

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Diseño y Construcción de una Pistola de Termorociado por HVOF
(High Velocity Oxygen Fuel)**

JOSÉ RICARDO OÑA PAZMIÑO

Alfredo Valarezo, Ph.D., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero
Mecánico

Quito, mayo de 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Diseño y Construcción de una Pistola de Termorociado por
HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)**

José Ricardo Oña Pazmiño

Alfredo Valarezo, Ph.D.,

Director de Tesis

Director Ingeniería Mecánica

Lorena Bejarano, MSc.,

Miembro del Comité de Tesis

Paúl Remache, MSc.,

Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.,

Decana de la Escuela de Ingeniería

Quito, mayo de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: José Ricardo Oña Pazmiño

C. I.: 1723120778

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2015

Resumen

El termorociado es una tecnología de manufactura para el depósito de recubrimientos superficiales. El HVOF es una técnica especializada de termorociado que consiste en proyectar partículas fundidas o calientes aceleradas a velocidades supersónicas. De esta manera se logran recubrimientos densos y resistentes. Sus utilidades varían desde recuperación de medidas de piezas desgastadas hasta su uso en implantes médicos. Este estudio es importante para aumentar el interés y el desarrollo de tecnología de termorociado localmente. A continuación se presentan las etapas de diseño de una pistola de HVOF, desde el bosquejo de prototipos hasta un modelo real y funcional. Para lograr este objetivo, se realiza ingeniería inversa de un diseño comercial lo que permite modelar todos los componentes del equipo en un software de diseño CAD 3D. Posteriormente, se realizan ajustes de tipo ergonómico o funcional y se generan planos del diseño final para manufactura. El equipo presentado en este proyecto cuenta con un total de 47 partes: 20 piezas, 21 o-rings y 6 tornillos. Los procesos de manufactura usados fueron torneado (estándar y CNC), fresado e impresión 3D. Una vez el equipo fue construido se realizan pruebas de funcionamiento de componentes, se evalúa su desempeño y se hacen ajustes en el diseño si es necesario. Finalmente, se hace disponible un manual de usuario para el uso y mantenimiento correcto del equipo.

Abstract

Thermal Spray is a manufacturing technology used to deposit coatings. HVOF is a specialized thermal spray technique that consists in projecting melted or unmelted hot particles accelerated to supersonic speeds. In this manner, coatings can be achieved dense and resistant. Applications vary from reclamation of worn out parts to medical implants. This study is important to increase the interest and develop the thermal spray technology locally. Here, it is presented the design steps of a HVOF gun, from the prototypes sketches to the actual and fully functional model. In order to achieve this objective, reverse engineering is developed on a commercial design that allows modeling all the equipment parts in CAD 3D software. Moreover, ergonomic or functional changes are made and the final design blueprints are generated for manufacturing. The torch presented in this project has a total of 47 elements: 20 parts, 21 O-rings and 6 screws. The manufacturing processes used were standard lathe and CNC, milling and 3D printing. Once the equipment was built, operation tests are done to all parts, evaluating performance and making adjustments to the design if needed. Finally, an operation and maintenance manual is presented for the correct usage of the equipment.

Tabla de Contenidos

1.	Capítulo I: Planteamiento.....	12
1.1.	Introducción al Termorociado y HVOF	12
1.2.	Planteamiento del Problema	15
1.3.	Alcance	15
1.4.	Objetivos	16
1.5.	Objetivos Específicos	16
1.6.	Requerimiento Técnico	17
1.7.	Uso y Seguridad.....	17
1.8.	Independencia.....	17
1.9.	Confiabilidad.....	18
1.10.	Costo	18
1.11.	Mantenimiento.....	18
2.	Capítulo II: Introducción al Diseño.....	19
2.1.	Configuración General: Torcha HVOF	19
2.2.	Historia y Evolución del HVOF	22
2.3.	Diseños Comerciales Actuales.....	26
2.4.	Patentes	29
3.	Capítulo III: Diseño Preliminar	32
3.1.	Ingeniería inversa de Pistola	32
3.2.	Análisis y detalle de Componentes	35
3.2.1.	T-1, Cámara Central	36
3.2.2.	T-2, Válvula Central	36
3.2.3.	T-4, T-5, Conectores de Combustible, Oxígeno y Aire Comprimido.....	37
3.2.4.	T-9, Base de Conexión de Gases	38
3.2.5.	T-10, T-12, Inyector y Válvula de Alimentación de Polvos...38	38
3.2.6.	T-13, T-15, Tapa Cónica y Cilíndrica de Aire	39
3.2.7.	T-14, Sifón de Gases	39
3.2.8.	T-16, T-17, Tuerca y Boquilla de Polvos	40
3.2.9.	T-11, Mango(s) y Base Torcha	40

4.	Capítulo IV: Diseño Detallado	41
4.1.	Funcionamiento Detallado	41
4.1.1.	Sistema de Entrada de Gases	41
4.1.2.	Flujo Radial a Axial	44
4.1.3.	Mezcla de Gases y Disparo de Polvo	45
4.2.	Ajustes Ergonómicos y de Montaje	49
4.3.	Selección de Materiales	51
4.4.	Selección de O-rings	53
4.5.	Rosca Withworth	56
5.	Capítulo V: Manufactura y Pruebas	59
5.1.	Manufactura del prototipo	59
5.1.1.	Prototipos	63
5.2.	Pruebas	64
6.	Capítulo VI: Análisis de Costos	68
6.1.	Presupuesto	68
6.2.	Costos de Partes Torcha	68
6.3.	Costos Variables Adicionales	70
6.4.	Análisis de Costos	71
7.	Conclusiones y Recomendaciones	75
8.	Referencias	77
	Anexo A: Trademark Hipojet India	80
	Anexo B: Códigos CNC	82
	Anexo C: Cotización HP 2700	87
	Anexo D: Planos del Sistema HVOF	89
	Anexo E: MANUAL DE OPERACION	107

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Listado de Piezas de Torcha HVOF	33
Tabla 3.2 Listado de o-rings Torcha HVOF	34
Tabla 4.1 Resumen Selección de materiales	52
Tabla 4.2 Factor de Estrechez de O-rings para Selección de diámetros (NewDealSeals , 2008)	54
Tabla 4.3 Selección ancho de O-rings (NewDealSeals , 2008).....	55
Tabla 4.4 Selección Final de O-rings	56
Tabla 4.5 Resumen Parámetros Roscas G Torcha HVOF	58
Tabla 5.1 Manufactura de Piezas Torcha HVOF.....	60
Tabla 6.1 Costo Total Torcha HVOF	69
Tabla 6.2 Costos o-rings proveedor macmaster.com.....	70
Tabla 6.3 Costos de Tornillos Torcha HVOF.....	70
Tabla 6.4 Costos Operación IMETCA	72
Tabla 6.5 Datos Experimentales Operación HVOF	72
Tabla 6.6 Flujo para operación HVOF Recomendada.....	73

Índice de Figuras

Figura 1.1 Principio del Termorociado (Meldrum Mechanical Services, 2004).....	12
Figura 1.2 Válvula de aguja de central hidroeléctrica: Antes y después de la recuperación con soldadura y termorociado (Sulzer).....	14
Figura 2.1 Diagrama General HVOF (Coating, Advanced)	19
Figura 2.2 Tobera Convergente – Divergente o Tobera de Laval	20
Figura 2.3 Diamantes Supersónicos HVOF (Linde Gas Division, 2009)	21
Figura 2.4 Modelo HVOF, JET KOTE, por J. Browning (Klassen, HVOF spray systems, 2007)	22
Figura 2.5 Modelo HVOF: TOP GUN. (Klassen, HVOF spray systems, 2007).....	23
Figura 2.6 Modelo HVOF: Diamond Jet (Klassen, HVOF spray systems, 2007)..	24
Figura 2.7 Modelo HVOF: JP 5000 (Klassen, HVOF spray systems, 2007).....	24

Figura 2.8 Modelo HVOF: DJ 2700 (Klassen, HVOF spray systems, 2007)	25
Figura 2.9 Equipo WokaStar de Oerlikon (Metco, 2011)	27
Figura 2.10 CJK5 Castojet de Eutectic (Eutectic, 2014).....	28
Figura 2.11 HIPOJET 2700 (PP&S, 2014)	29
Figura 2.12 De izquierda a derecha: Terojec AC de Eutectic, Machjet de MSS, e Hipojet 2100 de MEC.	30
Figura 2.13 Microjet Pull GMA (HVCW) (Alloys)	31
Figura 3.1 Configuración de entradas y salidas Terojet AC	32
Figura 3.2 Detalle Piezas pistola HVOF	33
Figura 3.3 Modelaje durante Ingeniería Inversa	35
Figura 3.4 Cámara Central (T-1)	36
Figura 3.5 Válvula Central (T-2)	37
Figura 3.6 Conectores de Gases (T-4; T-5).....	37
Figura 3.7 Base de Conexión de Gases (T-9).....	38
Figura 3.8 Inyector y Válvula de Alimentación de Polvos (T-10, T-12).....	38
Figura 3.9 Tapa Cónica y Cilíndrica de Aire (T-13, T-15).....	39
Figura 3.10 Sifón de Gases (T-14).....	39
Figura 3.11 Tuerca y Boquilla de Polvos (T-16, T-17).....	40
Figura 3.12 Mango y Base Torcha (T-11)	40
Figura 4.1 Entrada de Gases	42
Figura 4.2 Corte Trasversal Entrada de Gases	42
Figura 4.3 Corte Trasversal Unión T-9 y T-1	43
Figura 4.4 Paso de Flujo por Cámara Central por Canales Radiales.....	44
Figura 4.5 Desfogue Axial a la Cámara del Sifón de Gases	45
Figura 4.6 Corte transversal Paso de Oxígeno	46
Figura 4.7 Corte transversal Paso de Combustible	46
Figura 4.8 Corte Transversal Paso de Aire Comprimido	47
Figura 4.9 Boquilla y Gases	48
Figura 4.10 Sección Trasversal de Boquilla, Sifón e Inyector	48
Figura 4.11 Zona de Divergencia de la Torcha HVOF	49
Figura 4.12 Montaje Placa Original Hipojet	50
Figura 4.13 Cambio de Ángulo de entrada de Gases por Facilidad de Ensamblaje	50

Figura 4.14 Base y Mangos Rediseñados.....	51
Figura 4.15 Sello Con O-rings (NewDealSeals , 2008)	53
Figura 4.16 O-rings de Tipo Radial, (applerubber, 2012)	54
Figura 4.17 Selección de Sección Trasversal de O-ring (NewDealSeals , 2008). 55	
Figura 4.18 Representación Roscas Withworth (PORTAL DE DIBUJO TÉCNICO, 2014)	57
Figura 4.19 Inyector T-10 con Roscas Withworth.....	58
Figura 5.1 Pruebas CNC Tapa Cilíndrica de Aire (T-15)	61
Figura 5.2 Operador Manufacturando Cámara Central T-1.....	62
Figura 5.3 Primer Prototipo Torcha HVOF	63
Figura 5.4 Torcha HVOF Modelo Final.....	64
Figura 5.5 Prueba Modelo Comercial Hipojet.....	65
Figura 5.6 Diamante Supersónicos en Prueba T-2	65
Figura 5.7 Operador durante Prueba Prototipo 1	66
Figura 5.8 Configuración Pruebas Sistema HVOF	67
Figura 6.1 Pago a 12 Meses Torcha HVOF	73

1. Capítulo I: Planteamiento

1.1. Introducción al Termorociado y HVOF

Como solución a la necesidad de crear un proceso que permita mejorar ciertas propiedades de una pieza, ya sea su dureza, resistencia o incluso aumentar sus dimensiones, se crea el termorociado. El termorociado, o thermal spray en inglés, es una tecnología de manufactura para el depósito de recubrimientos superficiales. El proceso, como se puede apreciar en la **FIGURA 1.1** consiste en rociar un material, metálico o no metálico, a altas velocidades y en estado de fusión (o bastante caliente) sobre la superficie de una pieza base (sustrato). Como resultado se obtiene un recubrimiento fuertemente adherido al material base.

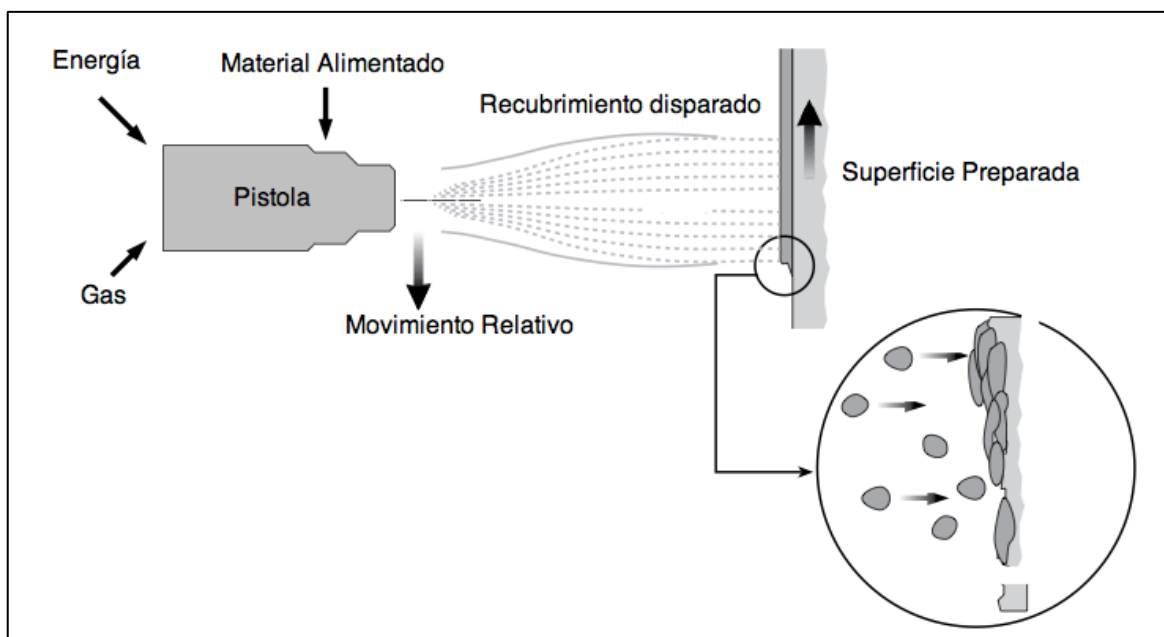


Figura 1.1 Principio del Termorociado (Meldrum Mechanical Services, 2004)

Esta tecnología permite al sustrato mejorar sus propiedades tanto físicas como químicas. De esta manera, se logra reducir e incluso evitar, los efectos del medio como son el desgaste y la corrosión (Sulzer).

Según la Asociación Venezolana de Galvanizadores las pérdidas a nivel global debido a la corrosión son de aproximadamente 9 kg de acero por segundo, lo que representa, transformando esta tasa a términos económicos, aproximadamente un 3.5% del PIB mundial. Estas cuantiosas pérdidas, sumadas a que el control de los factores ambientales resulta muy complicado, han llevado a que el hombre y la industria se hayan visto en la necesidad de buscar la manera de aumentar la vida útil de los metales. A este respecto, el ingeniero Hernando Reyes, catedrático en el área de metalmecánica de la Universidad Nacional de Colombia menciona que “la protección con termorociado reduce los efectos de la corrosión agresiva y el desgaste sobre los metales entre un 40 y 80 por ciento más que cualquier otro método.” (Villar)

Otra ventaja del termorociado es su uso en la recuperación de piezas desgastadas, rotas o dañadas por la operación, tal y como se puede apreciar en la **FIGURA 1.2**. Mediante este proceso, se logra reducir costos y mejorar la eficiencia en la recuperación de partes dañadas, incluso llegando a recuperar piezas que han sido maquinadas de manera incorrecta. Estas piezas pueden ser recubiertas por materiales similares o en su defecto, otros materiales que cambien las propiedades de la superficie como su resistencia. El grosor del recubrimiento puede ser muy fino, y además puede ser maquinado de acuerdo a las necesidades del acabado final requerido. El termorociado por lo general resulta un proceso mucho más rápido que la soldadura (Sulzer). Además, no se altera metalúrgicamente al sustrato a diferencia de la soldadura que expone a las superficies a altas temperaturas que pudieran afectar la pieza trabajada.

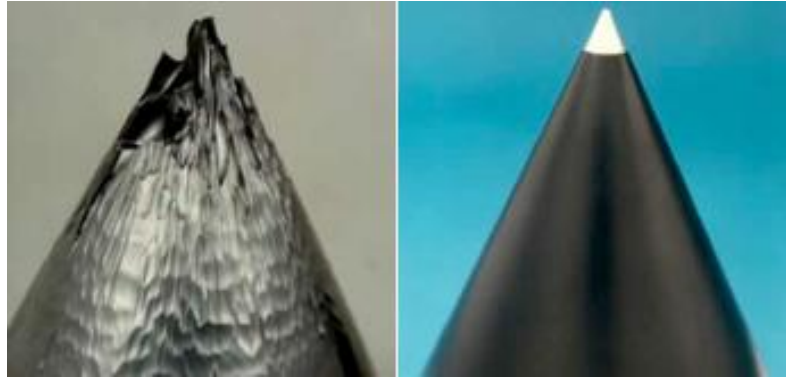


Figura 1.2 Válvula de aguja de central hidroeléctrica: Antes y después de la recuperación con soldadura y termorociado (Sulzer)

Particularmente, el HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) es una técnica de termorociado especializada en la cual el material proyectado es calentado y posteriormente acelerado por una tobera convergente – divergente. Esto permite que la mezcla alcance velocidades supersónicas (mayores a 343 m/s) al ser proyectadas al sustrato. Estas altas velocidades generan a su vez, altas cantidades de energía cinética, haciendo que las partículas, al momento de impactar la superficie en tratamiento, generen recubrimientos densos y muy resistentes.

El proceso de termorociado por HVOF fue desarrollado por el ingeniero Browning Witfield en los años 80s, cuando presentó un método de aspersión de polvo metálico usando la tecnología utilizada en los motores de cohetes (Villar).

El HVOF, al ser un proceso que se realiza a atmósfera abierta (presión = atmosférica), el material proyectado sufre alteraciones micro estructurales como oxidación, evaporación y enfriamiento muy rápido. Sin embargo, debido a las velocidades supersónicas de disparo, las partículas solo tienen contacto con la llama en el orden de los microsegundos, lo que disminuye notablemente la cantidad de óxidos en la composición química del material proyectado. Además, la porosidad de la capa proyectada alcanza buenos resultados, con presencia de

menos del 2% (Villar). Esta es una de las mayores diferencias en comparación a otros procesos de proyección térmica.

1.2. Planteamiento del Problema

El termorociado ha visto un crecimiento en su aplicación en los últimos años en todo el mundo. Los resultados obtenidos aplicando este proceso han sido su carta de aval. Muchas empresas actualmente realizan esta clase de procedimientos. Sin embargo, un limitante muy fuerte es el costo elevado de los equipos de termorociado. A esto habrá que sumarle el poco conocimiento de quienes operan esta clase de maquinaria, en muchos casos, llegando a ser nula.

En el Ecuador, el conocimiento de técnicas de termorociado es muy limitado. De ahí que se ha visto la oportunidad de empezar un proyecto ambicioso, que concluya con la manufactura de una pistola de termorociado por HVOF.

1.3. Alcance

La empresa IMETCA, pionera en procesos de metalizado en el país, cuenta con una pistola de HVOF perfectamente funcional, la cual será usada para emprender la ingeniería inversa de sus componentes. Posteriormente, se verá oportunidades de mejorar el diseño de la pistola base, centrándose en ergonomía, facilidad de uso, así como también reducción de costos. Terminado el diseño se procederá a la manufactura de los componentes usando procesos estándares. Construida la pistola, se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento de la misma y se ajustará cualquier detalle necesario, ya sea de construcción o diseño. Finalmente, se sugerirá un plan de mantenimiento del dispositivo, y se pondrá a

disponibilidad los planos obtenidos, así como sus detalles de manufactura, para conseguir la manufactura de repuestos, si estos son requeridos durante la vida útil del dispositivo. En esta tarea, se buscará cumplir con premisas básicas para un proyecto como son practicidad de diseño, facilidad de manufactura y factibilidad económica.

1.4. Objetivos

- A. Manufacturar una pistola de termorociado HVOF

1.5. Objetivos Específicos

- a) Investigar diseños de pistolas de termorociado por HVOF (Explorar patentes)
- b) Realizar ingeniería inversa de la pistola TeroJet AC de Eutectic
 - Rediseñar y mejorar sistemas con problemas o dificultades técnicas (ergonomía, ensamblaje).
- c) Modelar los mecanismos en software de CAD 3D
- d) Dimensionar partes y generar planos para construcción
- e) Construir torcha de termorociado por HVOF cumpliendo el presupuesto propuesto
- f) Realizar pruebas con los prototipos manufacturados
- g) Comparar el prototipo final con el modelo comercial TeroJet de Eutectic
- h) Crear manual de operación de la pistola de HVOF

1.6. Requerimiento Técnico

A continuación se describen los requerimientos técnicos que son las premisas iniciales del proyecto. Estas serán evaluadas al finalizar el mismo y se realizará un análisis del cumplimiento:

1.7. Uso y Seguridad

La prioridad de cualquier sistema mecánico debe ser la seguridad. Es por esto, que el diseño de este proyecto tomará como su eje principal a la seguridad en la operación. El uso del sistema debe ser lo más sencillo posible, sin que infrinja postulados básicos de ergonomía, salud ocupacional y medio ambiente. Adicionalmente, se debe asegurar el uso del sistema en un entorno seguro, con materiales de calidad y que proporcionen un acabado bajo estándares mínimos de satisfacción al cliente.

1.8. Independencia

Actualmente existen muchos proveedores de partes y piezas para la industria del termorociado, y en este caso específico, para el proceso de HVOF. Ninguno de estos se encuentra dentro del país. Esto complica de gran manera la reparación de los sistemas, así como también encarece el costo de los repuestos. Es por esto que durante el diseño se buscará la independencia de proveedores externos. El diseño se hará en base a los procesos de manufactura más sencillos y comunes que haya en nuestro país. Los planos de taller del equipo harán que la obtención de repuestos sea sencilla y más económica.

1.9. Confiabilidad

Durante el desarrollo del proyecto se buscará oportunidades para mejorar la confiabilidad del equipo que será tomado como modelo inicial. Para esto se buscará causas raíces para los problemas que causen *Down time* operativo en el equipo. A partir de aquí, se trabajará buscando soluciones y mejoras.

1.10. Costo

Un objetivo fundamental al diseñar es encontrar el modelo con mejor funcionalidad al menor costo posible. Esta premisa se mantendrá durante este proyecto. Se tratará de economizar al máximo donde sea posible. Al ser un equipo que usa gases inflamables y presión, se debe ser muy selectivo para evitar accidentes relacionados a mal juicio eligiendo materiales.

1.11. Mantenimiento

Junto con el manual de operación, se entregará pautas para el mantenimiento del equipo manufacturado. Se intentará que el mantenimiento sea fácil de realizar para cualquier operador. Se buscará orientar el mantenimiento del equipo al tipo preventivo. La limpieza y el uso correcto serán puntos de inicio fundamentales.

2. Capítulo II: Introducción al Diseño

2.1. Configuración General: Torcha HVOF

El paso previo antes de comenzar a diseñar cualquier sistema, es comprender a fondo el mecanismo de funcionamiento del mismo. Como se describió en el capítulo 1, HVOF son las siglas en inglés para combustible y oxígeno a alta velocidad. Entonces, se destaca que por definición el sistema usará oxígeno y combustible, y su reacción durante la combustión en una tobera convergente-divergente, generará altas temperaturas y flujo de gas a alta velocidad.

Como se puede ver en la **FIGURA 2.1**, una torcha es una pequeña cámara de combustión, un lugar donde la mezcla de algunos componentes permite una reacción química iniciada por una ignición (una chispa). Para esto se usan tres componentes básicos: oxígeno, combustible y aire comprimido. Estos, al ser una mezcla altamente volátil, permiten una combustión rápida y acelerada.

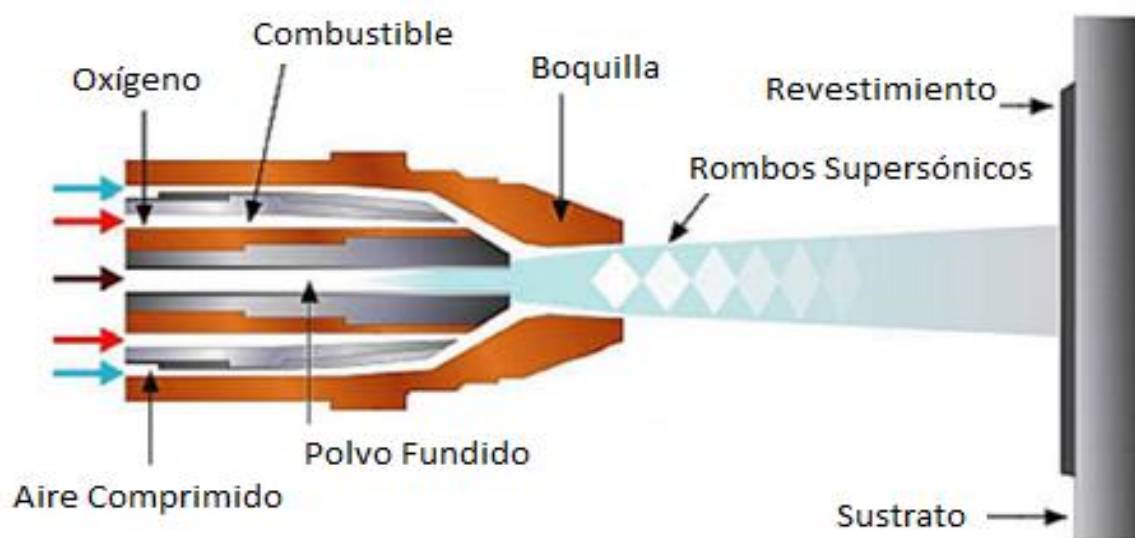


Figura 2.1 Diagrama General HVOF (Coating, Advanced)

Para que un material sea proyectado y se adhiera de manera efectiva a un sustrato, por lo general, este no necesita ser fundido en un proceso de HVOF. Simplemente es necesario asegurar la temperatura y la velocidad adecuadas de las partículas al momento del impacto con el sustrato, de tal manera de que estas sean lo suficientemente altas para que permitan la deformación plástica de las partículas proyectadas y su adherencia (Klassen, Introduction, 2007). Y esto es lo que se logra cuando el material base es alimentado a través de un sistema con la temperatura necesaria, que en este caso será la cámara de combustión mencionada anteriormente. La selección de los materiales de la cámara de combustión es muy importante dado que deben resistir las altas temperaturas generadas en la combustión. Para lograr esto con materiales más comunes, se adiciona al equipo, sistemas de refrigeración sencillos, ya sea de agua o de aire, en su gran mayoría.

Según se aprecia en la **FIGURA 2.1**, en un sistema HVOF existe una tobera convergente divergente, también conocida como tobera de Laval, en honor a Gustav de Laval. Si el flujo entra a la parte convergente con una velocidad subsónica, y en el punto crítico (garganta) alcanza a convertirse en un flujo supersónico, en la parte divergente el flujo aumentará su velocidad. (Ver **FIGURA 2.2** de derecha a izquierda) (Gherardelli, 2007).

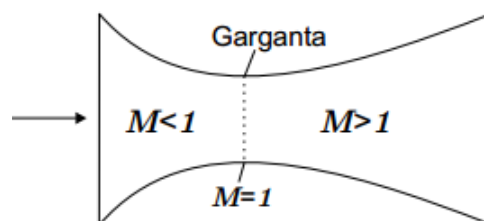


Figura 2.2 Tobera Convergente – Divergente o Tobera de Laval

El material será proyectado a velocidad supersónica hacia el sustrato, lo que explica la formación de los rombos o diamantes que se pueden apreciar en las **FIGURA 2.1** y **FIGURA 2.3** Estos diamantes son llamados supersónicos o de Mach, y se generan por la diferencia de presiones entre la salida de la boquilla y la atmósfera (Scott, 2005).



Figura 2.3 Diamantes Supersónicos HVOF (Linde Gas Division, 2009)

El resultado de este proceso según Traugott Fischer, autor del libro *Materials Science for Engineering Students*, es que el material disparado se acerca a velocidades aproximadas de 500-800 metros por segundo, resultando casi hasta tres veces la velocidad del sonido (3M). Fischer adiciona que el recubrimiento logrado alcanza densidades cercanas al 100% con una alta adherencia (10.000 psi, o 70 MPa) (Fischer, 2009).

2.2. Historia y Evolución del HVOF

La era del termorociado por HVOF comenzó en 1982 cuando Jim Browning lanzó al mercado el modelo 'Jet Kote' (**FIGURA 2.4**).

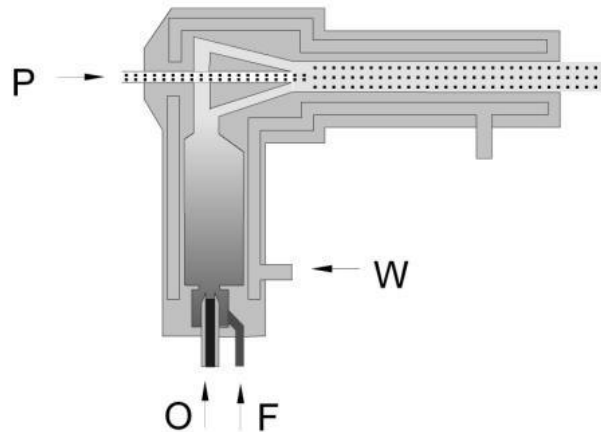


Figura 2.4 Modelo HVOF, JET KOTE, por J. Browning (Klassen, HVOF spray systems, 2007)

Este constaba de un diseño como de pistola (enfriada por agua, W) cuyos productos combustionados (Oxígeno, O y combustible, F) fluyen a 90° con respecto a la alimentación de polvos (P). Las partículas son aceleradas en un cilindro recto, hasta el final del mismo. Solo en este punto se alcanza velocidades supersónicas. El sistema Jet Kote, alcanza presiones de combustión de 3 a 5 bares, lo que genera una potencia térmica de aproximadamente 80 kW. Para materiales de altas densidades (Carburo de Tungsteno y Cobalto WC-Co), este sistema puede alcanzar tasas de aplicación promedio de 2.5 Kg/h, y alcanzar velocidades de partículas aproximadas de 450 m/s (Klassen, HVOF spray systems, 2007).

Siete años más tarde, en 1989, dos nuevos sistemas fueron introducidos en el mercado del termorociado. Estos se caracterizan por su cámara de combustión y su alimentación de polvos, que fueron alineados axialmente para evitar caídas de presión y velocidad. Uno de estos modelos es conocido con el nombre 'Top Gun', en el cual los polvos son impulsados directamente a la cámara de combustión, donde una pre mezcla de oxígeno y combustible es inyectada, haciendo que las partículas se aceleren a través de un cilindro recto (Klassen, HVOF spray systems, 2007).

