



**UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“DISEÑO DE UNA SERVOVÁLVULA PARA TURBINA
COPBUS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTA:

ROGELIO ALBERTO VELAZQUEZ GARIBAY

ASESOR:

M. en I. HUMBERTO MANCILLA ALONSO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padre Teresa y Rogelio, y a mi hermana Teresa por apoyarme en todo momento, brindarme las facilidades para lograr mis metas y darme su cariño incondicional.

Agradezco a mis profesores por transferirme parte de sus conocimientos, en especial a mi asesor y amigo el M. en I Humberto Mancilla Alonso por confiar en mí para la realización de este trabajo y por guiarme en el desarrollo de este mismo.

Agradezco a todos mis amigos con los he contado en el transcurso de mi vida. A Juan Carlos, Johan y Edgar por estar siempre conmigo en todas nuestras aventuras. A mis amistades de la facultad, en especial a Ricardo, Samuel, Luis Samuel y Alejandro porque a pesar de nuestros disgustos escolares siempre es una fiesta estar con ustedes. A todos los integrantes del Club de Mecatrónica en donde se ha desarrollado este trabajo. Y a mi amigo Pope que estuvo ahí para amenizar estos años.

A mi casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación académica y profesional desde mi estancia en el CCH Oriente y en la FES Aragón. Al proyecto PAPIME PE101614 por el apoyo económico, así como a sus participantes, el M. en C. Jorge Vásquez Cervantes y al Técnico Académico Rosendo Méndez Gallo por su apoyo en los Laboratorios 1 y 2.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO	4
1. LEVANTAMIENTO	5
1.1 Necesidad y Problemática.....	6
1.2 Antecedentes.....	8
1.2.1 Ciclo Rankine.....	8
1.2.2 Válvulas	10
1.2.3 Sistema de Supervisión y adquisición de datos.....	12
1.3 Estado del Arte	14
1.3.1 Electroválvulas	14
1.3.2 Válvulas Proporcionales.....	14
1.3.3 Servoválvulas	15
1.4. Requerimientos de diseño	17
2. DISEÑO CONCEPTUAL	19
2.1 Descomposición de funciones	20
2.2 Configuración.....	21
2.3 Composición.....	22
3. DISEÑO DE DETALLE.....	27
3.1 Componentes.....	28
3.1.1 Obturador	28
3.1.2 Bushing	29
3.1.4 Junta	31
3.1.5 Prensaestopas	31
3.1.6 Tuerca de ajuste	32
3.1.7 Pernos	32
3.1.8 Resorte	33
3.1.9 Tuerca redonda	33
3.1.10 Vástago.....	34
3.1.12 Soporte	35
3.1.13 Motor.....	36
3.1.14 Carcasa.....	37
3.2 Materiales	38
3.2.1 Acero Inoxidable 316	38
3.2.2 Acero al carbón 1018	39

4. RESULTADOS	41
4.1 Pruebas de laboratorio.	42
4.2 Pruebas en sitio.....	43
CONCLUSIONES	47
A. PLANOS	48
BIBLIOGRAFIA	64
REFERENCIAS.....	64

INTRODUCCIÓN

El origen de este trabajo surge a partir de la necesidad de complementar el sistema de adquisición de datos instalado en el ciclo Rankine del L-2 con actuadores que cumplieran los requisitos de funcionamiento de la turbina y poder ofrecer prácticas de laboratorio de mejor calidad en las cuales la operación de la turbina fuese más sencilla y segura para los estudiantes y el docente.

Después de realizar un pequeño estudio de mercado sobre las servoválvulas para vapor y conocer las opciones con las que se contaba en el mercado, se determinó que la mejor alternativa era diseñar un dispositivo que pudiera ser controlado automáticamente, fuera compatible con la interfaz del ciclo Rankine y que tuviera un costo más accesible.

La presente tesis cuenta con cuatro capítulos. El primero proporciona la justificación para el desarrollo del diseño y el encuadre al tema en general, aportando una reseña de los trabajos anteriores a esta tesis así como también la descripción de dispositivos similares al producto del proyecto estableciendo los requerimientos de diseño de este.

Una vez conocidos los objetivos a cumplir y los requerimientos del diseño el capítulo dos muestra los bocetos conceptuales partiendo de la válvula manual con la que contaba la turbina. Luego de analizar varias propuestas que surgieron a partir de las funciones que tiene que cumplir el dispositivo, se escogió un concepto que ofrece versatilidad en operación, mantenimiento y manufactura.

El capítulo tres muestra la función de cada uno de los componentes mecánicos que integra el diseño final y la interacción entre ellos. El último capítulo aborda las pruebas de funcionamiento realizadas para la entrega de la servoválvula, por medio de un sistema de control diseñado para la operación de este dispositivo.

La demanda de dispositivos de este tipo por parte de las industrias ha permitido que algunos fabricantes lancen al mercado modelos de servovalvulas genéricos que pueden adaptarse a una gran variedad de necesidades, sin embargo el costo de estos productos es tan elevado que llegan a cotizarse en miles de dólares por pieza. Por lo que el diseño desarrollado en el presente trabajo resulta ser una solución económica y más particular para las necesidades del laboratorio.

OBJETIVO

Diseñar un dispositivo mecánico que pueda ser controlado automáticamente para que regule el flujo de vapor en la turbina COPPUS del laboratorio de máquinas térmicas, con la finalidad de mantener una generación de CC constante. Esto ayudara a los alumnos de la FES Aragón a comprender de manera más práctica los procesos automáticos que se utilizan en las plantas de generación eléctrica, también aumentara la seguridad de la operación de la turbina ya que la manipulación directa de las válvulas de inyección de vapor podrá ser reemplazada por un mecanismo que limite la interacción de los operarios con la turbina.



LEVANTAMIENTO

*“Espíritu libre es hambre de saber insaciable”
(Danger AK)*

1.1 Necesidad y Problemática.

La producción de energía eléctrica en México es un sector industrial muy importante dentro del cual la ingeniería mecánica consolida su importancia en todos los métodos de generación, dentro de los cuales destaca principalmente el ámbito termoeléctrico el cual provee aproximadamente el 76% de la energía eléctrica consumida en el país, aquí surge la obligación de las instituciones educativas en instruir ingenieros afines a los métodos actuales.

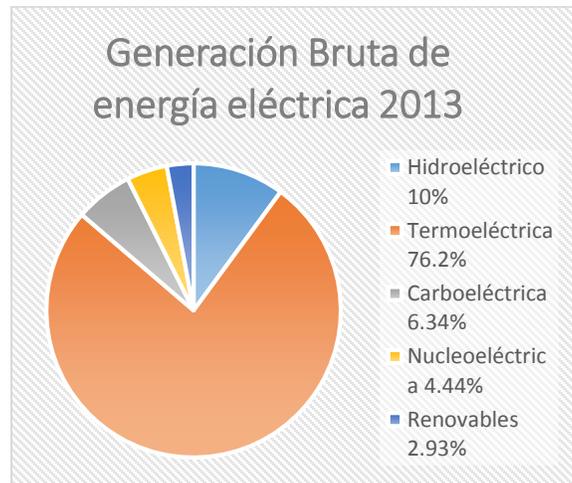


Figura 1.1. Generación bruta de energía eléctrica (1).

Actualmente la mayoría de las plantas de generación eléctrica se basan en ciclos de potencia de vapor y aunado a esto utilizan sistemas de supervisión y de control digitales automáticos que facilitan las actividades entre los operadores y los equipos mecánicos, también aumentan la seguridad de los operarios ya que restringen la interacción con los equipos que podrían causar daños a la integridad física dadas las altas presiones y temperaturas que se desarrollan en la generación de vapor.

Dichos sistemas de supervisión y control son carentes en los equipos de laboratorio convencionales de las instituciones de educación que imparten el área Térmica, por lo que se genera un desfase entre la capacitación y la aplicación.

La FES Aragón cuenta con los equipos para proporcionar las prácticas correspondientes a la generación termoeléctrica por medio de un ciclo Rankine, los cuales son:

- Bomba
- Caldera y Sobrecalentador.
- Turbina
- Condensador

En la actualidad el desarrollo de dichas prácticas suele ser muy convencional, es el caso de tomar notas en un cuaderno, maniobrar los equipos directamente, realizar lecturas con instrumentos como cronómetros manuales, termómetros de mercurio entre otros. Dichas acciones restan eficiencia a las prácticas ya que el alumno suele distraerse e incluso podrían someterlos a situaciones inseguras, por lo que se da la necesidad de actualizar los equipos con los que cuentan nuestros laboratorios.

Las alternativas para mejorar el sistema son muy amplias y podrían derivarse en modificación, mejora o sustitución de algunos elementos del ciclo con lo que se puede automatizar el proceso para mejorar e incrementar la infraestructura del laboratorio. Este es el caso de la turbina de vapor, cuya operación es completamente manual y su funcionamiento es esencial para la enseñanza de la generación eléctrica

La turbina con la que se cuenta en el Laboratorio de Maquinas Térmicas, es una COPPUS tipo RLA de una sola etapa que funciona con vapor sobrecalentado, comúnmente se utilizan para bombas de aceite lubricante, bombas de agua de alimentación, ventiladores y generadores para aplicaciones de 1HP a 1000HP. En este caso la turbina esta acoplada a un generador de Corriente Continua, la turbina gira su eje que esta acoplado al del generador gracias al vapor que fluye por sus alabes, este vapor es proporcionado por el generador de vapor mediante un sistema de tubería y el flujo de este hacia el rotor es regulado por 4 válvulas manuales permitiendo un funcionamiento flexible y el aumento de la eficiencia a carga parcial.

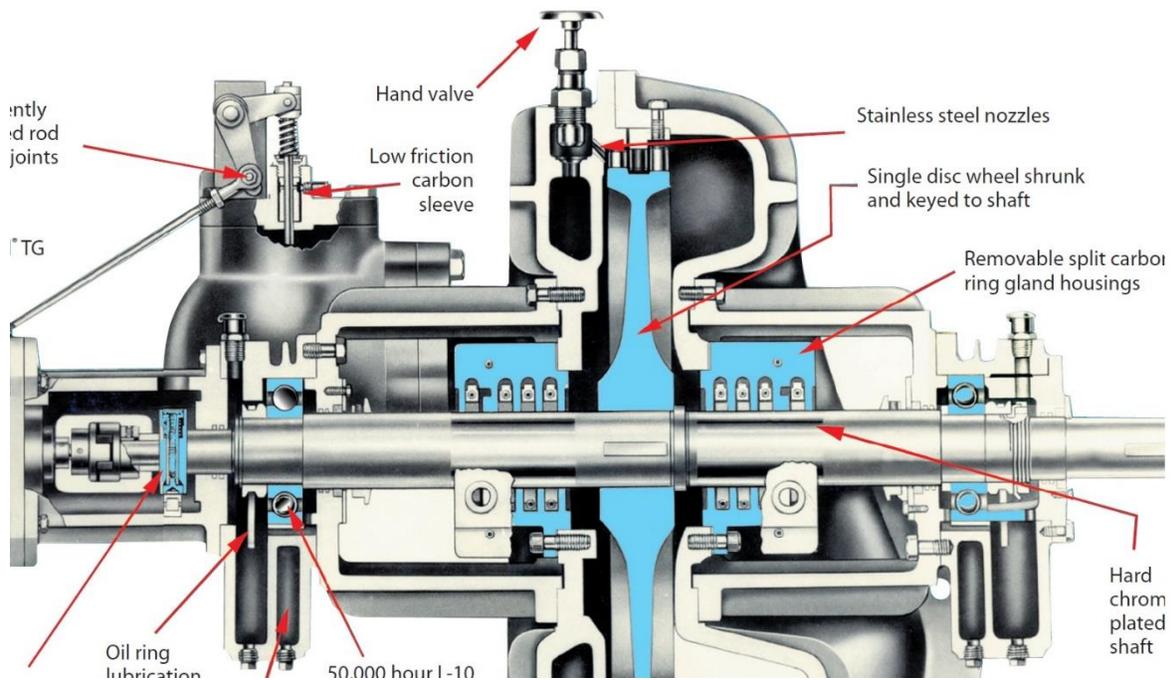


Figura 1.2 Vista de sección de una turbina COPPUS tipo RLA.

La sustitución de estas válvulas manuales por unas automáticas aunadas a un sistema de adquisición de datos les permitirá establecer un control en la generación de CC de salida dependiendo de la potencia eléctrica requerida actualizando así el funcionamiento de la turbina.

