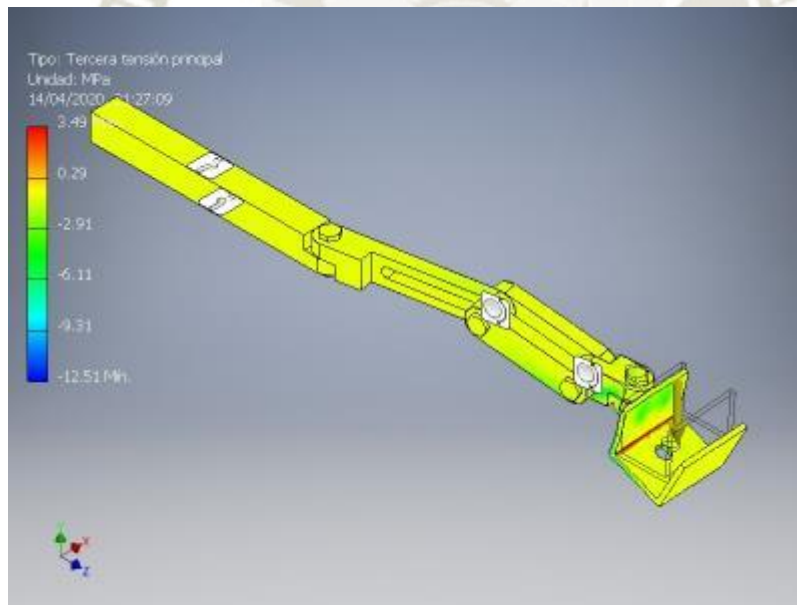




Primera tensión principal

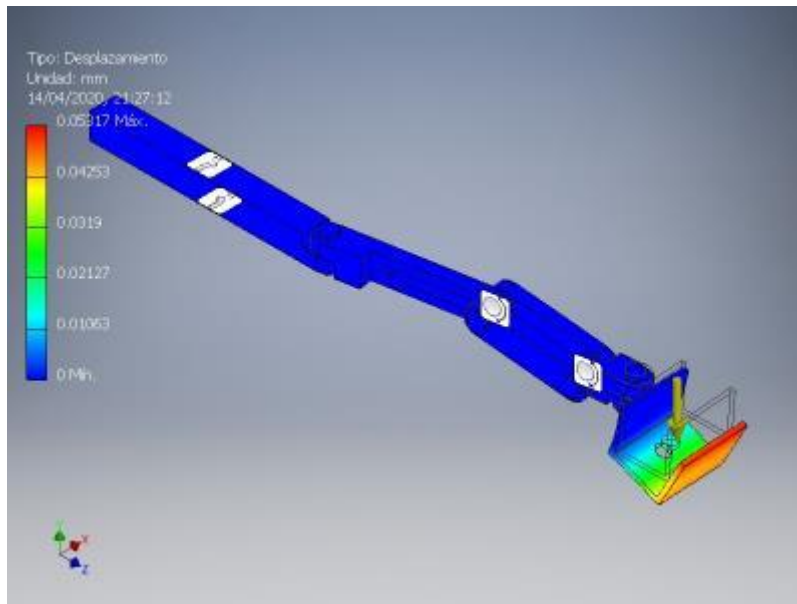


Tercera tensión principal

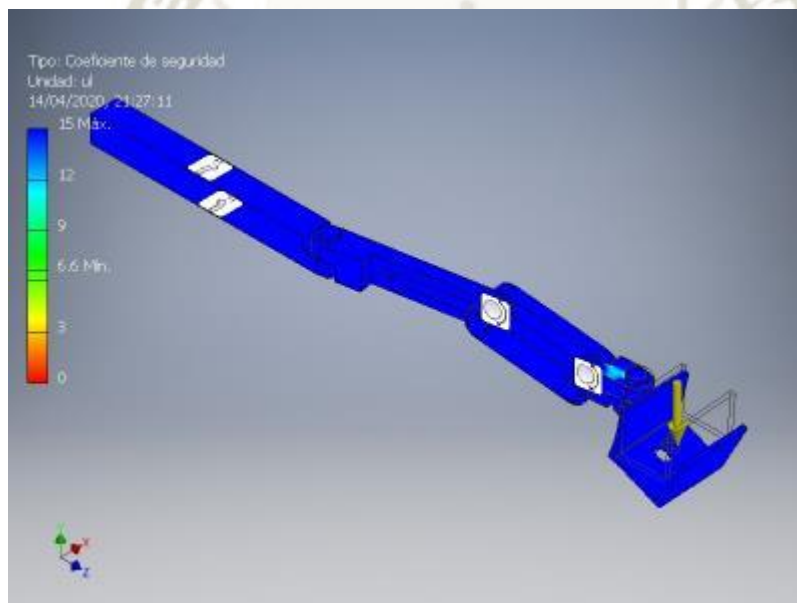




Desplazamiento

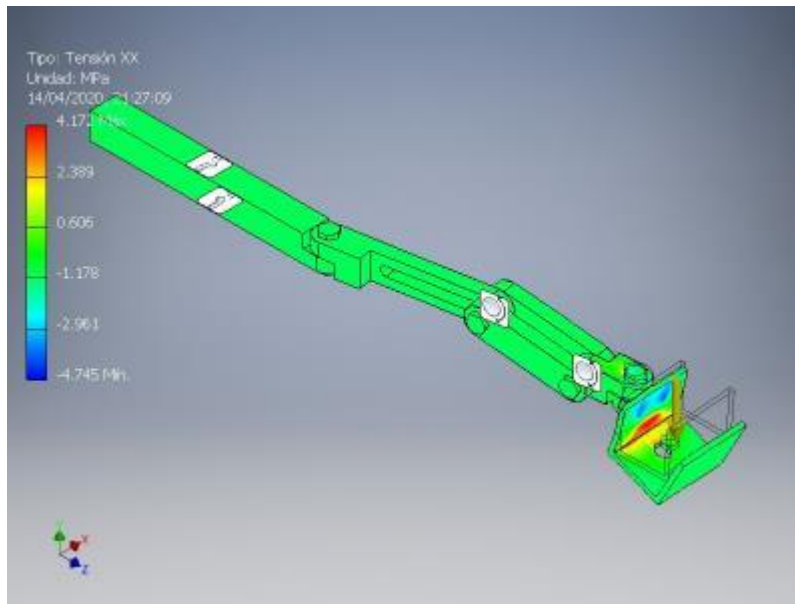


Coefficiente de seguridad

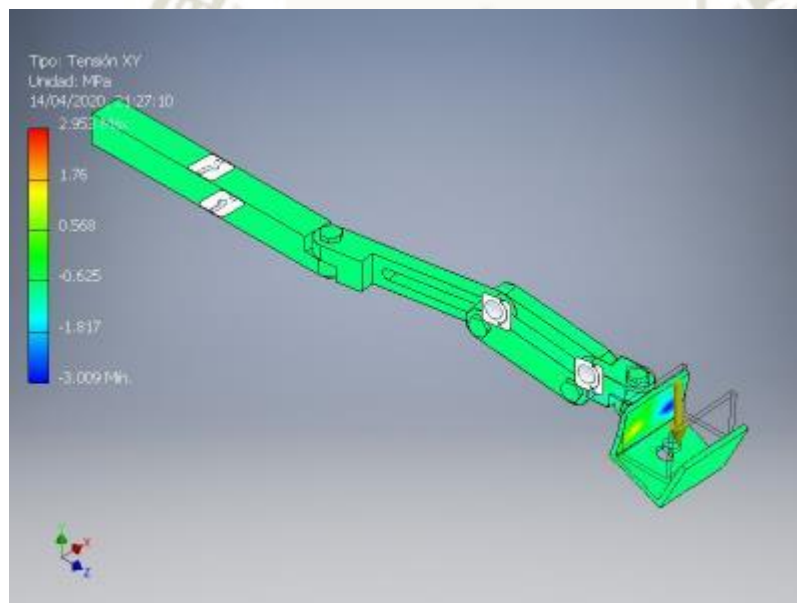




Tensión XX

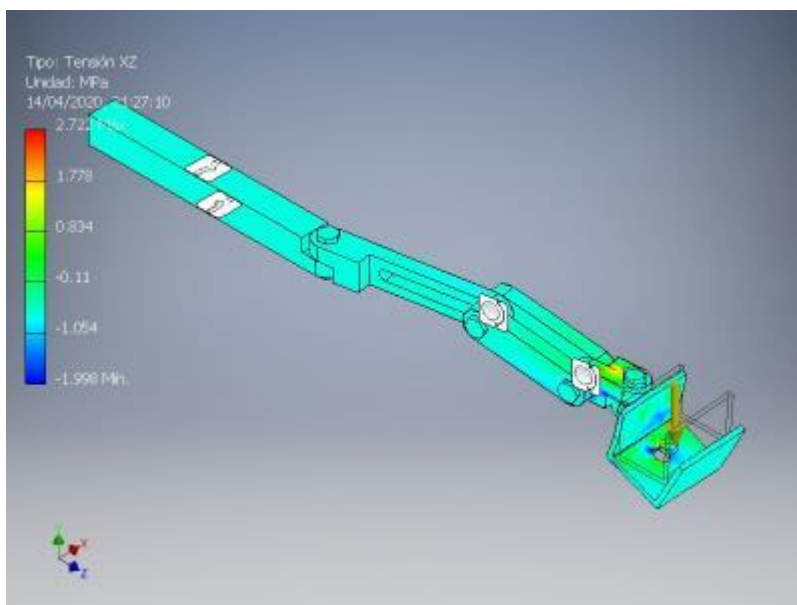


Tensión XY

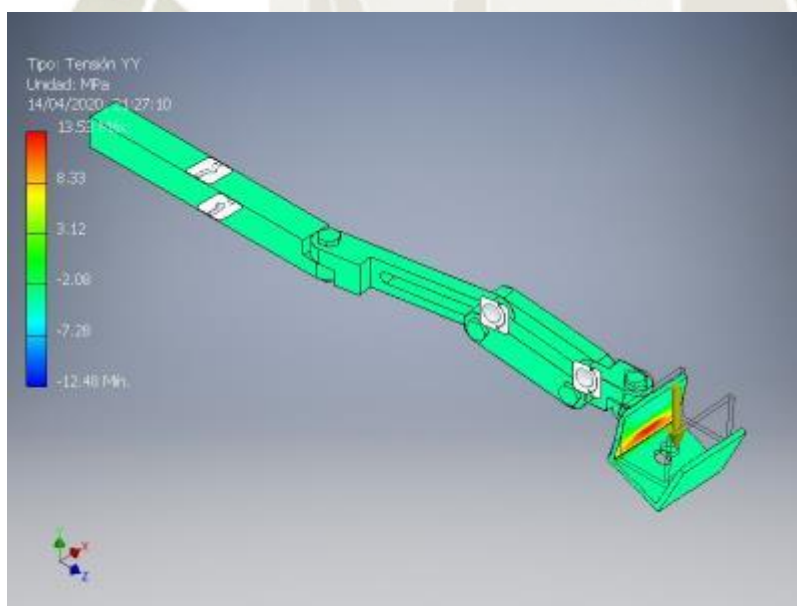




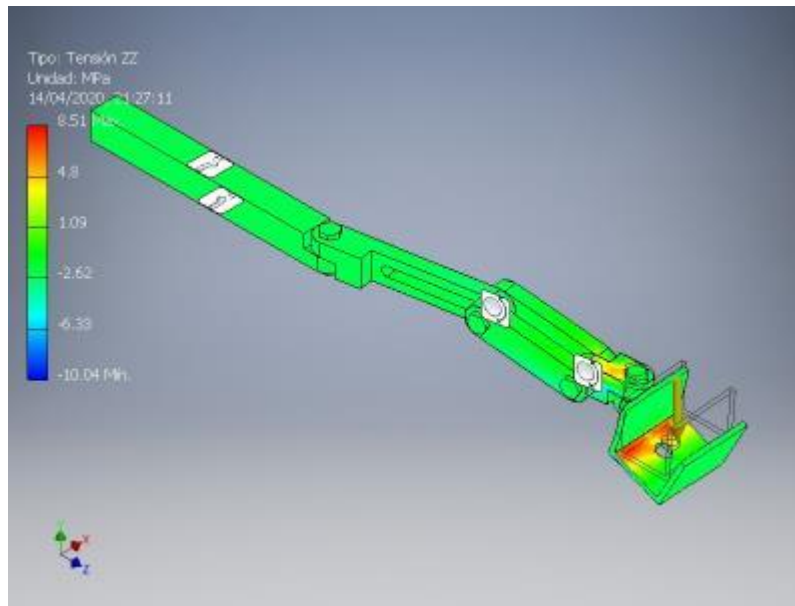
Tensión XZ



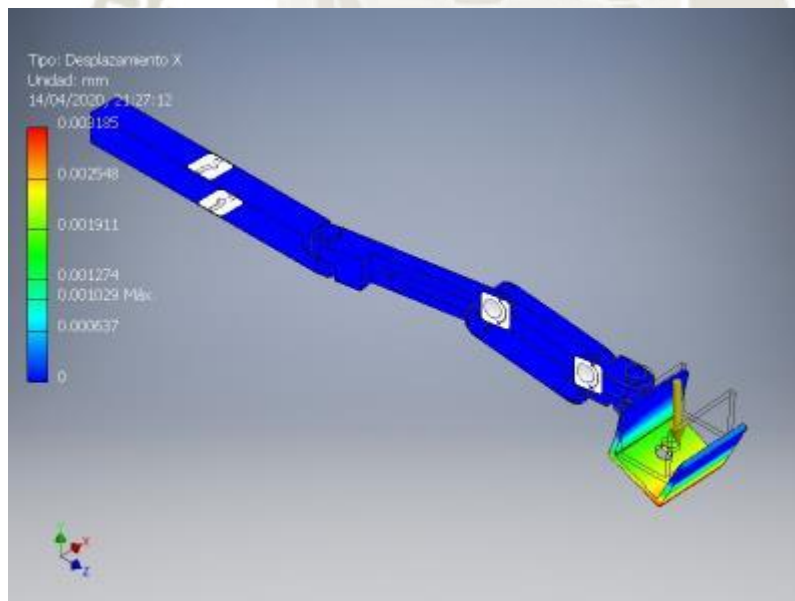
Tensión YY



Tensión ZZ

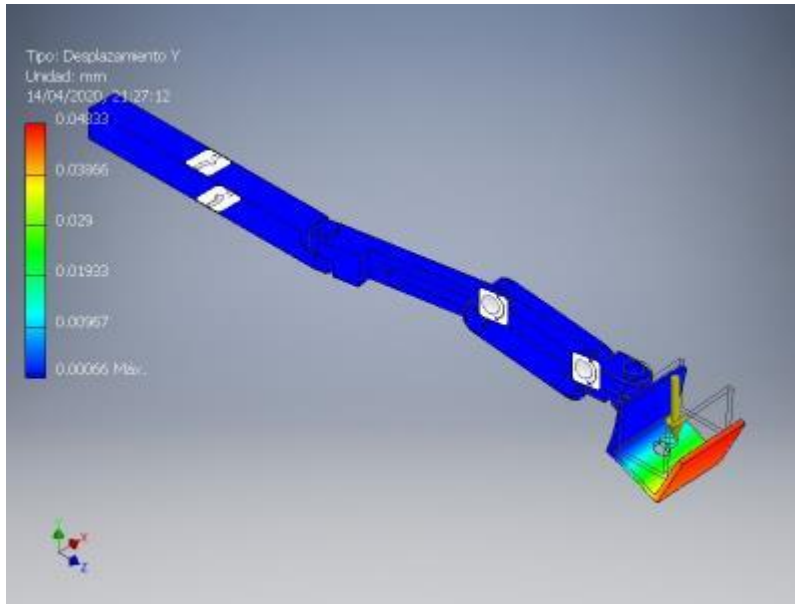


Desplazamiento X

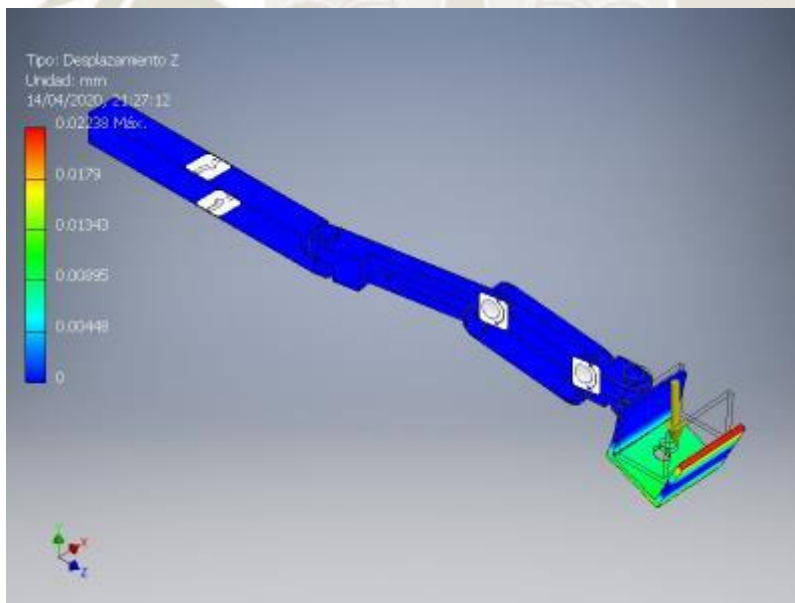




Desplazamiento Y

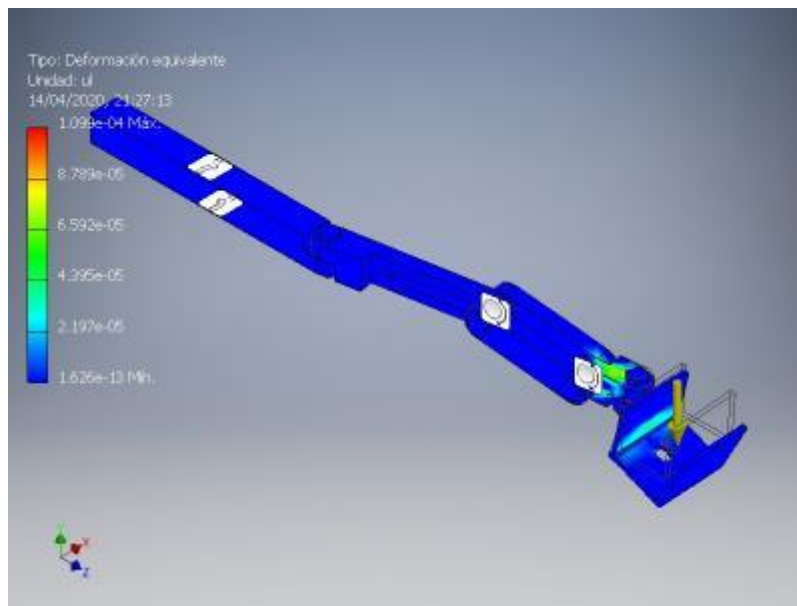


Desplazamiento Z

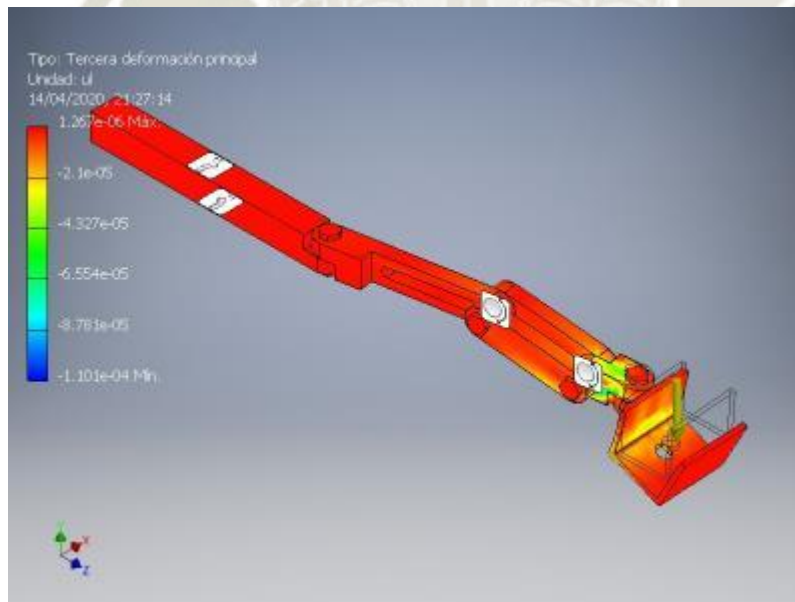




Deformación equivalente

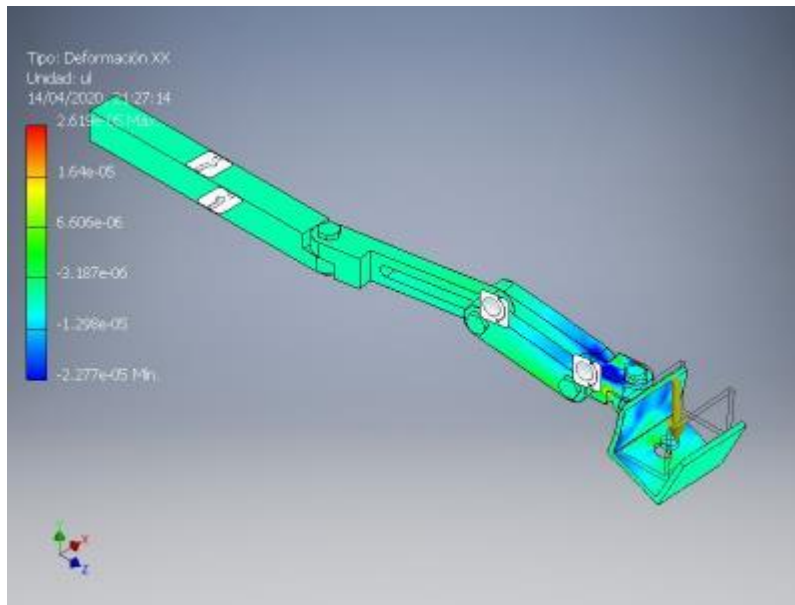


Tercera deformación principal

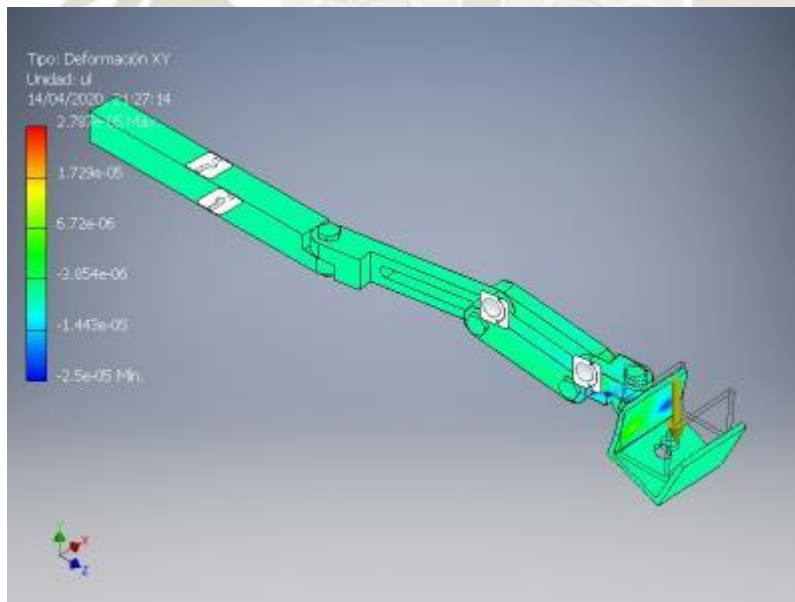




Deformación XX