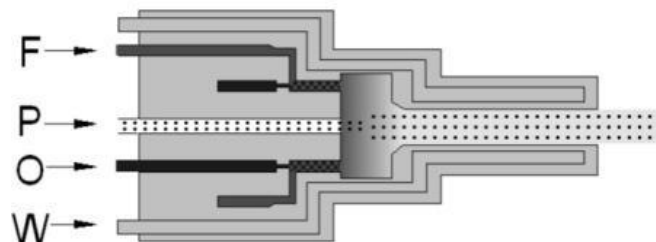


Figura 2.5 Modelo HVOF: TOP GUN. (Klassen, HVOF spray systems, 2007)

El segundo sistema es conocido con el nombre de 'Diamond Jet', que de igual manera inyecta una pre mezcla de oxígeno y combustible, con la diferencia de que el polvo es propulsado en conjunto con dicha mezcla en la cámara de combustión, pero mucho más cerca de la salida de la torcha. El calentamiento de los polvos puede ser limitado y el enfriamiento de la cámara de combustión puede modificarse al inyectar aire o nitrógeno, haciendo la función de gas envolvente a lo largo del flujo de polvo y las paredes de la cámara. Ya que no tiene mucho espacio adicional de aceleración y calentamiento, las máximas temperaturas y velocidades se alcanzan a la salida de la boquilla de expulsión (Klassen, HVOF spray systems, 2007).

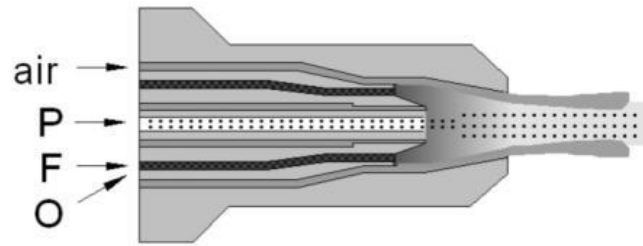


Figura 2.6 Modelo HVOF: Diamond Jet (Klassen, HVOF spray systems, 2007)

Estos dos sistemas operan a una potencia, temperatura y rata de alimentación muy parecidas a las obtenidas en el sistema Jet Kote, sin embargo, existe la diferencia de que en estos últimos se alcanza mayores velocidades en las partículas. En principio, esto se debe a que el flujo de gases no es desviado por separado y a que es enfriado en menor escala. La relación de temperaturas de los tres diseños analizados se podría resumir así: Top Gun > Jet Kote > Diamond Jet (Klassen, Introduction, 2007).

En 1992, aparecería la tercera generación de dispositivos HVOF, con el nombre de JP 5000, que permite alcanzar mayores velocidades de gases, debido a que incluye una boquilla tipo Laval (sección 2.1), que fue inspirada en las usadas en los motores de cohetes.

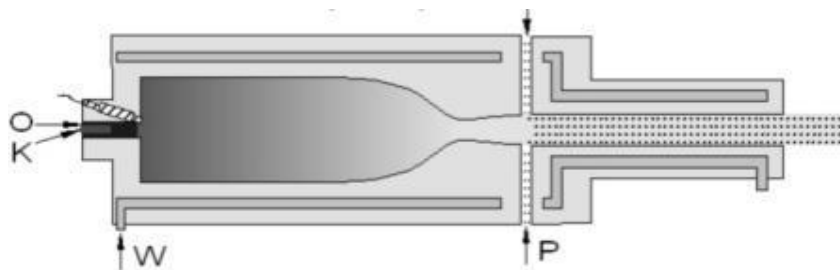


Figura 2.7 Modelo HVOF: JP 5000 (Klassen, HVOF spray systems, 2007)

Este sistema consta de un cañón luego de la boquilla, que permite que las partículas de material base tengan mayor contacto con el flujo de gases. El sistema fue diseñado para usar keroseno como combustible. El polvo (P) es inyectado radialmente cerca del extremo de la boquilla divergente en la entrada al cañón para evitar un calentamiento innecesario. De esta manera, el calentamiento del material base y su aceleración solo sucede en el cañón. Como se aprecia en la **FIGURA 2.7**, la cámara de combustión y el cañón son enfriados por agua (W) (Klassen, HVOF spray systems, 2007).

En 1994, apareció el modelo DJ 2700, también conocido como Diamond Jet Hybrid (similar al mencionado anteriormente). Este nombre se debía a que el sistema usaba la cámara de combustión del modelo Diamond Jet que quemaba combustibles gaseosos. En este sistema, la aceleración y calentamiento de las partículas se genera en la sección convergente divergente (Klassen, HVOF spray systems, 2007). La sección divergente es enfriada por agua como se muestra en la **FIGURA 2.8** de ahí su denominación de “Hybrid”.

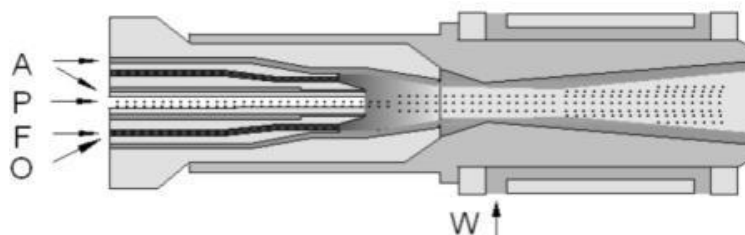


Figura 2.8 Modelo HVOF: DJ 2700 (Klassen, HVOF spray systems, 2007)

En líneas generales, estos sistemas de tercera generación operan con presiones en la cámara de combustión de alrededor de los 10 bares, y unas potencias térmicas de 100 kW en el modelo DJ2700 y de 200 kW para el JP 5000. Las tasas de aplicación del material alimentado están en el rango de 8 a 18 Kg/h. Haciendo una relación con el modelo de primera generación Jet Kote, estos modelos alcanzan velocidades de 650 m/s proyectando el mismo material (WC-Co) (Klassen, HVOF spray systems, 2007).

2.3. Diseños Comerciales Actuales

Dentro de la industria de los recubrimientos hay algunas multinacionales que sobresalen del resto con grandes equipos que destacan por su eficiencia, utilidad y sobre todo su gran precio. Empresas tales como Sulzer Metco (ahora Oerlikon Metco), Eutectic, Praxair y Metallizing Equipment Company están dentro de las más conocidas de la industria del termorociado. La mayoría de sus equipos actuales incluyen tecnología de alto rendimiento y última generación, reemplazando los sistemas mecánicos de los años 80s y 90s por sistema electromecánicos, que demuestran el avance que ha tenido esta área de la ingeniería.

Podríamos mencionar equipos como el WokaStar 610 de Oerlikon Metco (**FIGURA 2.9**) que usa combustible líquido (Keroseno). Según el fabricante la cámara de combustión del equipo es en promedio de 15 a 20 por ciento más grande que una pistola convencional, lo cual combinado a su mejorada configuración que obtiene mayores presiones de operación, la hacen única en su clase pues permite obtener revestimientos más duros y densos. Esta torcha

entraría como variante de la tercera generación de equipos HVOF presentada en la sección 2.2 (JP 5000). Usa una boquilla tipo de Laval, que acelera el flujo a 2 Mach, y su alimentación de polvos es de tipo radial. Oerlikon Metco, asegura que usar combustible de tipo líquido tiene ventajas como son, su fácil disponibilidad y manejo, y mayor densidad de energía asociada con este tipo de hidrocarburos. La verdadera diferencia con un modelo JP 5000, está en que este equipo utiliza el sistema Evo Link, creado y patentado por el fabricante. Este sistema de control electrónico permite medir parámetros críticos en la operación de la torcha (presión de combustión, temperatura de enfriamiento, control de ignición, temperatura controlada electrónicamente en puntos críticos), así como recolectar información automáticamente para usarlo en el futuro a modo de retroalimentación (tiempo de operación, parámetros de funcionamiento, límites operacionales, información de mantenimiento y calibración) (Metco, 2011).



Figura 2.9 Equipo WokaStar de Oerlikon (Metco, 2011)

El gran problema de la mayoría de estos equipos de última generación es que para nuestro medio son altamente costosos, y el retorno de la inversión se vería a muy largo plazo. Además, está el tema de las complejas importaciones y los altos aranceles que complican la compra de tales dispositivos. Adicional a esto, el tema de consecución de repuestos en caso de daño es casi nulo, debido

a la poca demanda del mercado, lo que genera una baja oferta en el mismo. Muy pocas empresas ofrecen servicios “in stock” para repuestos, y con tal panorama, una empresa que preste servicios de termorociado tendría que parar su operación hasta poder reparar los daños causados con partes nuevas.

Aún así, dentro del mercado internacional hay fabricantes que ofrecen opciones de bajo costo para adquirir equipos de termorociado por HVOF, por ejemplo el caso de Eutectic o Plasma Powders and Systems, mencionados anteriormente.

Castolin Eutectic actualmente ofrece al público el modelo Castojet CJK5. Se podría decir que es el equivalente al WokaStar de Sulzer analizado anteriormente. Usa de igual forma, keroseno como combustible y su alimentación de polvos es radial (Eutectic, 2014).



Figura 2.10 CJK5 Castojet de Eutectic (Eutectic, 2014)

La empresa Sager en el Ecuador es distribuidora oficial de equipos Castolin Eutectic. Este equipo se comercializa por un costo de 32750, sin embargo no cuentan con stock disponible, pues trabajan con método de importación bajo demanda. El mismo caso para el tema de repuestos.

La empresa Plasma, Powders and Systems ofrece también equipos HVOF a precios más accesibles. Actualmente, comercializan el modelo HIPOJET 2700, de manufactura hindú, del fabricante Metallizing Equipment Company. Esta torcha es la sucesora del modelo 2100, y usa como combustible LPG o propano. Tiene un peso de 4.07 lbs. Esta pistola tiene un diseño de alimentación axial como se aprecia en la **FIGURA 2.11**. Podría considerarse como una DJ 2700, una torcha HVOF de tercera generación, analizadas en la sección anterior. Este modelo, junto a su respectivo alimentador de polvos tiene un precio total de \$39777. Si solo se quisiera comprar la torcha su costo es de \$14370. A estos precios habría que añadirles los costos de impuestos por importación y flete desde New Jersey, Estados Unidos.



Figura 2.11 HIPOJET 2700 (PP&S, 2014)

2.4. Patentes

Según la ley norteamericana de patentes, una patente de utilidad (protege funcionalidad) es válida por 20 años, mientras que una de diseño (protege apariencia) durante 14 años (Neustel). Las patentes de utilidad son las más comúnmente solicitadas.

La mayoría de equipos que se venden actualmente en el mercado tienen patentes activas, por lo cual basarse en ellos para comenzar el diseño de otro proyecto, podría conllevar problemas de tipo legal. Por tanto, para este proyecto se asegurará que el diseño base carezca de patente o que esta haya caducado. El modelo del equipo es el Terojet AC (Castolin, 2008). Exactamente el mismo modelo es ofrecido por el fabricante Metallizing Equipment Company bajo el nombre de HIPOJET, modelo 2100. Este equipo será el equipo base para el diseño y construcción local del dispositivo que se ofrece como entregable de esta tesis.

Para poder usar dicho equipo, es necesario comprobar que no tiene patentes en vigencia. Después de una amplia búsqueda en la base de datos americana de patentes se pudo comprobar, que dichos fabricantes mencionados anteriormente no tienen a su haber permisos de exclusividad activos. De hecho, durante la búsqueda, se encontró otro fabricante que ofrece el mismo equipo, con otro nombre. Se trata del fabricante Neozelandés Metal Spray Suppliers, que ofrece el modelo MachJet (MSS, 2011). Se puede ver a continuación, en la **FIGURA 2.12**, una breve comparación entre los modelos mencionados y comprobar que son totalmente idénticos.



Figura 2.12 De izquierda a derecha: Terojec AC de Eutectic, Machjet de MSS, e Hipojet 2100 de MEC.

Adicional a todo esto, en la investigación se encontró que la carcaza y otros componentes de este equipo son usados para variaciones de sistemas de termorociado. Es el caso del equipo Microjet Pull GMA (**FIGURA 2.3**), un equipo de termorociado por HVCM (High Velocity Combustion Wire). Se trata básicamente de un sistema HVOF, ya que alcanza velocidades supersónicas, pero que reemplaza los polvos por cable de zinc como material de expulsión base (Alloys).



Figura 2.13 Microjet Pull GMA (HVCW) (Alloys)

Plasma Powders and Systems, distribuidor localizado en Estados Unidos del fabricante MEC, aseguró que este sistema actualmente está discontinuado, y simplemente se ofrece algunos repuestos hasta agotar stock. Bill Zibree, empleado de dicha empresa, adiciona que el modelo 2100 salió por primera vez al mercado en el año 1990. A la actualidad han transcurrido 24 años, tiempo suficiente para dar por terminada una patente de utilidad.

En la página oficial del fabricante de la pistola Hipojet, se menciona la propiedad de algunos trademarks y patentes. Sin embargo, el trademark al que se hace referencia solo involucra que el fabricante es dueño de la marca “Hipojet”. Este trademark se encuentra vigente hasta el año 2021 bajo los estatus legales del gobierno de la India (Anexo A). En cuanto a las patentes que se mencionan, ninguna de ellas se relaciona a la línea de productos Hipojet (MEC, 2007).

3. Capítulo III: Diseño Preliminar

3.1. Ingeniería inversa de Pistola

La ingeniería inversa es un proceso donde se busca descubrir los principios de operación de algún sistema o dispositivo, e intentar plasmarlo en otro que logre tener una operación similar o mejor. Esto se logra infiriendo en base a evidencias respecto a la estructura, función y operación del sistema analizado (ALEGSA, 2010).

Para el caso de este proyecto, analizaremos completamente el equipo Eutectic AC/Hipojet 2100. Relacionando la información de la sección 2.2, se puede concluir que esta torcha es una tipo tercera generación modificada, con tobera convergente divergente, que alcanza velocidades supersónicas. El principio de operación es muy similar a una modelo Diamond Jet 2700, con la diferencia de la alimentación del flujo de gases, siendo en este caso perpendicular a la alimentación de polvos (ver **FIGURA 3.1**), pareciéndose en este punto a una modelo Jet Kote. Usa combustible gaseoso, ya sea LPG, propano, propileno o gas natural. Como tal es refrigerada por aire, sin embargo, con un accesorio puede ser enfriada con agua.



Figura 3.1 Configuración de entradas y salidas Terojet AC

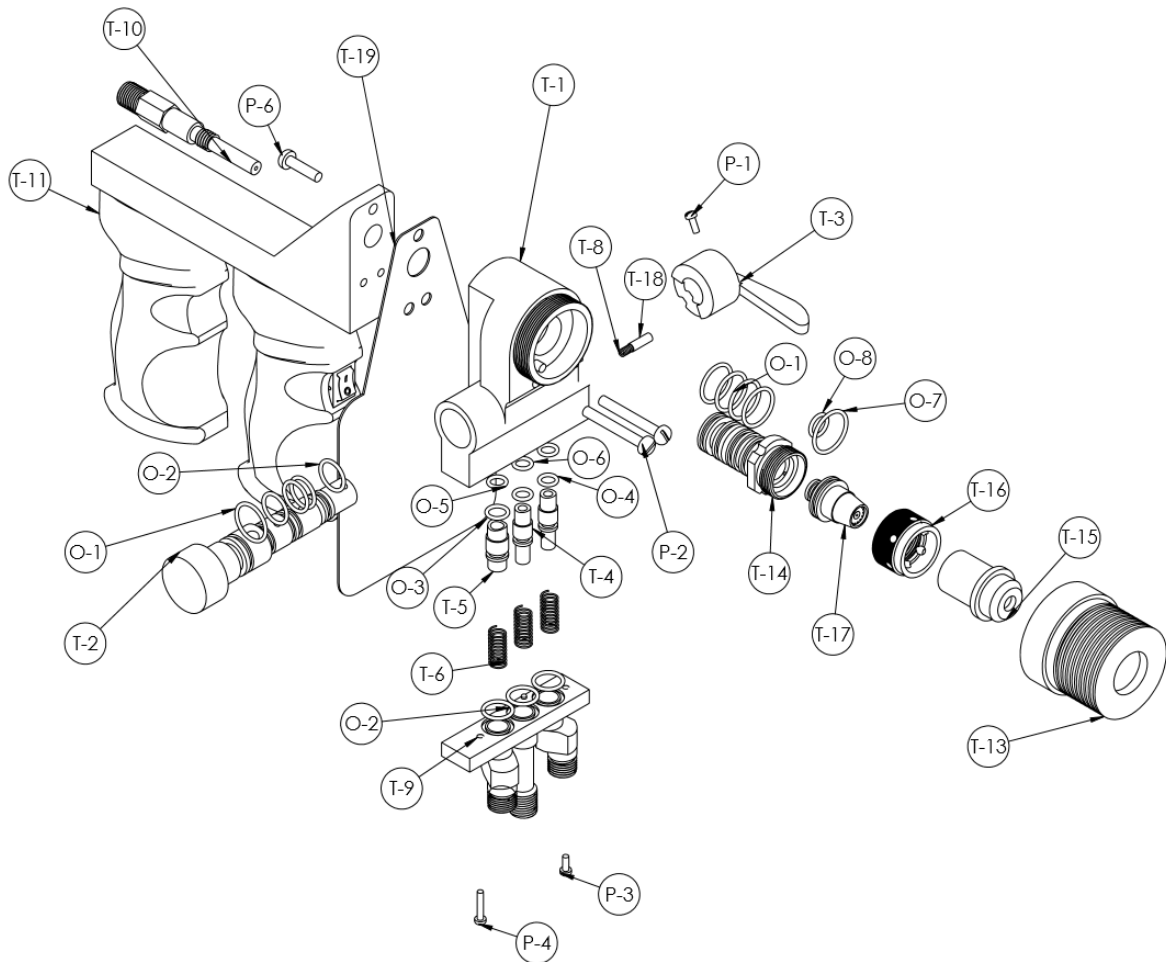


Figura 3.2 Detalle Piezas pistola HVOF

Pieza	Nombre	Cantidad
T-1	Cámara central	1
T-2	Válvula central	1
T-3	Manija	1
T-4	Conector Combustible y oxígeno	2
T-5	Conector Aire	1
T-6	Resortes de conectores Aire, Oxígeno y Combustible	3
T-18	Pin de tope	1
T-8	Resorte de tope	1
T-9	Base de Conexión de gases	1
T-10	Inyector de Polvos	1
T-11	Mangos y Base Torcha	1
T-12	Válvula de polvos	1
T-13	Tapa cónica de aire	1
T-14	Sifón Gases	1
T-15	Tapa cilíndrica de aire	1
T-16	Tuerca boquilla polvos	1
T-17	Boquilla polvos	1

Tabla 3.1 Listado de Piezas de Torcha HVOF

Esta torcha tiene un peso de 1.6 Kg y cuenta con un conjunto de 20 partes mecánicas, 21 o-rings y 6 tornillos. En la **TABLA 3.1** y la **FIGURA 3.2** muestran la lista detallada de las partes numeradas. Esta nomenclatura será la que se usará para las piezas en su diseño y análisis.

De la misma manera, como se observa en la **FIGURA 3.2**, se identificó el uso de o-rings, que actúan como sellos mecánicos para los fluidos utilizados. A continuación se detallan los o-rings utilizados, así como su cantidad y posición.

Pieza	Posición	Cantidad
O-1	T-2 (1 pc) y T-14 (4 pc)	5
O-2	T-2(4 pc) y T-9 (3 pc)	7
O-3	T-5	1
O-4	T-4	2
O-5	T-1 Cavity Aire comprimido	1
O-6	T-1 Cavidades Combustible y Oxígeno	3
O-7	T-17	1
O-8	T-17	1

Tabla 3.2 Listado de o-rings Torcha HVOF

Con esta información podemos ver que tendríamos 17 piezas y 8 tipos de o-rings. En la pistola se repiten ciertos componentes, y esto es positivo a la hora de la manufactura de repuestos que pueden ser producidos en serie.

Los componentes de la torcha fueron analizados uno por uno. Para la toma de medidas se usaron herramientas como calibrador de precisión, micrómetros y calibre de profundidad. Estas medidas se utilizarán para la generación de planos mediante la herramienta de diseño mecánico SolidWorks 2012.

Algunas piezas fueron destruidas durante la ingeniería inversa para poder identificar todos los detalles. Varias piezas fueron seccionadas en cortes transversales mediante corte de hilo, como se ve en la **FIGURA 3.3**

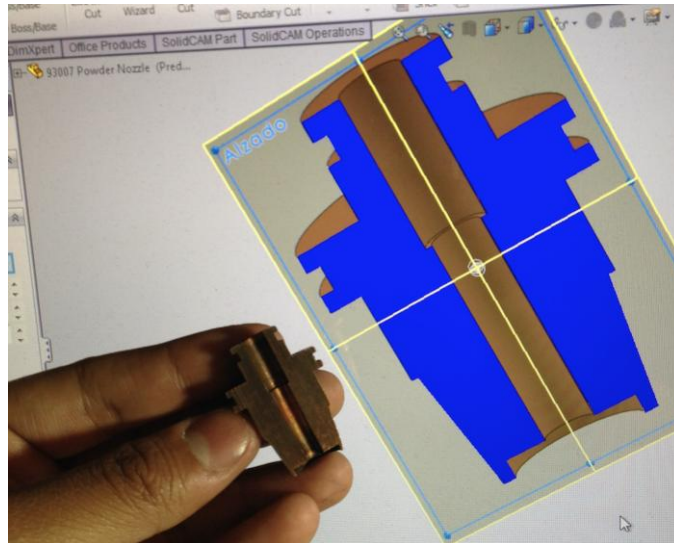


Figura 3.3 Modelaje durante Ingeniería Inversa

3.2. Análisis y detalle de Componentes

A continuación tenemos una breve descripción de cada componente que conforma la torcha de termorociado por HVOF de Eutectic que será usada para la ingeniería inversa. Se describe brevemente el uso de cada componente, conexión con otras piezas, y ciertos detalles importantes adicionales.

3.2.1. T-1, Cámara Central



Figura 3.4 Cámara Central (T-1)

A priori, este componente es el más complicado en la ingeniería inversa. Esta cámara se encarga de, mediante canales internos, convertir el flujo de los gases de radial a axial y distribuye los mismos. También, la cámara distribuye el aire comprimido por toda la cámara hasta la flama para usarlo como sistema de refrigeración. Este componente consta de tres orificios en su base, por donde ingresan los gases. Perpendicular a a los conductos de los gases, aproximadamente un centímetro arriba de los orificios, se encuentra el orificio cilíndrico donde se ensambla la válvula T-2. En el frente está el orificio cilíndrico donde ingresa el sifón de gases T-14.

3.2.2. T-2, Válvula Central

Esta es la válvula de paso vertical de gases. Técnicamente esta válvula tiene dos posiciones. Cerrada, y abierta. Tiene pequeños orificios intermedios que permiten una posición intermedia o de ignición. Esta pieza gira dentro del sistema de la torcha, con la ayuda de una manija (T-3), que mediante un tope integrado (T-7) en la cámara central, oscila entre las posiciones correctas de operación.

Esta pieza usa como sellantes cinco o-rings (O-1 x 1; O-2 x 4), formando con la cámara un espacio confinado para que los gases fluyan por separado verticalmente sin que haya fugas. Estos son muy importantes pues afectan la cantidad de fluidos que entran en la cámara y por tanto, influyen en la facilidad de ignición de la torcha.



Figura 3.5 Válvula Central (T-2)

3.2.3. T-4, T-5, Conectores de Combustible, Oxígeno y Aire Comprimido

Estos tres conectores ingresan en la cámara central y su función principal es de llevar el flujo directamente hasta la válvula (acortando la sección transversal del mismo, lo que aumenta la presión). Su cara superior es cóncava y conjugada al diámetro de su respectiva unión en la válvula T-2. Cuando los conectores ingresan en la cámara, ingresan junto a tres o-rings que hacen contacto con la sección cóncava. Estos permiten un sellado hermético para el flujo de cada uno de los gases. Los conectores cuentan con o-rings en la zona cilíndrica que evitan fugas hacia fuera de la cámara.



Figura 3.6 Conectores de Gases (T-4; T-5)

3.2.4. T-9, Base de Conexión de Gases

Esta base permite que se conecten las mangueras de gases a la cámara de combustión. Esto se logra conectando mangueras de entrada de gases en los tres plugs de la base. Las mangueras se conectan mediante conectores roscados, como se ver en la **FIGURA 3.7** Adicionalmente, esta pieza cuenta con 3 o-rings que impiden que los gases de alimentación escapen. La base T-9 se conecta a la cámara central T-1 mediante 2 tornillos.

La base cuenta con un indicador de posición de ensamblaje correcto, que permite no equivocarse en el sentido en el que se lo coloca. Esto ayuda a la operación segura, ya que podría ser causa de accidentes al ser conectado erróneamente.



Figura 3.7 Base de Conexión de Gases (T-9)

3.2.5. T-10, T-12, Inyector y Válvula de Alimentación de Polvos

Este sub ensamble de 2 piezas es el encargado de permitir el paso del material que será inyectado. El material inyectado es polvo que se lo envía desde su alimentador en suspensión en un flujo de nitrógeno. La función de la válvula es permitir o cerrar el paso de flujo del material. Es una válvula de bola (abierto, cerrado). El inyector, a su vez, recibe el flujo y lo conecta con la cámara principal T-1.



Figura 3.8 Inyector y Válvula de Alimentación de Polvos (T-10, T-12)

3.2.6. T-13, T-15, Tapa Cónica y Cilíndrica de Aire

La tapa cónica y cilíndrica son parte del sistema de refrigeración de la torcha. La refrigeración se realiza mediante aire comprimido. La tapa cilíndrica se ensambla encima de la boquilla que despiden la llama. Es un componente esencial para la preservación del sistema, pues de no funcionar correctamente, haría que las piezas se sobrecalienten e incluso lleguen a fundirse, causando daños severos.

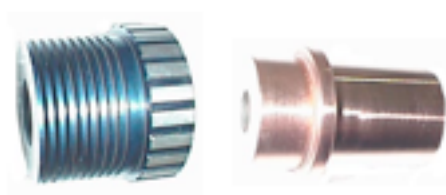


Figura 3.9 Tapa Cónica y Cilíndrica de Aire (T-13, T-15)

3.2.7. T-14, Sifón de Gases

El sifón de gases es una de las piezas más importantes de todo el conjunto. Esta entra en el orificio frontal de la cámara T-1, y básicamente, se encarga de mezclar en su interior todos los gases, para producir la mezcla que permitirá la ignición. Como se aprecia en la **FIGURA 3.10**, esta pieza incorpora 4 o-rings, que permiten que los gases que suben verticalmente no se escapen. A través de pequeños orificios que incorpora el sifón, se realiza la mezcla justa de gases. La mezcla es expulsada por el frente de manera axial, hacia la boquilla de polvos T-16 y T-17 (que se explican a continuación).



Figura 3.10 Sifón de Gases (T-14)

3.2.8. T-16, T-17, Tuerca y Boquilla de Polvos

Esta boquilla es en realidad un pequeño subconjunto formado por una pieza externa de cobre, y en su interior un inserto de carburo de tungsteno. Este inserto protege a la pieza de las altas temperaturas a la que llega en combustión y la previene de la erosión que puede causar el polvo alimentado a través del conducto central. La boquilla T-17 lleva dos o-rings que permiten el sello final de la mezcla previo a ser disparado.

La tuerca T-16 sujeta a la boquilla de polvos con el sifón de gases utilizando rosca.



Figura 3.11 Tuerca y Boquilla de Polvos (T-16, T-17)

3.2.9. T-11, Mango(s) y Base Torcha

La función del mango es hacer de soporte a todo el conjunto. Como se puede apreciar en la **FIGURA 3.12**, el mango lleva ligado un switch. Este envía la señal de encendido y apagado al alimentador de polvos de manera remota. Está unido a un cuerpo de aluminio o base, que se integra a la cámara central y da forma final a la pistola.



Figura 3.12 Mango y Base Torcha (T-11)

4. Capítulo IV: Diseño Detallado

4.1. Funcionamiento Detallado

A partir del diseño preliminar realizado y con ayuda del software de CAD mencionado anteriormente se procederá a revisar subconjunto por subconjunto el funcionamiento detallado del equipo. Es importante entenderlo completamente pues define las bases para el resto de este proyecto. Se analizará la importancia de los sellos mecánicos (o-rings), posiciones de agujeros, y en general, cada parte del sistema.

A diferencia de lo revisado en capítulos anteriores, en el presente tendremos certeza de la utilidad de cada componente dentro del sistema, como interactúa con el resto del equipo y cuál es su importancia. Otra diferencia con el diseño preliminar es que durante esta sección no se revisará componentes individuales. Mas bien, se analizará subconjuntos.

4.1.1. Sistema de Entrada de Gases

Como vimos anteriormente, los gases ingresan al sistema de manera radial. En la **FIGURA 4.1** a continuación vemos la base de conexión de gases (T-9) y la cámara central (T-1). Las mangueras de los gases son conectadas a un flujómetro (combustible y oxígeno) que permite controlar la cantidad de flujo.

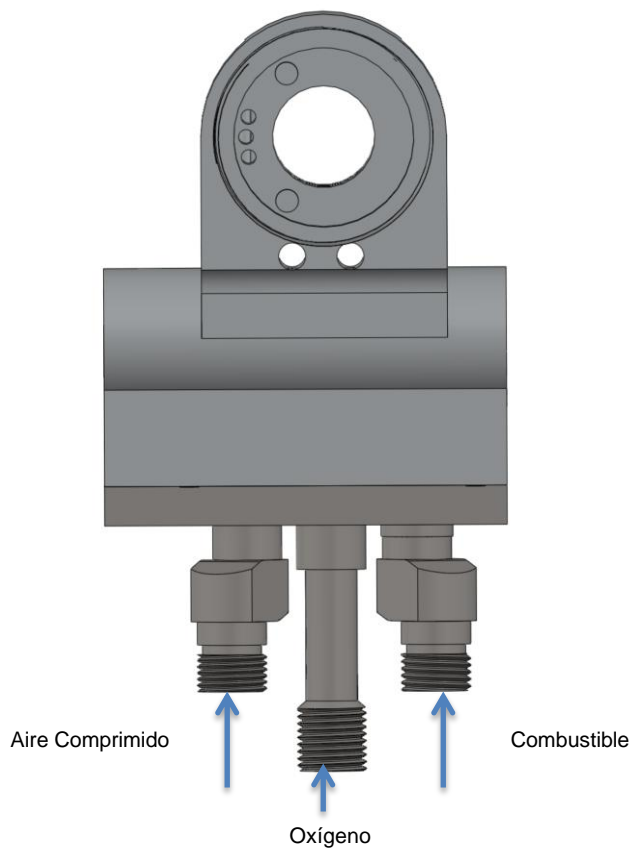


Figura 4.1 Entrada de Gases

A continuación se puede ver los mismos componentes con un corte transversal que nos permita ver su interior.