La carencia del material de laboratorio idóneo se debe principalmente a los altos costos que tienen en el mercado y la escases de equipos que tengan la escala adecuada para realizar demostraciones a nivel educativo que sean claras, lúdicas y comprensible. El empleo de dichas válvulas automáticas presentaría ciertos problemas ya que actualmente en el mercado tienen un costo demasiado elevado, los precios oscilan entre los \$50,000 hasta los \$170,000 dependiendo del tamaño, marca, calidad y mecanismo, precio que solo incluye la válvula ya que la etapa de control debe de ser específica para el tipo y modelo de la válvula y cuyo costo es adicional al de esta por otro lado la construcción de su cuerpo no

es compatible con la turbina por lo que de utilizarse estas válvulas existentes en el mercado habría que hacer un gasto adicional en realizar una adaptación. Por lo que se requiere del diseño de una válvula con un costo accesible, que sea compatible y realice la función de regulación automática.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Ciclo Rankine

Como se menciona anteriormente un rubro muy importante para el área térmica de la ingeniería mecánica es la generación de electricidad por medio de ciclos de potencia de vapor. El ciclo Rankine es un ciclo de potencia de vapor, en donde el fluido de trabajo es agua que se evapora y condensa alternadamente, la cual es la más utilizada por su disponibilidad, bajo costo y alta entalpia de vaporización. Este ciclo es el ideal que sirve de base al funcionamiento de las centrales térmicas con turbinas de vapor. Aunque difieren en la fuente de energía que utilizan para generar el cambio de agua a vapor sobrecalentado, esta puede ser un combustible de origen fósil como gas natural, mineral como carbón, por medio de reacciones nucleares o incluso aprovechando energía solar o geotérmica. Pero independientemente del método utilizado para generar vapor todas incurren en el ciclo Rankine el cual está compuesto de los siguientes 4 procesos:

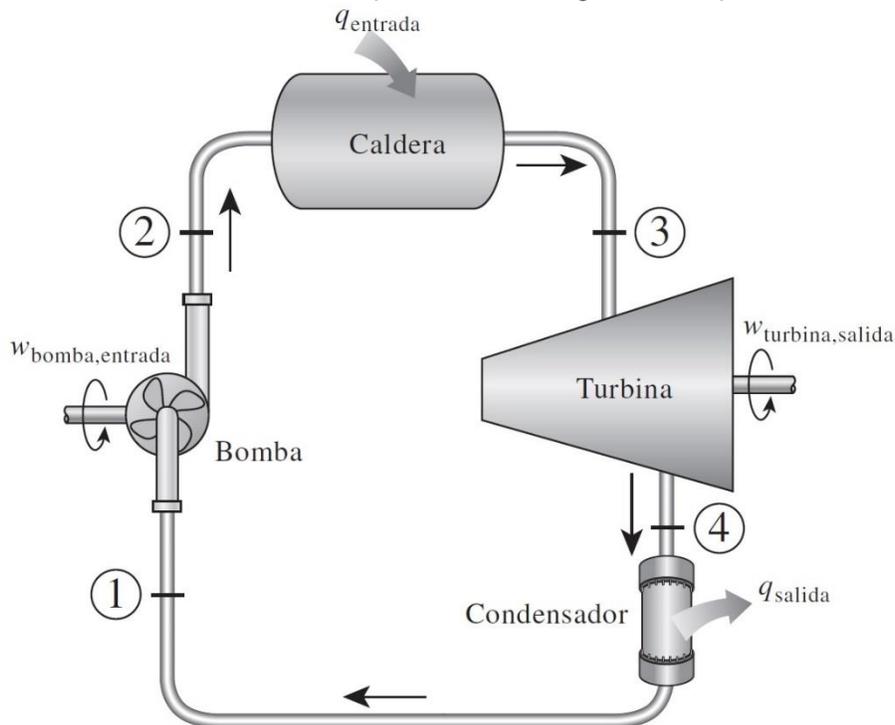


Figura 1.3. Ciclo Rankine ideal simple.

- 1-2 Compresión isoentrópica en una bomba.
- 2-3 Adición de calor a presión constante en un generador de vapor.
- 3-4 Expansión isoentrópica en una turbina.
- 4-1 Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

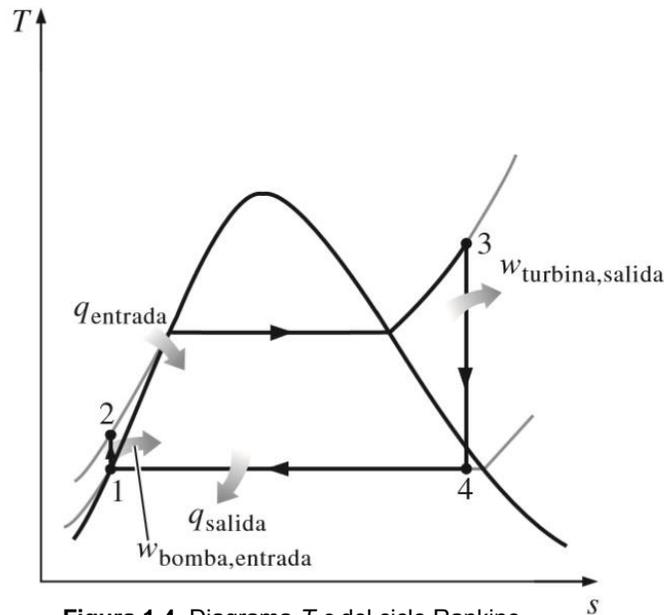


Figura 1.4. Diagrama T-s del ciclo Rankine.

Comúnmente los ciclos de potencia de vapor instalados son de gran escala para poder generar gran cantidad de energía eléctrica. En el caso de la FES Aragón, se cuenta con un pequeño equipo que ayuda a comprender el funcionamiento del ciclo Rankine cuyo principio de operación se puede resumir de la siguiente manera:

1-2 Compresión isoentrópica en una bomba. El agua se bombea desde el tanque de condensados hacia la caldera por medio de una bomba recíprocante de doble efecto con diafragma. Durante esta acción la presión del agua aumenta con lo cual también hay un pequeño incremento de la temperatura debido a una ligera disminución en el volumen específico del agua.

2-3 Adición de calor a presión constante en un generador de vapor. La caldera es básicamente un intercambiador de calor en el cual la transferencia de calor se lleva a cabo por medio de un tubo en forma de espiral por donde fluye el agua en contrasentido a los gases producto de la combustión del diésel. Durante esta transferencia de calor se realiza un cambio de fase de líquido saturado a vapor saturado.

El vapor que sale de la caldera pasa al domo separador el cual es un cilindro vertical en el cual el vapor entra por la parte inferior y es conducido hasta una boquilla que lo obliga a girar. La humedad contenida se adhiere a las paredes y cae al fondo para ser desalojado por una trampa de agua y llevado al tanque de condensados, de esta manera se garantiza la salida de vapor saturado.

El vapor saturado pasa a un distribuidor en donde se puede elegir su destino que puede ser:

- El intercambiador de calor del laboratorio.
- El tanque de condensados del ciclo Rankine.
- El conjunto de calorímetros del banco de vapor.
- El sobrecalentador del ciclo Rankine.
- La atmosfera.

En este caso, se alimenta el sobrecalentador para poder continuar con el ciclo, cuyo objetivo es elevar la temperatura del vapor para que pase a una fase de vapor sobresaturado para que esté en óptimas condiciones de pasar hacia la turbina de vapor, ya que el vapor sobresaturado es seco por lo que es menos corrosivo. La caldera junto con el sobrecalentador recibe el nombre de generador de vapor y el recorrido del fluido de trabajo por ambos es isobárico.

3-4 Expansión isoentrópica en la turbina

El vapor sobrecalentado entra a la turbina por medio de un cabezal de inyección en el cual se encuentran 4 válvulas que controlan el flujo de vapor. Al abrir cada una de estas se permite el paso de vapor a su tobera correspondiente e impactando con los alabes de la turbina, la energía cinética del fluido se convierte en trabajo al hacer girar el eje que esta acoplado a un generador eléctrico de CC. El generador cuenta con 5 resistencias que al ser accionadas independientemente generan una carga adicional que ocasiona una disminución en la velocidad de giro de la turbina por lo que requiere un aumento en el flujo de vapor para estabilizarse nuevamente.

4-1 Rechazo de calor a presión constante en un condensador. El condensador es un intercambiador de carcasa y tubo en el cual se suministra un flujo de agua de enfriamiento por los tubos de las paredes, el vapor que pasa por el otro circuito del condensador cede calor por medio de las paredes de los tubos para lograr un cambio de fase isobárico de vapor saturado a líquido saturado (condensación). El condensado producto de este proceso pasa al tanque de condensados para completar el ciclo.

1.2.2 Válvulas

Las válvulas son mecanismos con los cuales se puede iniciar, detener o regular la circulación de un fluido mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. La variedad en diseños, materiales y aplicaciones dificulta una clasificación completa de estas, sin embargo suelen catalogarse según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Las aplicaciones de las válvulas son bastante amplias, dentro de las cuales se pueden destacar la regulación, confinamiento y desahogo del flujo.

En general el cuerpo contiene en su interior el obturador y los asientos, además está provisto de roscas o bridas para hacer la conexión de la válvula. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en dirección a su propio eje o bien tener un movimiento rotativo, está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y este es manipulado para realizar la acción de regulación.

Algunos tipos de válvulas más comúnmente usados en la industria para la regulación de caudal son:

- Válvula de Bola:** El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de bola o esfera. La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

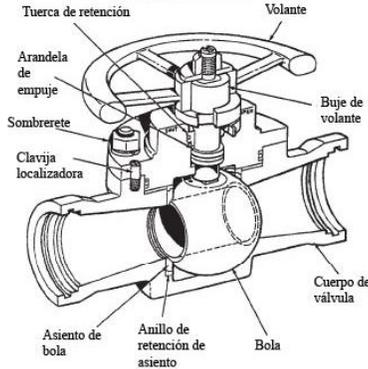


Figura 1.5. Válvula de bola.

- Válvula de Jaula:** Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula. Se caracteriza por el fácil desmontaje del obturador y por que este puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de teflón que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

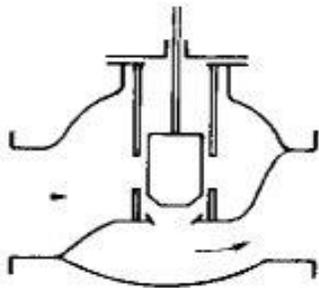


Figura 1.6. Válvula de Jaula.

- Válvula de Compuerta:** Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total.

- Válvula de Mariposa:** El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está totalmente abierta (en control todo-nada se consideran 90 grados y en control continuo 60 grados, a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es bastante inestable), siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la sección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de presión a baja presión.



Figura 1.7. Válvula de Mariposa.

- Valvula de aguja:** La válvula de aguja es llamada así por el vástago cónico que hace de obturador sobre un orificio de pequeño diámetro en relación el diámetro nominal de la válvula. El desplazamiento del vástago, si es de rosca fina, es lento y el hecho de que hasta que no se gira un buen número de vueltas la sección de paso del fluido es mínima, convierte esta válvula en una buena reguladora de caudal, por su estabilidad, precisión y el diseño del obturador que facilita un buen sellado metálico, con poco desgaste que evita la cavitación a grandes presiones diferenciales.



Figura 1.8. Válvula de Aguja.

1.2.3 Sistema de Supervisión y adquisición de datos

Para mejorar la calidad de la enseñanza en los laboratorios de máquinas Térmicas se propuso la instalación del sistema de supervisión y adquisición de datos para el ciclo Rankine, dentro de la tesis con el mismo nombre realizada por Santiago Adán Nicolás García que mejora la infraestructura de la facultad y acerca al alumno a la tecnología que se está utilizando en la industria.

Los sistemas de adquisición de datos nos permite el monitoreo de fenómenos físicos por medio de lecturas que son capturadas, almacenadas, procesadas y exhibidas. Se conforman de tres elementos:

- Sensores.
- Tarjetas de adquisición de datos.
- Interfaz.

Los sensores son dispositivos que nos permiten detectar magnitudes físicas y transformarlas en variables eléctricas.

Las tarjetas de adquisición de datos son módulos electrónicos que se conectan a una PC a través de distintos tipos de bus como puede ser PCI, PCI Express, PXI, USB, Ethernet, Wi-Fi. Existen diversos tipos, las más sencillas consisten en un hardware de adquisición que solo convierte la señal analógica de entrada en una señal digital que es enviada a la PC sin ningún procesamiento, las más completa se encargan de realizar todo el acondicionamiento de señales requerido en un sistema de adquisición de datos, que son la etapa de filtrado, amplificación y conversión analógica-digital.