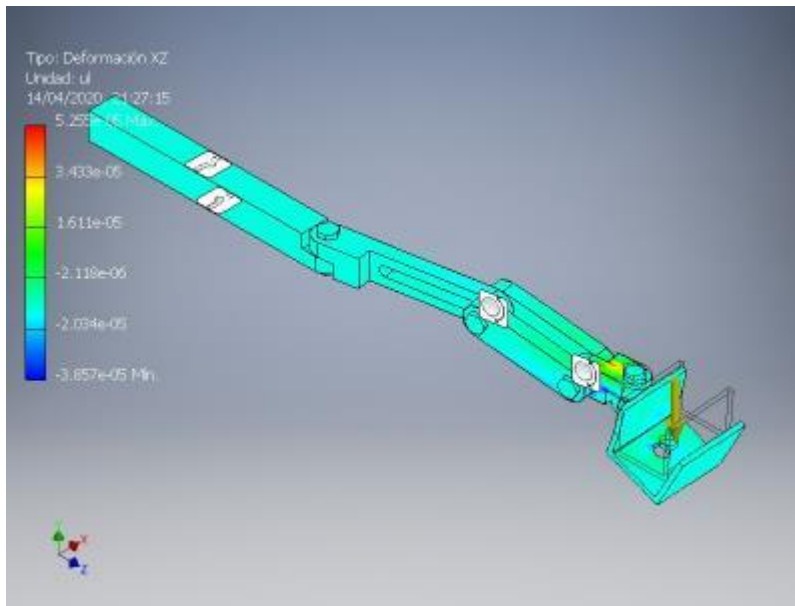


Deformación XY

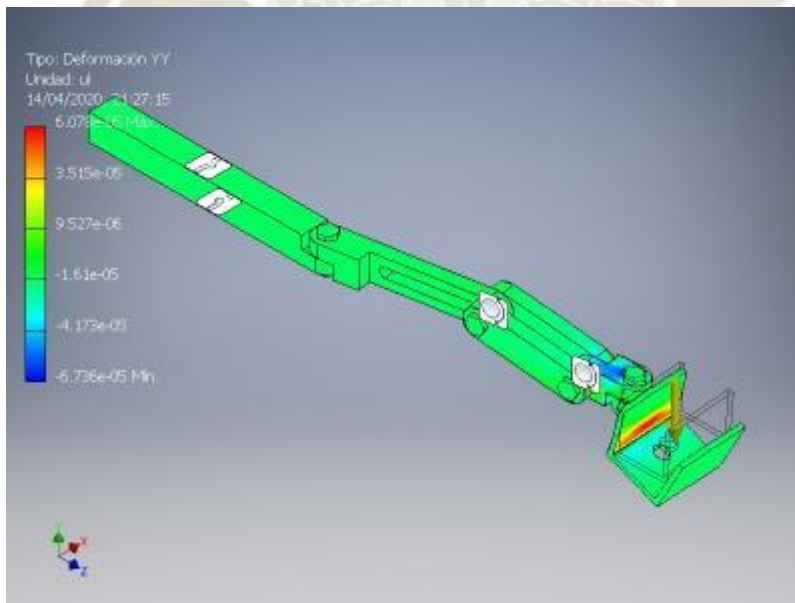




Deformación XZ

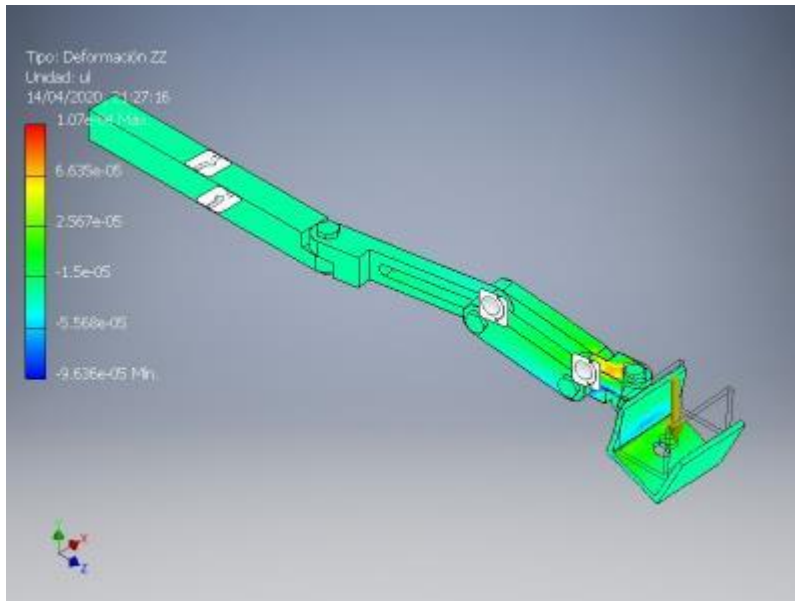


Deformación YY

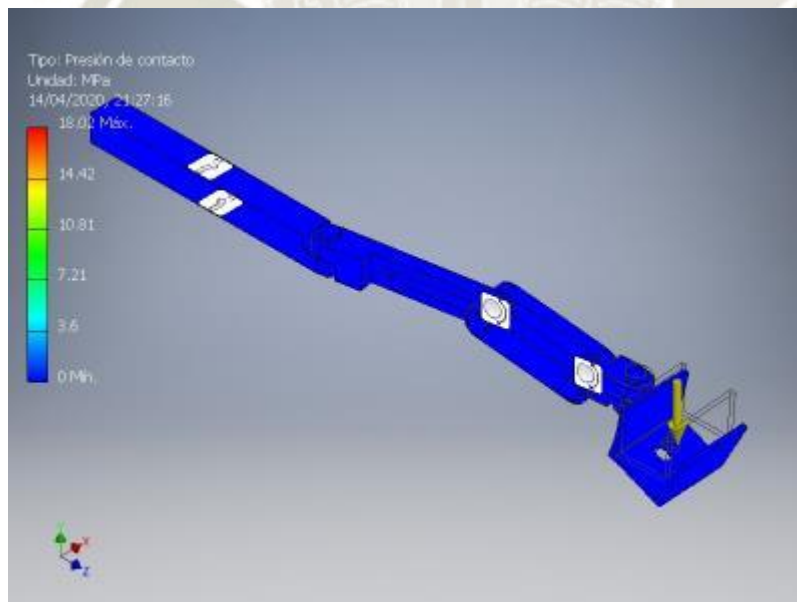




Deformación ZZ

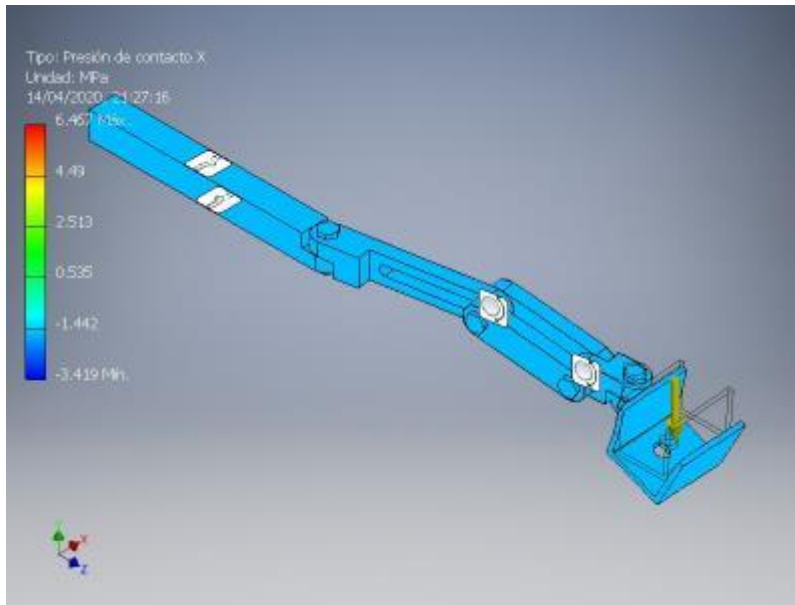


Presión de contacto

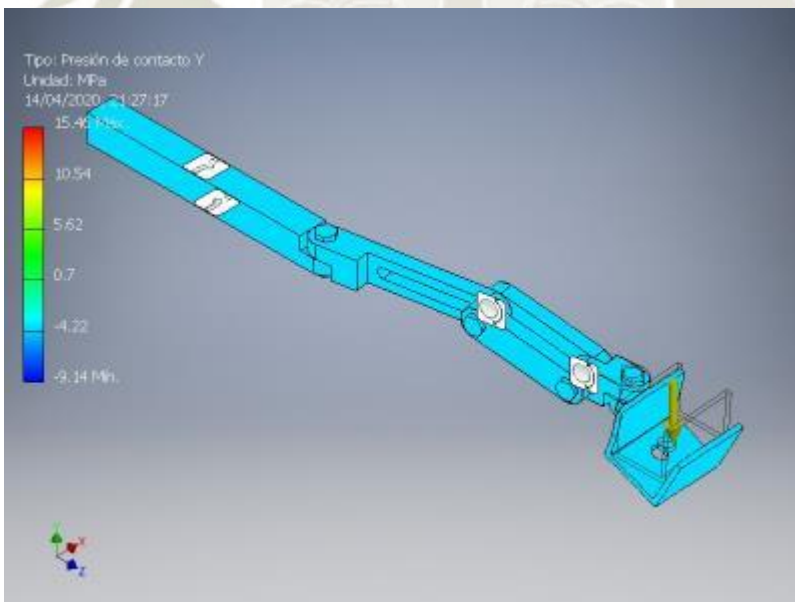




Presión de contacto X

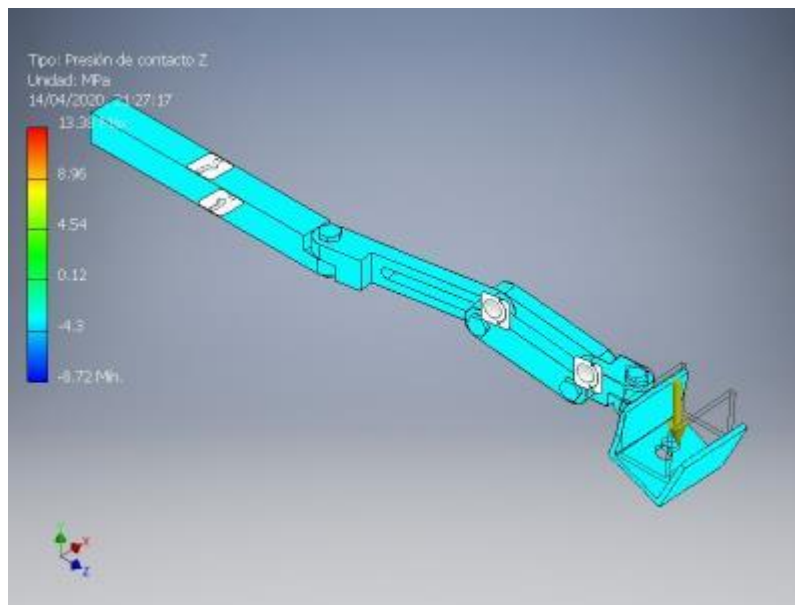


Presión de contacto Y





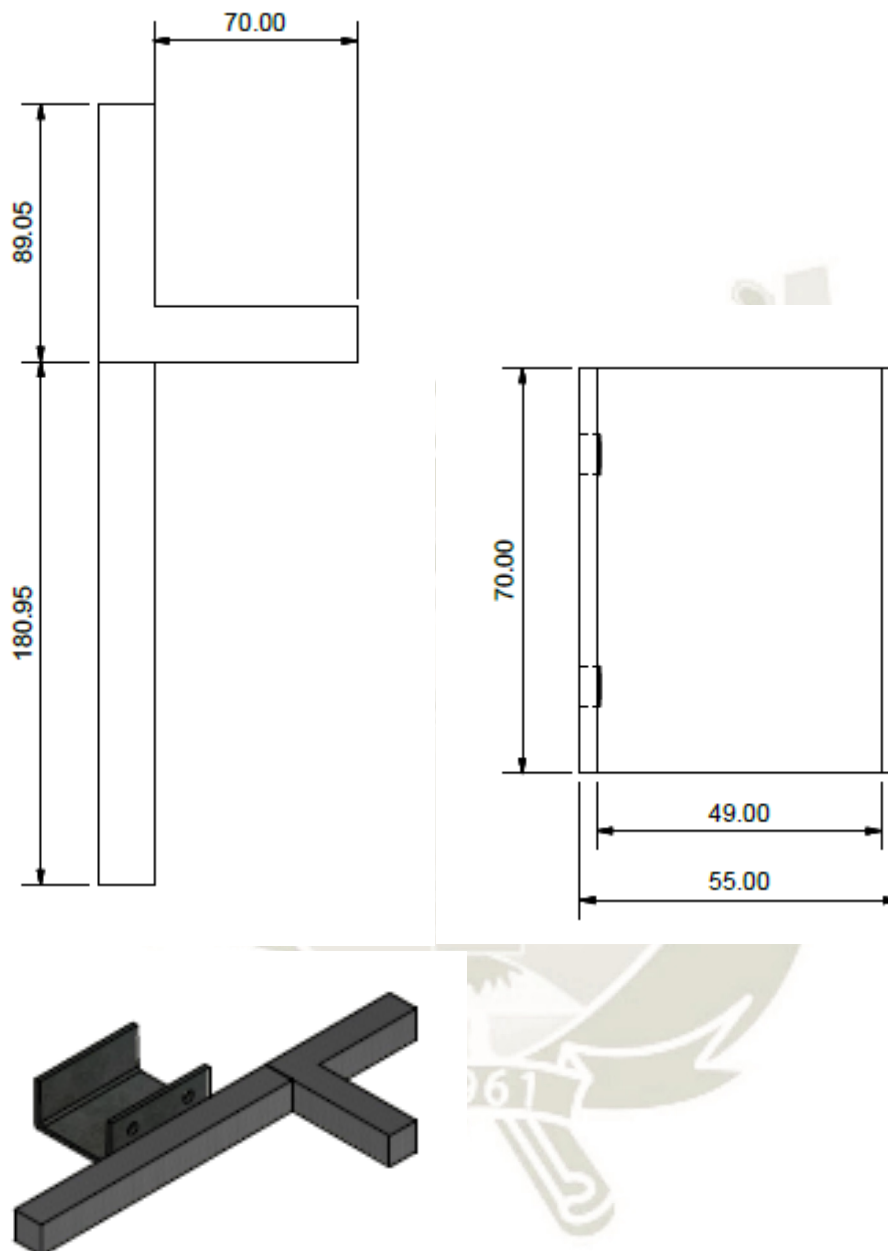
Presión de contacto Z





INFORME ANALISIS DE TENSION COMPARATIVO
CALCULO FISICO

SOPORTE FIJO



ACERO ASTM A36

General

Densidad de masa 7.85 g/cm^3

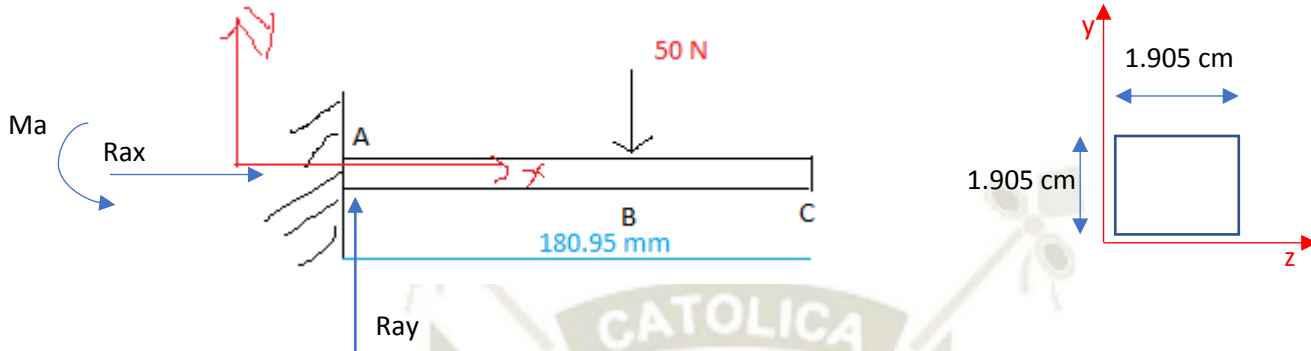
Límite de elasticidad 248.225 MPa

Resistencia máxima a tracción 399.9 MPa

Tensión

Módulo de Young 199.959 GPa
Coeficiente de Poisson 0.3 su
Módulo cortante 76.9073 GPa

1) PARTE 1



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{ax} = 0$$

$$R_{ay} = 50 \text{ N}$$