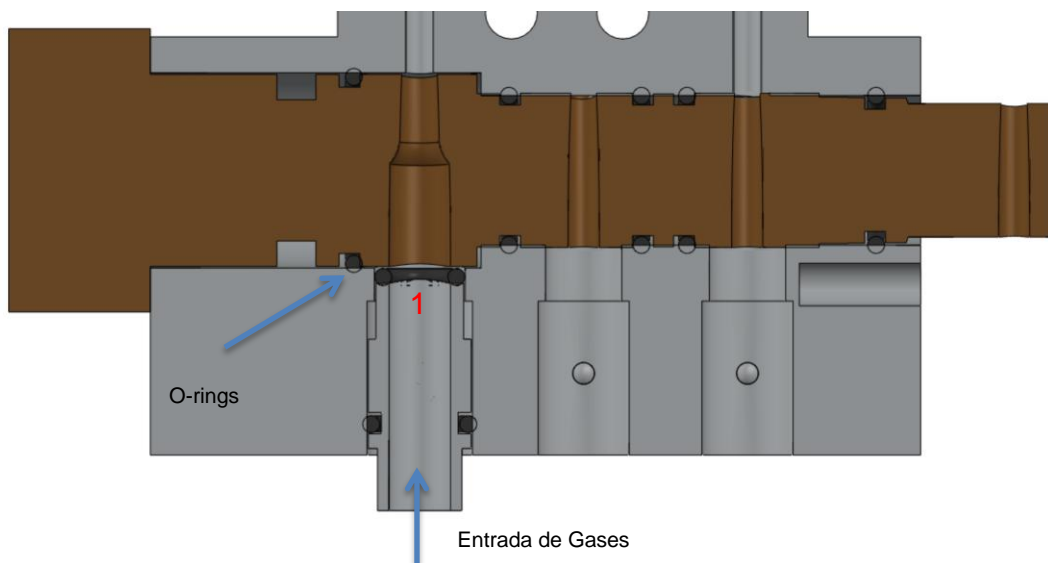


Figura 4.2 Corte Transversal Entrada de Gases

En el corte transversal de la **FIGURA 4.2** se observa que los o-rings juegan un papel fundamental en el ingreso de los gases. Estos permiten el sello adecuado en su paso dentro del sistema. El objetivo es evitar cualquier fuga de gases ya que podría suponer un peligro de seguridad, al tratarse de gases inflamables. Adicional a eso, la fuga de gases comprometería las presiones del sistema y complicaría el encendido de la torcha.

Según se aprecia en la **FIGURA 4.3**, el diseño asegura el paso de gases durante su recorrido por los diferentes componentes con un juego de cuatro o-rings para cada uno de los 3 canales. El o-ring #1 (**FIGURA 4.2**) se encarga de sellar la conexión entre los conectores de gases (T-4 ó T-5) y la válvula central. Este sello se asegura con la fuerza que ejercen los correspondientes resortes que van dentro de la base T-9.

La transferencia de los gases del exterior al interior de la cámara se facilita gracias al juego de tres o-rings paralelos a la placa base, según se aprecia en el gráfico a continuación.

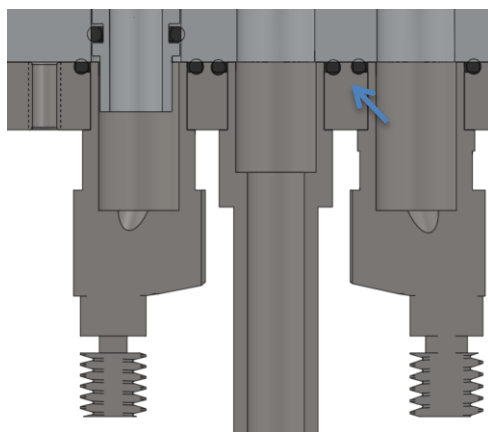


Figura 4.3 Corte Transversal Unión T-9 y T-1

4.1.2. Flujo Radial a Axial

Una vez que el flujo entra a la cámara, como se ha visto en la sección anterior, esta pasa por la válvula central. El diseño de la válvula tiene 3 posiciones: abierto, medio y cerrado. Estas posiciones se restringen mediante el tope (T-8) que interactúa con la manija.

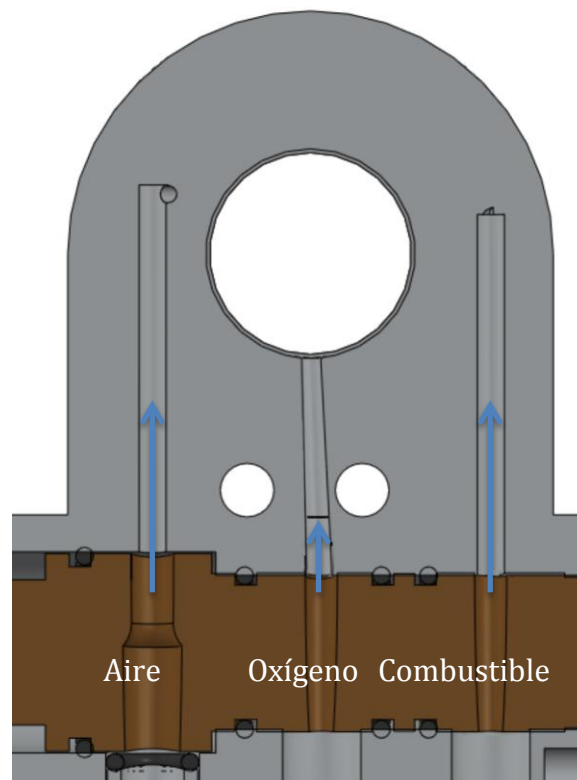


Figura 4.4 Paso de Flujo por Cámara Central por Canales Radiales

Cuando el flujo ha logrado pasar la válvula a lo largo de la cámara, este es redirigido por canales radiales (un canal por cada gas). Estos desembocan en otros canales, perpendiculares a los radiales, que desfogan de manera axial en el espacio de la cámara destinado para el sifón de gases (T-14).

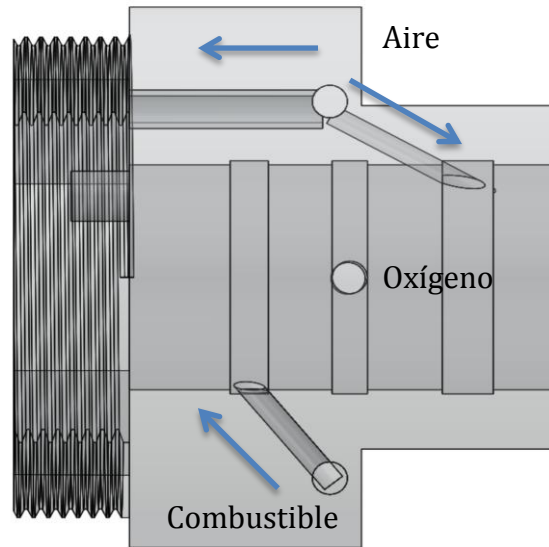


Figura 4.5 Desfogue Axial a la Cámara del Sifón de Gases

Como se puede apreciar en la **FIGURA 4.5**, el canal de aire comprimido desemboca en la parte delantera de la cámara y en la parte trasera del sifón. De la misma manera, el combustible conecta con la parte delantera. El oxígeno, a su vez, tiene su espacio de salida en el canal medio.

4.1.3. Mezcla de Gases y Disparo de Polvo

La mezcla definitiva para la ignición se da en el sifón de gases. Cada gas tiene su entrada respectiva de flujo en dicha pieza. El sifón tiene una configuración de orificios de diferentes diámetros para cada sección, lo que permite que se de la mezcla justa de los componentes para generar la flama inicial.

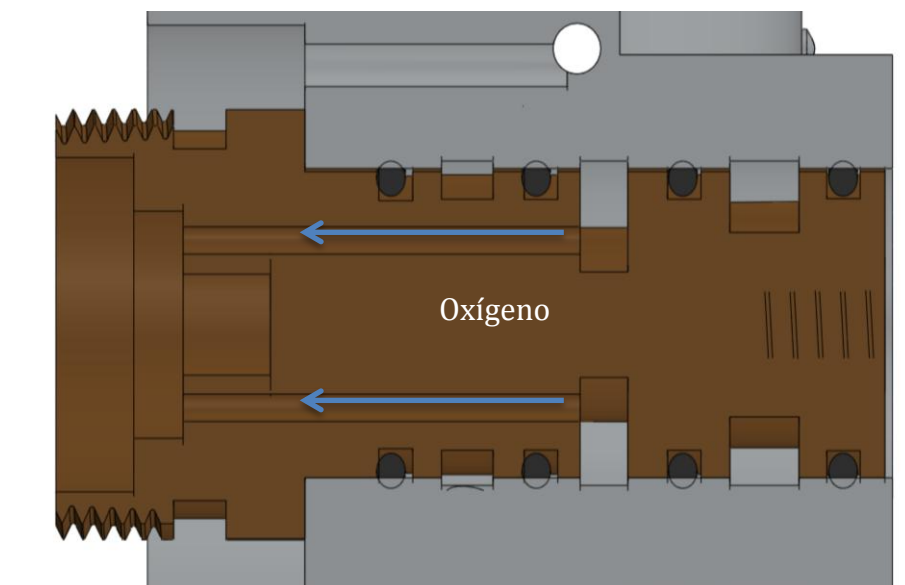


Figura 4.6 Corte transversal Paso de Oxígeno

El oxígeno fluye en mayor cantidad por los 4 orificios axiales que desembocan en la cabeza del sifón. Esta parte se unirá con la boquilla de polvos en dicha sección. Los o-rings respectivos sellan los flujos ante cualquier fuga, lo cual es altamente importante para la generación adecuada de la mezcla para la flama.

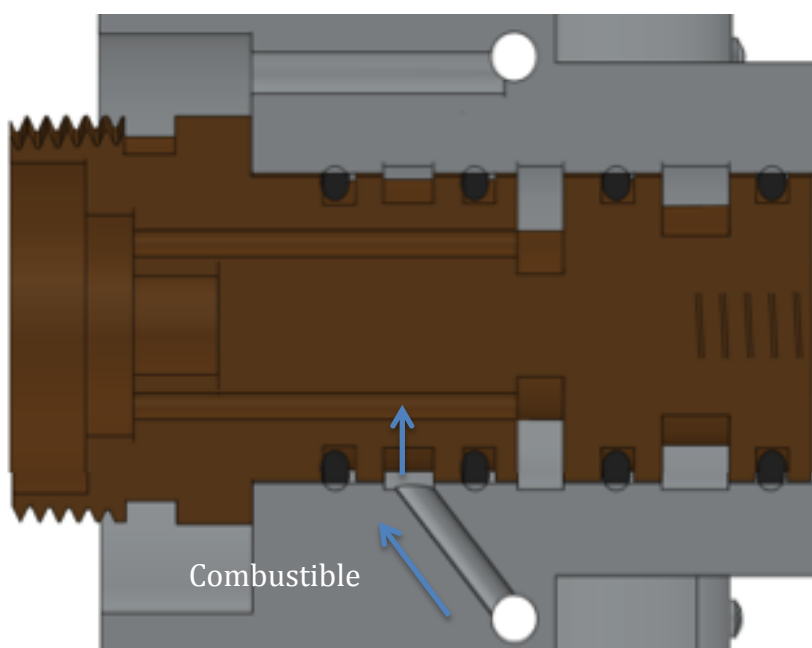


Figura 4.7 Corte transversal Paso de Combustible

El combustible se comunica mediante orificios de 0.6 mm de diámetro; a los canales axiales donde pasa oxígeno. Es el único desfogue para este gas. El aire comprimido a su vez, en la única conexión dentro del sifón de gases, conecta con la entrada del polvo desde el inyector (final del roscado) según se aprecia en la **FIGURA 4.8**. La utilidad de esta entrada de aire es solamente refrigeración del sistema.

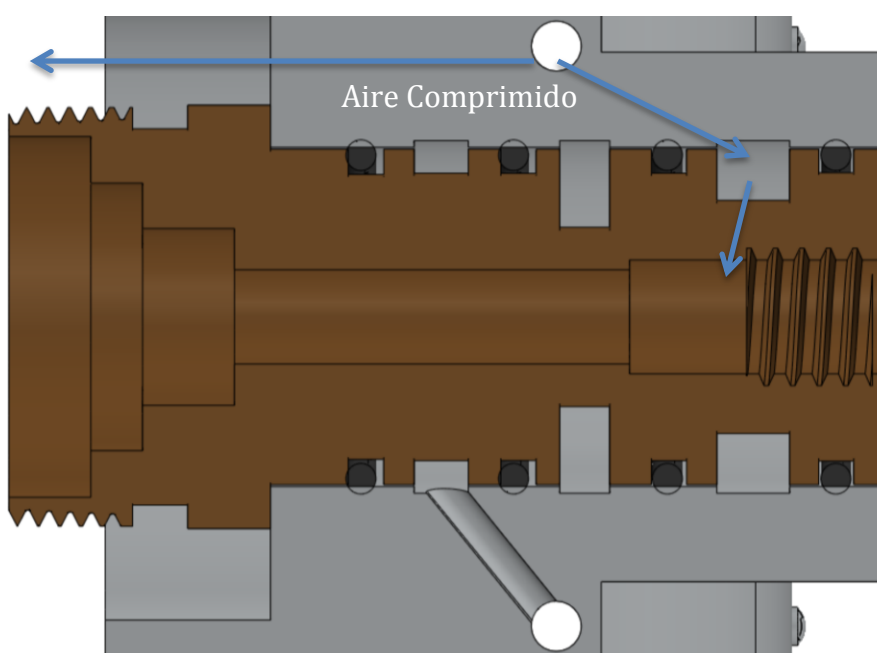


Figura 4.8 Corte Transversal Paso de Aire Comprimido

El aire en la salida delantera se encarga de suprimir la llama para que esta converja y adicionalmente actúa como sistema de refrigeración de la torcha.

En el gráfico a continuación se ve la boquilla de polvos conectada al sistema. La boca menor de esta boquilla recibe el polvo desde el inyector. Todo el paso es netamente lineal hasta la boca de disparo de la boquilla. En esta salida es donde el polvo es llevado a su estado de fusión para ser proyectado por la flama. Adicionalmente, la boquilla desfoga por sus orificios radiales la mezcla inflamable de oxígeno y combustible.

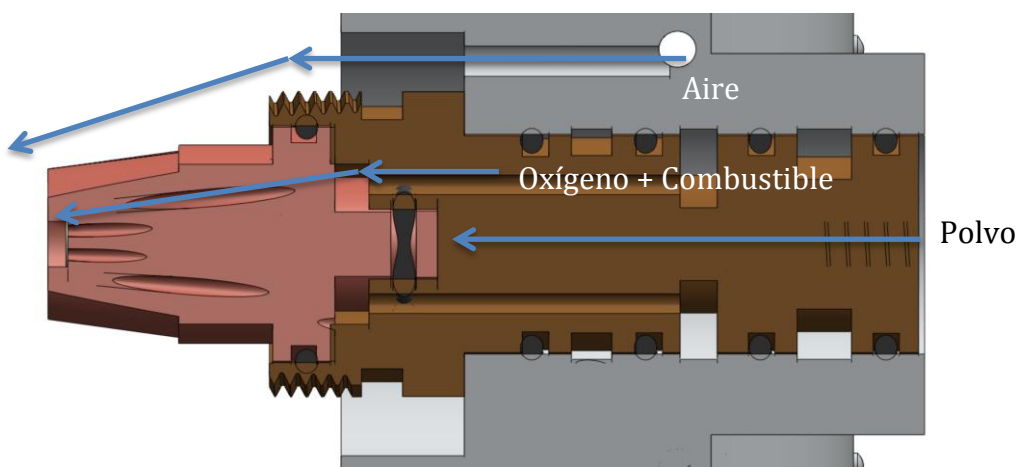


Figura 4.9 Boquilla y Gases

En el siguiente esquema se puede visualizar la configuración final del sistema que genera la flama y el disparo del polvo. La boquilla cuenta con un inserto especial de tungsteno para evitar el desgaste de la sección.

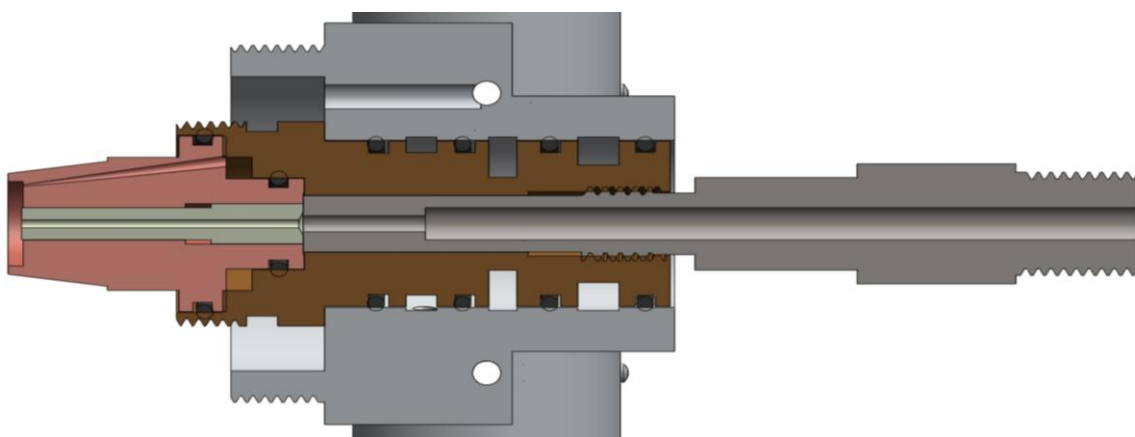


Figura 4.10 Sección Transversal de Boquilla, Sifón e Inyector

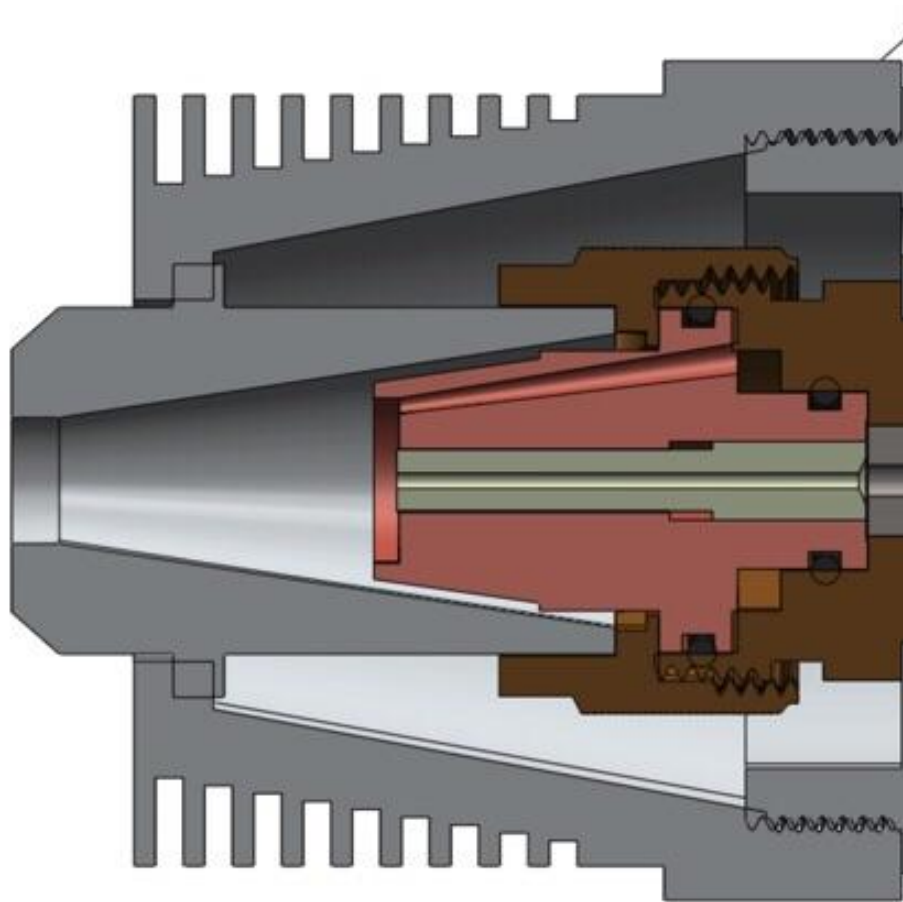


Figura 4.11 Zona de Divergencia de la Torcha HVOF

La zona divergente del sistema es apreciable cuando el equipo tiene las tapas cilíndrica y cónica de aire colocadas. En la **FIGURA 4.11** se puede apreciar esta zona, donde el flujo alcanza su punto crítico y supera la velocidad del sonido.

4.2. Ajustes Ergonómicos y de Montaje

Durante el análisis de cada componente del equipo para la ingeniería inversa llevada a cabo, se pudieron rescatar algunos detalles a mejorar en el diseño desde el punto de vista ergonómico y de montaje.

La base (T-9) que conecta la cámara central con la entrada de gases tiene

agujeros roscados para los tornillos de unión con acceso muy complicado para el destornillador plano normal. Por lo general se necesita más de una persona para montar esta pieza al resto del sistema como se muestra en la **FIGURA 4.12.**



Figura 4.12 Montaje Placa Original Hipojet

Esto dio la idea de cambiar el ángulo de las entradas de combustible y aire comprimido, facilitando así la entrada de cualquier tornillo. Esta zona es la de más difícil ensamblaje de todo el equipo y que necesita de cierta cantidad de fuerza al tener resortes que hacen fuerza elástica en oposición al sentido de la unión. Sumado a esto, esta zona requiere desmontarse con cierta frecuencia cuando o-rings de la válvula central y/o conectores de entrada de gases sufren daños y necesitan ser reemplazados. Por tal razón, como se puede apreciar en la **FIGURA 4.13** donde se muestra una vista de planta de la pieza en cuestión, se han dejado los orificios con libre acceso para los tornillos, facilitando así, su ajuste con un destornillador. Se ha diseñado este cambio dejando un ángulo de 120° entre las superficies que se indica, las cuales eran paralelas en el diseño original.

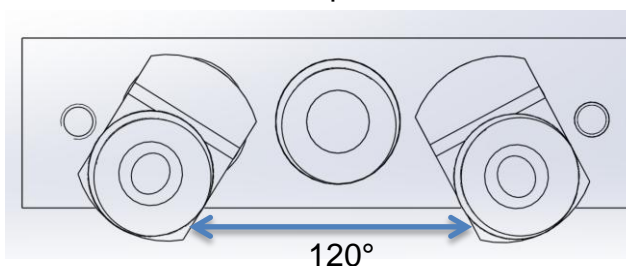
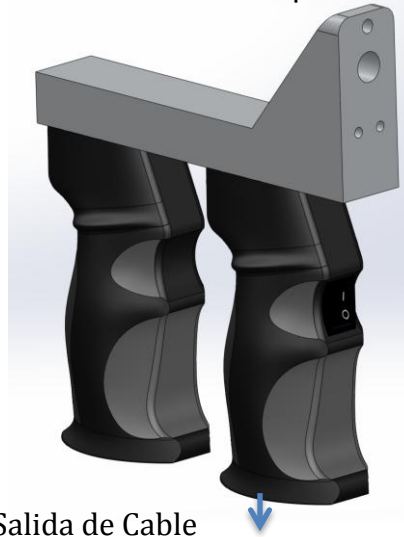


Figura 4.13 Cambio de Ángulo de entrada de Gases por Facilidad de Ensamblaje

Durante la operación del equipo programada para entender su funcionamiento, se pudo notar que el peso que carga el mango del diseño original es grande y suele ser incomodo después de cierto tiempo para el operador que utiliza el equipo. Por tal razón, se decidió aumentar el área y longitud de la base de los mangos, así como aumentar un mango adicional que permita manejar con dos manos el equipo. Se aprovechó este rediseño para cambiar la posición de salida del cable que conecta el equipo con el alimentador de polvos, pues este dificultaba el ajuste del inyector de alimentación de polvos desde la parte trasera.



Nueva Salida de Cable

Figura 4.14 Base y Mangos Rediseñados

4.3. Selección de Materiales

La selección de materiales para este proyecto se basó en 3 pilares fundamentales. El primero es analizar las zonas, que por temperaturas alcanzadas, necesitan materiales con puntos de fusión más altos. La segunda, el peso y costo del material. Si el material para una pieza en particular no tiene una necesidad respecto al primer pilar, se la escoge tomando en cuenta estos factores. Finalmente, se tiene en cuenta la maquinabilidad que tiene dicho material con los procesos de manufactura estándar.

En la **TABLA 4.1** a continuación se resume la lista de materiales escogidos en base a los factores mencionados anteriormente.

Subconjunto	Codigo	Piezas	Material
T11	T11.1	Mango Switch	Plástico
	T11.2	Mango	Plástico
	T11.3	Base	Aluminio
	T11.4	Switch, Cable & Plug	N/A
T-1	T-1	Camara central	Aluminio
T-2	T-2	Valvula central	BRONCE
T-3	T-3	Manija	Acero
T-4	T-4	Conector Oxígeno	Aluminio
T-4	T-4	Conector Combustible	Aluminio
T-5	T-5	Conector Aire	Aluminio
T-6	T-6	Resorte de conector Oxígeno	Aluminio
T-6	T-6	Resorte de conector Combustible	Aluminio
T-6	T-6	Resorte de Conector Aire	Aluminio
T-18	T-18	Pin de tope	Aluminio
T-8	T-8	Resorte de tope	Aluminio
T-9	T-9.1	Placa Base	Acero
	T-9.2	Salida para Oxigeno	Acero
	T-9.3	Salida para Aire	Acero
	T-9.4	Salida para Combustible	Acero
T-10	T-10	Inyector de Polvos	Acero
T-13	T-13	Tapa cónica de aire	Aluminio
T-14	T-14	Sifón Gases	BRONCE
T-15	T-15	Tapa cilíndrica de aire	Aluminio
T-16	T-16	Tuerca boquilla polvos	BRONCE
T-17	T-17	Boquilla polvos	COBRE
T-19	T-19	Placa separadora Base y Camara	Aluminio

Tabla 4.1 Resumen Selección de materiales

4.4. Selección de O-rings

Los o-rings son objetos en forma de pequeñas donas de compuestos elastómeros que son usados para sellar partes mecánicas de fluidos en movimiento, ya sea gases o líquidos. Los o-rings sellan deformándose tomando la forma de la cavidad. Para ello, estos aumentan en medida, garantizando la interferencia y por tanto el sellado. Es decir, para que un o-ring pueda sellar una pieza en contra del movimiento de un fluido, este tiene que estar comprimido cuando sea colocado en su cavidad. Cierta grado de compresión (como se observa en la **FIGURA 4.15**) del o-ring es signo de un buen sellado final (applerrubber, 2012)

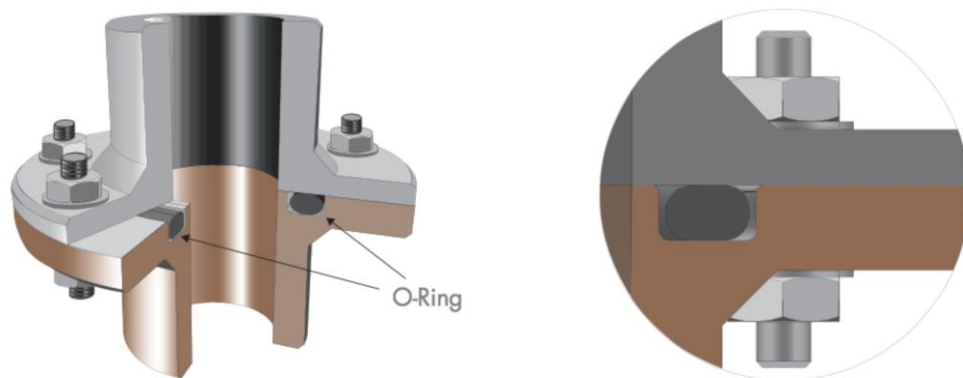


Figura 4.15 Sello Con O-rings (NewDealSeals , 2008)

Un o-ring es definido por su diámetro interior, el diámetro de su sección transversal (ó ancho), la dureza de su material y la composición del mismo. Los o-rings necesarios para la pistola de este proyecto son de tipo radiales. La cavidad para este tipo de sellos, como se aprecia en la **FIGURA 4.16**, viene dada por el diámetro interior (Groove Diameter), exterior (Diametrical Clearence + Groove Diameter) y por el ancho de este canal (Bore Diameter).

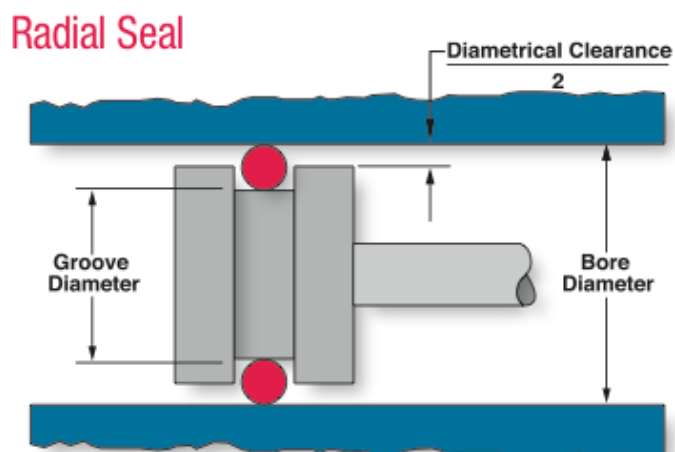


Figura 4.16 O-rings de Tipo Radial, (applerubber, 2012)

Para que el o-ring se acople en la pieza seleccionada de manera precisa, es deseable que este tenga un diámetro interior ligeramente menor que la pieza donde irá posicionado. Hacer esto asegura que el o-ring se mantenga en su posición adecuada, no se caiga o se doble durante el ensamblaje o desmontaje. Los valores máximos, mínimos y recomendados se muestran en la **TABLA 4.2** :

Punto de operación	Factor de estrechez del o-ring	
	%	S
Mínimo	1	0.01
Máximo	5	0.05
Recomendado	2	0.02

Tabla 4.2 Factor de Estrechez de O-rings para Selección de diámetros (NewDealSeals , 2008)

Por tanto, el diámetro interno (DI) del o-ring puede ser calculado en función del diámetro G (Diámetro de sección pieza) y el factor de corrección de estrechez del o-ring. Para nuestro caso, se escoge el factor recomendado:

$$DI = G(1 - S_{recomendado}) = G(0.98)$$



Figura 4.17 Selección de Sección Transversal de O-ring (NewDealSeals , 2008)

Para elegir la sección transversal de un o-ring, tenemos a continuación la **TABLA 4.3** que especifica un ancho para un rango de medida de la cavidad correspondiente .

Sección Transversal $d2$ (mm)	Rango de diámetro Interno $d1$ (mm)
1.6	0-13
2.4	13-25
3.5	24-40
5.3	40-115
7	>115

Tabla 4.3 Selección ancho de O-rings (NewDealSeals , 2008)

En base a esta información expuesta, se presenta a continuación la **TABLA 4.4** resumen, donde se ha tomado en cuenta los parámetros necesarios para escoger o-rings de acuerdo a su ancho y diámetro interior. Se ha buscado un proveedor que pueda ofrecer alternativas lo más cercanas a las necesidades para este proyecto. En la mayoría de los casos se ha ordenado al menos 2 opciones de o-rings.