La interfaz es la conexión física y funcional entre dos sistemas o dispositivos dando una comunicación en distintos niveles. Para monitorear el ciclo Rankine es necesario procesar todas las señales que recolecta la tarjeta de adquisición de datos. Para observarlas y guardar los datos necesarios para las prácticas de laboratorio, se diseñó una interfaz con software de LabView que es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar interfaces con un sistema de programación visual gráfico.

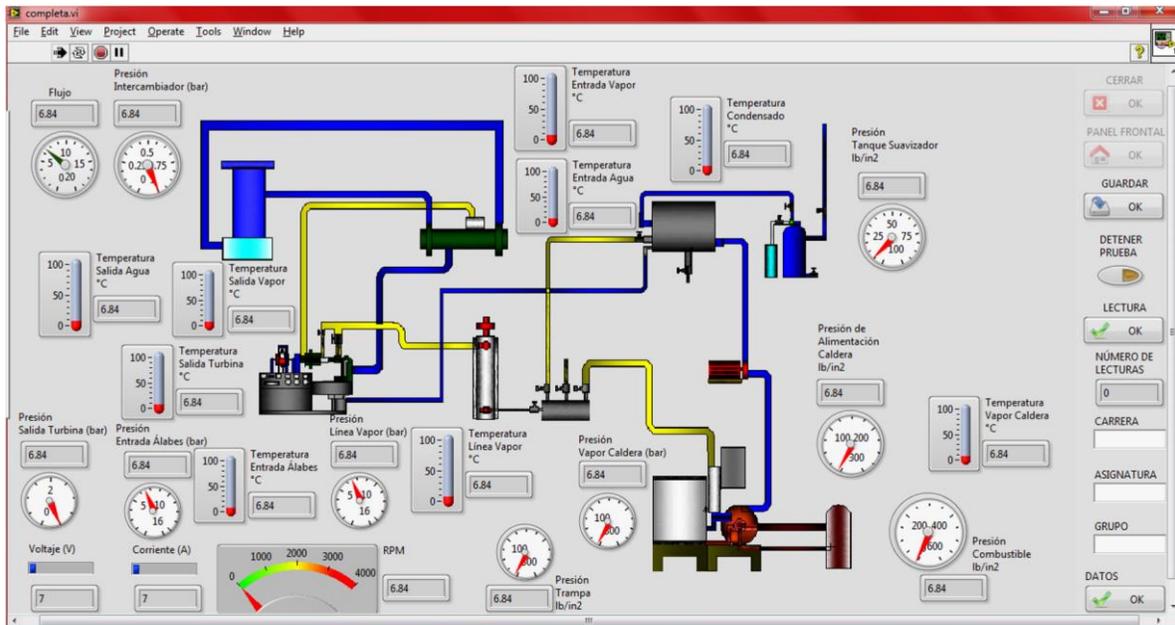


Figura 1.9. Interfaz del sistema de supervisión y adquisición de datos [2]

1.3 Estado del Arte

Para el control automático de los procesos industriales las válvulas de control tienen un rol prioritario en el bucle de regulación, puesto que tienen la función de variar el caudal del fluido de trabajo el cual modifica el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área efectiva continuamente cambiante. Estos mecanismos tienen tanta importancia como el elemento sensor, el transmisor o el controlador y generalmente constituyen el último elemento en un lazo de control instalado en un sistema.

1.3.1 Electroválvulas

Las electroválvulas distribuidoras son mecanismos accionados por un solenoide donde la dirección y la magnitud del caudal que atraviesa la válvula se permite o se interrumpe excitando o no los solenoides. Son accionadas mediante una amplia gama de tensiones de suministro de CC o de CA, y pueden ser accionadas por interruptores de estado sólido o por relevadores eléctricos sencillos. La velocidad de reacción depende del tamaño de la válvula y la potencia del solenoide, los cuales tienen amplia variedad en el mercado dependiendo de la aplicación.

Estas válvulas son solo de dos o tres posiciones por lo que no suministran un control de caudal preciso o proporcional y generalmente solo se utilizan para servicios de apertura total o cierre total sin estrangulación en el caso de dos vías y para servicios de desviación de caudal en el caso de tres vías.



Figura 1.9 Electroválvula de vapor TORC

1.3.2 Válvulas Proporcionales

Las válvulas proporcionales son dispositivos que difieren de las electroválvulas en que es posible controlar la posición del elemento móvil dentro del cuerpo de la válvula, ya que son accionadas por medio de un solenoide de corriente variable que en su forma más sencilla se consigue suministrando una tensión variable a la bobina del solenoide mediante un potenciómetro. Esta propiedad nos da como resultado un control eléctrico del caudal que atraviesa la válvula.

Normalmente, la válvula puede utilizarse conjuntamente con un amplificador de control que evita los problemas resultantes de la generación eléctrica de calor, las tolerancias de la resistencia de la bobina y las variaciones de la tensión de un suministro, lo que provee las características y ajustes necesarios para optimizar el control.

Dichos dispositivos pueden o no contar con retroalimentación, esto depende de la aplicación ya que se utilizan frecuentemente para regulación donde es aceptable la resistencia a la circulación y no es tan indispensable una señal de retroalimentación. La mayoría de las aplicaciones son en sistemas de cadena abierta o cadena cerrada discontinua en las que se utilizan con interruptores sencillos de posición o de proximidad y para los pocos casos de cadena cerrada suele sustituirse o complementarse estos elementos con un transductor lineal o giratorio para generar la señal de realimentación. Físicamente son muy robustas en comparación a la línea del fluido de trabajo.



Figura 1.9 Válvula Proporcional Danfoss con solenoide variable



Figura 1.10 Válvula Proporcional Bosch con retroalimentación

1.3.3 Servoválvulas

Suele denominarse como Servoválvula a las válvulas accionadas por un servomotor el cual mediante el mecanismo del cuerpo de la válvula aprovecha el movimiento giratorio del motor para variar la posición de su elemento móvil, teniendo así la posibilidad de regular el caudal del fluido de trabajo.

Las servoválvulas han sido la selección automática para la mayoría de los sistemas de control de cadena cerrada (excepto para los más simples donde comúnmente se utilizan las válvulas proporcionales mencionadas anteriormente) ya que el uso de motores eléctricos que son alimentados por una amplia gama de tensiones de CC provee a estos dispositivos de una mayor precisión en equipos de escala pequeña y en general de un tiempo de respuesta inferior en comparación con las demás válvulas automáticas, además de que la señal de retroalimentación puede ser obtenida por diferentes tipos de transductores ya sea lineales o rotativos.

Como se puede observar en las figuras 1.11 y 1.12, el tamaño, la orientación y las conexiones, entre otras características son muy variadas dependiendo de la aplicación.



Figura 1.11 Servoválvula Moog con retroalimentación



Figura 1.12 Servoválvula de agua caliente de Tianjin Bell Automatic Instrument Technology

1.4. Requerimientos de diseño

La elaboración del diseño demanda ciertas necesidades pertinentes para el correcto funcionamiento, fabricación y mantenimiento del dispositivo, basándonos en estas se establecen los requerimientos de diseño, los cuales se desglosan en la siguiente tabla:

Requerimientos	Descripción
De Uso	<ul style="list-style-type: none">• Practicidad: se refiere a que el diseño tiene que ser útil produciendo una respuesta lo más inmediata posible, mejorando la relación usuario-objeto.• Seguridad: Evitar los riesgos que puedan presentarse en el uso o aplicación del diseño final de la válvula.• Mantenimiento: Realizar un diseño que permita fácilmente tomar medidas para la conservación del conjunto y de sus elementos.• Reparación: El diseño tiene que utilizar en sus elementos de mayor desgaste o dificultad de manufactura refacciones compatibles con las existentes en el mercado.
De Función	<ul style="list-style-type: none">• Mecanismos: La válvula tiene que tener diferentes mecanismos que le permitan realizar las distintas funciones para evitar problemas posteriores como desgastes innecesarios o ruptura de elementos.• Confiabilidad: El funcionamiento debe de ser confiable, sobre todo por tratarse de un dispositivo que tiende a ser autónomo y que pretende sustituir la interacción directa turbina-usuario.• Resistencia: El dispositivo tiene que soportar la presión entrante a la turbina, por lo que el actuador tiene que tener la fuerza suficiente para excitar el mecanismo. El conjunto también tiene que soportar la temperatura a la que se somete la turbina, los contaminantes en el entorno y sobre todo a mucha humedad.• Acabados: Al tratarse de un componente de laboratorio que va a estar sometido a un entorno no muy amigable los acabados tienen que tratar de dotar protección, ya que los acabados finos se perderían rápidamente.
Estructurales	<ul style="list-style-type: none">• Número de componentes: Evitar el alto número de componentes para facilitar la manufactura del diseño, utilizar solamente la cantidad de elementos esenciales.• Carcasa: Tiene que ser un medio de protección hacia los mecanismos, tomando en cuenta el espacio en el que se pretende instalar el dispositivo evitando un diseño muy invasivo.• Unión: El diseño tiene que tener una unión roscada concordante con el cuerpo de la turbina para evitar ajustes redundantes. Dentro del mecanismo las uniones deben de tratar de facilitar el ensamble y desensamble de este.

Técnico – Productivos

- **Bienes de capital:** Para el desarrollo del diseño se requiere de maquinaria como fresadora, torno, taladro, equipos de soldadura.
- **Modo de producción:** Se pretende manufacturar en un taller mecánico.
- **Normalización:** El diseño debe contener formas y medidas comerciales en sus elementos finales para el reemplazo y manipulación de estos mediante herramientas convencionales.
- **Materias primas:** Las características y especificaciones de los materiales a emplear deben de satisfacer los requerimientos de uso.
- **Prefabricación:** Utilizar lo más posible materiales o elementos prefabricados que estén terminados o requieran las menores modificaciones para disminuir costos y tiempos de manufactura (por ejemplo usar perfiles metálicos comerciales que sean más próximos al elemento terminado).
- **Tolerancias:** Manejar un intervalo de tolerancias pertinente para la manufactura en las maquinas herramientas de un taller mecánico convencional, usualmente entre 0.005” y 0.010”.
- **Costo de producción:** La suma de los costos de mano de obra directa, material directo, gastos de fábrica y generales debe de ser inferior al costo de válvulas automáticas existentes que puedan ser utilizadas en esta aplicación.



DISEÑO CONCEPTUAL

“Duerme, pero vive tus sueños despierto”
(Eptos Uno)

Actualmente la FES Aragón cuenta con el equipo necesario para la realización de prácticas referentes al ciclo Rankine en el laboratorio de termofluidos L-2, sin embargo como anteriormente se abordó con el paso del tiempo están próximas a la obsolescencia práctica, por lo que se sugiere el desarrollo de un control automático que actualice la infraestructura del laboratorio y mejore la enseñanza.

Para lograr un control automático del proceso del ciclo Rankine un componente que juega el papel elemental en el bucle de regulación son las válvulas de inyección de vapor las cuales tienen como función variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida.