$$M_a = F_b \times d = 50 \text{ N} \times 7,595 \text{ cm} = 379.75 \text{ N cm} = 3.79 \text{ N m}$$

$$A = 1.905 \times 1.905 = 3.63 \text{ cm}^2 = 0.000363 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.000363 \text{ m}^2} = 137741.04 \text{ Pa} = 0.137 \text{ MPa}$$

$$I_z (\text{momento de Inercia}) = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0.01905 * 0.01905^3 = 1.097 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

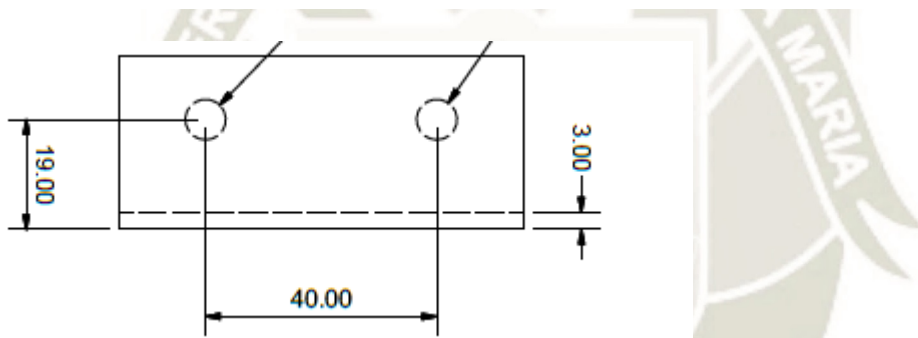
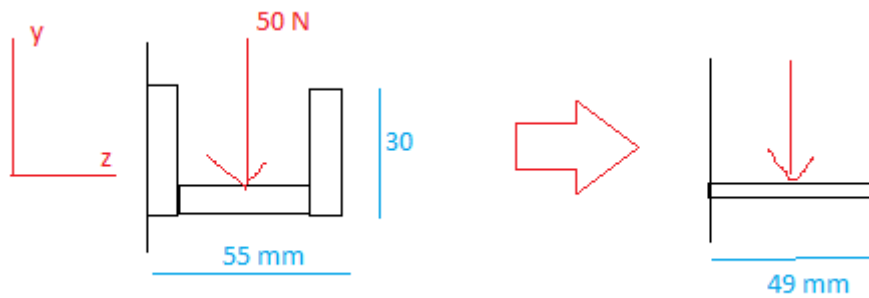
$$S = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0.01905 * 0.01905^2 = 1.15 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M_a}{I_z} y = \frac{M}{S} = \frac{3.79 \text{ Nm}}{1.15 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 3\,289\,315.42 \text{ Pa} = 3.29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M_a}{I_z} y = \frac{3.79 \text{ Nm}}{1.097 \times 10^{-8} \text{ m}^4} * 0.009525 \text{ m} = 