PIEZAS	Diámetro (Ø)	Ancho (W)	Especificaciones Escogidas		# Parte Macmaster
			Ancho	Diámetro	
O-1	17.35 mm	1.78 mm	11/16"	1/16 "	5577K17 (60A) 9452K71 (70A)
O-2	10.7 mm	1.8 mm	1/16"	1/2"	5577K35 (60 A) 9452K58 (70 A)
O-3	7.8 mm	1.8 mm	1/16"	5/16 "	9452K19 (60 A) 9396K16 (70A)
O-4	PLANO 6.45 mm ANCHO 2.2 mm 6.4 mm	1.8 mm	1/4"	1/16"	9452K18 (70A)
O-5	ext plano 9.6 mm int 6.5 mm ext 9.4 mm	Completamente definido con diámetros	1/16"	3/8"	5240T15 (80 A) 5308T119 (90 A)
O-6	ext 8 mm (8.12 plano) int 4 mm w = 2 mm	Completamente definido con diámetros	1/16"	5/16"	80 (A) 5308T117 80 (A) 5240T13
O-7	Ø max 16.2 o - ring / 16 mm Ø min 12.3 12.3 mm w 1.8 mm	Completamente definido con diámetros	1/16" o 12.3 mm	1/2" o 2.4 mm	9262K224
O-8	PLANO 8.2 mm ANCHO 2.2 mm 7.8 mm	1.9 mm	2mm	8 mm	9262K169 (70A)

Tabla 4.4 Selección Final de O-rings

4.5. Rosca Withworth

Los roscados en todos los elementos de la torcha son de tipo Withworth. Esta rosca inglesa tiene la característica de estar basada en un triángulo isósceles, donde el paso P es igual al lado menor del triángulo, según se puede verificar en la **FIGURA 4.18**.

Además, como se aprecia en la figura, sus lados son con terminaciones redondeadas (PORTAL DE DIBUJO TÉCNICO, 2014).

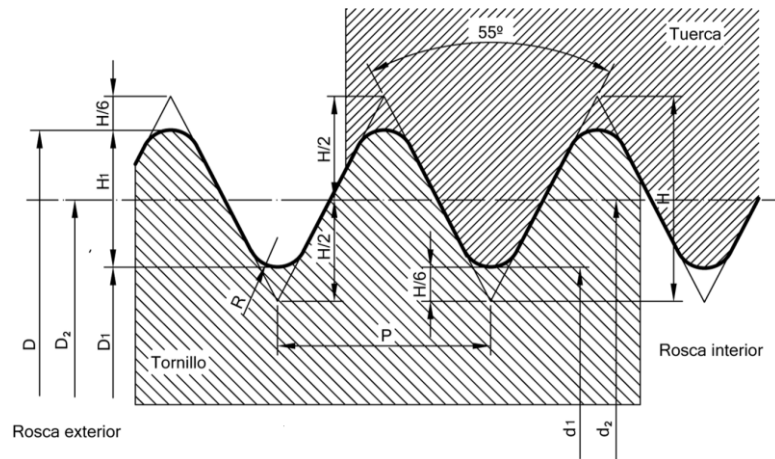


Figura 4.18 Representación Roscas Withworth (PORTAL DE DIBUJO TÉCNICO, 2014)

La rosca Withworth es escogida para fines de neumática e hidráulica, cuando se selecciona un paso fino. Para el cálculo de medidas para la construcción de la rosca, ya sea en manufactura o en diseño CAD 3D, se usan las fórmulas a continuación. Es importante señalar que la identificación principal de este roscado es el número de hilos por pulgada, que se denota con un número antes de la letra G (PORTAL DE DIBUJO TÉCNICO, 2014).

z: # de Hilos por Pulgada

$$P \text{ (Paso)} = \frac{25.4}{z}$$

$$R \text{ (Radio)} = 0.137329 \cdot P$$

$$H \text{ (Altura de Rosca)} = 0.960491 \cdot P$$

En la **TABLA 4.5** a continuación, se resume las roscas escogidas para este proyecto y los datos usados para sus respectivas construcciones. Cada rosca fue

escogida de acuerdo al diámetro de la pieza respectiva, y la clase de sello necesario. Es importante notar que en esta rosca el sellado no viene ligado por la rosca. Más bien, como se vio en la sección anterior, las piezas sellan gracias a los o-rings.

Rosca Withworth	20 G 1/4"	19G	16G 3/8"	18G 5/16"
P	1.27	1.34	1.59	1.41
H	1.22	1.28	1.52	1.36
H/6	0.20	0.21	0.25	0.23
R	0.17	0.18	0.22	0.19
Piezas donde aparece	T-1 T-9.3 T-13 T-16 T-14	T-10	T-10 T-14	T-9.2 T-9.4

Tabla 4.5 Resumen Parámetros Roscas G Torcha HVOF

En la **FIGURA 4.19** a continuación, se ejemplifica el resultado de la construcción detallada de la rosca en el software de CAD 3D. Tener la rosca correctamente dibujada y construida, ayuda a mejorar los ensamblajes y los detalles en los planos constructivos. En cada uno de ellos se identifica claramente la rosca necesaria para la pieza respectiva.

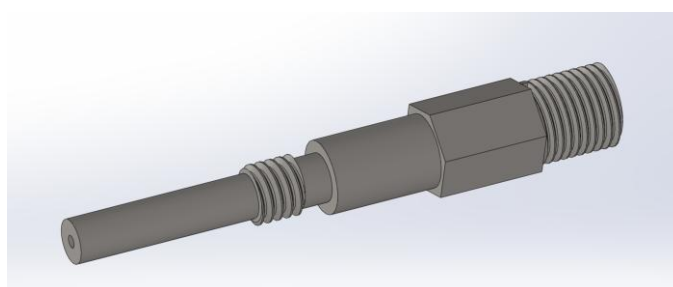


Figura 4.19 Inyector T-10 con Roscas Withworth

5. Capítulo V: Manufactura y Pruebas

5.1. Manufactura del prototipo

La manufactura es, después del diseño, la parte más crítica de un proyecto. Aunque el objetivo de este proyecto no es la manufactura en serie de torchas HVOF, si lo es la fácil manufactura de cualquier pieza del conjunto que sea requerida. En esta sección del proyecto se plasma un resumen de la manufactura de la torcha.

Herramientales adicionales necesarios y recomendaciones en base a la experiencia en la manufactura se pueden encontrar detallados en los planos que se encuentran en el anexo D. Esto es particularmente útil a la hora de cambiar el proveedor de servicios de manufactura, y asegura que los conocimientos extraídos de esta tesis no se pierdan en el tiempo.

A continuación, en la **TABLA 5.1**, se detalla pieza por pieza, una lista de los procesos usados para cada uno de los componentes de la torcha.

Subconjunto	Codigo	Pieza	Manufactura
T-11	T-11.1	Mango Switch	Impresión 3D
	T-11.2	Mango	Impresión 3D
	T-11.3	Base	Fresadora
	T-11.4	Switch, Cable & Plug	Compra
T-1	T-1	Camara central	Fresadora
T-2	T-2	Valvula central	CNC
T-3	T-3	Manija	Fresadora
T-4	T-4	Conector Oxígeno	Torno; Fresadora
T-4	T-4	Conector Combustible	Torno; Fresadora
T-5	T-5	Conector Aire	Torno; Fresadora
T-18	T-18	Pin de tope	Torno
T-9	T-9.1	Placa Base	Fresadora
	T-9.2	Salida para Oxigeno	Torno; Fresadora
	T-9.3	Salida para Aire	Torno; Fresadora
	T-9.4	Salida para Combustible	Torno; Fresadora
T-10	T-10	Inyector de Polvos	Torno; Fresadora
T-13	T-13	Tapa cónica de aire	Torno; Fresadora
T-14	T-14	Sifón Gases	CNC
T-15	T-15	Tapa cilíndrica de aire	CNC
T-16	T-16	Tuerca boquilla polvos	Torno
T-17	T-17	Boquilla polvos	-
T-19	T-19	Placa separadora Base y Camara	Cortadora

Tabla 5.1 Manufactura de Piezas Torcha HVOF

Como se aprecia en la **TABLA 5.1**, en la manufactura de este proyecto se usaron técnicas modernas que facilitan la replica de piezas sin mayor esfuerzo. Una de ellas es el CNC. En el anexo B se pueden encontrar los programas en texto que pueden ser usados en cualquier software de CNC para replicar los componentes de la torcha. La ventaja de este proceso es que permite tan solo ejecutando el código, obtener la manufactura de la parte deseada. En la **FIGURA 5.1** se puede ver un ejemplo de la replicación de piezas en cualquier tipo de material usando el proceso CNC.



Figura 5.1 Pruebas CNC Tapa Cilíndrica de Aire (T-15)

Otro proceso innovativo usado durante este proyecto para la manufactura de sus componentes fue la impresión 3D. Obtener el diseño de una pieza como un mango de pistola no es muy fácil y/o económico bajo los métodos convencionales. La gama de posibilidades para hacer un modelo varían desde realizar un molde por inyección en plástico, obtener un modelo en fibra de vidrio ó torneado un eje de material duralón. En todos estos casos anteriores, la forma del modelo y costo no eran una opción alentadora. La ventaja de la impresión 3D es

la posibilidad de conseguir cualquier forma requerida en un par de horas, en un plástico durable y resistente.

Finalmente, se usaron procesos de manufactura comunes como torneado y fresado. La ventaja de estos procesos es su alta disponibilidad tanto en maquinaria como en operación. Esto también permite encontrar mayor gama de proveedores y de precios. La **FIGURA 5.2** muestra el proceso de fresado durante la manufactura de una de las piezas de la torcha HVOF.

Durante el proceso de manufactura se realizó revisiones a los planos levantados. Este proceso es sumamente versátil pues permite corregir errores y plasmar detalles constructivos relevantes para el componente analizado.



Figura 5.2 Operador Manufacturando Cámara Central T-1

5.1.1. Prototipos

Como resultado del proyecto se pudo fabricar un prototipo final, el cual fue evolucionando mientras se realizaban las pruebas pertinentes del equipo. El primer prototipo, presentado en la **FIGURA 5.3**, tiene como característica unos mangos de plástico, los cuales no resultaron lo suficientemente robustos y durante una prueba de encendido colapsaron. Adicionalmente, varias piezas tuvieron que sufrir cambios, ya sea porque fallaron en su funcionamiento, presentaban algún problema ergonómico, o se había omitido algún elemento importante que era necesario para el ensamblaje y/o la operación del equipo.

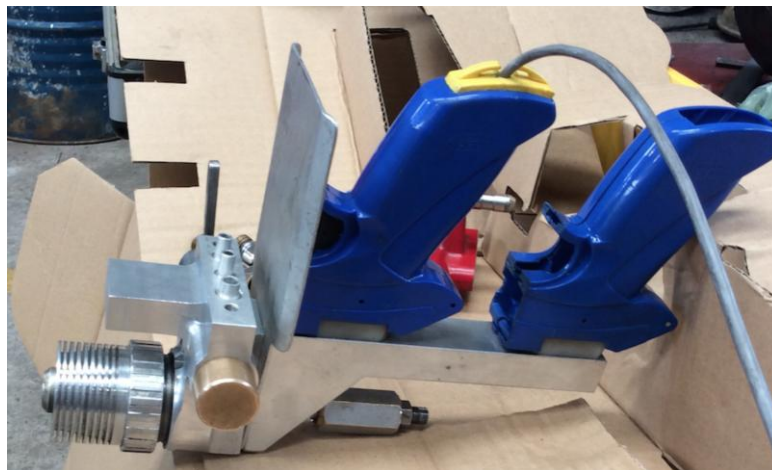


Figura 5.3 Primer Prototipo Torcha HVOF

El segundo prototipo, el cual fue corregido en cuanto a los inconvenientes que se presentaron en el primero, fue probado componente por componente. Los resultados, fueron en general satisfactorios, y en la mayoría de los casos, llegando a notar una mejora, en cuanto a calidad de flama se refiere, comparándolo con el modelo original, que se presenta en el render de la **FIGURA 5.4.**

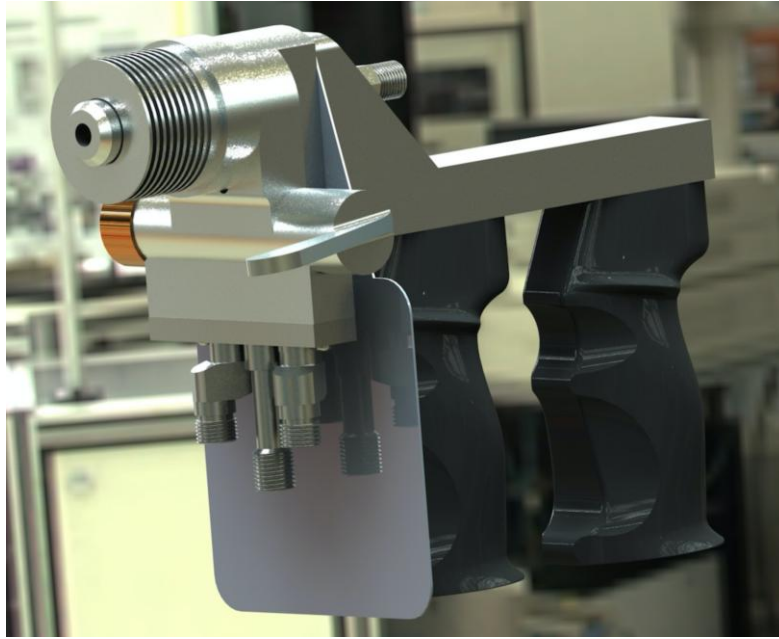


Figura 5.4 Torcha HVOF Modelo Final

5.2. Pruebas

Durante la etapa de pruebas del sistema, se probó componente por componente que el funcionamiento sea el adecuado y esperado para una correcta proyección de polvos. Los componentes, al ser intercambiables en su gran mayoría con la pistola Hipojet, fueron probados uno a uno según iba terminando su manufactura.

El plan para el proceso de pruebas consistía en probar primero los componentes sin mayor incidencia en la flama, o que tuvieran un proceso de manufactura y configuración general más sencilla. Durante las pruebas se busca que el equipo encienda de manera adecuada y presente una flama en condiciones favorables para la operación.

La primera prueba del sistema, consistía en arrancar el modelo comercial que se tiene a disposición y observar la flama obtenida. En la imagen a

continuación podemos ver los resultados. La pistola, después de ciertos ajustes, logró arrancar, pero como se aprecia en la figura, la flama no genera claramente los diamantes supersónicos característicos del proceso. La calidad de la flama se ve afectada debido a algunas piezas del sistema con desgaste natural debido al uso.

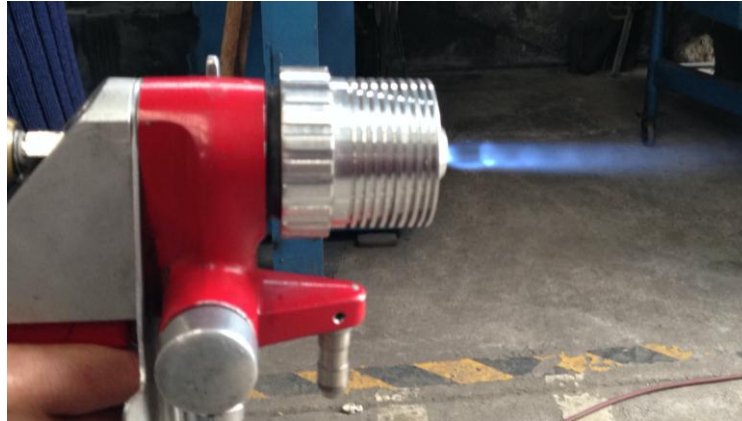


Figura 5.5 Prueba Modelo Comercial Hipojet

Durante las pruebas del resto de componentes que no tienen directa influencia con la formación de la flama, se obtuvieron resultados similares. Sin embargo, cuando se probó la válvula central (T-2) reemplazando a la original y el sifón de gases (T-14), los resultados en la flama fueron notablemente mejores que la prueba inicial. Se pudo distinguir claramente los diamantes supersónicos de la flama, como se aprecia en la **FIGURA 5.6.**



Figura 5.6 Diamante Supersónicos en Prueba T-2

Cuando todos los componentes del primer prototipo fueron terminados, se procedió con la prueba final. Esta prueba incluía la cámara central (T-1), la cual era la única pieza que no había sido probada, al saber que era la mas complicada de diseñar. Durante esta prueba se pudo comprobar que existían fugas de gases en dicha cámara debido a un orificio mal manufacturado. Se intentó minimizar las fugas para encender el equipo, sin embargo estas hacían que la operación comprometiera la seguridad de los operadores y todos los presentes. Adicionalmente, los mangos diseñados para este prototipo se resquebrajaron durante las pruebas. Por tanto, era necesario el rediseño de esa parte del sistema. Estas fueron las causas para parar postergar la prueba y plantear un segundo prototipo.



Figura 5.7 Operador durante Prueba Prototipo 1

Se revisaron a profundidad las medidas de la cámara central con el proveedor de los servicios de construcción y se verificaron algunas medidas diferentes a las planteadas en la ingeniería inversa en los planos. Estas fueron corregidas. De igual manera, se planteo un rediseño en la base con mangos de tal

manera que ofrezca mayor robustez y confort al operador. De esta manera se armó el prototipo 2, y final que se presentó en la sección anterior. Esta configuración se probó y se verificó que el diseño de la cámara necesita una ingeniería inversa más exhaustiva y quizá hasta destructiva del elemento original.

La configuración estándar del lugar del trabajo donde se realizaron las pruebas se describe en el siguiente diagrama. Como se puede observar, se necesita la presencia de dos operadores. Uno de ellos se encargará de manejar la torcha. El segundo ayudará dando chispa para el encendido, y posteriormente estará junto al tanque de oxígeno para cerrarlo en caso de emergencia. Los operadores del equipo deben usar el flujómetro para controlar las presiones de gases, como se indica en el manual de uso de la torcha incluido en la sección de anexos. La prioridad durante la operación es la seguridad, por lo que no se debe operar el equipo bajo condiciones inseguras que podrían desembocar en accidentes.



Figura 5.8 Configuración Pruebas Sistema HVOF

6. Capítulo VI: Análisis de Costos

6.1. Presupuesto

El primer reto de este proyecto era construir una torcha por un costo mucho menor que una similar en el mercado. En segundo lugar, a pesar de que el proyecto llegase a costar mucho menos que un modelo comercial, la empresa que la use debe tener la capacidad de poder generar rentabilidad en base a la inversión original.

Por ejemplo, la torcha de mayor semejanza encontrada (HP-2700, cotización en la sección de anexos) en el mercado tiene un costo de \$6985 sin contar costos de envío y posibles aranceles generados en aduana. Por tanto, al ser la opción mas cercana a la pistola manufacturada se la toma como base de comparación. La idea del proyecto es mejorar esos costos en al menos un 70%. Es decir contaríamos con un presupuesto de alrededor de **2100 dólares** para la construcción de un prototipo para esta tesis.

6.2. Costos de Partes Torcha

En la **TABLA 6.1** a continuación, se encuentra el detalle del costo real de cada componente de la torcha HVOF manufacturada. Los costos tienen incluidos gastos de materiales y costos de mano de obra. Es muy importante señalar que los costos de mano de obra varían dependiendo de los procesos de manufactura utilizados, tiempo de construcción e incluso consumibles extra utilizados para su obtención.

Subconjunto	Codigo	Piezas	Costo \$
T-11	T-11.1	Mango Switch	39.2
	T-11.2	Mango	39.2
	T-11.3	Base	150
	T-11.4	Switch, Cable & Plug	74.07
T-1	T-1	Camara central	400
T-2	T-2	Valvula central	200
T-3	T-3	Manija	40
T-4	T-4	Conector Oxígeno	25
T-4	T-4	Conector Combustible	25
T-5	T-5	Conector Aire	25
T-6	T-6	Resorte de conector Oxígeno	0.75
T-6	T-6	Resorte de conector Combustible	0.75
T-6	T-6	Resorte de Conector Aire	0.75
T-18	T-18	Pin de tope	5
T-8	T-8	Resorte de tope	0.25
T-9	T-9.1	Placa Base	110
	T-9.2	Salida para Oxigeno	
	T-9.3	Salida para Aire	
	T-9.4	Salida para Combustible	
T-10	T-10	Inyector de Polvos	35
T-13	T-13	Tapa cónica de aire	90
T-14	T-14	Sifón Gases	120
T-15	T-15	Tapa cilíndrica de aire	60
T-16	T-16	Tuerca boquilla polvos	70
T-17	T-17	Boquilla polvos	150
T-19	T-19	Placa separadora Base y Cámara	15
TOTAL			1674.97

Tabla 6.1 Costo Total Torcha HVOF

6.3. Costos Variables Adicionales

Como se ha visto durante el desarrollo de este proyecto, los o-rings son de vital importancia para el correcto funcionamiento del equipo HVOF. Su consumo en operación es medianamente alto, llegando a ser necesario cambiarlos entre cada encendido de la torcha. El costo de estos consumibles, los llamamos variables, y a continuación veremos su costo individual. Adicionalmente, adjuntamos el número de parte del proveedor MacMaster, empresa que proveyó estos ítems para la torcha ensamblada.

Pieza	Macmaster item	Cantidad por Pack (pcs)	Total \$	Costo Individual \$
O-2	5577K35	50	11.41	0.23
O-1	5577K17	50	12.11	0.24
O-3	9452K19	100	2.11	0.02
O-8	9396K16	25	3.75	0.15
O-4	9452K18	100	2.11	0.02
O-5	5240T15	25	7.88	0.32
O-6	5240T13	25	8.62	0.34
Totales (Suma)			47.99	1.32

Tabla 6.2 Costos o-rings proveedor macmaster.com

De igual manera, para completar el proyecto se tuvieron que comprar los tornillos especificados para el ensamblaje del equipo. El valor de estos varía dependiendo del diámetro, tipo de rosca, longitud total. En la **TABLA 6.3** a continuación se presenta el resumen de estos costos.

Tornillos	Posición	Cantidad	Costo \$
P-1	Union T-2 con T-3	1	0.3
P-2	Union T-1 con T-11 (T-19 intermedia)	2	1.3
P-3	Union T-9 con T-1	1	0.3
P-4	Union T-9 con T-1	1	1
P-6	Union T-1 con T-11 (T-19 intermedia)	1	0.35
TOTAL			3.25

Tabla 6.3 Costos de Tornillos Torcha HVOF

6.4. Análisis de Costos

El propósito de toda empresa es recuperar la inversión que se hace en nueva maquinaria y hacerlo en el menor tiempo posible. Para esto es necesario hacer un análisis financiero del proyecto. En este proyecto en particular, como hemos visto se realizó una inversión inicial total de \$1726.21, que son resultado de la suma de los totales de cada tabla anteriormente expuesta en este capítulo.

Desde el punto de vista de presupuesto inicial, el proyecto se encuentra dentro de objetivo con un margen a favor de 17.8%. Es decir, se logró construir un equipo de termorociado con un ahorro mayor al 70%. Adicionalmente, en la **TABLA 6.2**, se puede notar que se ha podido comprar o-rings consumibles en cantidades grandes a costos individuales de 2 hasta 35 centavos. Esto varía bastante del proveedor comercial convencional que vende dichos o-rings por unidades y a costos hasta 400% más altos.

Para hablar del retorno de la inversión realizada, se debe mencionar algunos costos estándar que la empresa IMETCA incurre durante el uso del equipo, y que finalmente es lo que se toma en cuenta cuando se realiza una proforma de algún servicio. En la **TABLA 6.4** que a continuación se detalla los costos, a la fecha de realización de este proyecto, de los gases usados en un proceso de HVOF, el costo hora hombre y finalmente el costo del polvo proyectado. Estos 3 elementos son básicos pues son los costos en los que se incurre durante operación.

Descripción	\$ Costo	Unidades
Oxígeno	92.06	USD/m ³
Propano	43.7	USD/m ³
Argón	349.21	USD/m ³
Costo Personal	4.05	USD/hora
Costo polvo	100	USD/lb

Tabla 6.4 Costos Operación IMETCA

Adicional a estos costos, se debe tomar en cuenta que clase de rendimiento tiene la pistola al momento de proyectar polvos. Según la experiencia en termorociado que tiene la empresa IMETCA, un sistema de HVOF como el analizado en este proyecto, tiene un rendimiento de aproximadamente 59%. Esto quiere decir que, de cada 100 lbs. de polvo alimentado al sistema, realmente se han depositado al sustrato 59 lbs. También se debe considerar los datos de la **TABLA 6.5** para costear un trabajo de HVOF:

Descripción	\$ Costo	Unidades
Velocidad de arrastre	6.04	mm/rev
Depósito por pasada	12	μm
Rata de alimentación de Polvo	5.55	lb/hr

Tabla 6.5 Datos Experimentales Operación HVOF

Con todos estos datos, podemos calcular el costo de un trabajo de proyección de partículas mediante HVOF. En resumen, tenemos la siguientes formula que nos permite obtener el costo neto de un trabajo.

$$\text{Costo Personal} = 4.05 \frac{\$}{h} \times N (h) = 4.05N$$

$$\text{Costo Polvo} = 100 \frac{\$}{lbs} \times 0.59 \times N (h) \times 5.55 \frac{lbs}{h} = 327.25N$$

Según el manual de operación de la torcha diseñada en este proyecto, los flujos de gases durante operación recomendada deben ser los que se encuentran en la **TABLA 6.6**. Con esto podemos calcular los costos de gases de acuerdo al número de horas que tome un trabajo.

Flujo (m ³ /h)	Oxígeno	Combustible	Gas Conductor
	12	2.4	2.83

Tabla 6.6 Flujo para operación HVOF Recomendada

$$\begin{aligned} \text{Costo Gases} = & \left(92.06 \frac{\$}{\text{m}^3} \times 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times N(h) \right) + \left(43.7 \frac{\$}{\text{m}^3} \times 2.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times N(h) \right) \\ & + \left(349.21 \frac{\$}{\text{m}^3} \times 2.83 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times N(h) \right) = 1200.86N \end{aligned}$$

Para el caso de este proyecto, se desea pagar el equipo en 1 año. Por tanto, el siguiente gráfico ejemplifica el pago del mismo durante este tiempo. Se ha supuesto para este propósito pagos fijos.

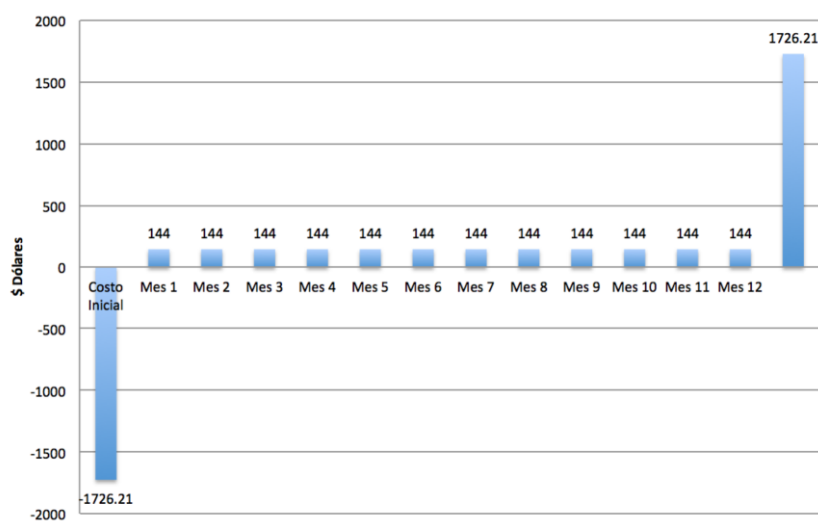


Figura 6.1 Pago a 12 Meses Torcha HVOF

Para que un trabajo de termorociado sea rentable durante el primer año que se pagará el equipo se debe tener como consideración la siguiente fórmula resumen, que reúne todos los elementos anteriormente mencionados. Se debe tener en cuenta que en este cálculo sólo se ha supuesto 1 trabajo de termorociado HVOF mensual.

Costo TRABAJO HVOF

$$\begin{aligned}
 &= \left(1 + \frac{\% \text{ Rentabilidad deseado}}{100\%}\right) (\text{Costo gases} + \text{Costo Polvo} \\
 &+ \text{Costo Personal} + \text{Pago Torcha}) \\
 &= \left(1 + \frac{\% \text{ Rentabilidad deseado}}{100\%}\right) (1532.16N + 144)
 \end{aligned}$$

7. Conclusiones y Recomendaciones

- Se manufacturó una pistola de termorociado por HVOF basada en un modelo comercial ya existente obteniendo en la flama los característicos diamantes de este proceso de depósito de material.
- Existen muchos modelos comerciales de pistolas de termorociado por HVOF, sin embargo la mayoría tienen costos muy elevados, tanto de hardware como de consumibles de operación. Una empresa de pequeña y mediana escala muy difícilmente podría acceder a tales precios.
- Las patentes de la pistola usada como referencia para la ingeniería inversa se encuentran caducadas. De hecho, el fabricante ha descontinuado ese modelo en el mercado.
- La ingeniería inversa de la cámara central (T-1) debe ser mejorado. Para ello se debería hacer un análisis de la pieza original, llegando incluso a hacer cortes transversales en la pieza que permitan detallar los canales internos. Se recomienda hacer esto como proyecto complementario a esta tesis.
- La ergonomía debe ser tomada en cuenta al momento de diseñar cualquier dispositivo. La comodidad de uso de cualquier equipo influye mucho en la selección del cliente cuando se decide por una opción.
- El software de modelado CAD 3D utilizado para el proyecto fue de gran ayuda, tanto para el diseño paramétrico, como para el análisis de funcionamiento detallado del equipo.

- Los planos constructivos contienen y especifican todos los detalles correspondientes a cada elemento para facilitar la manufactura y evitar re trabajos.
- Se alcanzó el objetivo de presupuesto para el proyecto, el cual era ser al menos 70% más económico que un dispositivo de la misma gama.
- Se consiguió los elementos consumibles de un proveedor internacional. Se recomienda buscar con las especificaciones de los o-rings, un proveedor local que pueda entregar la misma calidad de material.
- Durante las pruebas se debe documentar todos los detalles de operación como son flujo, presiones y cantidad de gases en los tanques, pues a veces las condiciones no son estándar y pueden afectar los resultados.
- La seguridad es el factor más importante a tener en cuenta durante la operación de la torcha. Seguir las recomendaciones de seguridad durante la operación previenen cualquier lesión y/o accidentes.
- Durante el encendido de la torcha, se recomienda no esperar demasiado tiempo con la válvula en posición de encendido. Gases están escapando y se esparcen en el ambiente. La chispa en ese ambiente podría causar un accidente.
- Como proyecto futuro, se recomienda realizar un manual de entrenamiento para operadores en el uso de la torcha HVOF. De esta manera, se podría mejorar el uso del equipo y los conocimientos de quienes operan esta maquinaria.

8. Referencias

LIBROS

Fischer, T. (2009). *Materials Science for Engineering Students*. Academic Press.

Gherardelli, C. (2007). Flujo Compresible Unidimensional. En C. Gherardelli, *Mecánica de Fluidos* (págs. 140-145). Santiago, Chile: Universidad de Chile.