2.1 Descomposición de funciones

Las funciones de un sistema son operaciones que se deben realizar para cumplir una tarea principal, estas pueden ser primarias, secundarias o terciarias, dependiendo de lo específicas que sean, por lo que se definió el siguiente diagrama:

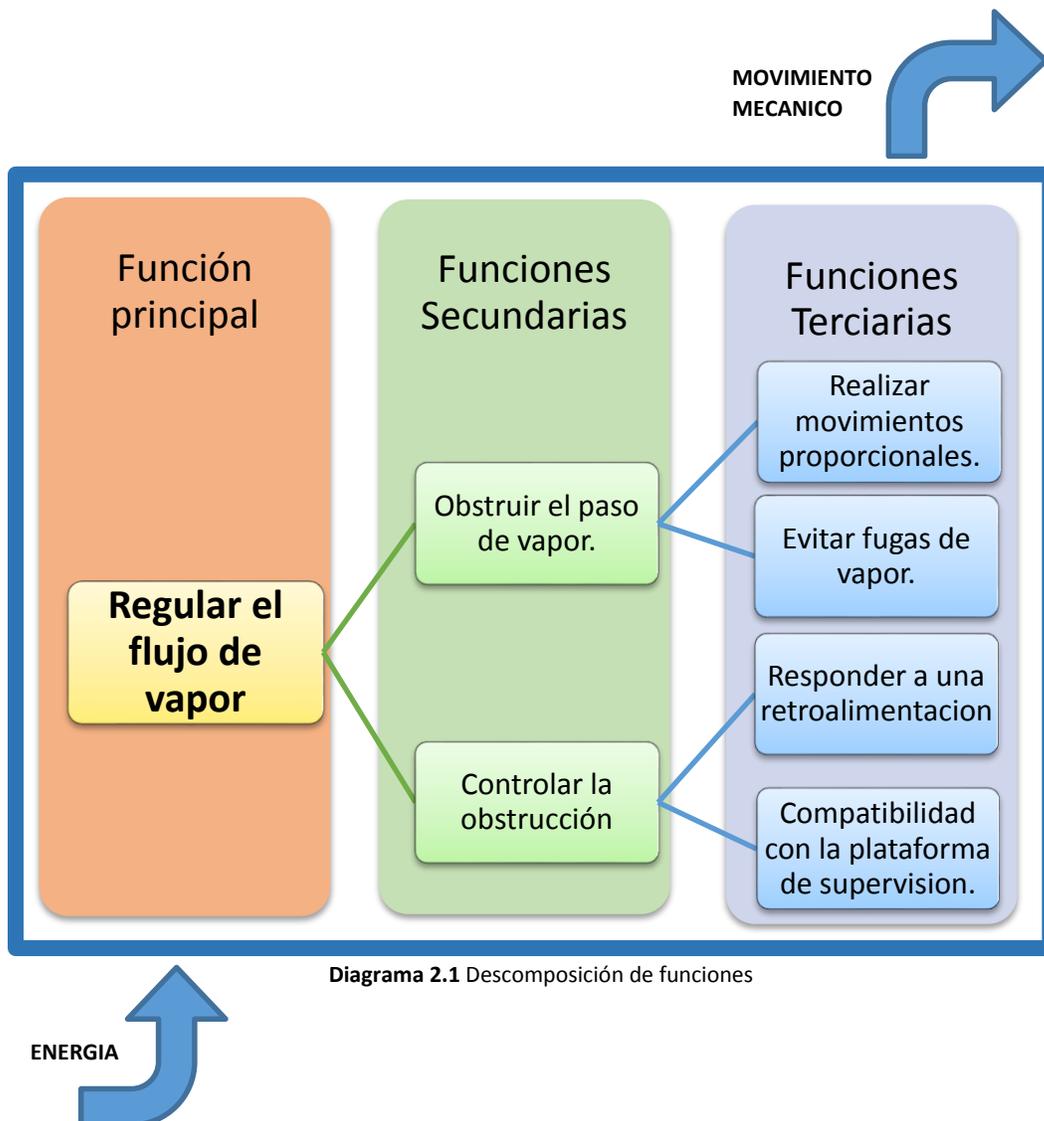


Diagrama 2.1 Descomposición de funciones

2.2 Configuración.

La configuración de un sistema permite establecer la interacción física entre los diferentes subsistemas, definiendo la posición de estos y asignando las funciones correspondientes.

La configuración general de las válvulas automáticas se puede dividir en dos subsistemas: uno que es el actuador eléctrico y la otra que se conforma del dispositivo mecánico. En los diferentes diseños que existen el actuador eléctrico suele cambiar de posición, ya sea en vertical u horizontal e incluso con un cierto ángulo de inclinación, dependiendo también del tipo de actuador (si se trata de uno giratorio o de uno lineal) y de la manera en que interactúan las dos partes entre sí.



Figura 2.1. Válvulas Automáticas: Izquierda con actuador vertical, centro con actuador horizontal, derecha con actuador inclinado

Dentro del nuevo diseño las funciones pueden mantenerse en cualquier configuración, sin embargo en este caso es de vital importancia notar el reducido espacio que se cuenta para alojar la válvula y el particular acoplamiento con turbina.



Figura 2.2. Válvula manual ensamblada en la turbina



Figura 2.3. Conexión de la Válvula Manual hacia la turbina

Se proponen dos configuraciones posibles la horizontal o la vertical descartando la inclinada por cuestiones de funcionamiento y dimensionales en el ensamble Válvula-Turbina.

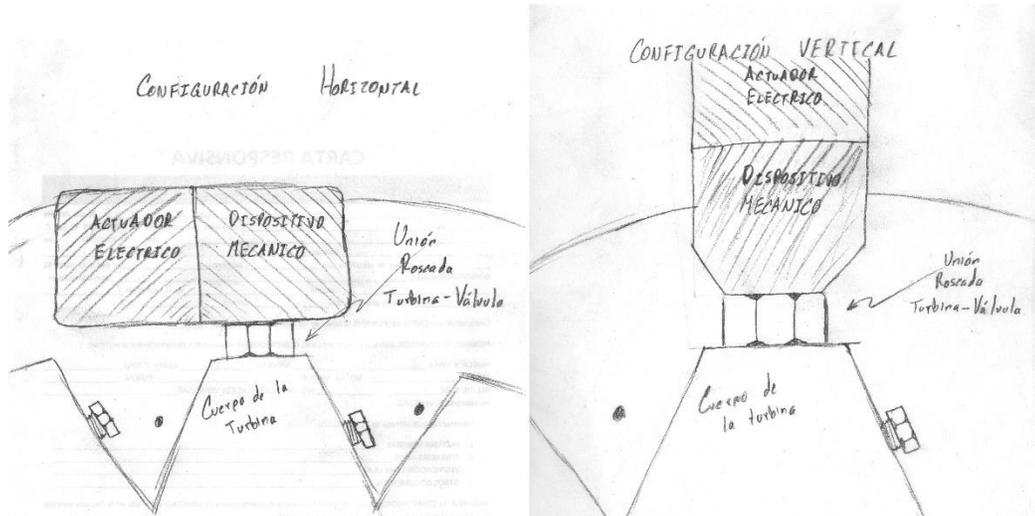


Figura 2.4. Propuestas de Configuración Horizontal (izquierda) y Configuración Vertical (derecha)

Al analizar ambos casos, se optó por una configuración vertical, ya que esta nos permitiría extender las dimensiones del mecanismo y del actuador lo necesario como para cubrir los requerimientos en contraste de la configuración horizontal que limita las dimensiones puesto que las 4 válvulas están contiguas y de ser el caso de poder sustituirlas todas deben de tener suficiente espacio para ser instalas, recibir mantenimiento y operar correctamente.

2.3 Composición

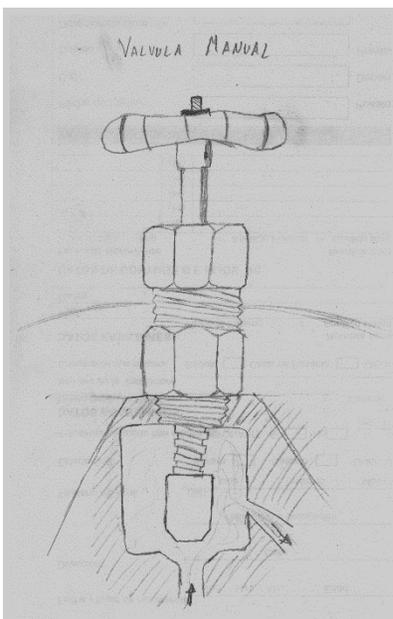


Figura 2.5. Dibujo Válvula Manual

En esta etapa se determinan los elementos con los que se realizaran cada una de las funciones del nuevo diseño, conformando una idea general de los componentes que se requieren desde piezas mecánicas a electrónicas si es el caso.

El nuevo diseño se desarrolló tomando como base la válvula manual original, para ser lo menos invasivo en el sistema de la turbina además se pensó en un producto de fácil maquinado, bajo presupuesto y ensamble simple con herramienta comercial. Conservando algunos elementos necesarios para la compatibilidad de la turbina los cuales fueron la forma y tamaño del obturador así como la conexión roscada de la válvula a la turbina.

Los primeros conceptos constaron de una conexión cónica hacia la turbina que nos permite realizar un sello hermético

metal-metal, dicho ensamble fue ineludible puesto que es necesario para un diseño compacto. Posteriormente se integró un sistema de prensaestopas de 3 elementos que evita la fuga de vapor en la periferia del vástago este funcionaria con dos empaquetaduras de teflón que tienen la función de aminorar la extrusión de un O-ring de nitrilo que estará alojado entre ellas para aumentar su vida útil.

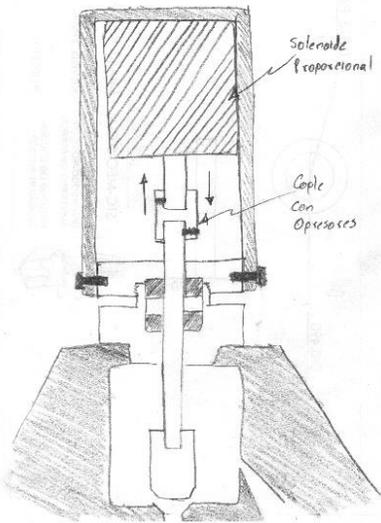


Figura 2.6. Dibujo Concepto 1a

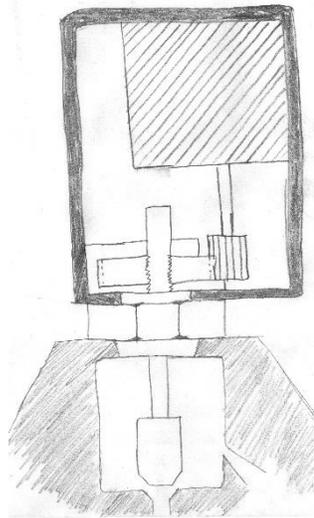


Figura 2.7. Dibujo Concepto 1b

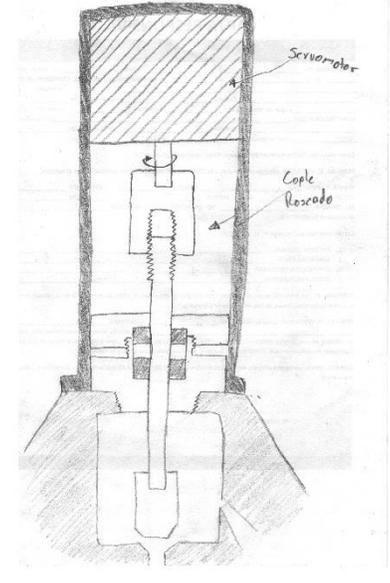


Figura 2.8. Dibujo Concepto 1c

Fueron 3 los conceptos iniciales los cuales mantenían características similares como son la conexión y el prensaestopas, sin embargo la transmisión de movimiento se propuso en diferentes maneras dependiendo del actuador eléctrico utilizado.

En el primero (Figura 2.6) se optó por un solenoide proporcional el cual estaría acoplado al vástago de la válvula y realizaría únicamente un movimiento axial que nos brindaría la oportunidad de realizar un diseño simple.

Este fue reemplazado ya que los solenoides proporcionales suelen tener muchos problemas al trabajar con temperaturas ambientales altas, aunado a esto no se encontró un solenoide que nos proporcionara la carrera y fuerza necesaria para nuestra aplicación. El otro concepto (Figura 2.7) se diseñó para utilizar un servomotor DC, en este concepto se creyó conveniente utilizar el movimiento del motor para accionar un mecanismo constituido por un engranaje que haría girar un elemento roscado y este a su vez movería el vástago axialmente.

Se declinó el desarrollo de este concepto ya que los elementos del mecanismo que estarían encargados de transmitir el movimiento tendrían que maquinarse con alta precisión para que el desplazamiento del vástago sea constante lo que elevaría el costo de maquinado, además de que el desfase entre el eje del motor y el vástago no resultaba muy atractivo para fines estéticos del diseño. Por lo cual se decidió utilizar la idea de mantener el eje de motor y el vástago concéntricos mediante un cople que tendría una de sus conexiones totalmente fija y la otra permitiría el movimiento axial

por medio de una rosca que alojaría al vástago que le obliga a realizar un movimiento axial el cual cambia de dirección de acuerdo al sentido de giro del motor, como se observa en la figura 2.8.

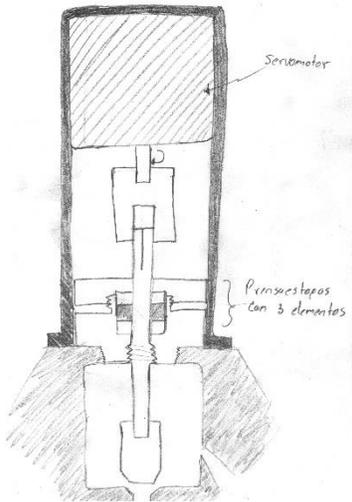


Figura 2.9. Concepto 1.1c

Este diseño pareciera cumplir con los requerimientos necesarios para funcionar correctamente y fue elegido como base para trabajar modificaciones sobre él, la primera fue sustituir la cuerda del cople que proporcionaría el movimiento axial por un alojamiento con una geometría que aseguraría el giro del vástago como se muestra en la figura 2.9, la cuerda que obligaría el movimiento axial fue desplazada hacia otro elemento para no empalmar funciones.