3.29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{total} = \sigma_{flexion} + \sigma_{cortante} = 3.29 + 0.137 = 3.427 \text{ MPa} < 248.225 \text{ MPa} \dots \text{ Ok Cumple}$$

2) PARTE 2



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{cz} = 0$$

$$R_{cy} = 50 \text{ N}$$

$$M_c = F_d \times d = 50 \text{ N} \times 2,75 \text{ cm} = 137,5 \text{ N cm} = 1.375 \text{ N m}$$

$$A = 3 \times 70 = 210 \text{ mm}^2 = 0.00021 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.00021 \text{ m}^2} = 238095 \text{ Pa} = 0.24 \text{ MPa}$$

$$I_x (\text{momento de Inercia}) = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0.07 * 0.003^3 = 1.58 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$S = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0.07 * 0.003^2 = 1.05 * 7 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M a}{I_z} y = \frac{M}{S} = \frac{1.375 \text{ Nm}}{1.05 \times 10^{-7} \text{ m}^3} = 13.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{flexion}} + \sigma_{\text{cortante}} = 13.1 + 0.24 = 13.34 \text{ MPa} < 248.225 \text{ MPa} \dots \text{ Ok Cumple}$$

$$\sigma = \frac{M c}{I_x} z = \frac{1.375 \text{ Nm}}{1.58 \times 10^{-10} \text{ m}^4} 0.0275 \text{ m} = 239 \text{ MPa}$$

$$I_x (\text{momento de Inercia}) = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0.07 * 0.005^3 = 7.29 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

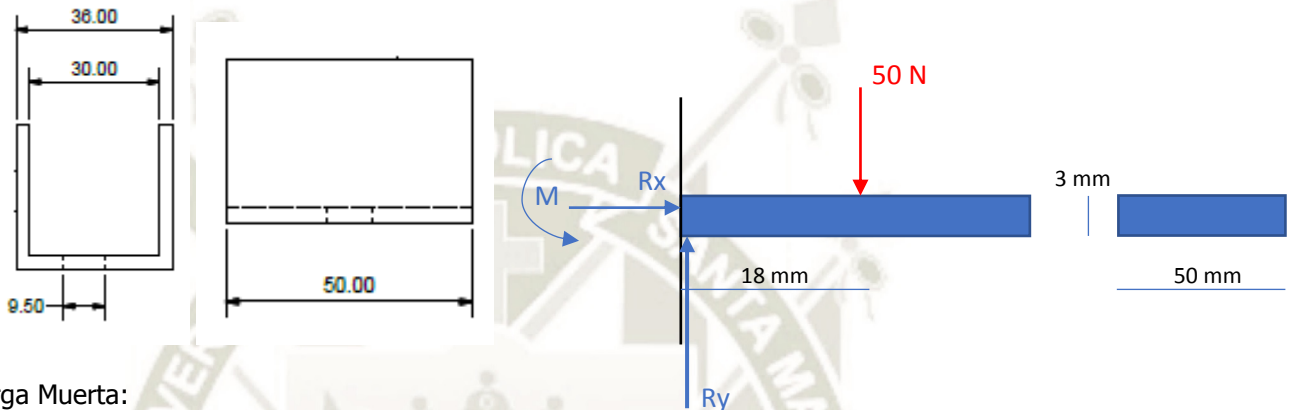
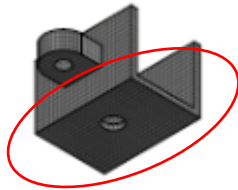
$$\sigma = \frac{M c}{I_x} z = \frac{1.375 \text{ Nm}}{7.29 \times 10^{-10} \text{ m}^4} 0.0275 \text{ m} = 51.87 \text{ x MPa}$$

$$I_x (\text{momento de Inercia}) = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0.07 * 0.004^3 = 3.73 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\sigma = \frac{M c}{I_x} z = \frac{1.375 \text{ Nm}}{3.73 \times 10^{-10} \text{ m}^4} 0.0275 \text{ m} = 101.28 \text{ x MPa}$$