LIBROS VIRTUALES

Castolin. (2008). *TeroJet Powders*. Recuperado el 10 de 01 de 2014, de Castolin Eutectic:
<http://www.castolin.com/sites/default/files/product/downloads//TeroJet-Powders-Overview-singles.pdf>

Villar, C. M. (s.f.). *Metal Actual*. Recuperado el 30 de 10 de 2012, de Thermal Spray: Protección de alto impacto:
http://www.metactual.com/revista/8/tratamiento_thermal_spray.pdf

INTERNET

ALEGSA. (19 de 02 de 2010). *Definición de Ingeniería inversa*. Recuperado el 12 de 04 de 2014, de ALEGSA:
<http://www.alegsa.com.ar/Dic/ingenieria%20inversa.php>

Alloys, G. M. (s.f.). *General Metal Alloys*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de HVOF WIRE ZINC SPRAY:
http://www.generalmetalalloys.be/en_US/products/spray-guns/hvof-wire.html

Applerubber. (2012). Recuperado el 1 de 05 de 2013 de O-Ring Basics:
www.applerubber.com

Coating, Advanced. (s.f.). *HVOF Spray Process (High Velocity Oxygen Fuel)*. Recuperado el 9 de 4 de 2014, de Advanced-Coating:
<http://www.advanced-coating.com/english/spraying-hvof.htm>

- Eutectic, C. (2014). *CastoJet CJK5*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de CJK5 HVOF liquid fuelled: <http://www.castolin.com/product/castojet-cjk5>
- Klassen, T. (29 de 10 de 2007). *HVOF spray systems*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de Helmut Schmid Universitat: http://www.hsu-hh.de/werkstoffkunde/index.php?brick_id=8BBNpQHopSQm5Ply&action=setlanguage&language=en
- Klassen, T. (29 de 10 de 2007). *Introduction*. Recuperado el 12 de 04 de 204, de Helmut Schmidt Universitat: http://www.hsu-hh.de/werkstoffkunde/index.php?brick_id=8BBNpQHopSQm5Ply&action=setlanguage&language=en
- Linde Gas Division. (23 de 10 de 2009). *WHAT IS THERMAL SPRAYING?* Recuperado el 11 de 04 de 2014, de GTS E.V: http://www.gts-ev.de/html_e/ts-info.htm#v_HGF
- MEC. (2007). *PATENTS*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de Metallizing Equipment Co. Pvt. Ltd. : <http://www.mecpl.com/Patents.php>
- Meldrum Mechanical Services. (2004). *Metalizing*. Recuperado el 30 de 10 de 2012, de <http://www.toledomms.com/Metalizing.htm>
- Metco, S. (2011). *Product Data Sheet: WokaStar™ Series Advanced Liquid fuel HVOF Spray Guns*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de Sulzer Metco: <http://www.sulzer.com/en/Products-and-Services/Coating-Equipment/Thermal-Spray/Systems/HVOF>
- MSS. (2011). *MachJet™*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de Metal Spray Suppliers: <http://www.metal-spray.co.nz/hvof/machjet.html>
- Neustel, M. (s.f.). *Two Main Patent Types: Utility and Design Patents*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de Neustel Law Offices: <http://www.neustel.com/Design-Utility-Patents/Design-Patent-vs-Utility-Patent.aspx>
- NewDealSeals. (2008). *O-Ring Technical Handbook* . Recuperado el 10 de 05 de 2013 de NewDealSeals: www.newdealseals.com

- PP&S. (2014). *HIPOJET 2700 High Velocity Oxygen Fuel Spray System*. Recuperado el 01 de 04 de 2014, de Plasma Powders & Systems Inc.: <http://www.plasmapowders.com/hipojet-2700-high-velocity-oxygen-fuel-powder-spray-system.htm>
- PORTAL DE DIBUJO TÉCNICO. (2014). Recuperado el 14 de 11 de 2014 de Representación de Roscas: http://dibujo.ramondelaguila.com/?page_id=2699#Whitworth
- RAE. (2001). *Real Academia Española*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de Diccionario Real Academia de la Lengua Española: <http://lema.rae.es/drae/?val=patente>
- Scott, J. (17 de 04 de 2005). *Shock Diamonds and Mach Disks*. Recuperado el 11 de 04 de 2014, de aerospaceweb: <http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/q0224.shtml>
- Sulzer. (s.f.). [sulzer.com](http://www.sulzer.com). Recuperado el 2 de 10 de 2012, de <http://www.sulzer.com/en/Products-and-Services/Coating-Equipment/Custom-Support/Surface-Functionalities/Dimensional-Control>

Anexo A: Trademark Hipojet India



Total No Of Matching Marks : 1 INP Records Found : 0 Search Type : Wordmark

[Click on Show Details to display](#)

International Non-Proprietary Names(INN)

No Record found

Matching Trademark(s)

Sl. No.	Document	Image
<input type="checkbox"/> 1	Wordmark: H I P O J E T Proprietor: METALLIZING EQUIPMENT COMPANY PRIVATE LIMITED Application Number: 984477 Class / Classes: 7 Status: Registered	

[Show Details](#)

Record No. : 1 | Application Number : 984477

Word Mark	H I P O J E T
Appl. No.	984477 Class : 7
Appl. Date	17/01/2001
Proprietor	METALLIZING EQUIPMENT COMPANY PRIVATE LIMITED
Journal No.	1340-1 Journal Date : 15/03/2006
Status	Registered
Used Since	01/01/1999 Valid Upto : 17/01/2021
Goods & Services Description	SPRAY GUNS AND ENGINEERING EQUIPMENTS, INCLUDED IN CLASS 7.

Anexo B: Códigos CNC

T-15 Tapa Cilíndrica de Aire

(MATERIAL ALUMINIO)
 (T0101 BROCA DE 7MM)
 (T0202 HERRA INTERIOR D7MM)
 (T0303 TORNEADO EXTERIOR)
 (T0404 RANURADO Y CORTE E=3MM)
 N10 G96 G99
 N20 G50 S2000
 N22 T0404 S600 F0.1 M03
 N24 G0 X40 Z0
 N26 G1 X0
 N28 G0 X50 Z50
 N29 G97
 N30 T0101 S1200 F0.2
 N40 G0 X0 Z5
 N50 G1 Z-16
 N60 G0 Z5
 N70 G0 Z-14
 N80 G1 Z-30
 N85 G0 Z5
 N95 G0 Z-28
 N105 G1 Z-44
 N115 G0 Z50
 N125 X50
 N130 G96
 N135 T0202 S600 F0.15
 N145 G0 X7 Z2
 N155 G71 U0.5 R0.5
 N157 G71 P160 Q162 U-0.5 W0.2
 N160 G1 X18.64
 N161 X8 Z-35.22
 N162 Z-44
 N163 G70 P160 Q162 S700 F0.07
 N170 G0 X50Z50
 N180 T0303 S600 F0.15
 N181 G0 X40 Z2
 N182 G71 U1 R1
 N185 G71 P190 Q211 U0.5 W0.2
 N190 G1 X22
 N200 Z-24.79
 N210 X27.48
 N211 Z-45
 N220 G70 P190 Q211 F0.1
 N230 G0 X50 Z50
 N240 T0404 S500 F0.1 M03
 N250 G0 X30 Z-31.01
 N251 G71 U0.5 R1
 N250 G71 P250 Q257 S500
 N250 G1 X22
 N251 G1 Z-38.22
 N255 G1 X16.69 Z-41.23
 N256 G1 Z-44
 N257 G1 X28
 N290 G70 P251 Q257 S600 F0.07
 N300 G0 X32 Z-41.23
 N310 G1 X4 F0.05
 N320 G0 X32
 N330 G0 Z50
 N340 G97
 N350 M5
 N360 M30

T-14 Sifón de Gases

(MATERIAL bronce dulce)
 (T0101 broca 7 y 8 mm)
 (T0202 desbaste y cilindrado hss)
 (T0303 ranurador 2mm)
 (T0404 ROSCADO)
 N10 G96 G99
 N20 G50 S2000
 N30 T0303 S5000 M03 F0.1
 N35 G0 X50 Z50
 N40 G0 X35 Z0
 N50 G1 X-0.2
 N60 G0 X50 Z50
 N70 G97
 N80 T0101 S1000 F0.1
 N90 G0 X0
 N100 Z5
 N110 G1 Z-20
 N120 G0 Z2
 N130 Z-18
 N140 G1 Z-35
 N150 G0 Z2
 N160 G0 Z-33
 N170 G1 Z-45
 N180 G0 Z2
 N190 Z-43
 N200 G1 Z-58
 N210 G0 Z150 (CAMBIO DE BROCA A 8MM.)
 N220 M00
 N225 G0 Z5
 N227 G1Z-15
 N228 G0 Z5
 N229 X50 Z60
 N230 G96
 N240 T0202 S500 F0.2 M03
 N250 G0 X35 Z2
 N260 G71 U1 R1
 N270 G71 P280 Q335 U0.2 W0.1 F0.2
 N280 G1 X20.5
 N290 Z-36.47
 N300 X30
 N310 Z-42
 N320 X25.3 Z-44
 N330 Z-55
 N335 X31
 N340 G70 P280 Q335 F0.1
 N350 G0 X50 Z50
 N360 T0303 S500 F0.05
 N370 G0 X23 Z0
 N380 Z-3.65
 N390 G1 X17.75
 N400 X23
 N410 Z-9.57
 N420 X14.57

N430 X22
N440 Z-8
N450 X14.57
N460 X22
N470 Z-7.57
N480 X14.57
N490 X22
N500 Z-13.67
N510 X17.5
N520 X22
N530 Z-19.16
N540 X11.52
N550 X22
N560 Z-18.12
N570 X11.52
N580 X22
N590 Z-22.68
N600 X17.70
N610 X22
N620 Z-27.88
N630 X17.7
N640 X22
N650 Z-26.63
N660 X17.7
N670 X22
N680 Z-31.82
N690 X17.55
N700 X32
N710 Z-44.73
N720 X22.90
N730 X32
N740 Z-43.43
N750 X22.9
N760 X32
N770 G0 X60 Z60
N775 G97
N780 T0404 S500 F1.27
N790 G0 X35 Z-44.13
N800 G76P021500Q100R0.05
N810 G76X23.67Z-54R0P813Q300F1.27
N820 G0X50
N830 Z50
N840 G97
N850 M05
N860 M30

T-2 Válvula Central

(MATERIAL BRONCE DULCE D 35MM)	N408 Z-91.42
(T0101 torneado inserto exterior)	N409 X14.97
(T0202 ranurador de 2mm)	N410 X22
(T0303)	N410 Z-89.9
(T0404)	N410 X14.97
N10 G96 G99	N410 X22
N20 G50 S2000	N511 G0X50
N25 T0101 S500 F0.2 m03	N521 Z50
N27 G0 X35 Z2	N531 G97
N28 Z0	N541 M05
N28 G1 X-1	N551 M30
N28 G0 X35 Z2	
N29 G71 U1 R1	
N31 G71 P41 Q 151 U0.5 W0.1 F0.2	
N41 G1 X14.15	
N51 Z-25.6	
N61 x15.35	
N71 Z-31.98	
N81 X15.45	
N91 Z-35.02	
N101 X16.35	
N111 Z-71.24	
N121 X20.37	
N131 Z-105.82	
N141 X28	
N151 Z-124	
N161 G70 P41 Q151 F0.07	
N171 G0 X50 Z50	
N181 T0202 S400 F0.05	
N191 G0 X22 Z-30.20	
N201 G1 X12.97	
N211 X16	
N221 Z-31.98	
N231 X15.45	
N236 X18	
N241 G0Z-50.42	
N251 X18	
N261 G1 X13.87	
N271 X18	
N281 Z-54.77	
N286 X13.87	
N291 X18	
N331 Z-68.84	
N336 X16.35	
N341 X22	
N351 G0Z-85.85	
N361 G1 X13.87	
N371 X17.64	
N381 X22	
N391 Z-92.42	
N401 X14.97	
N406 X22	

Anexo C: Cotización HP 2700

Plasma Powders & Systems, Inc

228 Boundary Road
Marlboro, NJ 07746
USA

Voice: 732 431 0992
Fax: 732 308 1075

QUOTATION

Quote Number: ONA 2700 TORCH

Quote Date: Apr 9, 2014

Page: 1

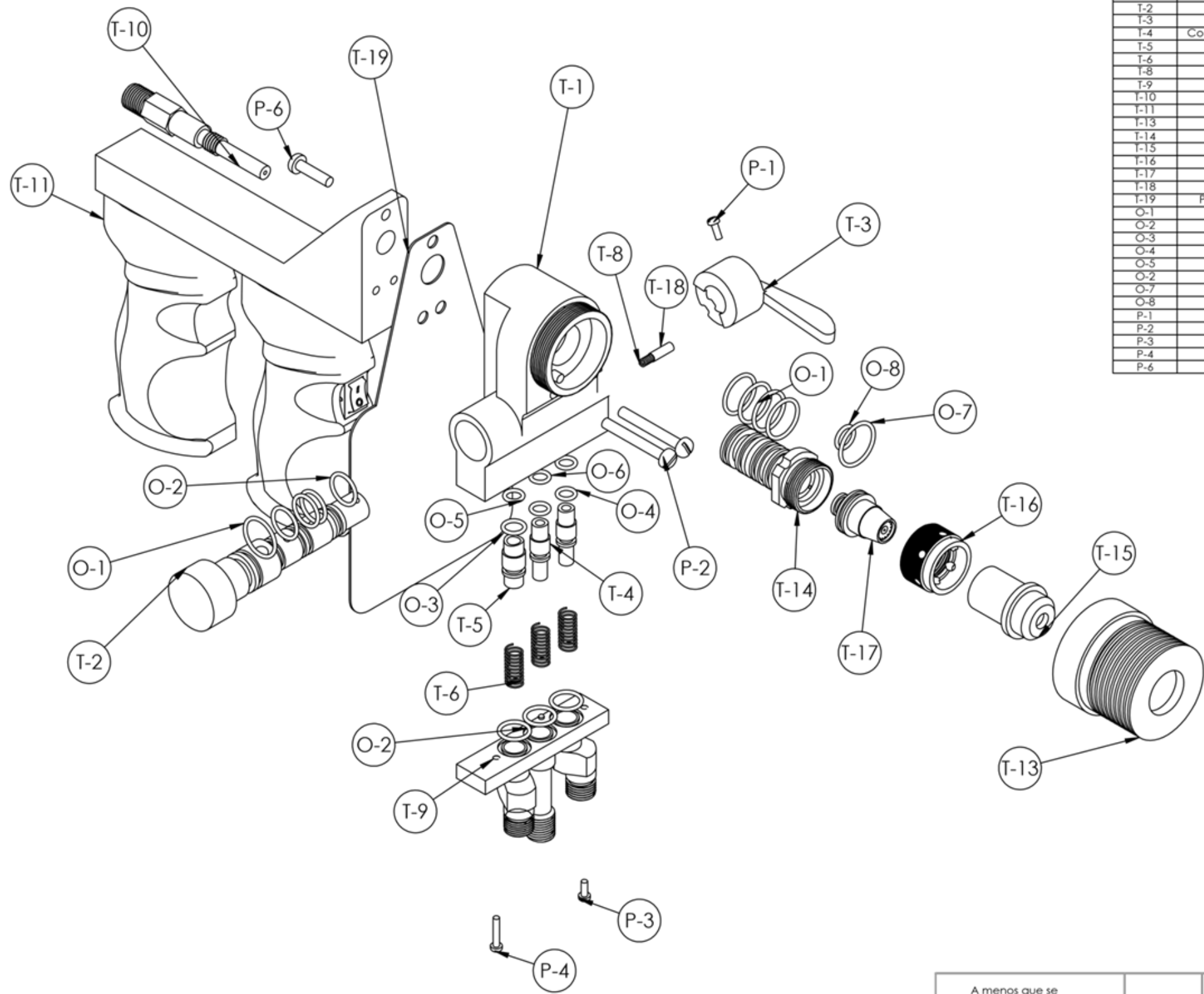
Quoted To:

JOSE RICARDO ONA
GUATEMALA OE6-94 Y CUENCA
QUINTO
ECUADOR

Customer ID	Good Thru	Payment Terms	Sales Rep
JOS10002	5/9/14	Prepaid	BOB MCDEMUS

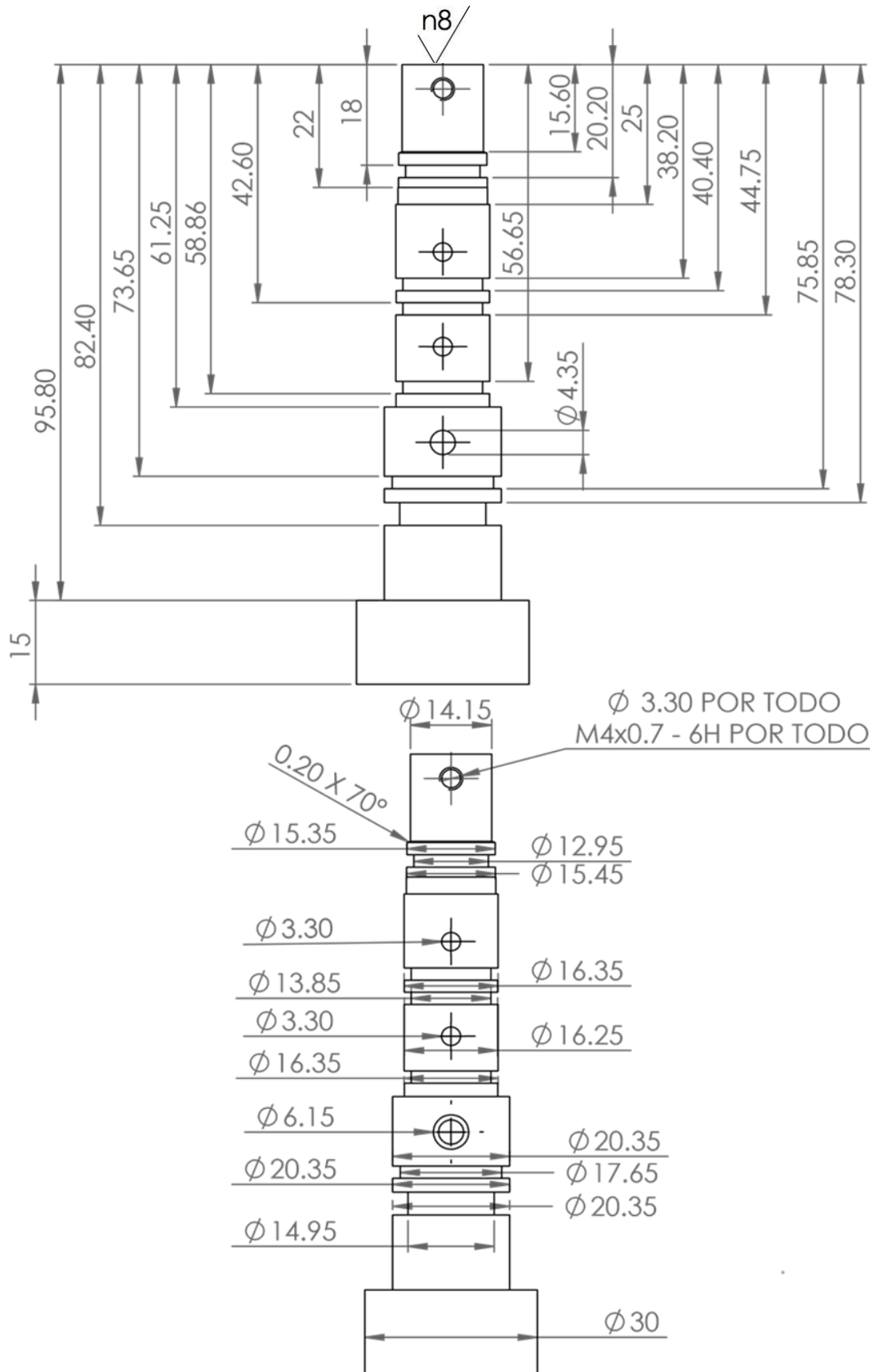
Quantity	Item	Description	Unit Price	Amount
1.00	HP-2700	HIPOJET 2700 TORCH	6,985.00	6,985.00
1.00	HP-2700 KIT	HP-2700 KIT INCLUDES:	7,385.00	7,385.00
1.00	12E-101	STRIKER		
0.33	12E-111	VALVELUBE 3/PKG		
1.00	HP-2700	HIPOJET 2700 TORCH		
1.00	CASE100	TORCH CASE		
1.00	HP-184	HP-184 O-RING SET		
1.00	HP-7	NOZZLE WITH T.C. SLEEVE		
1.00	HP-3-9.5MM	AIRCAP LOW MELTING 9.5MM		
1.00	HOSE 5304 K22 A	15' AIR HOSE*		
1.00	HOSE 7915 A71 H	15' OXY/FUEL 1/4"/FLOWMETER		
1.00	12E-124/16/88-124	TOOL POST FIXTURE SA		
1.00	MCM50675 K171	PF HOSE ADAPTER		
			Subtotal	14,370.00
			Sales Tax	
			Freight	
			TOTAL	14,370.00

Anexo D: Planos del Sistema HVOF

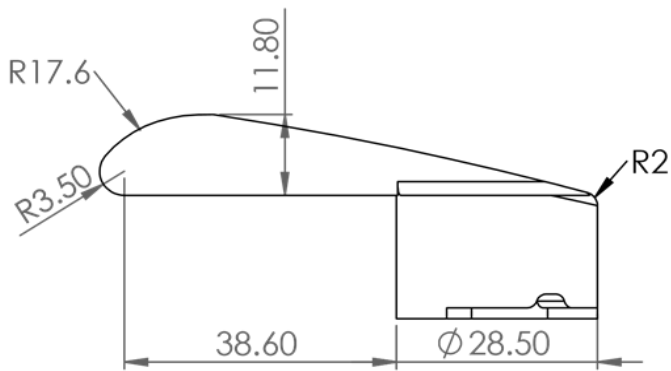


PIEZA	DESCRIPCION	CANTIDAD
T-1	Camara Central	1
T-2	Valvula Central	1
T-3	Manija	1
T-4	Conector de Oxigeno y Combustible	2
T-5	Conector de Aire	1
T-6	Resorte Conectores	3
T-8	Resorte de Tope	1
T-9	Base de Conexion de Gases	1
T-10	Injector de Polvos	1
T-11	Mangos y Base de Torca	1
T-13	Tapa Conica de Aire	1
T-14	Sifon de Gases	1
T-15	Tapa Cilindrica de Aire	1
T-16	Tuerca Boquilla de Polvos	1
T-17	Boquilla de Polvos	1
T-18	Pin de Tope	1
T-19	Placa Separadora Base Camara	1
O-1	O-ring O-1	5
O-2	O-ring O-2	7
O-3	O-ring O-3	1
O-4	O-ring O-4	2
O-5	O-ring O-5	1
O-2	O-ring O-2.1	2
O-7	O-ring O-7	1
O-8	O-ring O-8	1
P-1	Perno M3 x 0.5 x 16	1
P-2	Perno M5 x 0.8 x 40	2
P-3	Perno M3 x 0.5 x 8	1
P-4	Perno M3 x 0.5 x 16	1
P-6	Perno M5 x 0.8 x 20	1

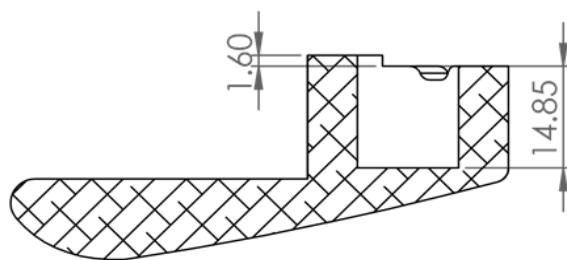
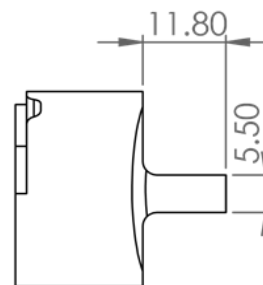
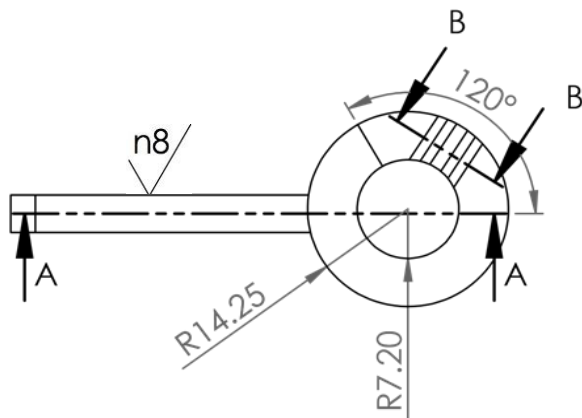
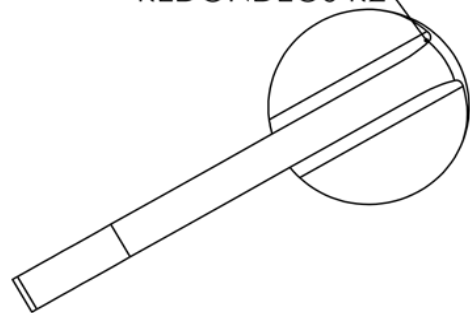
A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 01/4/2015
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: VARIOS	TORCHA HVOF		A3
REVISION: 3	Escala: 1:2	Hoja 1 de 1	



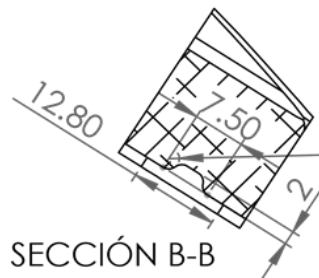
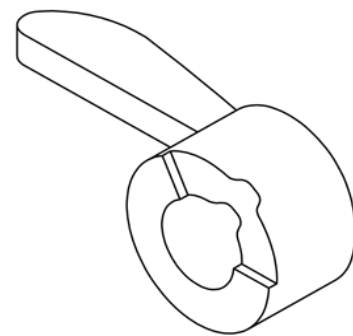
A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ± 0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 12/10/2012
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: BRONCE	T-2 Valvula Central		A4
REVISION: 2	Escala: 1:1	Hoja 1 de 1	



REDONDEOS R2



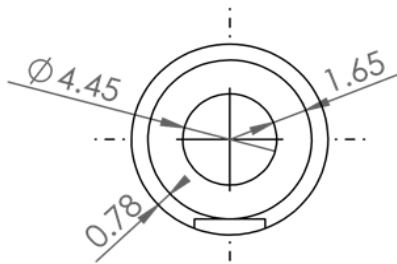
SECCIÓN A-A



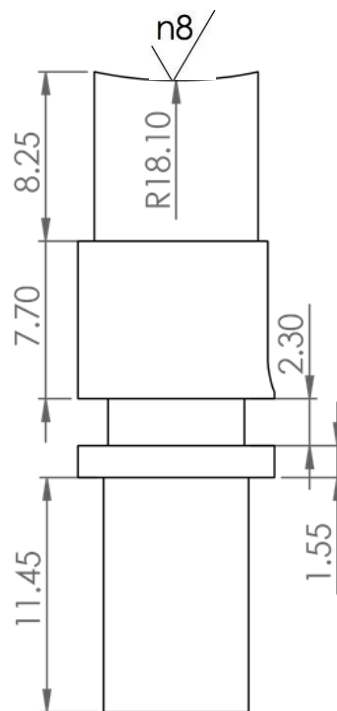
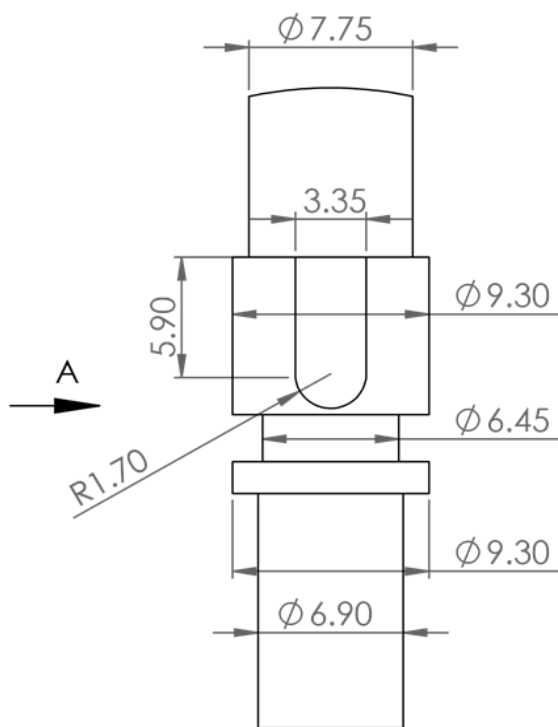
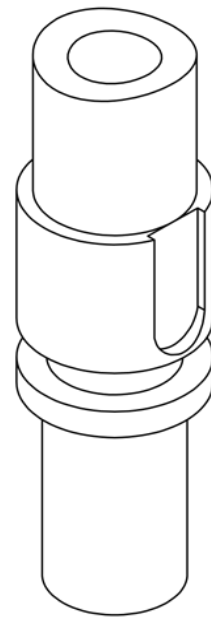
SECCIÓN B-B

REDONDEOS R1.50

A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 03/1/2015
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ACERO	T-3 Manija		A4
REVISION: 4	Escala: 1:1	Hoja 1 de 1	

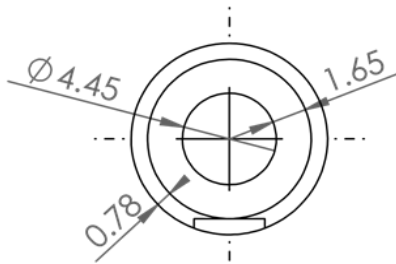


VISTA B
ESCALA 3 : 1

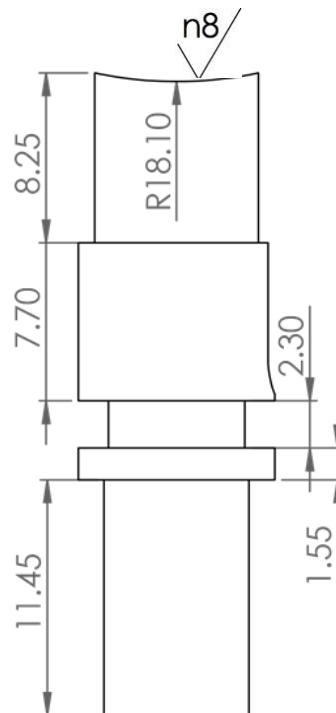
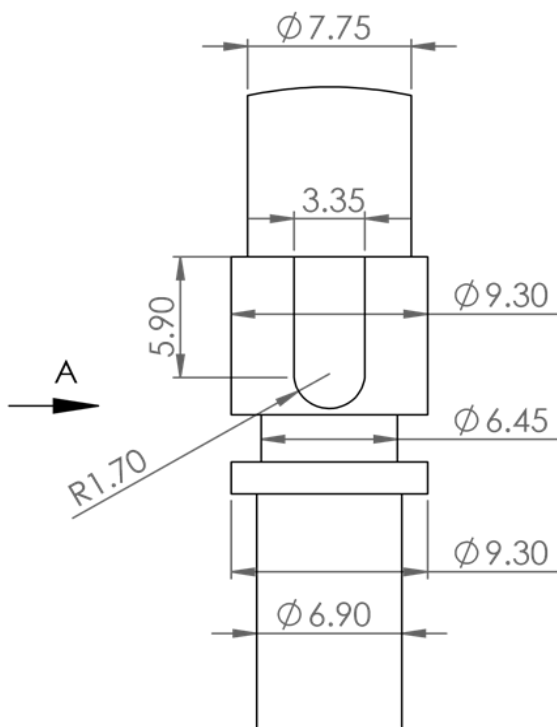
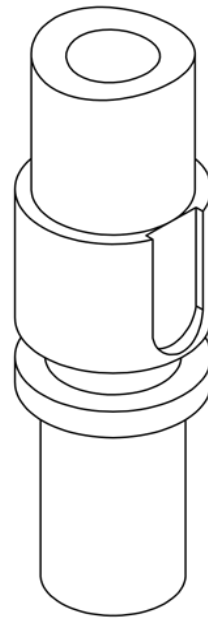