Pero en la transmisión de movimiento de este tipo suele presentarse Backlash que es el espacio entre los elementos en este caso: el vástago y el elemento roscado, cuya relación permitiría el movimiento axial mediante el giro del motor, este problema causaría movimientos bruscos del vástago al

empezar la operación y en los cambios de dirección. Así que se pensó en adicionar algunos elementos que permitieran disminuir en lo posible este suceso.

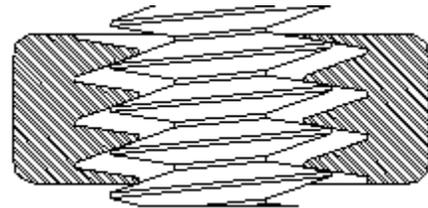


Figura 2.10. Backlash ente un tornillo y una tuerca

Para disminuir los movimientos bruscos producidos por el backlash la solución es mantener ambos elementos siempre en contacto, por lo que se colocó un resorte que aplicara cierta presión entre los elementos para garantizarlo. La primera idea fue instalarlo entre el cople y la tuerca del prensaestopas pero el resorte sería comprimido cuando se generara el movimiento lo que agregaría una carga adicional al motor y podría forzarlo.

El siguiente modelo se realizó tomando como base las tuercas antibacklash utilizadas comúnmente en las mesas de coordenadas y tambores de las maquinas herramientas para ofrecer precisión en los movimientos, por lo que el elemento roscado se dividió en dos, se colocó el resorte entre las dos partes y el conjunto se alojó en un cilindro rígido para mantener la presión del resorte constante en todo momento (Figura 2.12). Aunque parecía funcional, este concepto resulto tener ciertos problemas de manufactura, ya

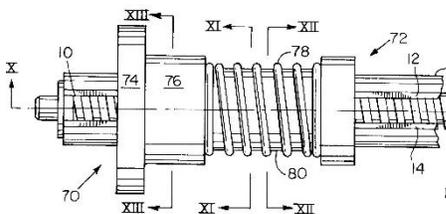


Figura 2.11. Tuerca antibacklash convencional

que la cuerda de las tuercas no coincidirían, el cilindro donde se alojarían sería difícil de maquinarse además de que resultaría frágil por su geometría. Por lo que para facilitar el maquinado y comprometer un ensamble sencillo se fueron realizando más modificaciones: el resorte se situó entre la tuerca del prensaestopas y el elemento roscado, el prensaestopas a su vez se invirtió y además se optó por un O-ring más robusto que pueda absorber más extrusión para poder evitar una

empaquetadura de teflón, se colocó una contratuerca de ajuste para evitar que la vibración de la turbina sabotee el sello del prensaestopas, además para mantener constante la presión del resorte se colocaron unos pernos que mantendrían fijo el conjunto de piezas.

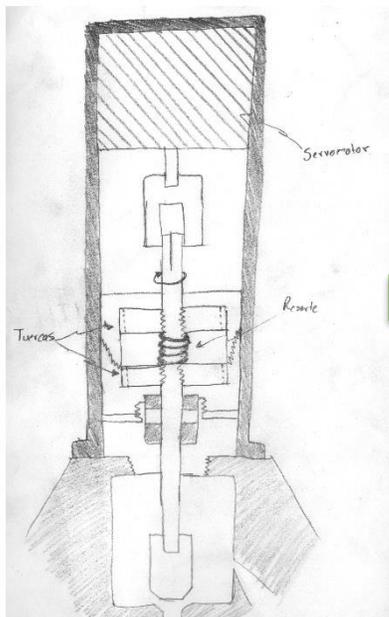


Figura 2.12. Dibujo Concepto 2

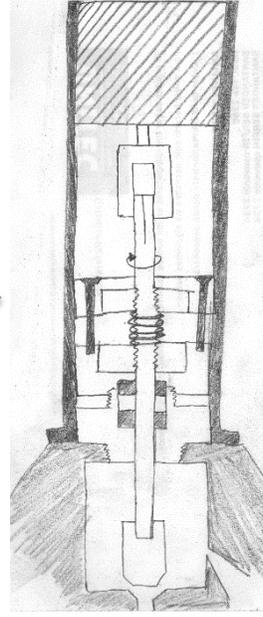


Figura 2.13. Dibujo Concepto 3

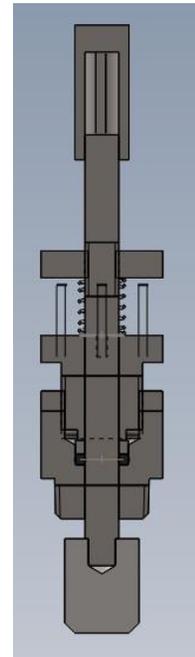


Figura 2.14. Dibujo Concepto 4

Esta iteración brindaba las funciones de operación requeridas sin embargo el soporte del servomotor no estaba solucionado del todo ya que como se muestra en los dibujos anteriores se pensaba alojarlo completamente, sostenerlo por la parte trasera y aterrizar el soporte al cuerpo de la turbina. Esta idea fue reemplazada ya que dicho soporte tendría que ser robusto lo cual se limita por el cuerpo de la turbina como se muestra en la figura 2.15, por lo que el soporte se aterrizó al prensaestopas y se sujetó con tornillos, la sujeción del servomotor al soporte dependía particularmente del modelo de este, por lo que se ideó una unión a manera de brida que permitiera al diseño ser flexible en caso de reemplazarlo por otro modelo.



Figura 2.15. Unión Turbina-Válvula

Como se observa en este último concepto (Figura 2.16) el obturador se mantiene como en la válvula original al igual que la conexión roscada a la turbina. Mantiene las funciones de su predecesor y la solución al soporte del motor también nos permite alojar el mecanismo, además de mantener unas dimensiones proporcionales que dotan de buena estética al dispositivo.

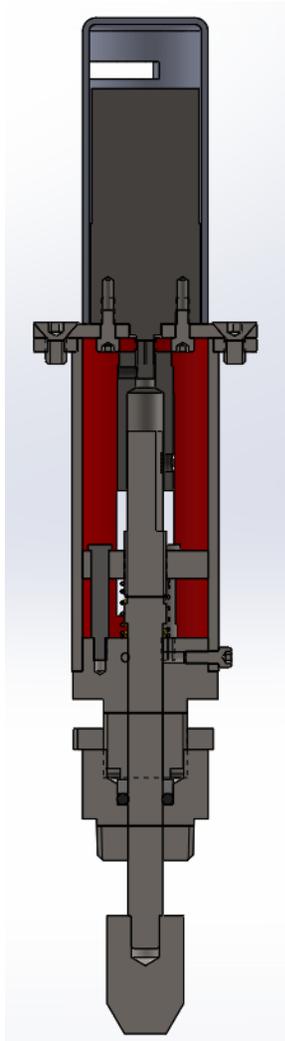


Figura 2.16. Dibujo Concepto final



DISEÑO DE DETALLE

“Importa menos el destino que vivir a fondo los trayectos”
(Dirty Hands)



3.1 Componentes

En esta fase del diseño se analizan los elementos integrados en el dispositivo, por lo que se muestra la función de cada uno de estos y se puntualiza la interacción entre ellos.

Para realizar el análisis se argumentara sobre los elementos de forma ascendente tomando en cuenta la vista de sección de la figura 3.1 comenzando por el obturador y finalizando con la carcasa.

3.1.1 Obturador

Su función es permitir o bloquear el paso del vapor hacia las toberas de inyección de la turbina. Su geometría es similar que en la válvula original para que pudiese coincidir con el asiento que tiene la turbina. Sin embargo el cono a 60° que presenta en uno de sus extremos fue prolongado 1mm mas para garantizar un mayor contacto de bloqueo para el flujo y pesar de no ser concretamente una válvula de bloqueo adecuada puede realizarlo, ya que su papel principal es la regulación del flujo por medio de la variación de la apertura junto con las otras 3 válvulas contiguas.

Observando la figura 3.3 se aprecia como el movimiento vertical del obturador realiza la función de regulación, en la imagen la válvula se encuentra completamente abierta por lo que el vapor proveniente de la cavidad inferior (color negro) pasa libremente hacia la tobera que se encuentra en el lado derecho y posteriormente hacia los alabes (color azul).

De manera opuesta para impedir el flujo de vapor el cono del obturador tiene que hacer completo contacto con el cono del asiento.

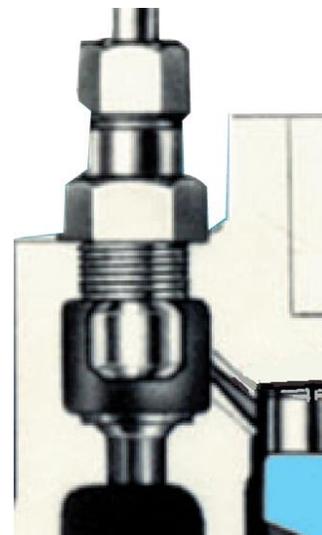


Figura 3.3. Dibujo de sección del cuerpo de la turbina con la válvula



Figura 3.2. Obturador

3.1.2 Bushing

Es el elemento que realiza el nexo entre la turbina y la válvula por medio de una rosca especial cónica macho de 7/8" a 18 hilos que provee la fijación de la válvula y el sello hermético metal-metal por medio del cono de la rosca, su periferia es hexagonal con una medida de flanco a flanco de 1 1/8", que es nativa de la válvula original y facilita el desensamble con herramienta común (llave española 1 1/8"). Por otro lado cuenta con una rosca recta hembra 3/4"-16 UNC la cual recibe al prensaestopas que presionara el O-Ring que estará alojado al final de esta rosca. El diseño de dicho alojamiento se realiza por medio de la tabla de diseño del proveedor (Tabla 3.1) en la que se elige la sección del O-Ring "W" a la cual le corresponden unas dimensiones "L" y "G" predeterminadas. Dichas dimensiones fueron aumentadas para recibir además del O-Ring una empaquetadura de teflón.

TABLA DE DISEÑO				
Secc. "W"	Dimensiones de Alojamiento			
	Profundidad "L"		Ancho "G" ± 0.1	Radio "R"
	Estático	Dinámico		
1.78	1.25 1.35	1.40 1.45	2.5	0.1 0.4
2.62	2.05 2.15	2.25 2.30	3.7	0.1 0.4
3.53	2.80 2.95	3.05 3.10	4.9	0.2 0.6
5.33	4.30 4.50	4.65 4.75	7.3	0.5 1.0
6.99	5.75 5.95	6.00 6.10	9.7	0.5 1.0

Tabla 3.1. Tabla de diseño O-Ring Parker

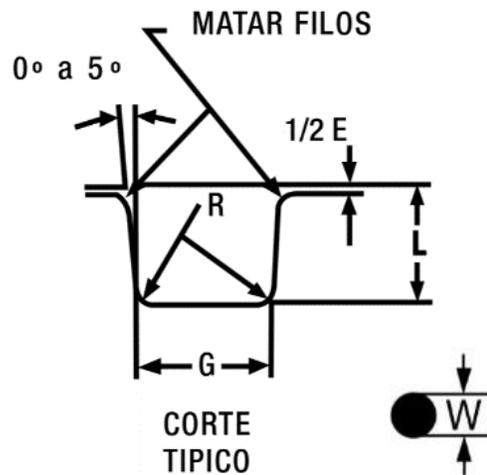


Figura 3.4. Dimensiones del alojamiento



Figura 3.5. Bushing

3.1.3 O-Ring

Es el elemento más accesible y eficaz para prevenir la fuga de fluidos bajo distintas condiciones de servicio. Esto se debe a que además de su bajo precio tiene varias ventajas al permitir el sello en todas las direcciones, radial, axial u oblicua. Son utilizados como sello estático cuando las piezas no tienen movimiento y también en uso dinámico de vaivén, oscilante o rotativo; cierran un amplio rango de presiones, temperaturas y tolerancias además de que son de peso reducido y requieren muy poco espacio, permitiendo un diseño compacto.