SOPORTE MOVIL

1) 5.1



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_x = 0$$

$$R_y = 50 \text{ N}$$

$$M = F \times d = 50 \text{ N} \times 0.018 \text{ m} = 0.9 \text{ N m}$$

$$A = 0.05 \times 0.003 = 0.00015 \text{ m}^2$$

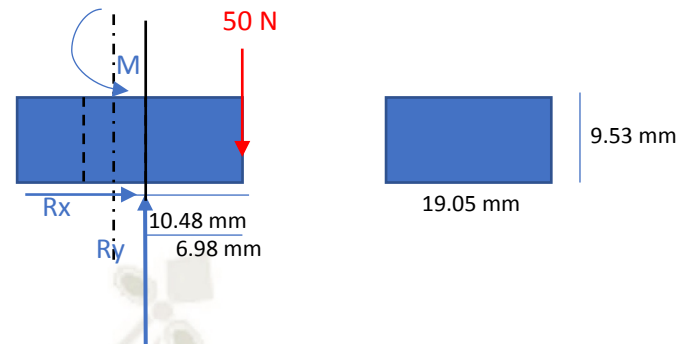
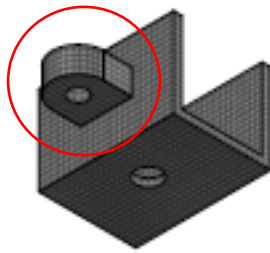
$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.00015 \text{ m}^2} = 0.33 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.05 * 0.003^2 = 7.5 * 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M}{I_z}y = \frac{M}{S} = \frac{0.9 \text{ Nm}}{7.5 * 10^{-8} \text{ m}^3} = 12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{flexion}} + \sigma_{\text{cortante}} = 12 + 0.33 = 12.33 \text{ MPa} < 248.225 \text{ MPa} \dots \text{ Ok Cumple}$$

5.2



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_x = 0$$

$$R_y = 50 \text{ N}$$

$$M = F \times d = 50 \text{ N} \times 0.00698 \text{ m} = 0.349 \text{ N m}$$

$$A = 0.01905 \times 0.00953 = 0.00018 \text{ m}^2$$

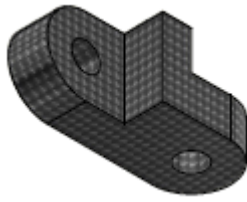
$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.00018 \text{ m}^2} = 0.28 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.01905 \times 0.00953^2 = 2.88 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M}{I_z}y = \frac{M}{S} = \frac{0.349 \text{ Nm}}{2.88 \times 10^{-7} \text{ m}^3} = 1.2 \text{ MPa}$$

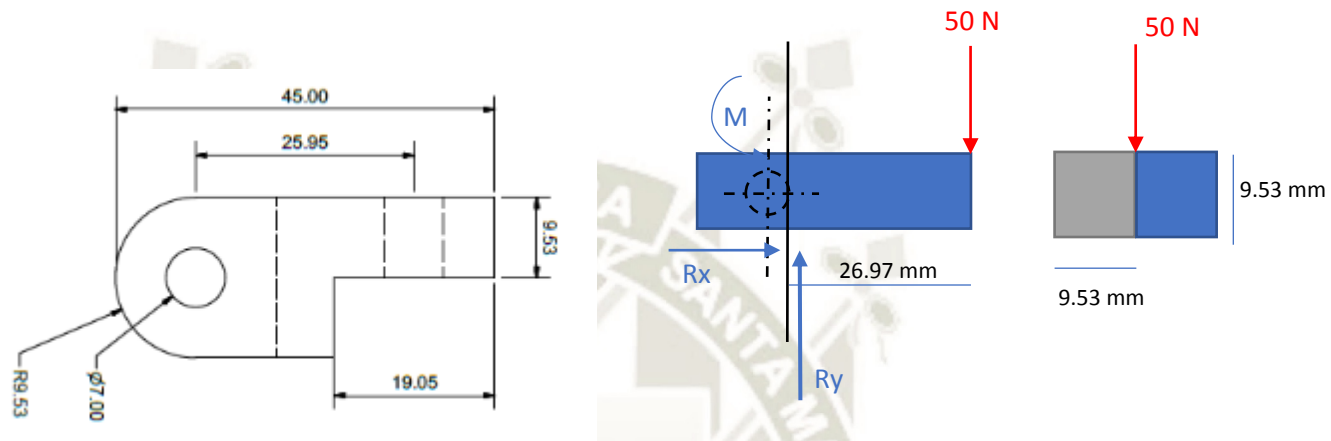
$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{flexion}} + \sigma_{\text{cortante}} = 1.2 + 0.28 = 1.48 \text{ MPa} < 248.225 \text{ MPa} \dots \text{ Ok Cumple}$$

2) 4



Aluminio 6061

	6061-T4	6061-T6
YIELD ST	145 MPa 21000 psi	276 MPa 40000 psi
REST MAX	207 MPa	290 MPa



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_x = 0$$

$$R_y = 50 \text{ N}$$

$$M = F \times d = 50 \text{ N} \times 0.02697 \text{ m} = 1.35 \text{ N m}$$

$$A = 0.00953 \times 0.00953 = 0.00009082 \text{ m}^2$$

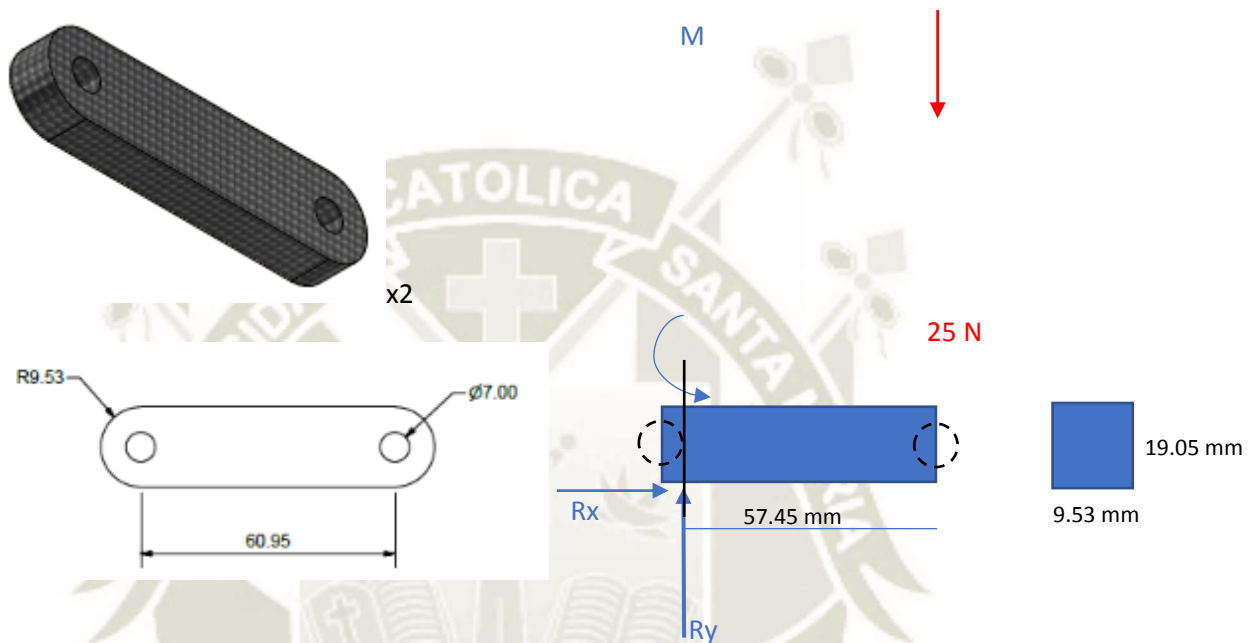
$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.00009082 \text{ m}^2} = 0.55 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.00953 \times 0.00953^2 = 1.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{flexion} = \frac{M}{I_z} y = \frac{M}{S} = \frac{1.35 \text{ Nm}}{1.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3} = 9.36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{total} = \sigma_{flexion} + \sigma_{cortante} = 9.36 + 0.55 = 9.91 \text{ MPa} < \text{MPa.... Ok Cumple}$$