VISTA A
ESCALA 3 : 1

A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ± 0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 1/2/2015
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ALUMINIO	T-4 Conector Combustible		A4
REVISION: 2	Escala: 3:1	Hoja 1 de 1	

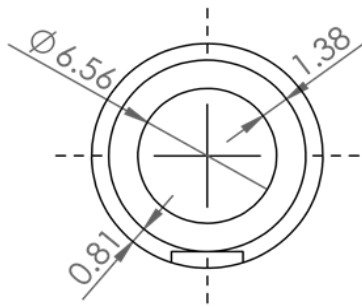


VISTA B
ESCALA 3 : 1

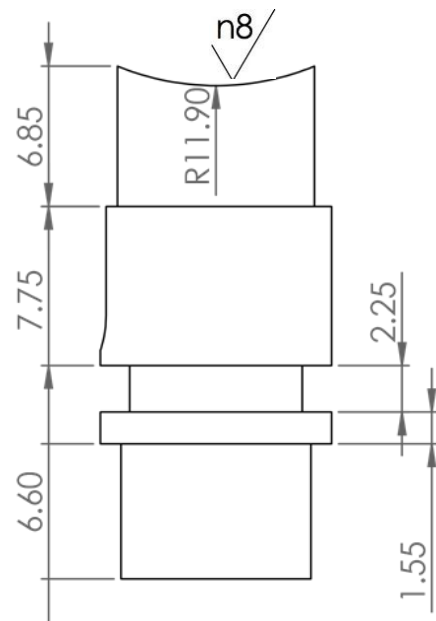
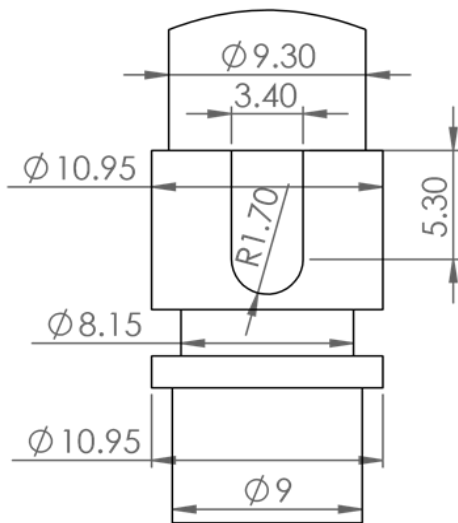
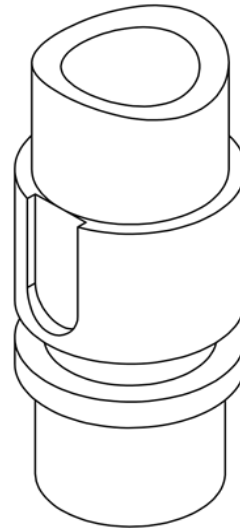


VISTA A
ESCALA 3 : 1

A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 1/2/2015
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ALUMINIO	T-4 Conector de Oxigeno		A4
REVISION: 2	Escala: 3:1	Hoja 1 de 1	

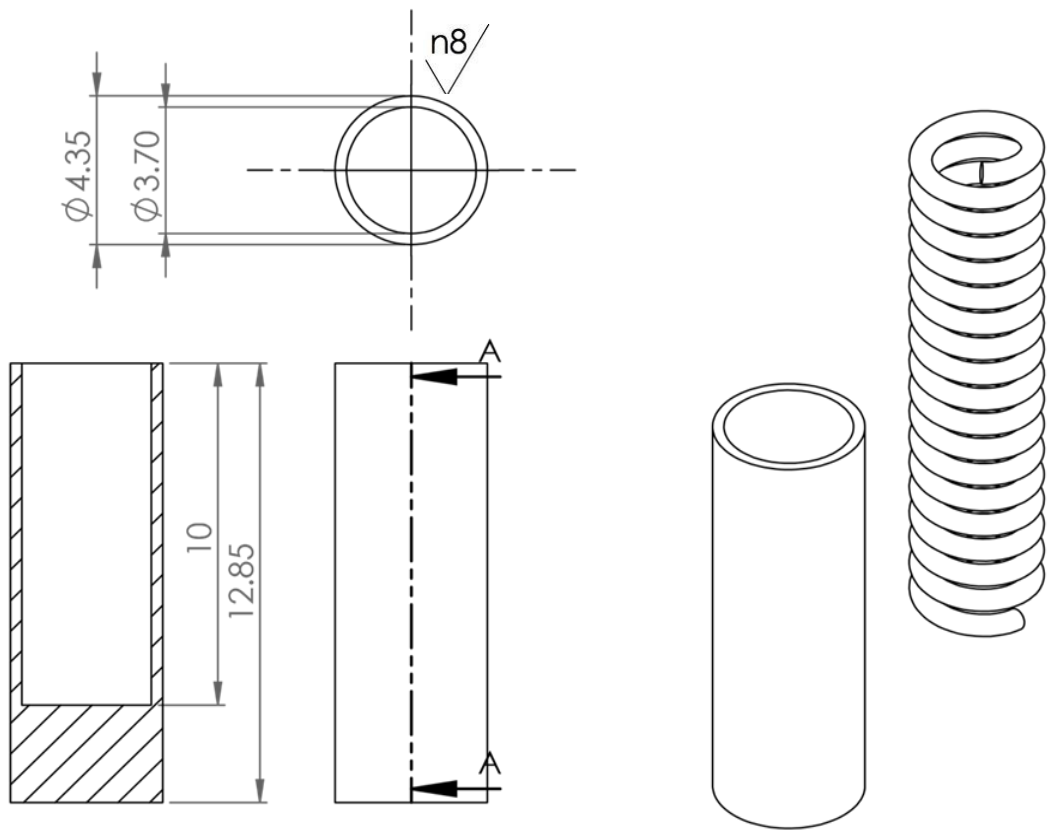


VISTA A
ESCALA 3 : 1

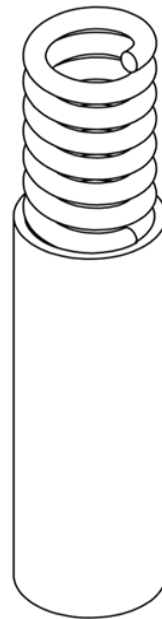
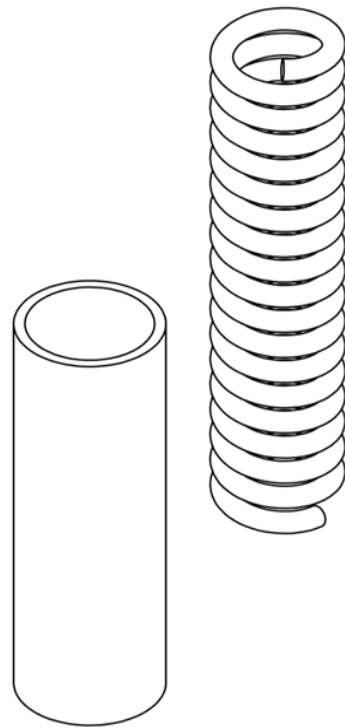
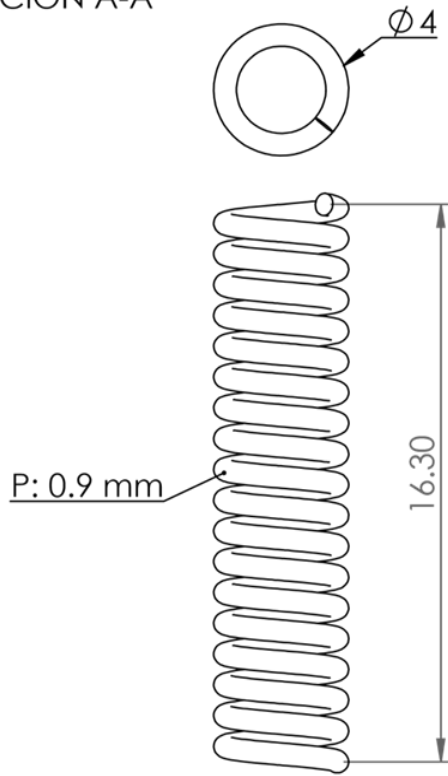


VISTA B
ESCALA 3 : 1

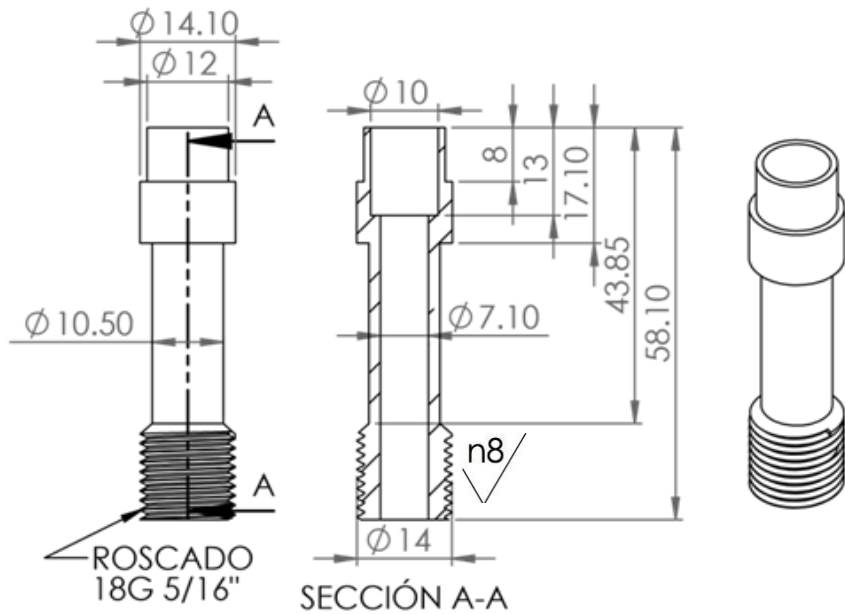
A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ± 0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 1/3/2015
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ALUMINIO	T-5 Conector Aire		A4
REVISION: 2	Escala: 3:1	Hoja 1 de 1	



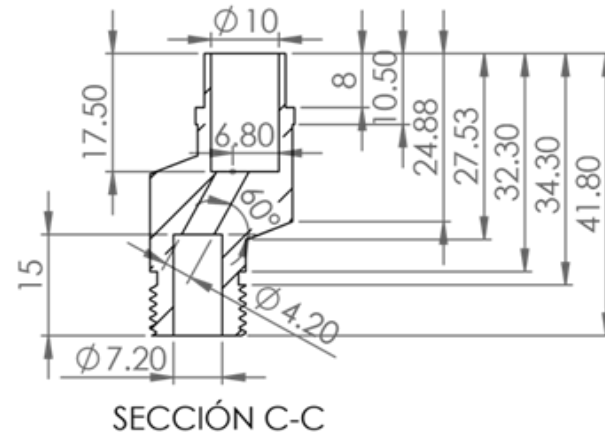
SECCIÓN A-A



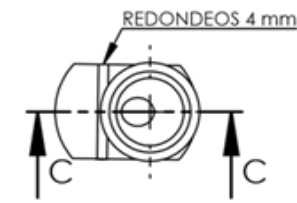
A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 3/5/2014
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ALUMINIO	T-8, T-18 Resorte y Pin de Tope		A4
REVISION: 2	Escala: 5:1	Hoja 1 de 1	



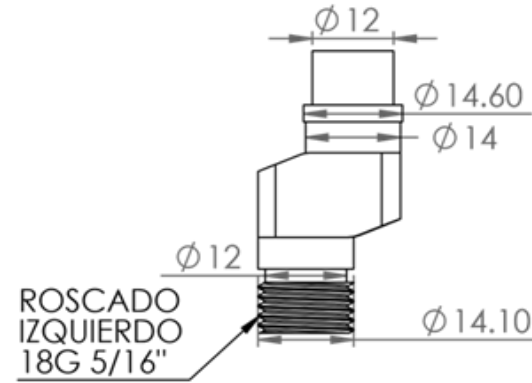
T-9.2 SALIDA DE OXIGENO



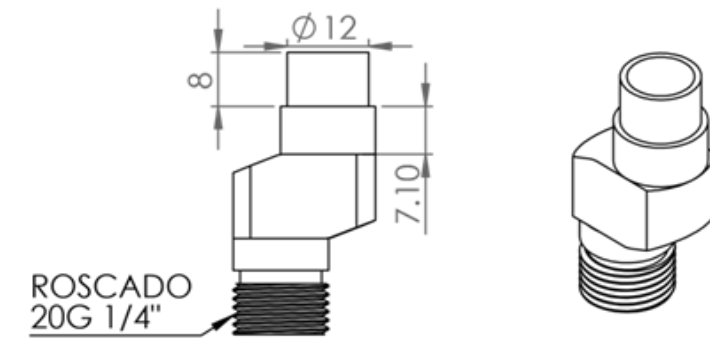
SECCIÓN C-C



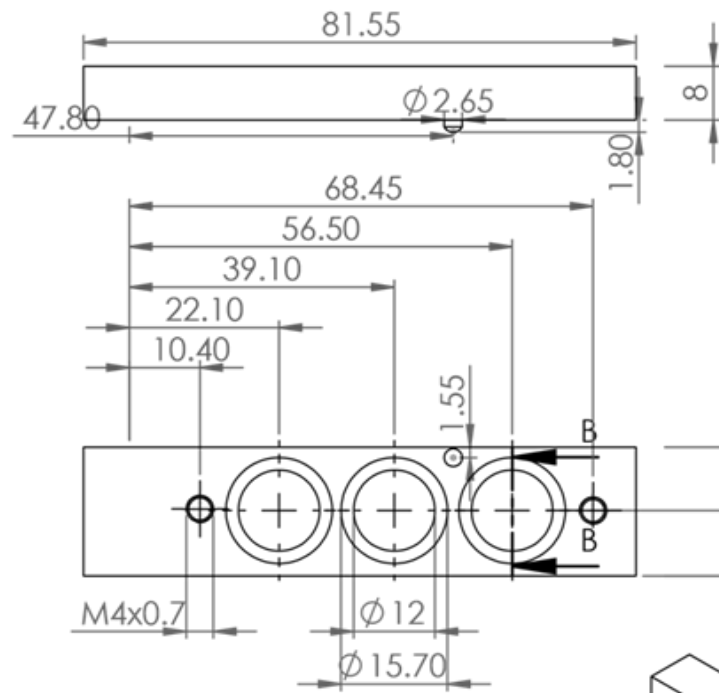
SIMETRIA ENTRE T-9.3 Y T-9.4 EXCEPTO EN LAS MEDIDAS INDICADAS



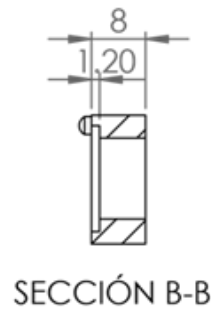
T-9.4 SALIDA PARA COMBUSTIBLE



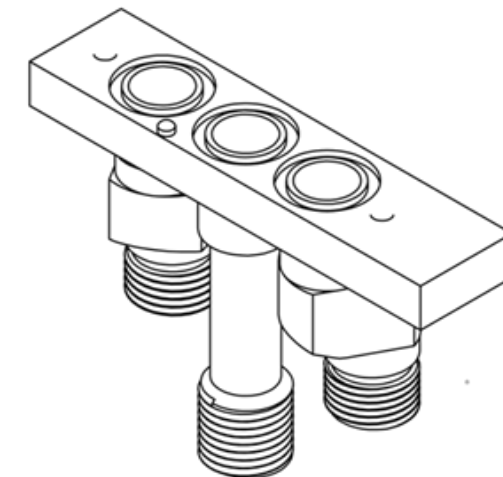
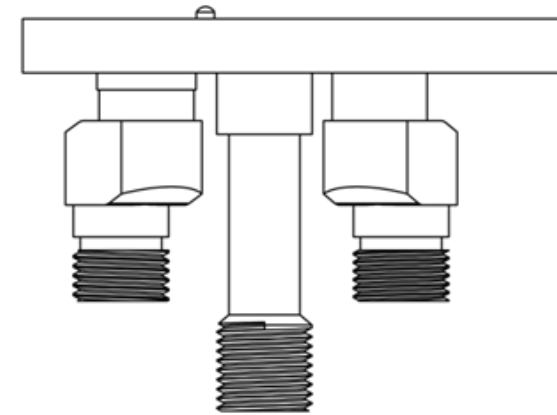
T-9.3 SALIDA PARA AIRE



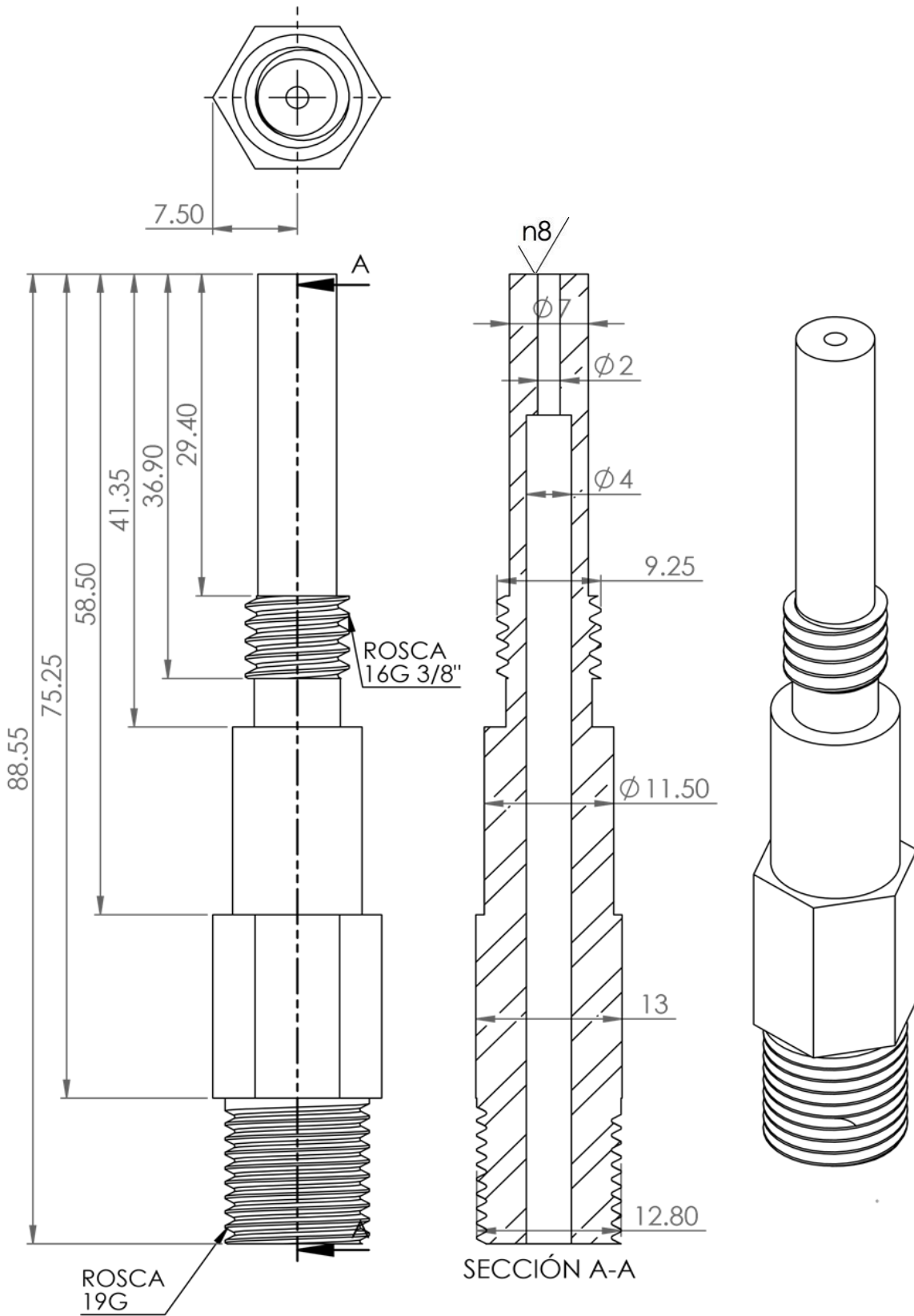
T-9.1 PLACA BASE



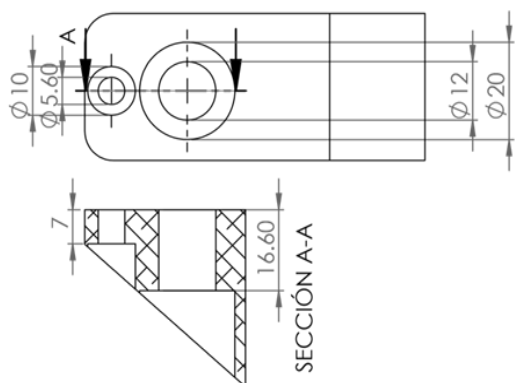
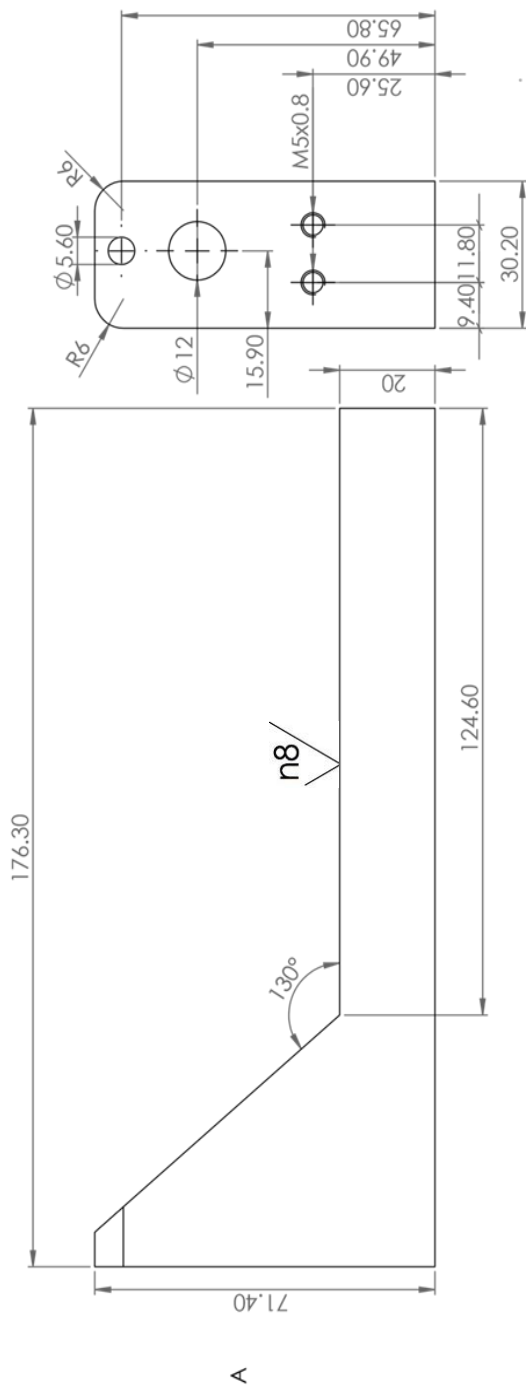
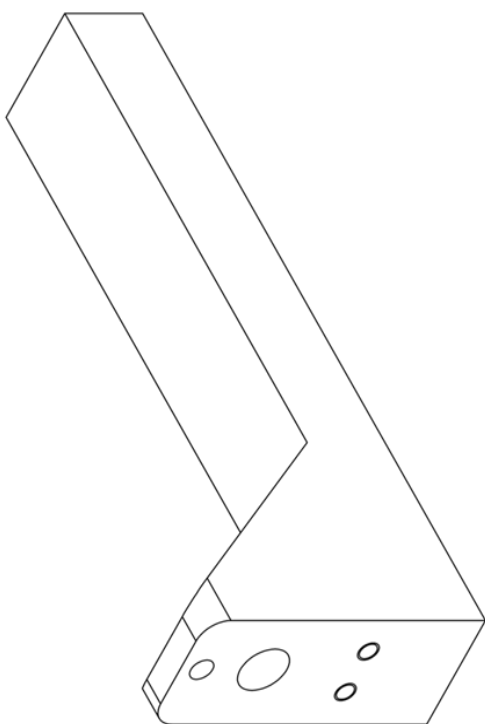
SECCIÓN B-B



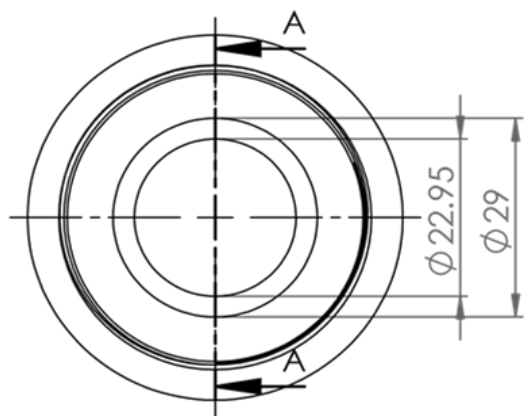
A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 21/3/2015
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ACERO	T-9 Base de Conexion de Gases		A3
REVISION: 3	Escala: 1:1	Hoja 1 de 1	



A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 9/5/2013
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: DURALUMINIO	T-10 Inyector de Polvos		A4
REVISION: 2	Escala: 2:1	Hoja 1 de 1	

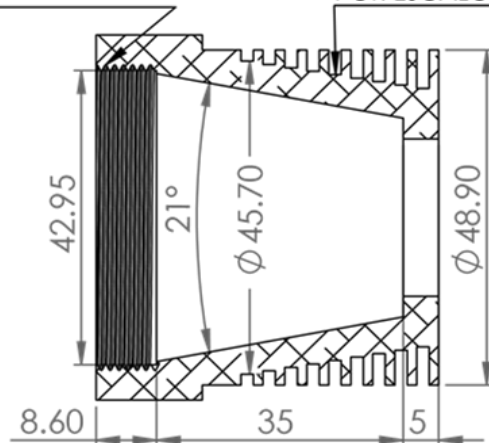


A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibuñado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 08/11/2011
	MATERIAL: ALUMINIO	Revisado: Ing. Alfredo Valarezo	Hoja 1 de 1
REVISION: 1		T-11.3 Base	
Escala: 1:1		A4	

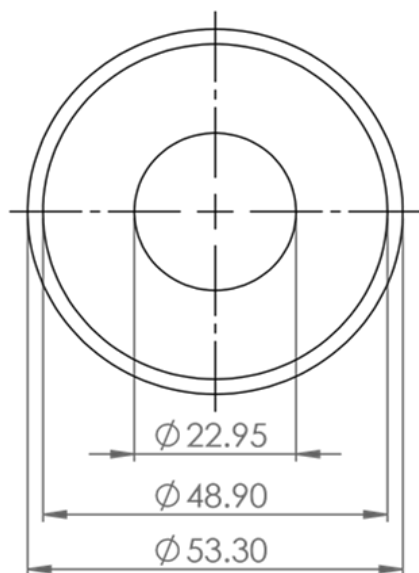
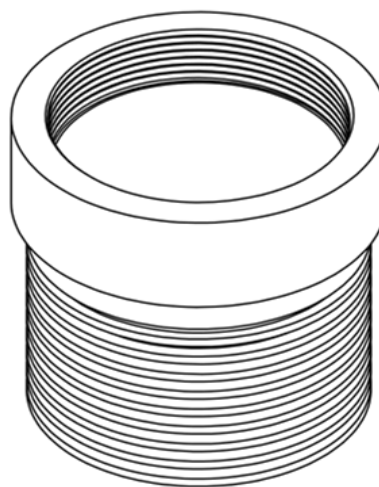
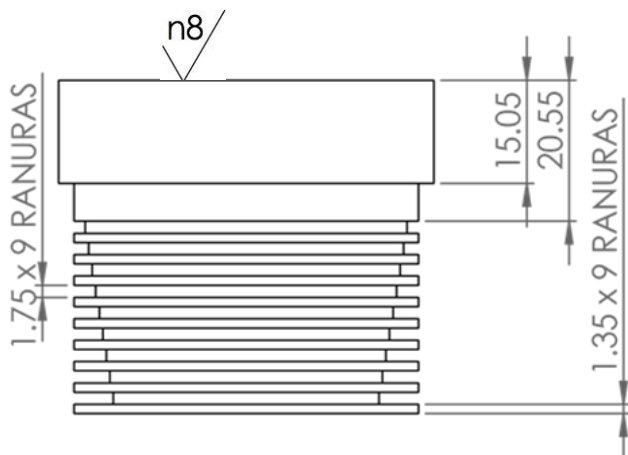


TALADRO ROSCADO
20G 1/4"

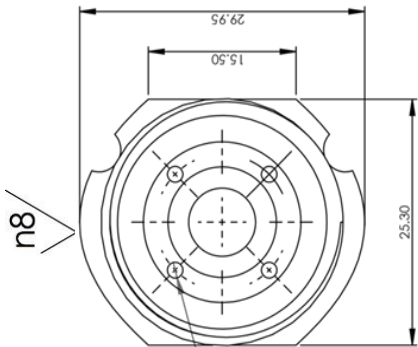
ϕ 1mm MENOS
POR ESCALON



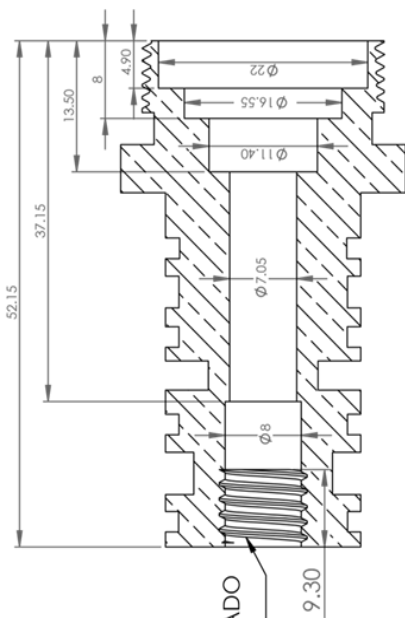
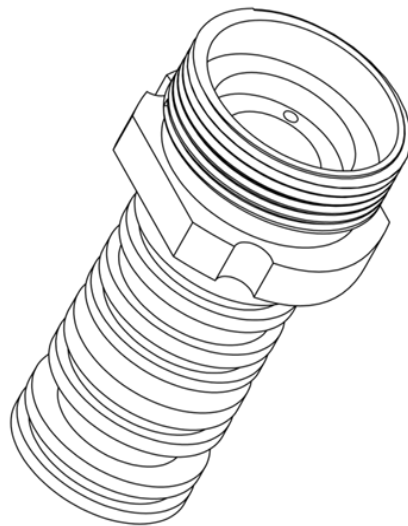
SECCIÓN A-A