El diámetro de la sección se selecciona por medio del diámetro del vástago en el catálogo oficial de Parker (3) y depende de las condiciones de operación que tendrá el O-Ring en este caso las recomendaciones para realizar el sello en un vástago por medio de deformación radial es que se debe elegir un O-Ring cuyo diámetro exterior "D.E", sea igual o mayor que "D" con una discrepancia máxima del 3%.

Otra característica importante que se debe de seleccionar con precaución es material del que se compone este elemento, aunque puede solicitarse la fabricación de O-Rings con compuestos especiales, Parker en particular maneja una gama de compuestos más comunes usados en la industrial, como es el caso del que se seleccionó para nuestra aplicación que es el compuesto E3014-80A de color negro que tiene como polímero base Etileno-Propileno, tiene un rango de temperaturas admisibles de -57°C a $+149^{\circ}\text{C}$, tiene una dureza shore A de 80 ± 5 y su aplicación es en fluidos para frenos de automotores, Vapor de agua, fluidos hidráulicos base esteres fosfatados, acetona, ozono; todos en uno estático y dinámico.

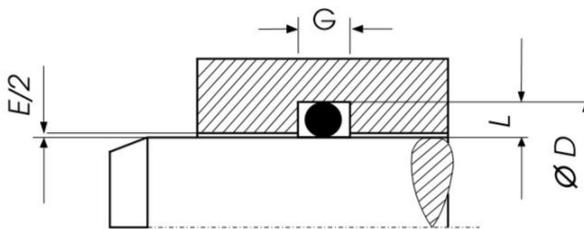


Figura 3.6 Sello en un vástago por deformación radial de un O-ring.



Figura 3.7 O-ring Parker (negro) y Junta de teflón (blanca).

3.1.4 Junta

Se utiliza como un respaldo que previene el daño por extrusión del O-Ring, que es el daño que experimenta cuando es sometido a presiones elevadas y/o huelgos considerables, se monta en forma conjunta con el O-ring y su instalación es del lado opuesto a la presión del fluido, para adoptarlo se requiere incrementar el ancho de la ranura, en el caso de recibir la máxima presión se recomienda utilizar respaldos en ambos lados. En nuestro caso se utiliza la empaquetadura del lado que se recibe al prensaestopas para garantizar la protección del O-ring y el sello que evita el paso del vapor, solo se utilizó un respaldo para facilitar el desmontaje de mantenimiento, por lo que la sección del O-ring a pesar de haber podido ser menor se utilizó una mayor para que pueda soportar más extrusión. Por su función de protección la empaquetadura pudo tener una sección de menor longitud sin embargo para facilitar la manufactura de la pieza se sobredimensiono.

La junta fue maquinada en Teflón virgen (**PTFE**) ya que es un material plástico termoestable que no presenta descomposición alguna a 260°C, al no presentar inclusiones de otros materiales como carbón o fibra de vidrio es un buen aislante térmico y es resistente a agentes químicos. Las propiedades de tensión y compresión son muy afectadas por el proceso de elaboración, el tipo y calidad del materia prima utilizada en la elaboración del producto. Tiene una dureza shore D entre 50 y 60.

3.1.5 Prensaestopas

Es un elemento roscado que tiene en uno de sus extremos una rosca 3/4"-16 UNC, al final de esta se cuenta con un pequeño cilindro que tiene como función empujar la empaquetadura de teflón montada en el Bushing para que el O-Ring al ser comprimido realice el sello entre el vástago y el Bushing por medio de deformación radial, esta compresión puede ser reducida o aumentada dependiendo del ajuste de este elemento. Al igual que el Bushing cuenta con una periferia sobresaliente hexagonal de 1 1/8" que facilita su ajuste con herramienta común (llave española 1 1/8").

En el otro extremo podemos notar un cilindro de 1 1/8" en el cual se ensambla el soporte del motor y se fija con 3 tornillos en los barrenos roscados a 1/8" UNC que se encuentran en la periferia de este cilindro, en la base de este se encuentran también 3 barrenos roscados a 1/8" UNC que reciben a los pernos guía.

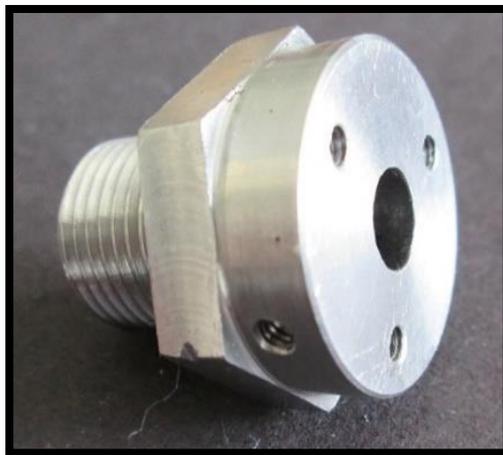


Figura 3.8. Prensaestopas.

3.1.6 Tuerca de ajuste

Se trata de una pequeña tuerca hexagonal de 1 1/8" con rosca 3/4"-16 UNC que tiene como única función mantener fijo el ajuste del prensaestopas, mediante la presión que se ejerce al apretarse a manera de contratuerca entre el prensaestopas y el bushing, para evitar el sabotaje que la vibración pudiese ocasionar.



Figura 3.9. Tuerca de ajuste

3.1.7 Pernos

Son tres elementos que sirven como guía y límite para la tuerca redonda, se sujetan al prensaestopas por medio de una rosca macho 1/8" UNC que tienen en uno de sus extremos, su diámetro es de 4mm y tienen en el cuerpo maquinados planos que facilitan su ensamble con llave española de 1/8", el cambio de diámetro que se realiza en la cabeza del perno brinda el límite sobre el cual la tuerca redonda se apoya al recibir la presión del resorte. Los pernos también evitan que la tuerca redonda gire junto con el vástago para lograr el movimiento axial de este.

Al tener la función de límite de la tuerca redonda, los pernos reciben la fuerza aplicada al obturador debido a la presión de vapor, ya que esta es transmitida del vástago a la tuerca redonda, por lo que es de particular importancia verificar si la longitud roscada con la cual se sujetan al prensaestopas es suficiente para soportar dicha tensión. Esta longitud pudo haber sido más corta sin embargo como criterio de seguridad fue sobredimensionada.

La longitud roscada de enganche se determina por las tensiones al corte que sufre la rosca al ser sometida a las fuerzas de apriete y/o trabajo. Evidentemente, la fórmula expuesta no toma en cuenta deformaciones que sufre la rosca y se asume que las fuerzas actúan sobre el tornillo de manera coaxial y uniformemente repartidas sobre las caras de la rosca. Esta fórmula es válida solo para roscas con flancos a 60°.

$$F = \left[\pi * d_{min} * \frac{1}{P} * \left(\frac{P}{2} + (d_{min} - D) * \tan 30^\circ \right) * L * \tau \right] \dots \text{Ec.3.1}$$

Donde:

F= fuerza axial sobre el tornillo

D= diámetro de la rosca.

dmin= diámetro del núcleo de la rosca.

P= paso de la rosca.

L= longitud roscada.

τ = Resistencia al corte del material de fabricación.



Figura 3.10. Pernos.

3.1.8 Resorte

Se trata de un resorte de alambre piano que tiene $1 \frac{1}{4}$ " de longitud, y un diámetro exterior de $\frac{9}{16}$ ", el diámetro del alambre es de $\frac{3}{64}$ ". Su función es ejercer presión entre el prensaestopas y la tuerca redonda para que una vez instalada la válvula pueda mantenerse siempre en contacto ambas partes de la Rosca ACME que tienen el vástago y la tuerca, para disminuir el backlash y los errores de ajuste en el maquinado.



Figura 3.11 Resorte.

3.1.9 Tuerca redonda

Es una pieza con un barreno central que presenta una rosca hembra $\frac{3}{8}$ "- 10 ACME la cual tiene la función de cambiar el movimiento giratorio del vástago en un desplazamiento axial que te permite la apertura y cierre de la válvula, este tipo de rosca es ideal para la transmisión de movimiento y generalmente se utilizan en aplicaciones donde se necesita aplicar fuerza. La tuerca también tiene 3 barrenos de 4.1mm por los cuales entran los pernos que evitan que este elemento gire junto con el vástago, tiene un diámetro exterior de $1 \frac{1}{8}$ " que le permite entrar fácilmente en el soporte del motor.



Figura 3.12 Tuerca Redonda

Este elemento recibe por medio del vástago la fuerza desarrollada en el obturador debido a la presión del vapor por lo que el cálculo de la longitud roscada es de suma importancia para evitar el daño de la rosca, dicho cálculo se realiza de manera similar al de los pernos por medio de la ecuación 3.1, sin embargo se ajusta al ángulo de los flancos para las rosca ACME.

3.1.10 Vástago

Se trata de una varilla de tracción que en uno de sus extremos cuenta con un pequeño cambio de diámetro para realizar el ensamble con el obturador por medio de un ajuste a presión. En su cuerpo cuenta con una rosca 3/8"-10 ACME que tiene la función de transmitir el movimiento giratorio del vástago a la tuerca roscada para realizar el movimiento axial al final de la cuerda cuenta con un límite para evitar que la tuerca pierda el ensamble con el vástago. La elección de este tipo de rosca se eligió por medio de la función que realiza, transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo, la rosca cuadrada es la que posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca ACME, con un ángulo de 29° , por su buen ajuste; además tomando en consideración que la rosca cuadrada no está normalizada mientras que la ACME es de fácil construcción mediante todos los procedimientos existentes. El vástago en su otro extremo cuenta con una ranura de 1/8" que sirve como una guía deslizante para el ensamble con el cople.



Figura 3.13 Vástago

3.1.11 Cople

Es un elemento cilíndrico que recibe en uno de sus extremos el eje del motor que es sujetado por medio de un opresor que es acogido por un barreno roscado 3/16" UNF, este opresor evita que el eje del motor gire dentro del cople logrando que este gire junto con él. Esta pieza en su otro extremo cuenta con un orificio a manera de carrera donde se desplaza el vástago, el cual recibe el movimiento giratorio gracias a un perno de 1/8" que se desliza por la ranura de este.



Figura 3.14 Cople

3.1.12 Soporte

Este componente se construye de dos piezas, la parte A se ensambla al cilindro del prensaestopas y se sujeta con tres tornillos perimetrales, a lo largo de su cuerpo cuenta con unas ventanas que permiten el paso del aire para disipar el calor que pudiese ocasionar una elevación excesiva de la temperatura en el mecanismo. La unión con la parte B se realiza a manera de brida por medio de 4 barrenos roscados 3/16" UNC que permite el ensamble del motor con el mecanismo y también hace más versátil el diseño para sustituir el motor por otro modelo si fuese necesario. La parte B de soporte cuenta con 4 barrenos 3/16" avellanados a 90° que reciben a los tornillos de cabeza plana que realizan la unión con la parte B, además tiene 2 barrenos que hacen la sujeción del motor al soporte y un barreno central por donde pasa el eje del motor para ser acoplado. Este componente brinda un soporte fijo al motor además de albergar el mecanismo de la válvula. Tiene un recubrimiento de pintura que tiene la función de proteger y brindar un mejor acabado e impedir que el material subyacente este en contacto con los agentes corrosivos del como el vapor que escapa de la turbina y el ambiente húmedo en donde se encuentra el dispositivo.



Figura 3.15 Soporte parte A



Figura 3.16 Soporte parte B

3.1.13 Motor

Se trata de un motor de corriente directa de escobillas con magnetos extrafuertes marca Pololu, puede ser operado en un rango de 3 a 9 V aunque se recomienda el uso a 6 V, requiere de un flujo de corriente de 450mA en libre giro y hasta 6A con rotor bloqueado, cuenta con un reductor de velocidad con una relación de 75:1 que disminuye de 9800 RPM a 130RPM y le permite desarrollar un torque de 130oz-in (9.4kg-cm). En su otro extremo el motor cuenta con un encoder de efecto hall de disco magnético con dos canales que entregan 48 conteos por revolución. Este encoder requiere de una alimentación de 3.5 a 20V y consume 10mA.

El cálculo de la potencia del motor se hizo en función a la fuerza desarrollada sobre el obturador debido a la presión del vapor y la presión que ejerce el prensaestopas en el vástago.

$$p = \frac{F}{A} \dots\dots \text{Ec. 3.2}$$

$$P = T * \omega \dots\dots \text{Ec. 3.3}$$

Donde:

p= presión (Kgf/cm²)

F= Fuerza (Kgf)

A= Área (cm²)

P=Potencia eléctrica del motor. (W)

T= Par o torque generado por el (Nm)

ω = velocidad angular del motor (rad/s)

Una de las características que tiene este motor es que puede funcionar hasta los 60°C, lo que es una gran ventaja en nuestra aplicación por las altas temperaturas desarrolladas en la turbina.