3) 3



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_x = 0$$

$$R_y = 25 \text{ N}$$

$$M = F \times d = 25 \text{ N} \times 0.05745 \text{ m} = 1.44 \text{ N m}$$

$$A = 0.00953 \times 0.01905 = 0.0001815 \text{ m}^2$$

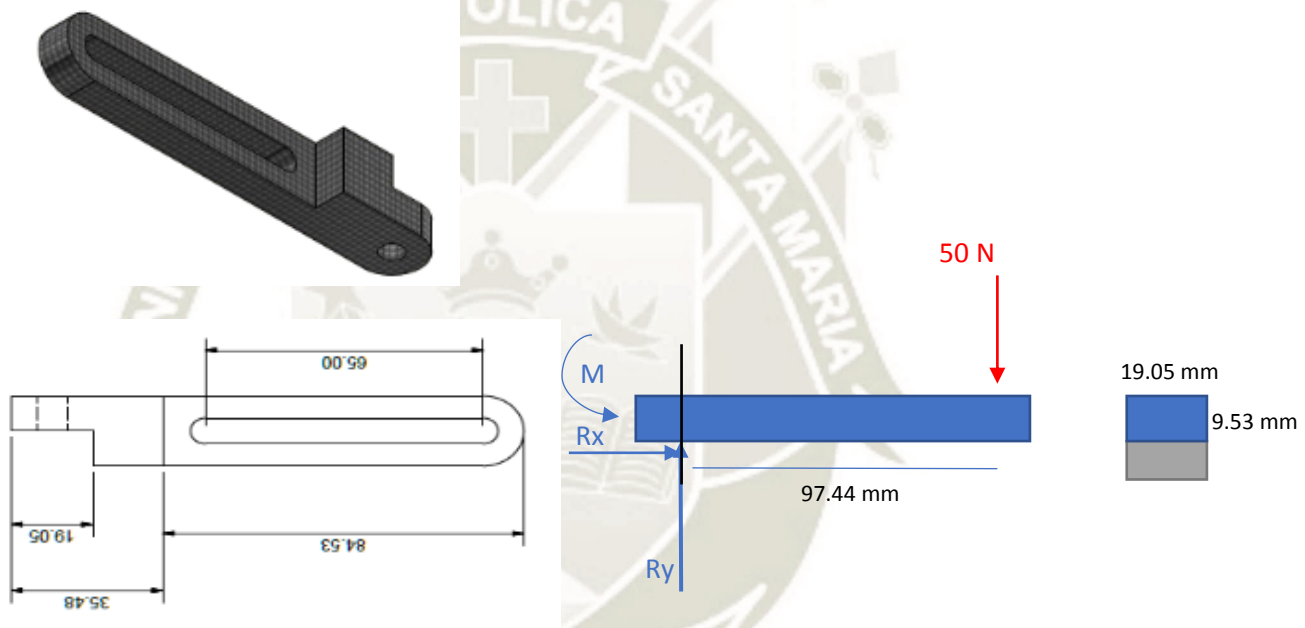
$$\sigma_{cortante} = \frac{F}{A} = \frac{25 \text{ N}}{0.0001815 \text{ m}^2} = 0.138 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.00953 * 0.01905^2 = 5.76 * 10^{-7} m^3$$

$$\sigma_{flexion} = \frac{M}{I_z}y = \frac{M}{S} = \frac{1.44 Nm}{5.76 * 10^{-7} m^3} = 2.5 MPa$$

$$\sigma_{total} = \sigma_{flexion} + \sigma_{cortante} = 2.5 + 0.138 = 2.638 MPa < MPa.... Ok Cumple$$

4) 2



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum Fx = 0 \rightarrow Rx = 0$$

$$Ry = 50 N$$

$$M = F \times d = 50 N \times 0.09744 m = 4.87 N m$$

$$A = 0.01905 \times 0.00953 = 0.0001815 m^2$$

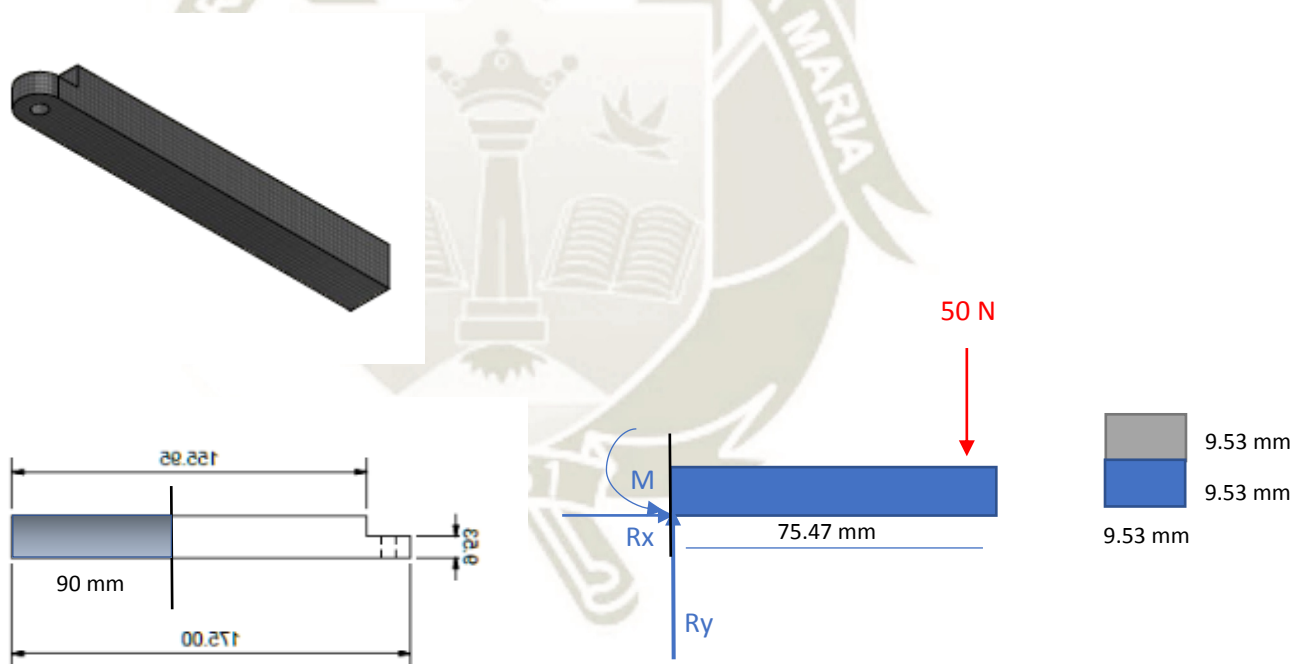
$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.0001815 \text{ m}^2} = 0.275 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.01905 * 0.00953^2 = 2.88 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M}{I_z}y = \frac{M}{S} = \frac{4.87 \text{ Nm}}{2.88 * 10^{-7} \text{ m}^3} = 16.91 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{flexion}} + \sigma_{\text{cortante}} = 16.91 + 0.275 = 17.815 \text{ MPa} < \text{MPa... Ok Cumple}$$

5) 1



Carga Muerta:

Se desprecia.

Cargas Vivas

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_x = 0$$

$$R_y = 50 \text{ N}$$

$$M = F \times d = 50 \text{ N} \times 0.07547 \text{ m} = 3.77 \text{ N m}$$

$$A = 0.00953 \times 0.00953 = 0.00009082 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.00009082 \text{ m}^2} = 0.55 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.00953 \times 0.00953^2 = 1.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M}{I_z}y = \frac{M}{S} = \frac{3.77 \text{ Nm}}{1.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3} = 26.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{flexion}} + \sigma_{\text{cortante}} = 26.18 + 0.55 = 26.73 \text{ MPa} < 248.225 \text{ MPa.... Ok Cumple}$$

$$A = 0.00953 \times 0.01905 = 0.0001815 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{cortante}} = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{0.0001815 \text{ m}^2} = 0.275 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}0.00953 \times 0.01905^2 = 5.76 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$




$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M}{I_z}y = \frac{M}{S} = \frac{3.77 \text{ Nm}}{5.76 \times 10^{-7} \text{ m}^3} = 6.55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{flexion}} + \sigma_{\text{cortante}} = 6.55 + 0.275 = 6.825 \text{ MPa} < 248.225 \text{ MPa.... Ok Cumple}$$