A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 10/7/2013
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: ALUMINIO	T-13 Tapa Conica de Aire		A4
REVISION: 2	Escala: 1:1	Hoja 1 de 1	

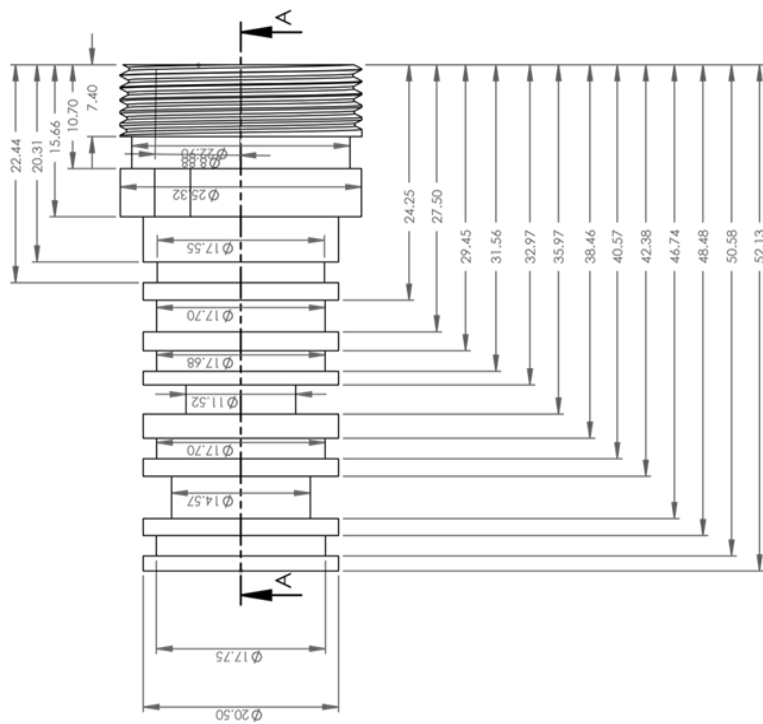


4 TALADROS Ø1.65 X 25

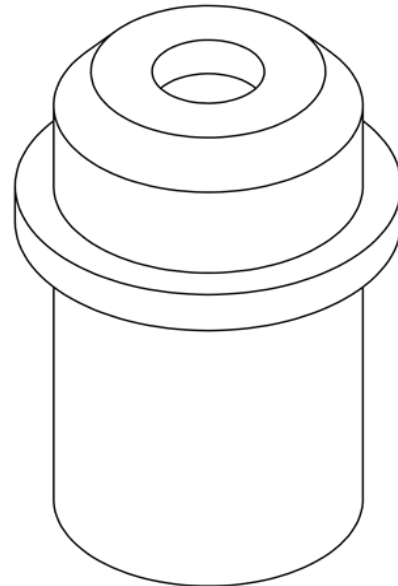
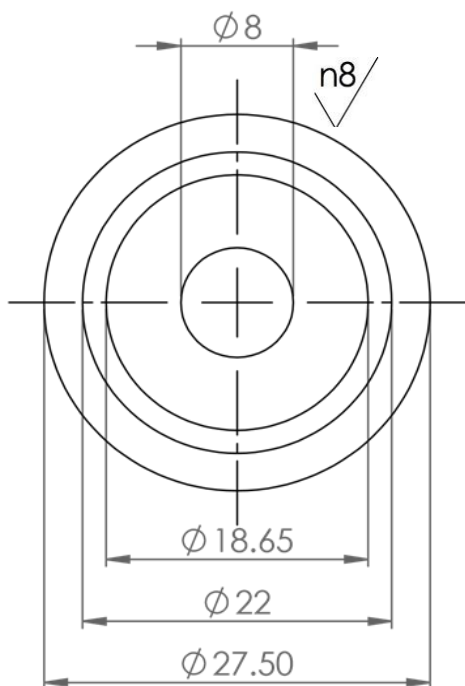
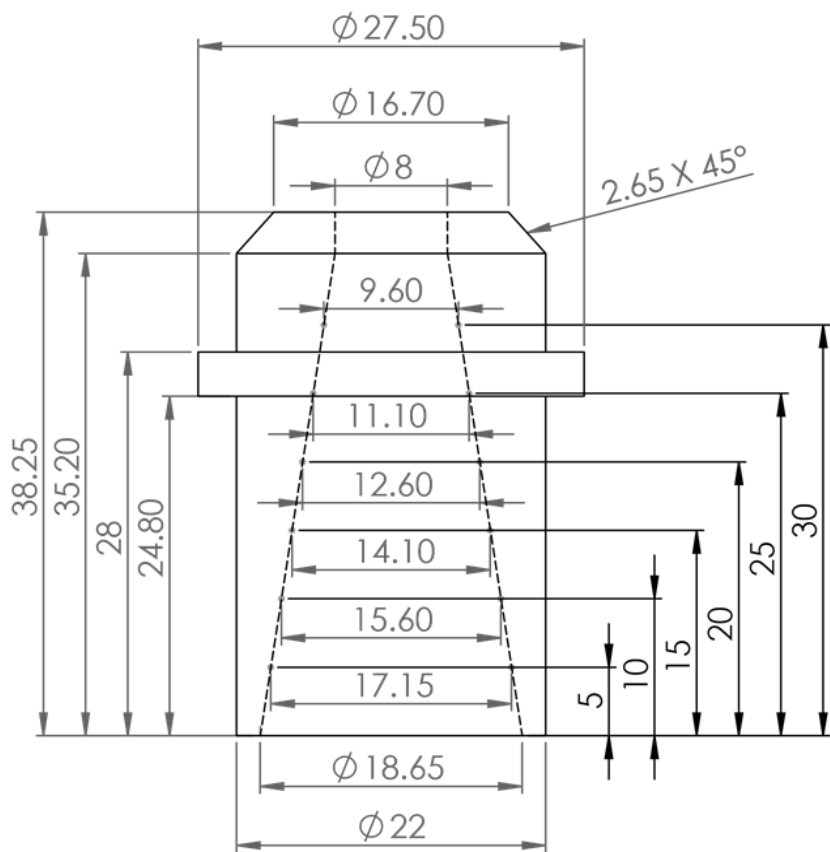


TALADRO ROSCADO
1/6G 3/8"

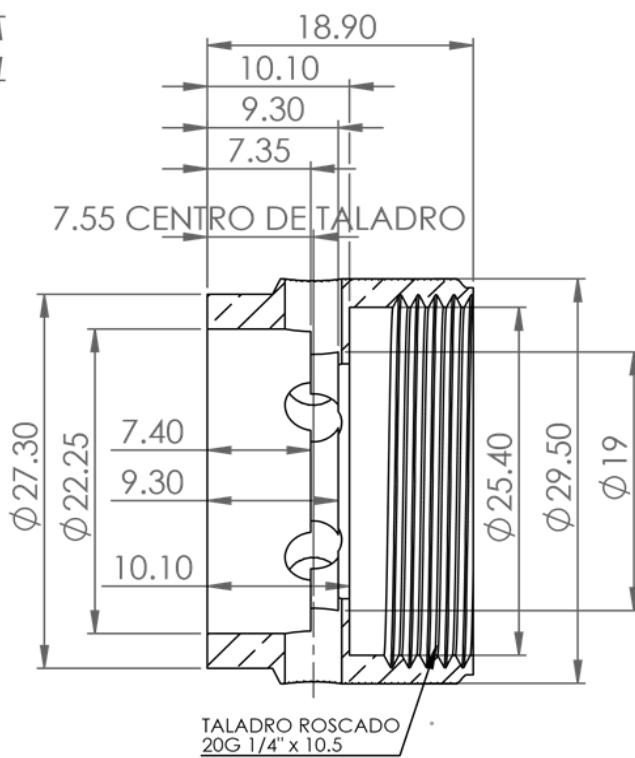
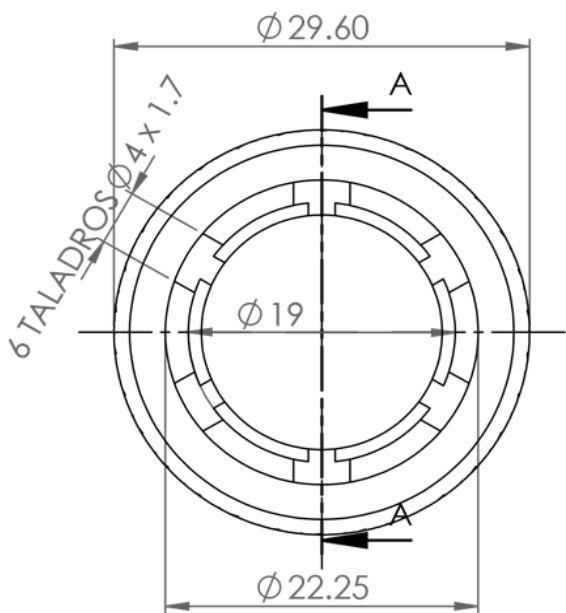
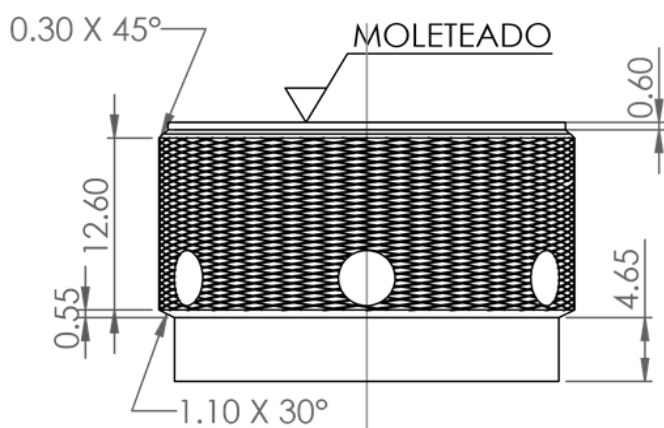
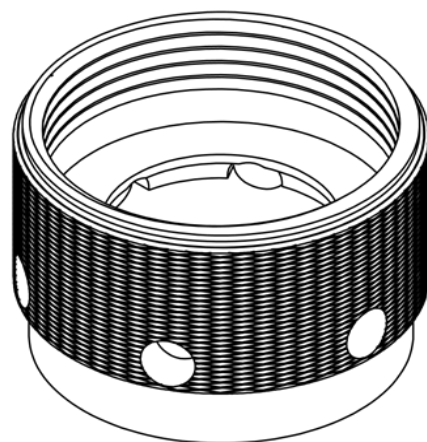
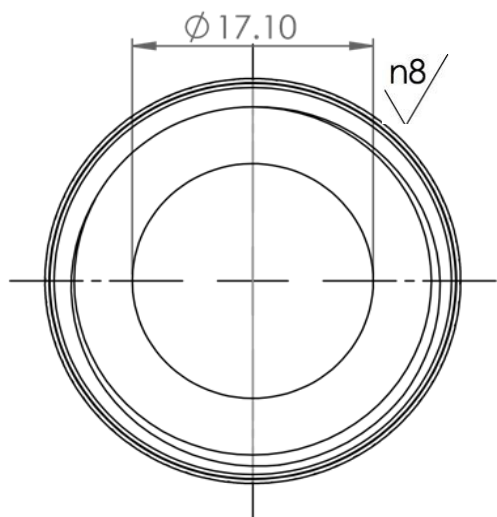
SECCION A-A



A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Diseñado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 08/11/2012
	MATERIAL: BRONCE	Revisado: Alfredo Valarezo	
T-14 Sifon de Gases			A4
REVISION: 2		Escala: 2:1	
Hoja 1 de 1			

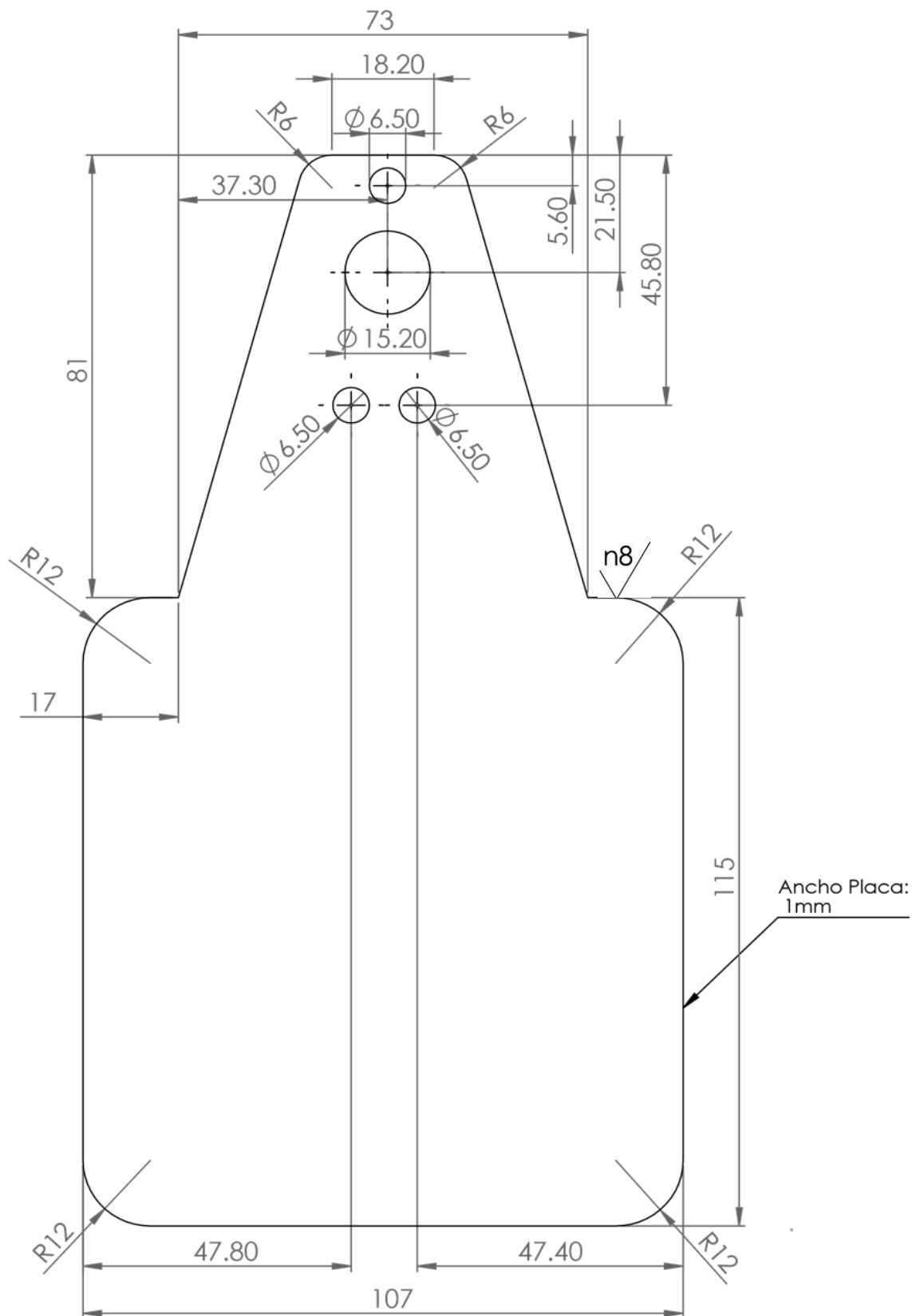


A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ± 0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 9/7/2013
		Revisado: Alfredo Valarezo	
MATERIAL: DURALUMINIO	T-15 Tapa Cilindrica de Aire		A4
REVISION: 4	Escala: 2:1	Hoja 1 de 1	



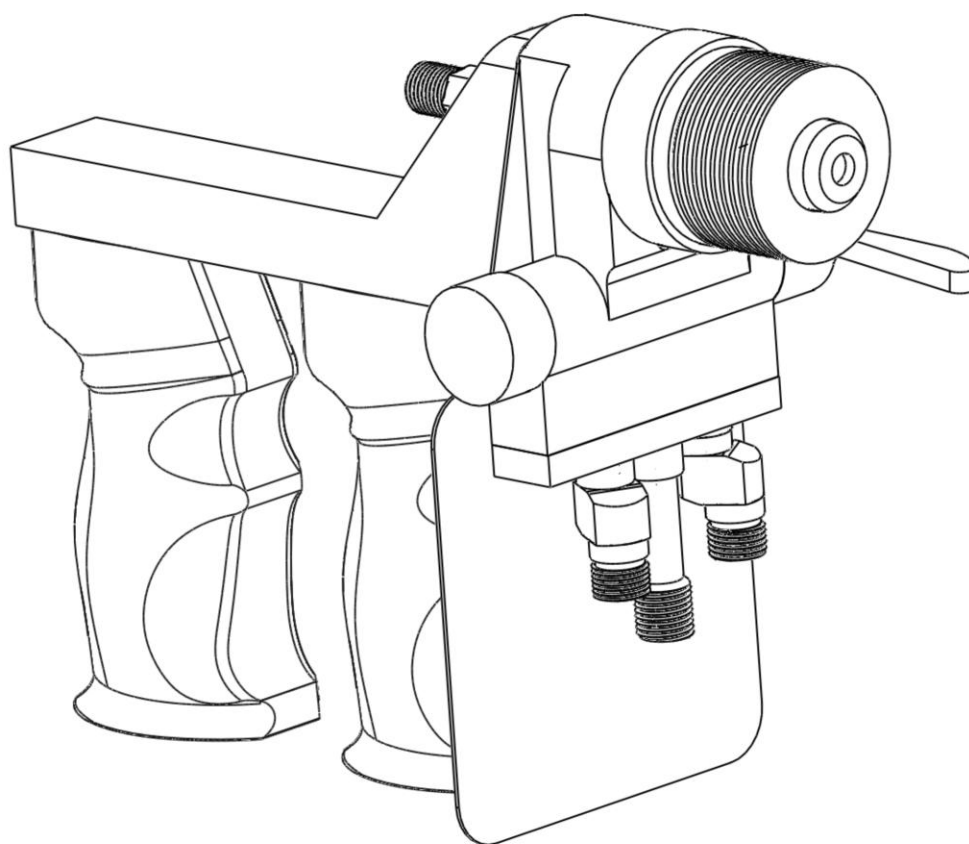
SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 30/03/2015
		Revisado: Ing. Alfredo Valarezo	
MATERIAL: BRONCE	T-16 Tuerca Boquilla Polvos		A4
REVISION: 3	Escala: 2:1	Hoja 1 de 1	



A menos que se especifique lo contrario las dimensiones son en: mm	TOLERANCIA: ±0.05	Dibujado y Diseñado: Jose Ricardo Oña	Fecha: 9/7/2012
		Revisado: Ing. Alfredo Valarezo	
MATERIAL: DURALUMINIO	T-19 Placa Separadora Base Camara		A4
REVISION: 2	Escala: 1:1	Hoja 1 de 1	

Anexo E: MANUAL DE OPERACION



**MANUAL DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO
TORCHA HVOF**

PRECAUCIONES IMPORTANTES

**Antes de usar el equipo, lea y comprenda este manual de operación.
En particular, consulte las precauciones de seguridad.**

**Uso obligatorio de
protección
auditiva**



**Uso obligatorio de
mascarilla**



**Uso obligatorio de
gafas**



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	112
2	MEDIDAS DE SEGURIDAD	112
2.1	GENERAL	112
2.2	USO DE EQUIPO.....	112
2.3	REDUCCIÓN DE RIESGO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN	112
2.4	GASES	113
2.5	MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	113
2.6	RETORNO DE LA LLAMA	113
2.7	POLVOS METÁLICOS.....	113
2.8	PRECAUCIONES CON LOS CILINDROS DE GAS.....	113
2.9	REDUCCIÓN DE RIESGOS RESPIRATORIOS.....	114
2.10	REDUCCIÓN DEL RIESGO DE RUIDO	114
2.11	PROTECCIÓN DE LOS OJOS.....	114
3	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	114
4	INSTALACIÓN.....	115
4.1	VERIFICACIÓN.....	115
4.2	DIAGRAMA DE OPERACIÓN.....	115
5	FUNCIONAMIENTO.....	116
5.1	CONTROLES DE OPERACIÓN.....	116
6	PARTES DE LA TORCHA HVOF	117
6.1	TABLA DE COMPONENTES DE LA TORCHA HVOF.....	118
6.2	TABLA DE O-RINGS.....	119
6.3	TABLA DE TORNILLOS.....	119
7	INSTRUCCIONES DE ENSAMBLAJE.....	120
8	CÓMO EVITAR PROBLEMAS	127
8.1	CUIDADO GENERAL DE LA TORCHA HVOF	127
8.2	MANGUERAS	127

8.3	ENCENDIDO DIFÍCIL	127
8.4	RETORNO DE LA LLAMA	128
8.5	SIFÓN DE GASES	128
8.6	ENSAMBLE DE LA BOQUILLA.....	129
8.7	LA VALVULA CENTRAL	129
8.8	FLUJO Y PRESIONES DE ENCENDIDO	130
9	RUTINA DE MANTENIMIENTO	130

1 INTRODUCCIÓN

La TORCHA HVOF es un dispositivo de termorociado que permite el depósito de recubrimientos superficiales a velocidades supersónicas. El proceso consiste en rociar un material, metálico o no metálico, a altas velocidades y en estado de fusión sobre la superficie de una pieza base. Como resultado se obtiene un recubrimiento fuertemente adherido al material base.

Este es un sistema asequible HVOF de bajo costo, que produce revestimientos de calidad.

La TORCHA HVOF tiene las siguientes características:

- Baja porosidad
- Alta Dureza
- Alta fuerza de adherencia
- Excelente resistencia al desgaste
- Buen acabado superficial
- Recubrimientos gruesos
- Capacidad de acabado fino

El equipo es fácil de usar. Este manual está destinado a servir como una guía para la instalación, operación y mantenimiento del sistema de la TORCHA HVOF.

2 MEDIDAS DE SEGURIDAD

2.1 GENERAL

El encendido de la llama puede ser peligroso, ya que requiere el uso de gases combustibles (con mangueras a alta presión) y materiales potencialmente irritantes o tóxicos. Sin embargo, es un proceso completamente seguro cuando se realiza por un operador capaz, con la adecuada comprensión de las prácticas de termorociado, el conocimiento de los equipos y que tiene cuidado en la operación.

2.2 USO DE EQUIPO

La TORCHA HVOF ha sido diseñada únicamente para el depósito de polvos por HVOF. No lo utilice nunca para ningún otro propósito, tales como soldadura, soplete, lanzallamas, etc.

2.3 REDUCCIÓN DE RIESGO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Recuerde que los polvos en estado de fusión expulsados por el equipo están muy calientes. Prenda la torcha lejos de materiales inflamables. La falta de cuidado en prender la torcha, haciéndolo con trozos papel o trapos incinerados en lugar del chispero, puede provocar un incendio.

Tenga especial cuidado de no rociar en las mangueras cuando la torcha está prendida, es recomendable mantenerlas lo más lejos posible.

2.4 GASES

Todos los equipos de gas y sus equipos relacionados, tal como gas combustible, oxígeno y aire comprimido, manómetros, reguladores, etc. deben ser inspeccionados regularmente porque puede haber fugas y conexiones sueltas.

2.5 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Mantenga el equipo en condiciones óptimas. Siga las recomendaciones de mantenimiento del manual de La TORCHA HVOF.

2.6 RETORNO DE LA LLAMA

El retorno de la llama se puede prevenir mediante el mantenimiento adecuado, para ello se debe inspeccionar la torcha y el equipo antes de comenzar a rociar.

El retorno de la llama puede ser causado por una fuga en la boquilla o porque está sucia. Otra razón puede ser el mal uso de la tapa cilíndrica de aire (T-15). Para mayor información diríjase a la sección que se titula Retorno de la Llama que está en el capítulo Como Evitar Problemas descrito en este manual de operación.

2.7 POLVOS METÁLICOS

Toda la suciedad de residuos de polvos puede ser explosiva y/o inflamable. El polvo de aluminio y magnesio son particularmente peligrosos.

Se debe tener un manejo cuidadoso del material metálico. Se debe reducir al mínimo la posibilidad de una explosión debido al termorociado con la torcha por HVOF. Se debe proporcionar una ventilación adecuada para evitar la acumulación de gases y polvo.

La buena limpieza en el área de trabajo es esencial. Se debe inspeccionar y limpiar regularmente para asegurarse de que no haya acumulación de polvo.

2.8 PRECAUCIONES CON LOS CILINDROS DE GAS

Los cilindros de gas cargados son potencialmente peligrosos. Siga las siguientes recomendaciones por su seguridad:

- Nunca coloque un cilindro de gas en posición peligrosa.
- Mantenga los cilindros lejos del calor y la humedad.
- Los cilindros de gas de combustible y oxígeno siempre deben ser atados o encadenados a la pared para evitar que sean golpeados o que estos se caigan.

- Siempre cerrar las válvulas de los cilindros de gas antes de conectar los reguladores.
- Ponga las tapas de las válvulas de los cilindros cuando no estén conectados.
- No cuelgue la TORCHA HVOF ni sus mangueras en los reguladores o las válvulas del cilindro porque esto puede causar un incendio o una explosión.
- Se debe girar la llave de oxígeno hasta la mitad de lo que da una vuelta para que en caso de que exista algún fallo durante la operación se pueda cerrar con facilidad y así se pueda evitar accidentes.
- Abra las válvulas de los cilindros lentamente.
- No deje que los manómetros estén bajo presión cuando el equipo no esté en uso.

El incumplimiento de estas precauciones puede resultar en accidentes graves.

Como recomendación se debe calentar el gas combustible ya sea a la luz o en baño maría para el funcionamiento correcto del mismo.

2.9 REDUCCIÓN DE RIESGOS RESPIRATORIOS

El humo o polvo del material proyectado puede ser tóxico y peligroso. Por eso debe haber un lugar de operación adecuado y contar con un sistema de extracción. **El operador deberá usar una mascarilla adecuada para que pueda respirar con facilidad.**

2.10 REDUCCIÓN DEL RIESGO DE RUIDO

El operador y otras personas cercanas a la operación de termorociado deben ser protegidos de la exposición prolongada al ruido. Es **mandatorio** el uso de tapones auditivos en el área de operación. El nivel de ruido del sistema varía entre 130 a 140 dBA.

2.11 PROTECCIÓN DE LOS OJOS

Siempre use protectores para los ojos cuando use la TORCHA HVOF o esté viendo la operación de termorociado. Inspeccione los protectores para los ojos con frecuencia. Se debe evitar que los lentes se rayen o se dañen porque esto puede nublar la visión y reducir la protección.

3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El polvo se alimenta a través de la torcha en una llama de gas de combustible y oxígeno. Una corriente de aire comprimido restringe la llama que lleva polvo fundido, produciendo un rociado fino y la obtención de la velocidad alta o supersónica de partículas. El aire comprimido también hace el trabajo de enfriar el conjunto de la tapa de aire de la boquilla.

4 INSTALACIÓN

Ensamble la TORCHA HVOF según las indicaciones del capítulo 7 de este manual.

El sistema alimentador de polvo, de gas y de aire deben ir conectados a la pistola mediante mangueras según el diagrama de operación presentado en este manual.

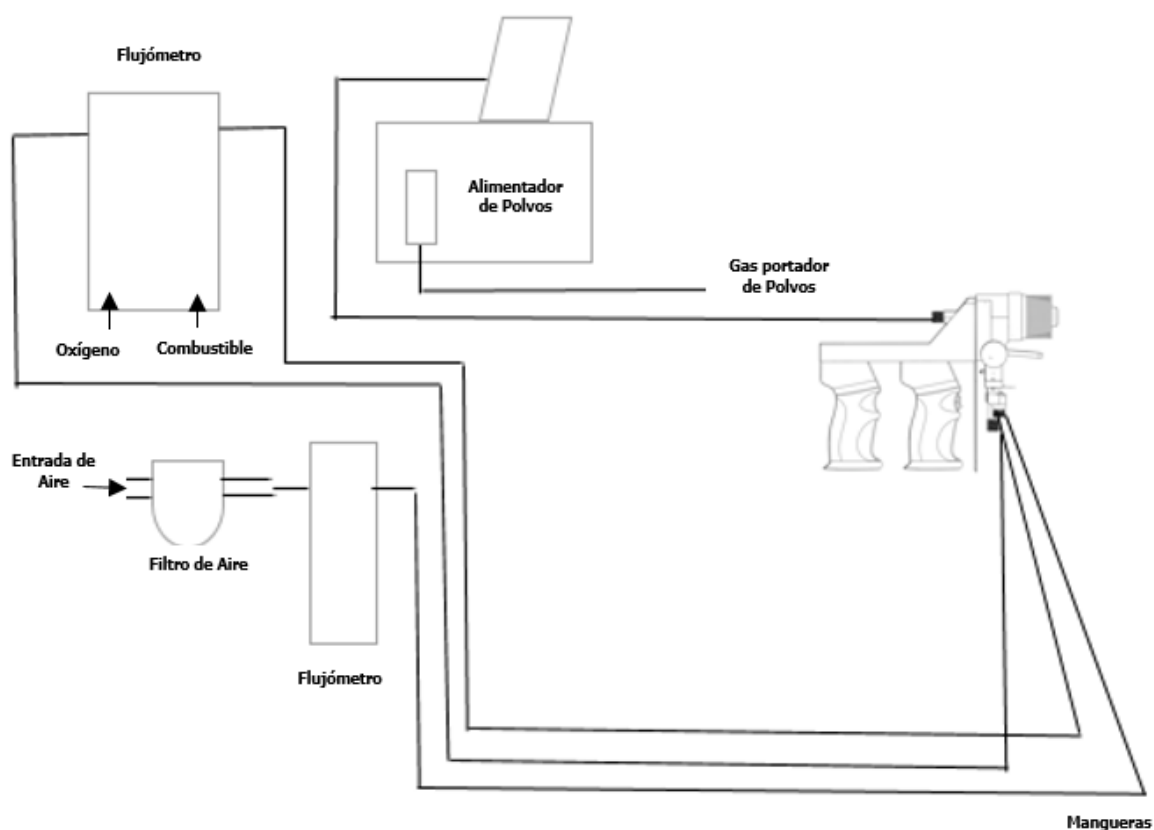
4.1 VERIFICACIÓN

Compruebe las conexiones eléctricas, las presiones del gas combustible y oxígeno antes de abrir una válvula o prender un interruptor.

Es importante asegurar que las mangueras de gases estén conectadas a los correspondientes conectores de entrada en la torcha correctos.

4.2 DIAGRAMA DE OPERACIÓN

En el diagrama que se presenta a continuación se puede ver la configuración de instalación del sistema de termorociado.