Figura 3.17 Motor

3.1.14 Carcasa

Se trata de un cilindro hueco que tiene como principal función proteger el encoder de los golpes y del vapor que pueda tener contacto con este para mantener su buen funcionamiento, aislándolo del entorno húmedo en el que el dispositivo se encuentra para alargar la vida útil del motor. Su ensamble se fija por medio de un pequeño ajuste de compresión que tiene con el reductor de velocidad del motor. Este componente fue fabricado por medio de técnicas de manufactura aditiva en acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) que es un termoplástico amorfo, cada uno de los tres bloques aporta características distintas. El *acrolonitrilo* rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a las altas temperaturas. El *butadieno*, tenacidad a la temperatura cuando ésta es especialmente baja y resistencia a impacto; y el *estireno*, resistencia mecánica, rigidez, brillo, dureza.



Figura 3.18 Carcasa

3.1.13 Tornillería

A manera de normalización el dispositivo cuenta con tornillos Allen en su totalidad, para facilitar el ensamble y mantenimiento del mismo con herramienta estándar. Todas las roscas fueron maquinadas en medidas estándar inglesas por su popularidad y debido que son más económicos a excepción de los tornillos que sujetan el motor con el soporte los cuales son milimétricos a causa del fabricante del motor



Figura 3.19 Tornillería

3.2 Materiales

3.2.1 Acero Inoxidable 316

En mayor parte el dispositivo cuenta con piezas de acero inoxidable estas son aleaciones de hierro con un mínimo de 10.5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo. Utilizamos la aleación 316 la cual cuenta con un 2-3% de molibdeno que aumenta su resistencia a la corrosión y suele denominarse “acero a prueba de ácidos o acero grado alimenticio” es un inoxidable de uso general con una estructura cubica de caras centradas y al ser un metal austenítico tiene una maquinabilidad del 60%*, aunque la austenita produce virutas largas, continuas y tenaces que resultan difíciles de romper. Se recomienda el uso de filos agudos con geometría positiva, lubricación persistente y mantener la profundidad del corte constante ya que se genera mucho calor durante el maquinado. Esencialmente no magnético en estado recocido y solo puede endurecerse al trabajarse en frío. Se eligió esta aleación en particular ya que a diferencia de otros aceros inoxidables este contiene molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen agentes químicos como cloruros, esta cualidad es de singular importancia, ya que parte del dispositivo está en contacto directo con el vapor de agua suavizada y otros contaminantes en el entorno. Este acero se utiliza en sectores industriales como procesamiento de alimentos, petroquímico, farmacéutico y marítimo y se utiliza principalmente en condensadores, intercambiadores de calor, filtros, recipientes a presión, válvulas, bridas y conexiones.

Al ser un acero con gran cantidad de aplicaciones su costo no es muy elevado a comparación de otros aceros especiales, además de que cuenta con una amplia gama de presentaciones como son esfera, malla, placa, solera, polvo, tubo, barra redonda, barra hexagonal, barra cuadrada, entre otros. Para la manufactura de este dispositivo se utilizó barra hexagonal 1 1/4" y barra redonda de 5/16", 1/2" y 3/4". Las piezas que requerían ser

* Tomando como 100% el acero 12L14

maquinadas en este material en particular son el obturador, el bushing y el vástago, las cuales están en contacto directo y cíclico con el fluido de trabajo, sin embargo otras piezas también fueron elaboradas en este material para evitar bloqueos del mecanismo por causa de expansión térmica, además de que fue más viable utilizar el material residual de las piezas antes mencionadas, que adquirir otro material de características inferiores por lo que también fueron elaboradas las siguientes piezas: pernos, cople, tuerca redonda, tuerca de ajuste y prensaestopas.

Otra ventaja del uso de este material en el dispositivo es su baja conductividad térmica en comparación con otros materiales como acero al carbón, esta propiedad nos ayuda a proteger los componentes electrónicos de temperaturas superiores a las recomendadas.

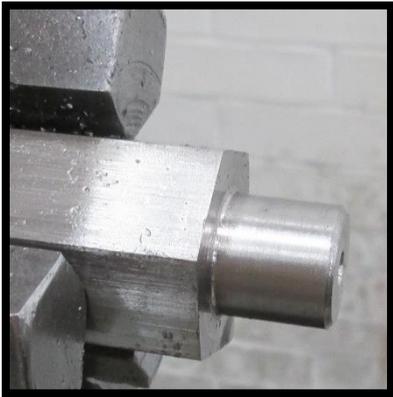


Figura 3.20 Barra hexagonal en el torno



Figura 3.21 Barra redonda en el torno

Propiedades del material

- Densidad 7.96 g cm^{-3}
- Punto de fusión $1370\text{-}1400^\circ\text{C}$
- Dureza Brinell 160-190
- Modulo de elasticidad 190-210 GPa
- Resistencia a la tracción 460-860 (MPa)
- Calor específico a 23°C es $502 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
- Coeficiente de expansión térmica @ $20\text{-}100^\circ\text{C}$ es de 16-18 ($\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
- Conductividad térmica $16.3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

3.2.2 Acero al carbón 1018

Este tipo de acero de uso general se utiliza para estructuras, tubería soldada y para piezas no críticas que no están expuestas a altos esfuerzos como pines, cuñas, remaches, piñones, flechas, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina. Al ser de uso común tiene una amplia gama de presentaciones como solera, polvo, barra redonda, barra cuadrada, placa, lamina, malla, tubo y gran cantidad de perfiles.

Presenta una maquinabilidad del 80%, el acero de bajo-medio contenido de carbón produce virutas largas que son pastosas, por lo que se recomienda el uso de filos agudos.

Este material se utilizó para manufacturar el soporte del motor, debido a que esta pieza no logro ser concebida con el material residual de las anteriores por sus dimensiones y geometría, pero al ser un elemento cuya única función crítica era la de sostener el motor y

fijarlo al dispositivo se optó por este material cuyo costo es bajo, su disponibilidad es muy alta dado a su gran popularidad en el mercado, su facilidad para ser maquinado además de una soldabilidad excelente por cualquier método. Se utilizó barra redonda de 1 1/2" y placa 1/8".



Figura 3.22 Soporte de motor sin terminar

Propiedades del Material

- Densidad 7.87 g cm^{-3}
- Punto de fusión $1370\text{-}1380^{\circ}\text{C}$
- Dureza Brinell 126
- Modulo de elasticidad 205 GPa
- Resistencia a la tracción 385 (MPa)
- Calor específico a 23°C es $486 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
- Coeficiente de expansión térmica @ $20\text{-}100^{\circ}\text{C}$ es de $12 \text{ (} \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{)}$
- Conductividad térmica $52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$



RESULTADOS

“Suelo soñar, correr y tropezarme”
(Gera MxM)

4.1 Pruebas de laboratorio.

Una vez terminado el ensamble de la válvula se realizaron distintas pruebas de funcionamiento al dispositivo para comprobar la correcta interacción entre los elementos, dichas pruebas se realizaron en el área de proyectos mecatrónicos ubicada en el L-3 de la FES Aragón. El mecanismo fue operado por medio del módulo de control diseñado para este dispositivo [4].

En primera instancia se realizaron dos pruebas de laboratorio sobre una mesa de pruebas manufacturada para ensamblar la válvula y poder contemplar los recorridos del obturador, el primer experimento comprobó que el mecanismo no sufriera bloqueos o atascos y observar el movimiento del obturador, además se verificó que el motor desarrollara el torque necesario para activar el mecanismo. Durante la segunda prueba se sometió la válvula a un periodo de operación de dos mil ciclos de trabajo continuo para constatar el rendimiento del dispositivo en uso constante.



Figura 4.1 Primer experimento, válvula montada en su mesa de pruebas.

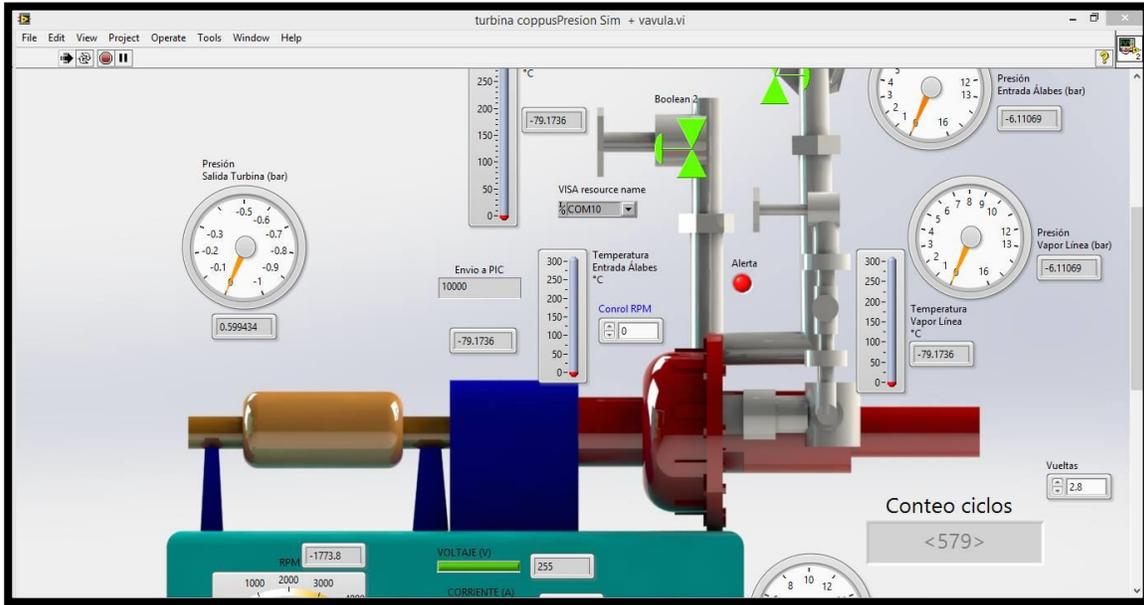


Figura 4.2 Interfaz de la turbina donde se muestra el conteo de ciclos de trabajo.

Los experimentos anteriores se repitieron en varias ocasiones para asegurar el correcto funcionamiento de la válvula antes de ser ensamblada en la turbina. Una vez que las pruebas de laboratorio fueron convincentes al mostrar un movimiento controlado del obturador y soportar ciclos de trabajo continuos, se realizaron los ensayos en la turbina.

4.2 Pruebas en sitio.

El objetivo del primer ensayo era probar el funcionamiento completo de la válvula en la turbina, lo cual no fue posible debido a que se presentaron errores de comunicación entre la válvula y la computadora, esto fue por no prever una distancia conveniente de los cables de conexión entre el mecanismo y su control. El vapor que llega a escapar de la turbina insidia en la computadora y en la protoboard del circuito de control lo que interrumpía la comunicación con la válvula.



Figura 4.3 Montaje de la válvula sin motor durante el primer ensayo en sitio.



Figura 4.4. Montaje de la válvula sin carcasa en la turbina durante el primer ensayo en sitio.

Debido al problema que se presentó no se pudo activar la válvula, sin embargo se obtuvieron algunos resultados positivos en pertinentes al diseño mecánico:

- Se logró verificar que la rosca cónica que une la válvula con la turbina coincidiera en ambos elementos.
- Se comprobó que el diseño completo del dispositivo no interrumpiera con la operación de la turbina de manera negativa debido a no tener obstáculos para el ensamble del dispositivo en cualquiera de las válvulas manuales.

Para realizar la segunda prueba se utilizó el cableado pertinente para la operación, lo que permitió accionar el motor de la válvula y controlar los recorridos del obturador, percatándonos que dicha carrera había quedado limitada a 0.1125", es decir solo daba 1

1/8 vueltas para pasar de la apertura total al cierre total. Esta situación nos representaba un problema ya que cuando la válvula se colocaba en la posición de apertura total no permitida el paso de vapor necesario para romper la inercia del rotor de la turbina.

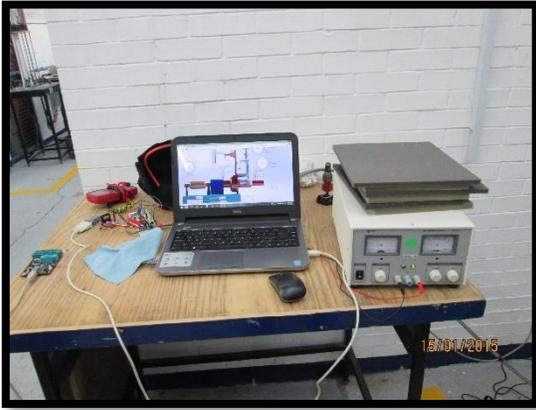


Figura 4.5 Sistema de control en el segundo ensayo en sitio.