VERSION 00										
PROTOCOLO DE ROCIADO TERMICO POR OXICOMBUSTION ROTOTEC 1A										
FECHA	EJECUTADO POR			TIPO DE TRABAJO						
____/____/____	REGISTRO			Prueba <input type="checkbox"/> Mantenimiento <input type="checkbox"/> Reparación <input type="checkbox"/> Recubrimiento <input type="checkbox"/> Recuperación <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>						
1.- Check-list del Equipo										
		Descripción		Observaciones						
1.1	Limpieza de la zona									
1.2	Lugar de Trabajo	Abierto / Cerrado								
1.3	Clima	Soleado / Húmedo / Seco								
1.4	Rototec 1A Completo	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.5	Soporte Fijo de sujecion al Torno	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.6	Soporte Móvil de sujecion al Torno	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.7	Cilindros de Oxígeno (O2) y Acetileno (C2H2)	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.8	Reguladores y manómetros de O2 y C2H2	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.9	Chispero	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.10	Mangueras de O2 y C2H2	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.11	Pirómetro	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.12	Cepillo de acero manual	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.13	Implementos de seguridad	Lentes / Guantes / Zapatos / Traje de cuero								
1.14	Llave Allen 3/8" para ajuste de pistola	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.15	Torno operativo	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.16	Manual del Proceso	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.17	Solución 103	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.18	Disolvente para desengrase	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.19	Manta ignífuga para proteger torno	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
OTROS										
1.20		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.21		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.22		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
1.23		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
2.- Revisión de Presiones Oxígeno y Acetileno										
		Presion (PSI)	Recomendación	Nivel	Observaciones					
2,1	Manometro de Tanque O2 *	<input type="checkbox"/>	-	m3						
2,2	Manometro e Salida Regulador de O2	<input type="checkbox"/>	1,4 bar (20 PSI)	-						
2,3	Manometro de Tanque C2H2 **	<input type="checkbox"/>	-	kg						
2,4	Manometro de Salida Regulador de C2H2	<input type="checkbox"/>	0,5 bar (8 PSI)	-						
* Nivel de O2:		$Vol.cilindro \times Presión = Volumen de gas (Lts)$								
** Nivel de C2H2:		$Vol.cilindro (lbs) \times Presión (bar) = Volumen gas$ $Volumen gas/1000 = peso (kg)$								
3.- Revisión del sustrato										
3.1 MATERIAL		Descripción		Observaciones						
3.1.1	Material del Sustrato									
3.1.2	Equipo al que pertenece									
3.1.3	Funcion principal									
3.1.4	Tipo de Recubrimiento a aplicar									
3.2 TIPO DE DESGASTE		A <input checked="" type="checkbox"/>	N/A <input type="checkbox"/>	SI	NO	Observaciones				
3,2,1	DESGASTE ADHESIVO			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3,2,2	DESGASTE ABRASIVO			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3,2,2	DESGASTE POR FATIGA			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3,2,3	DESGASTE POR IMPACTO			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3,2,3	DESGASTE QUIMICO O ABRASIVO			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3,2,4	DESGASTE POR CAVITACION			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3,2,4	DESGASTE POR VIBRACIONES			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3.3 DIMENSIONES		Descripción		Observaciones						
3,2,1	Geometria de pieza	Cilindrica <input type="checkbox"/>	Plana <input type="checkbox"/>							
3,2,2	Dimensiones			mm						
3,2,3	¿Se cuenta con plano de fabricante?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>							
3,2,4	Hacer un esquema del sustrato y su desgaste (si es recuperación de pieza desgastada)									
				<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 100px;"></td> <td style="width: 50px; text-align: center;">mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td style="text-align: center;">mm</td> </tr> </table>	1		mm	2		mm
1		mm								
2		mm								

4.- Material a proyectar							
4.1	Tipo de Material	Anticorrosivo <input checked="" type="checkbox"/>	Aislante <input type="checkbox"/>	Antidesgaste <input type="checkbox"/>	Alta dureza <input type="checkbox"/>	Otros <input type="checkbox"/>	
		Descripción		Observaciones			
4.2	Provisión por:	UCSM <input type="checkbox"/>	OTRO <input checked="" type="checkbox"/>				
4.3	Marca:	Eutectic Castolin					
4.4	Nombre comercial:	Metaceram					
4.5	Cantidad actual. (Peso)	Kg					
4.6	¿Necesita recubrimiento base?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Usar Ultrabond 50 000 **			
4.7	¿Se verificó el estado del Material? **	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
4.8	Volumen de aleación	EJE <input type="checkbox"/>	V _{eje} =(m.D.L.e)/1000000 (*)				
		SUP. PLANA <input type="checkbox"/>	V _{sup} =(A.e)/1000 (*)				
4.9	Consumo de Aleación	Kg		CONSUMO DE ALEACION=(V*den)/(0.85) (*)			
<p>Nota: D = diámetro del eje (mm) L = longitud del eje (mm) A = área (mm²) e = espesor del revestimiento (mm) (dato suministrado por proveedor)</p> <p>Nota: V = Volumen de aleación (dm³) Den = densidad (kg/dm³) (dato suministrado por proveedor del recubrimiento) 0,85 = rendimiento promedio</p>							
<p>** - Ultrabond 50000 espesor máximo de 0.1 a 0.2 mm, inmediatamente después del precalentamiento. - Se debe verificar periódicamente la cantidad restante de material para evitar falta de material durante un recubrimiento. A su vez se debe mantener el material en un lugar fresco, fuera de un ambientes Humedo o de Calor extremo.</p>							
5.- Preparación de pieza							
		Descripción		Observaciones			
5.1	Desengrasado	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
Limpieza con solvente, cepillo duro, paño limpio. En materiales porosos con aceite quemar con una llama y eliminar el carbón residual con un cepillo.							
5.2	Protección de áreas adyacentes	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Usar solución 103			
5.3	Reducción del área desgastada	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
Baje 12 mm adicionales del área a recubrir en ambos lados. Este mecanizado debe estar seco. No use refrigerante. Use una herramienta limpia y afilada de 90°. Baje hasta que retire el área desgastada.							
5.4	Arenado	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
Granallado de acero SAE G18 a G25 o 12 a 35 malla de óxido de aluminio.							
5.5	Roscado	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
Generar una superficie rugosa con una herramienta de corte de 90°. Penetrar con la herramienta a medida que se avance hasta llegar al 0.35 mm de profundidad (0.2 mm en bronce o latón). Limar crestas para eliminar bordes que se oxidan durante el precalentamiento.							
5.6	Superficies planas	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				
Biselar los bordes a 45°. Limar o lijar la superficie. Ranurar los bordes.							
<p>** Nota: Es importante una buena limpieza y tratamiento inicial de la superficie para asegurar óptimos resultados.</p>							
6.- Disposición de Rototec1A							
6.1	Soporte a utilizar	MOVIL <input type="checkbox"/>	FIJO <input type="checkbox"/>	MANUAL <input checked="" type="checkbox"/>	D. Real	D. Recomendada	
					mm	180 a 200 mm	
6.2	Distancia D1				mm	Perpendicular al eje	
6.3	Distancia D2				mm		
7.- Registro de Parámetros							
		Descripción		Observaciones			
7.1	Diametro inicial	mm		Se recomienda usar micrómetro para las medidas de diámetros en piezas cilíndricas			
7.2	Diametro final *	mm					
7.3	Diametro Mecanizado *	mm					
7.4	Rotación de Pulverización *	RPM		RPM=(Vp*320)/D (*)			
7.5	Velocidad de giro del Torno	RPM		Se aplica de acuerdo a velocidades proporcionadas por el Torno			
<p>Nota 1: La capa aplicada debe ser ligeramente más grande que las dimensiones finales para permitir un acabado. En general, dejamos un radio adicional de 0.5 mm en 25 mm o menos de diámetro. Por cada 25 mm más de diámetro, agregue 0.08 mm hasta un máximo de 0.9 mm en el eje.</p> <p>Nota 2: RPM: ROTACIONES POR MINUTO D: DIAMETRO DE LA PIEZA EN mm Vp: VELOCIDAD PERIFERICA M/MIN Vminima= 45 M/MIN - Vmaxima= 60 M/MIN</p>							
<p>Notas: - Precalentar a 950C. Verificar con pirómetro que se encuentre en 95 ° C (200 ° F) la superficie a recubrir. - Desplazar la RotoTec 1A con una velocidad constante para que no aparezcan espirales en la superficie depositada: aproximadamente con un avance horizontal de 6 a 12 mm por rotación. Para superficies estacionarias: 15 cm/s, separadas 12 mm entre pases. - Dejamos un radio adicional de 0.5 mm en 25 mm o menos de diámetro. Por cada 25 mm más de diámetro, agregue 0.08 mm hasta un máximo de 0.9 mm en el eje.</p>							
7.6 Verificación de Temperaturas **							
Nº	HORA	Temperatura inicial del sustrato	Temperatura del Sustrato (°C) ***				Observaciones
1			a	b	c	d	
2							
3							
4							
5							
7.7 Verificación de Presiones							
Nº	HORA	Presion O2 Inicial	Presion O2 (PSI)	Presion C2H2 Inicial	Presion C2H2 (PSI)	Observaciones	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
<p>Nota: - El sustrato no debe superar una temperatura de 260°C. Durante la operación verificar la temperatura con ayuda del pirómetro. Si es necesario, aleje la llama de la pieza y déjela enfriar, comenzando de nuevo el rociado cuando la temperatura es inferior a 260°C</p> <p>*** - Para superficies planas - Consideramos diámetro inicial como distancia o espesor inicial de la pieza plana, así como el diámetro final distancia o espesor después del proceso de recubrimiento. - Para el proceso de mecanizado de piezas planas con cepillo, fresadora u otros; consideramos las especificaciones de la Nota 1. - Para la medición de temperaturas, considerar distintos puntos en el área de superficies planas. Darle prioridad a los bordes.</p>							

8.- Control de Calidad de Proceso			
	SI	NO	Observaciones
8.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Usar líquido penetrante
8.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	colocar la Dureza: _____
8.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	colocar la Distancia: _____
8.7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	colocar la Dureza: _____
8.8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	colocar la Distancia: _____
8.9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Utilizar un aditivo anticorrosivo para el sellado
8.11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mejorar limpieza
8.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.- Observaciones Generales			
10. SEGUIMIENTO FOTOGRÁFICO			
1. Preparación del equipo	2. Manómetro O2	3. Manómetro C2H2	
			
4. Preparación de Sustrato	5. Material de Revestimiento a aplicar	6. Torno	