5 FUNCIONAMIENTO

5.1 CONTROLES DE OPERACIÓN

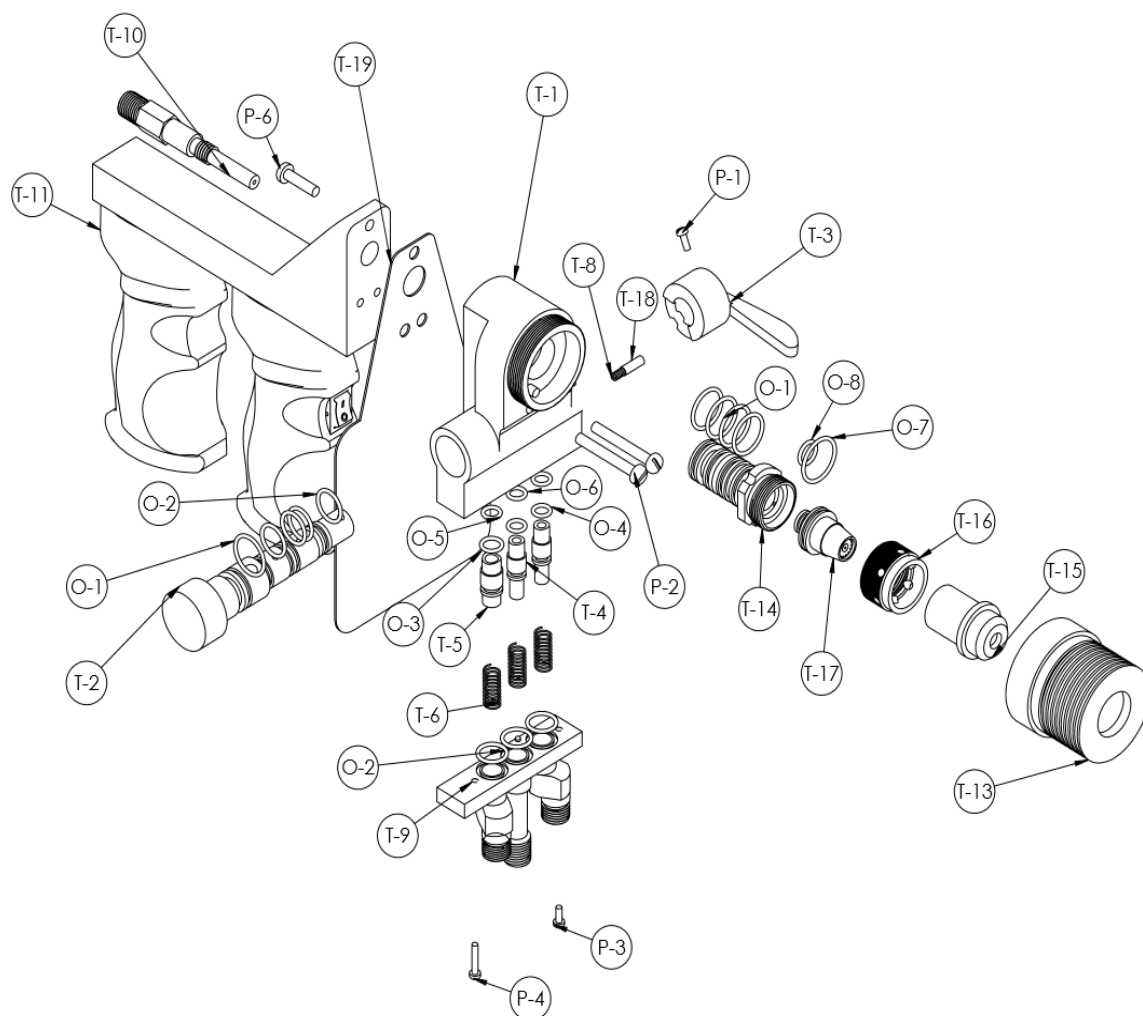
Sólo hay un control operativo en la torcha, el cual es la válvula central. La válvula central controla el flujo de gases y aire.

Al poner la torcha en funcionamiento tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Utilice la boquilla (T-17) y la tapa cilíndrica de aire (T-15) que se muestra en la lista de piezas.
2. El inserto de la boquilla debe estar fijada correctamente dentro de la boquilla. Asegúrese de que las superficies de contacto estén limpias y libres de cualquier tipo de residuo.
3. Asegúrese de que la tuerca de la boquilla esté apretada. Solo se debe apretar con la mano.
4. El sifón de gases debe estar correctamente introducido dentro de la cámara central. Asegúrese de que las superficies de contacto estén limpias y libres de cualquier tipo de residuo.
5. La tapa cónica de aire debe estar bien apretada. Apretar a mano es suficiente.
6. Revise la válvula central para que haya una rotación suave al girar desde la manija. Relubrique si es necesario.

6 PARTES DE LA TORCHA HVOF

EXPLOSIÓN DE COMPONENTES DE LA TORCHA HVOF



6.1 TABLA DE COMPONENTES DE LA TORCHA HVOF

Pieza	Nombre	Cantidad	Tipo
T-1	Cámara central	1	Pieza
T-2	Válvula central	1	Pieza
T-3	Manija	1	Pieza
T-4	Conector Oxígeno	1	Pieza
T-4	Conector Combustible	1	Pieza
T-5	Conector Aire	1	Pieza
T-6	Resorte de conector Oxígeno	1	Pieza
T-6	Resorte de conector Combustible	1	Pieza
T-6	Resorte de Conector Aire	1	Pieza
T-18	Pin de tope	1	Pieza
T-8	Resorte de tope	1	Pieza
T-9	Base de Conexión de gases	1	subconjunto
T-10	Inyector de Polvos	1	Pieza
T-11	Mangos y base de torcha	1	subconjunto
T-13	Tapa cónica de aire	1	Pieza
T-14	Sifón Gases	1	Pieza
T-15	Tapa cilíndrica de aire	1	Pieza
T-16	Tuerca boquilla polvos	1	Pieza
T-17	Boquilla de polvos	1	Pieza
T-19	Placa separadora Base y Cámara	1	Pieza

6.2 TABLA DE O-RINGS

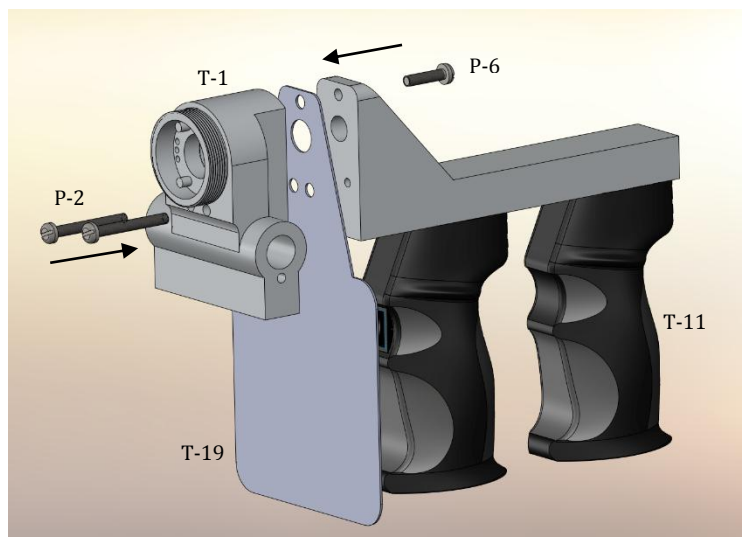
Pieza	Posición	Cantidad
O-1	T-2 (4pcs) y T-14 (1pc)	5
O-2	T-2(4 pcs) y T-9 (3pcs)	7
O-3	T-5	1
O-4	T-4	2
O-5	T-1 Cavity Aire comprimido	1
O-6	T-1 Cavidades Combustible y Oxígeno	2
O-7	T-17	1
O-8	T-17	1

6.3 TABLA DE TORNILLOS

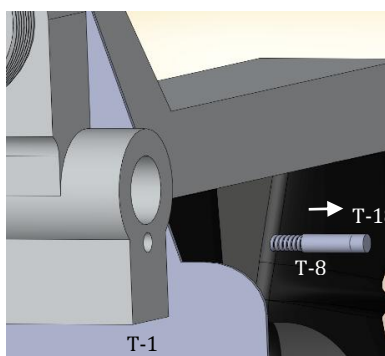
Tornillos	Posición	Cantidad
P-1	Unión T-2 con T-3	1
P-2	Unión T-1 con T-11 (T-19 intermedia)	2
P-3	Unión T-9 con T-1	1
P-4	Unión T-9 con T-1	1
P-6	Unión T-1 con T-11 (T-19 intermedia)	1

7 INSTRUCCIONES DE ENSAMBLAJE

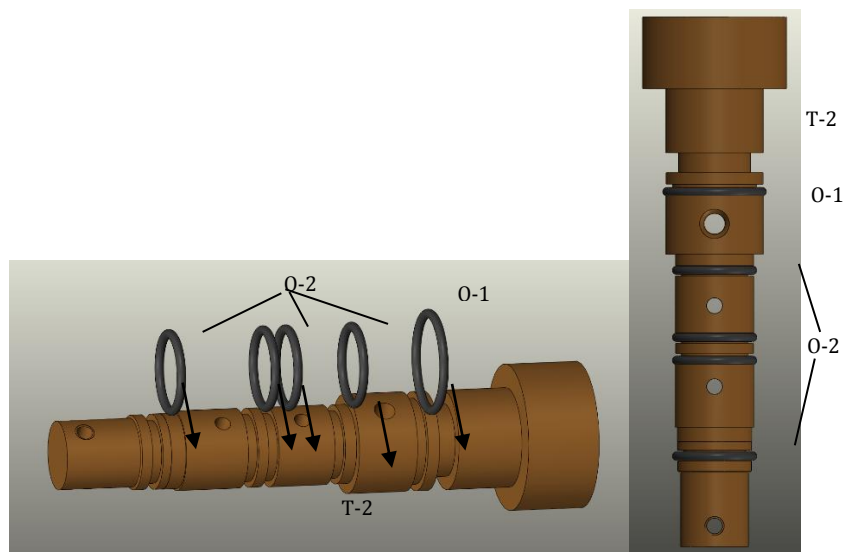
1. La cámara central (T-1) se fija a los mangos y base de la torcha (T-11) mediante tres tornillos: dos tornillos delanteros (P-2) y un tornillo trasero (P-6). La placa (T-19) va entre los dos elementos como guía.



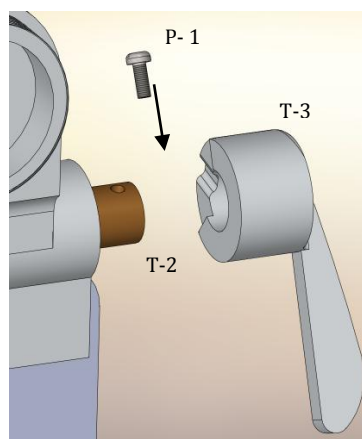
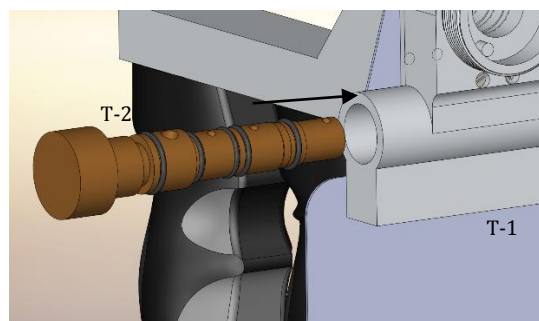
2. Luego colocar el resorte de tope (T-8) dentro del pin (T-18) que a su vez debe ser colocado dentro de la cámara central (T-1) donde servirá de tope para la manija.



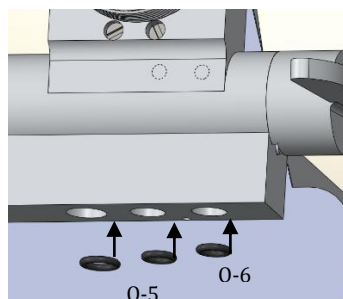
3. Colocar los o-rings (1 pc O-1) y (4 pcs O-2) en la válvula central de acuerdo a lo que indica la figura



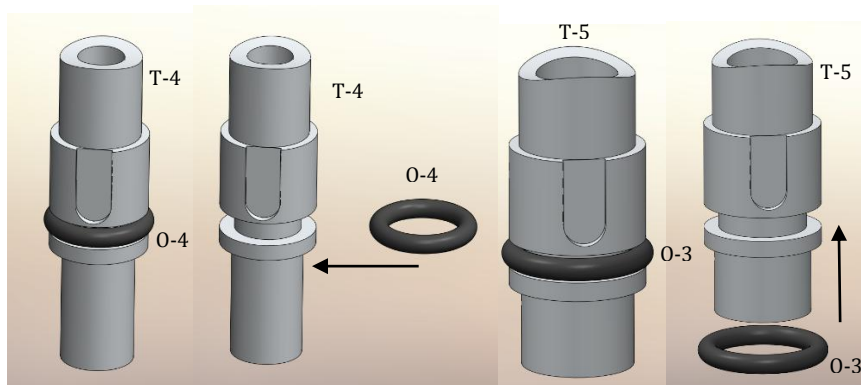
4. La válvula central (T-2) es introducida en la cámara central (T-1) que es sujeta con la manija (T-3) y el tornillo (P-1).



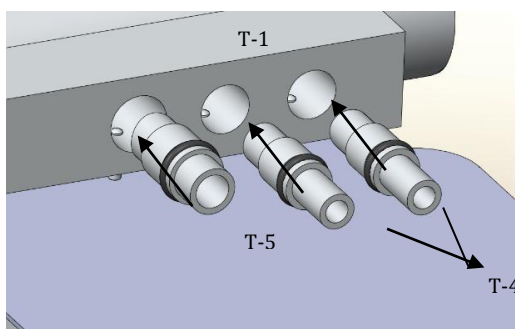
5. En los orificios de la parte inferior de la cámara central (T-1) colocamos los o-rings O-5 (1 pc dentro de la cavidad de aire comprimido que es de mayor diámetro) y O-6 (2 pc en las cavidades de combustible y oxígeno).



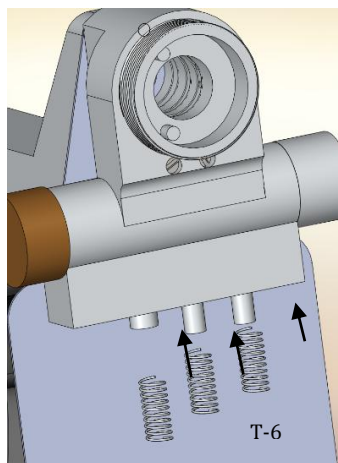
6. Colocar los o-rings, 1 pc O-3 al conector de aire (T-5), 1 pc O-4 al conector de combustible (T-4) y 1 pc O-4 al conector de oxígeno (T-4).



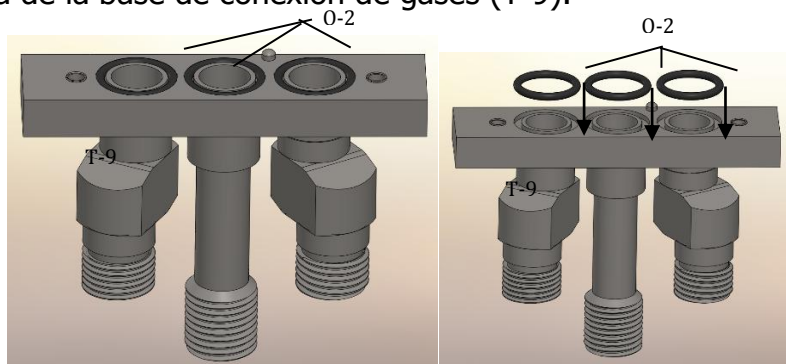
7. Ingresar el conector de aire (T-5) en la parte inferior de la cámara central (T-1) hacer el mismo paso con las el conector de combustible y de oxígeno (T-4). Ayúdese con las guías que están dentro de la cámara central.



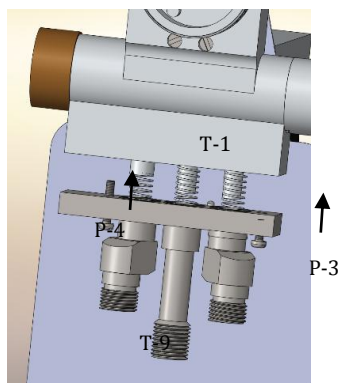
8. Poner los resortes T-6 en el conector de aire T-5, oxígeno y combustible T-4.



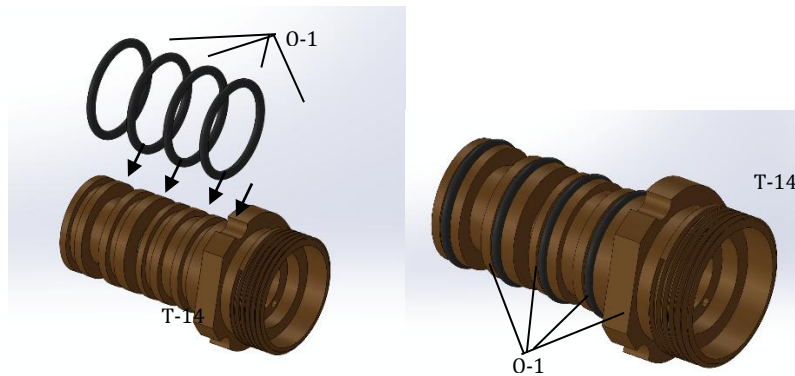
9. Coloque los o-rings O-2 en los orificios que se encuentran en la parte interna de la base de conexión de gases (T-9).



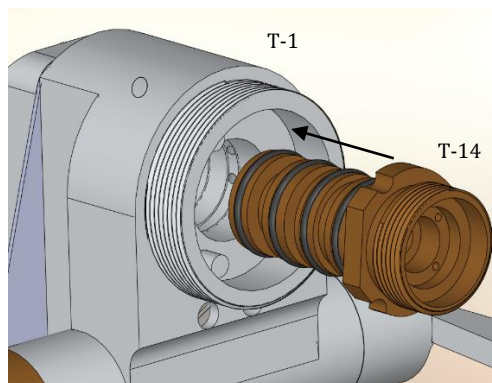
10. Utilice los tornillos P-4 y P-3 para unir la base de conexión de gases (T-9) a la cámara central (T-1). El tornillo P-4 va junto al conector de aire comprimido.



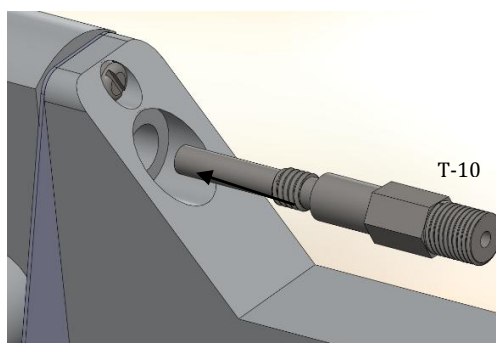
11. Coloque 4 o-rings O-1 en la pieza sifón de gases (T-14).



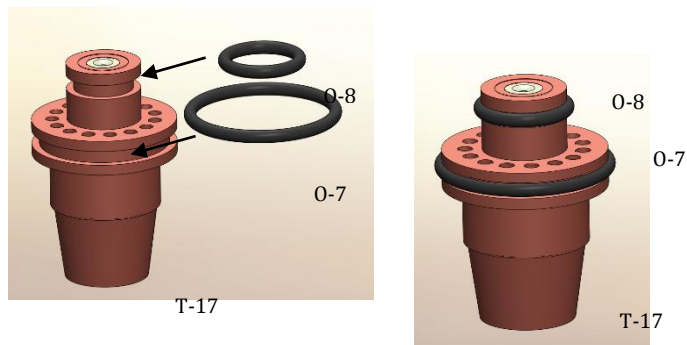
12. Introduzca la pieza sifón de gases (T-14) en la cámara central (T-1) usando las guías que tiene.



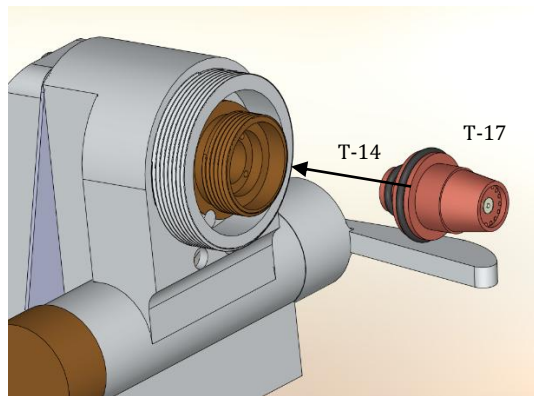
13. Introduzca el inyector de polvos (T-10) en la pieza sifón de gases (T-14) pero hágalo desde la parte trasera del sistema.



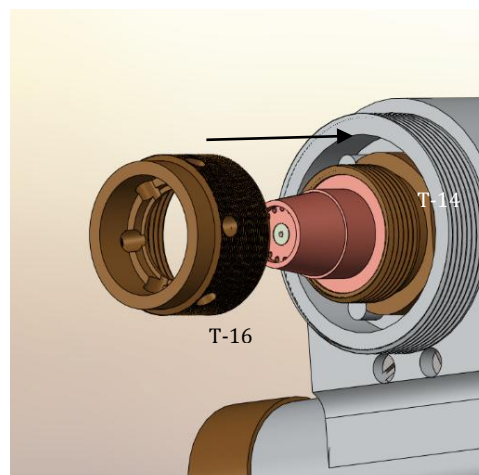
14. Coloque un-ring O-7 en la boquilla de polvos (T-17) y otro o-ring O-8 también en la misma pieza (T-17).



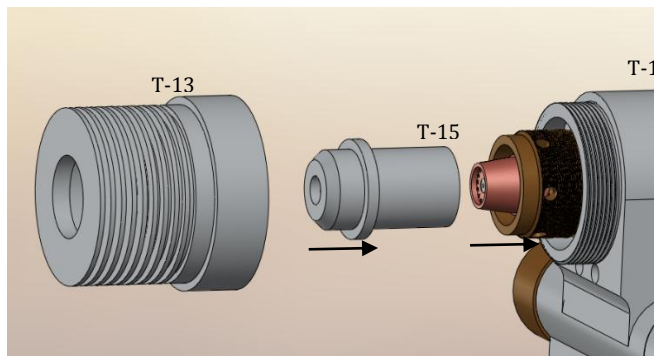
15. Poner la boquilla de polvos (T-17) encima de la pieza de sifón de gases (T-14).



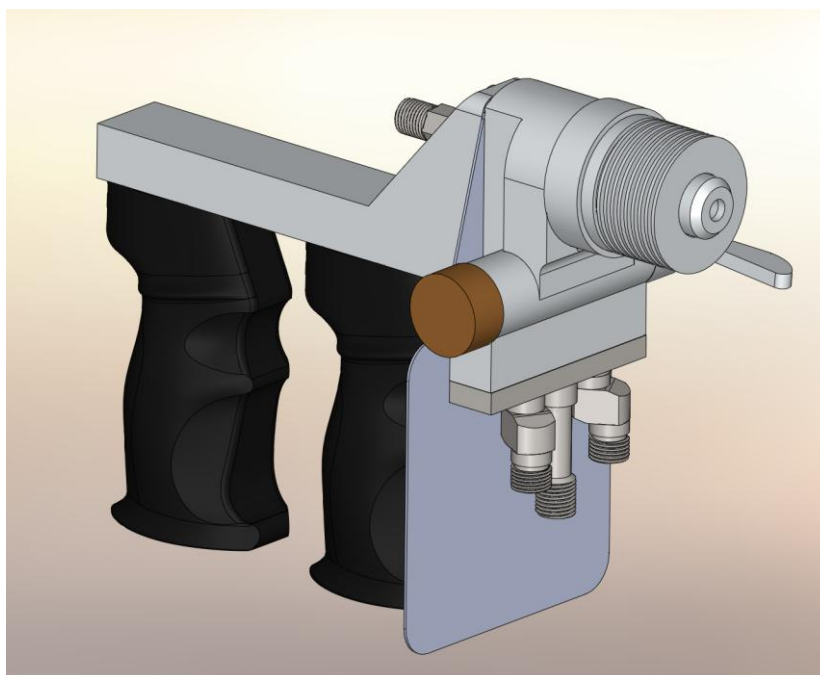
16. Ajustar la tuerca boquilla de polvos (T-16) a la pieza sifón de gases (T-14).



17. La tapa cilíndrica de aire (T-15) se introduce en la tuerca boquilla de polvos y como último paso la tapa cónica de aire (T-13) se ajusta a la cámara central (T-1).



Ensamblaje Completo



8 CÓMO EVITAR PROBLEMAS

8.1 CUIDADO GENERAL DE LA TORCHA HVOF

El punto más importante en la lubricación de la TORCHA HVOF es la limpieza.

Antes de lubricar, limpie la torcha a fondo para eliminar todo rastro del polvo. La tabla que se muestra en el capítulo 9 contiene un programa de mantenimiento sugerido.

Si la torcha se usa frecuentemente deben tener un intervalo de mantenimiento más corto. Los principales factores que afectan la frecuencia del mantenimiento son:

1. Frecuencia de encendido.
2. La temperatura a la que opera la torcha.

8.2 MANGUERAS

- La obstrucción en las mangueras reduce el flujo de oxígeno y gas que como resultado puede alterar el equilibrio de la llama.
- No permita que exista aceite en las mangueras. El aceite en la manguera de oxígeno es muy peligroso. En cualquiera de las mangueras la presencia de aceite ablandará el plástico que hay dentro de ellas y provocará malfuncionamiento.
- En una manguera desgastada, el revestimiento podría desprenderse y taponar la misma.
- Si los conectores hacia la manguera están excesivamente apretados, las cabezas de los conectores pueden averiarse reduciendo el flujo de gases y causando problemas como obstrucciones en las mangueras.

NOTA: Utilice sólo mangueras de alta presión.

8.3 ENCENDIDO DIFÍCIL

Si la torcha tiene dificultad en encenderse, asegúrese de que la boquilla y el sifón de gases estén limpios y en buen estado. Si el problema persiste, proceda a desconectar las mangueras. Inspeccione las mangueras y racores de la torcha en busca de suciedad u otra obstrucción. Haga circular aire por las mangueras antes de volver a conectarlas.

Antes de encender la torcha que ha estado inactiva durante algún tiempo o después de que la válvula ha sido lubricada, se recomienda pasar gases y aire en posición de abierto y cerrado usando la válvula. Esto eliminará cualquier exceso de lubricante del sistema, los excesos de lubricante causan problemas de encendido de la torcha.

El paso de gas portador de polvo debe estar abierto y el alimentador de polvos debe mostrar una lectura de 15 antes de ser encendido.

8.4 RETORNO DE LA LLAMA

Si en la torcha retorna la llama hará un sonido como "pop" y el sifón de gases se encenderá. Apague la torcha de inmediato y espere unos treinta segundos antes de volver a encenderla.

Estas son algunas causas para el retorno de la llama:

1. Fuga en la boquilla
2. Suciedad en la boquilla.
3. Orificios de la boquilla sobredimensionados o irregulares.
4. Orificios de purga del sifón de gases obstruidos.
5. Uso de la tapa de aire incorrecta.
6. Tasa de oxígeno y gas combustible desequilibrado.
7. Sobredimensión del diámetro del inserto de la boquilla (más de 1,2 mm)
8. Uso equivocado de la boquilla y/o sifón de gases.
9. El flujo de gas portador no está abierto.
10. El flujo de gas portador no debe ser aumentado de 20-25 inmediatamente después del encendido.

El retorno de la llama puede ocurrir en solo uno de los canales y los otros pueden operar normalmente. La llama de repente se volverá unilateral. Se debe parar la operación inmediatamente para evitar el sobrecalentamiento del sifón de gases y de la cámara central. Sustituya la boquilla y limpie el sifón de gases pues es la mejor y más económica solución.

El retorno prolongado de la llama o permitir que el gas se quemara demasiado tiempo hace que sea necesario limpiar los orificios del sifón de gases y la boquilla. También puede hacer que la tuerca de la boquilla se aisle.

La causa del retorno de la llama se debe encontrar y corregir de inmediato.

8.5 SIFÓN DE GASES

Esta parte debe ser limpiada con regularidad. Las instrucciones para su montaje y desmontaje se dan en la sección de "Ensamblaje". Limpie los orificios con un alambre del tamaño adecuado. No utilice brocas. No utilice alambres de gran tamaño. No gire los alambres

Hay dos pequeños orificios de purga de aire en el sifón de gases, que están cerca de la sección roscada. Estos agujeros permiten que el aire circule alrededor del inyector de polvos. Si se tapan, la boquilla de polvo puede sobrecalentarse, causando el retorno de la llama o que se pegue el polvo. Al momento de limpiar el sifón de gases, asegúrese de limpiar estos orificios de purga con un alambre de tamaño adecuado.

No lave los o-rings con solvente fuerte. Inspeccione si presentan daños y reemplácelos si es necesario. No estire los o-rings más de lo necesario al instalarlos al sifón de gases. Lubrique los o-rings con una buena cantidad de lubricante antes de volver a colocarlos. Limpie cualquier exceso de lubricante que pueda tapar los orificios.

8.6 ENSAMBLE DE LA BOQUILLA

El conjunto de boquilla consta de dos partes principales:

1. Boquilla
2. Inserto de la boquilla

La punta de la boquilla debe mantenerse limpio. Para limpiar la boquilla, extraiga el inserto del conjunto. Lave tanto el inserto y la boquilla en disolvente de limpieza. No moje los o-rings en solvente. Inspeccione si presentan daños y reemplácelos si es necesario. No estirar más de lo necesario los o-rings cuando se pongan en la boquilla. Lubrique los o-rings. Para limpiar los orificios, hágalo con un alambre del tamaño adecuado. No utilice brocas. No lo rote. Use aire comprimido para limpiar los agujeros desde el más pequeño al más grande. Ponga el inserto otra vez en la boquilla.

El inserto es un componente crítico para la alimentación de polvo. El diámetro interno del inserto es de 1mm. Dicho diámetro en ningún caso puede ser mayor de 1.2 mm. Si debido al desgaste el inserto de la boquilla es mayor a 1.2 mm se debe reemplazarlo.

8.7 LA VALVULA CENTRAL

La válvula central está diseñada para una larga vida útil con un mínimo mantenimiento. Tiene una forma cilíndrica y usa o-rings para un sellado adecuado.

No desmonte la válvula para limpiar y lubricar, a menos que se haya vuelto muy dura de girar o haya una fuga. Las instrucciones para hacerlo están en el capítulo 7. Si en la válvula se desarrolla alguna fuga, examine los o-rings y reemplácelos si tienen signos de desgaste o están dañados.

Nunca sumerja los o-rings en solvente.

Lubrique todos los o-rings de la válvula. Evite cubrir los orificios con exceso de lubricante.

8.8 FLUJO Y PRESIONES DE ENCENDIDO

En la siguiente tabla se detalla rangos normales de flujo y presiones de encendido.

	Oxígeno	Combustible	Aire
Presión (psi)	100	71	78
Flujo(L/min SLPM)	200	40	550

9 RUTINA DE MANTENIMIENTO

Operación de mantenimiento	Intervalos	Observaciones
Limpie el inserto de la boquilla y chequee el diámetro interior	Antes de la operación	Si el tamaño del agujero es mayor de 1.2 mm sustituya el mango
Limpie el exterior de la torcha	8 Hrs.	
Limpie la tapa cilíndrica de aire	8 Hrs.	Limpie el hollín
Limpie los agujeros de la boquilla	16 Hrs.	Utilice un alambre de diámetro adecuado para la boquilla.
Limpie los agujeros del sifón de gases y los agujeros de purga	40 Hrs.	Utilice un alambre de diámetro adecuado para los agujeros de purga
Limpie y lubrique la válvula central de gas	500 Hrs.	Lubricar