Figura 4.6 Montaje de la válvula sin carcasa en el segundo ensayo en sitio.

Este inconveniente se debía a que el diseño de la servoválvula se basó principalmente al de la válvula manual la cual está dotada de un vástago roscado cuya longitud efectiva es mucho menor a la longitud total de este. Por otro lado el vástago de la servoválvula mantiene la misma longitud total que el de la manual pero la longitud roscada es de 0.600" y está limitado por un cambio de diámetro que evita un desensamble accidental de la tuerca redonda con el vástago o un bloqueo del vástago con el prensaestopas. Una vez identificado el problema, la solución fue disminuir 5mm la longitud del vástago, lo que dio como resultado el aumento de la carrera del obturador y mayor resolución de control.

Durante los primeros dos experimentos la servoválvula se colocó en la ubicación de la cuarta válvula manual. Para realizar el tercer experimento se colocó en la ubicación de la primera válvula manual y se logró operar la turbina con los siguientes resultados:

- Al pasar el vapor hacia la tobera con una presión de 7 bar no hubo fugas de vapor, es decir que el sello hermético que provee el O-ring entre el vástago y el bushing, además del sello metal-metal que se da entre la turbina y el bushing, funcionan perfectamente.
- Se logró regular el flujo de vapor, pudiéndose elevar la velocidad de la turbina arriba de 4000RPM sin carga y disminuirla hasta las 850RPM comprobando que la servoválvula es funcional.
- La operación de la válvula duro aproximadamente una hora y media, con lo que se constató que la temperatura a la que la servoválvula se eleva no causa bloqueos en el mecanismo ni afecta la operación del servomotor o del encoder de este, ya que dicha temperatura es menor en el cuerpo de la servoválvula que en la turbina.

A pesar de estos buenos resultados se notó que al colocar el dispositivo completamente cerrado, la turbina no dejaba de girar lo que significaba que el obturador no era capaz de bloquear el flujo de vapor completamente, por lo que al examinar el obturador de la válvula

manual 1 se notó que el cono que realiza el sello a pesar de mantener el mismo ángulo de 60° era un poco más prolongado que el de la válvula manual 4 en la cual se basó el diseño de la servoválvula, además el límite del vástago impedía el contacto total del asiento de la válvula con el obturador. Para solucionar este problema se tuvo que maquinar un obturador con dimensiones poco diferentes al original, para poder prolongar el cono y aumentar su longitud para asegurar el contacto con el asiento.

Además se solicitó la obtención de una fuente de voltaje regulable que pueda suministrar 6A para alimentar correctamente al motor del dispositivo, ya que las pruebas se realizaron con una fuente que suministra 2.5A como máximo, lo cual limita el torque que puede desarrollar el motor y da como resultado pequeños bloqueos en el mecanismo provocados por la presión de vapor.

CONCLUSIONES

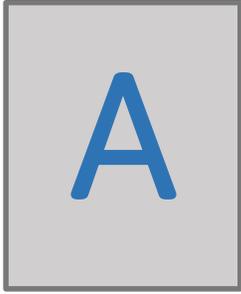
A pesar de las limitantes que se presentaron en la fabricación de la servoválvula como: poca capacidad instalada, la dificultad en la obtención del material en pequeñas cantidades, entre otras, los resultados obtenidos en las pruebas tanto de laboratorio como en la turbina cumplen los requisitos demandados en el proyecto en un 80%, ya que el mecanismo es capaz de regular el flujo de vapor que entra a los alabes de la turbina, sin embargo requiere del módulo de control. El dispositivo es completamente funcional y su uso continuo no presenta ningún riesgo para el operador.

Cabe señalar que el mecanismo pudiese ser optimizado en gran parte con técnicas de manufactura sofisticadas como son máquinas herramientas de control numérico, metalurgia de polvos, fundición por inyección, entre otras, las cuales presentan costos más elevados. El diseño presenta una fabricación sencilla, se puede realizar la manufactura con un torno y una fresadora, disminuyendo fuertemente el costo de producción y de reemplazo de piezas si es que llegase a ser necesario en el futuro. Debido a esto fue posible maquinar cada una de las piezas del mecanismo en los laboratorios de manufactura L-1 de la FES Aragón demostrando el alcance que se tiene en estos, con excepción de la carcasa del motor.

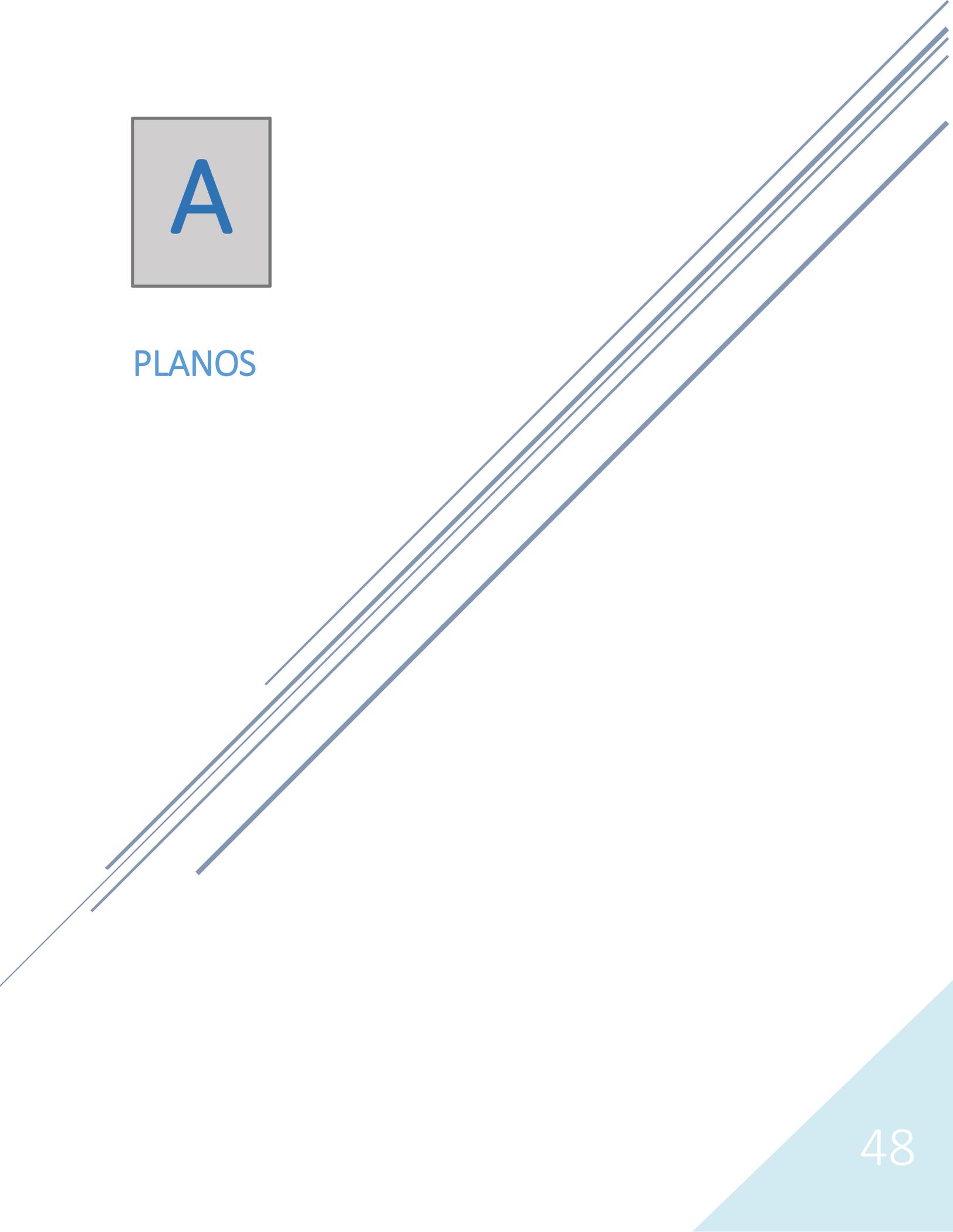
La servoválvula diseñada representa una propuesta viable para el control del flujo de vapor que entra a los alabes de la turbina por medio de un circuito de control con un microcontrolador PIC (4) acoplado a la interfaz previamente diseñada de la turbina, aunque si se desea realizar el control automático total de la turbina es necesario implementar a la interfaz de control electroválvulas de dos y tres vías que ofrezcan la desviación y bloqueo del vapor en momentos oportunos para una operación fluida.

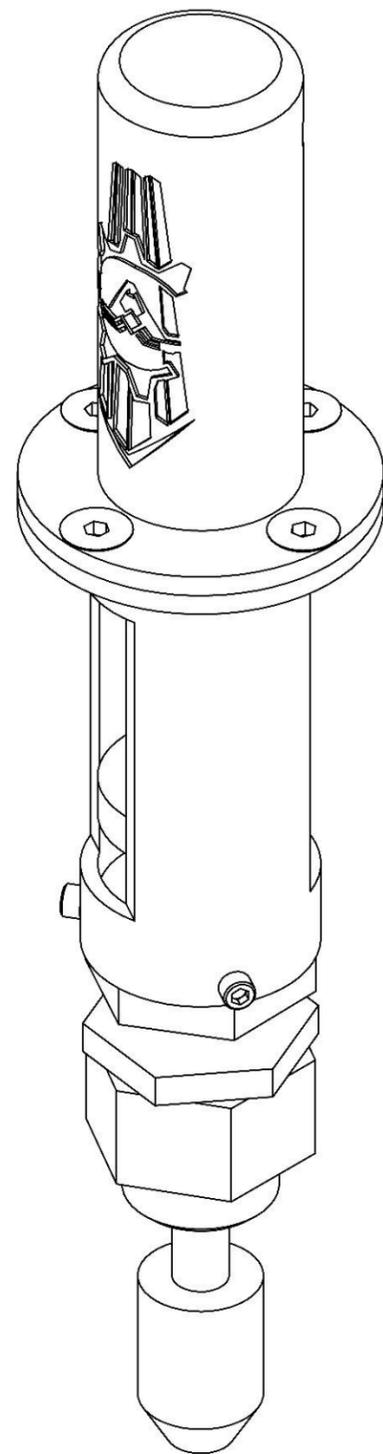
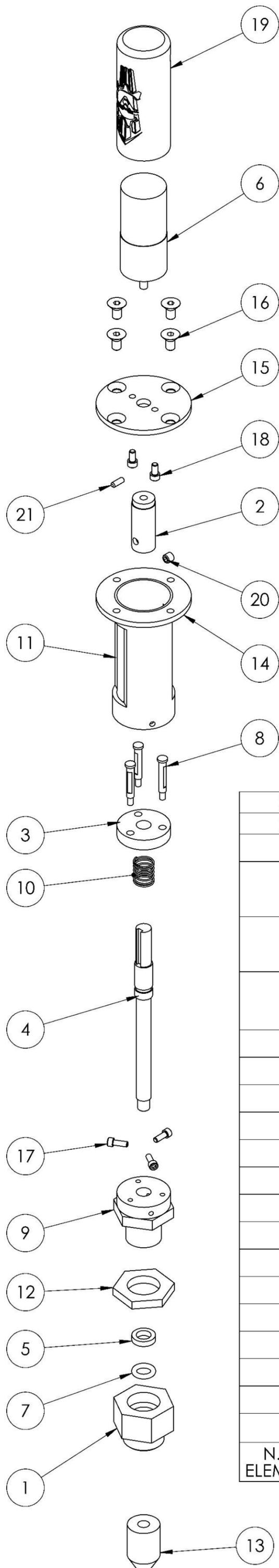
La producción de este dispositivo tuvo un costo de \$2200 MXN, costo que únicamente cubre los gastos de la fabricación de la carcasa, costo del servomotor, O-ring, resorte y del material (teflón, acero inoxidable 316, acero 1018). Los costos de manufactura fueron nulos ya que se utilizó la capacidad instalada en la facultad, aunque una cotización de las piezas en un taller mecánico nos arrojó un costo de fabricación de \$12,000 MXN. Por lo que la suma de estas dos cantidades puede traducirse como el precio real de la servoválvula en \$14,200 MXN el cual es un monto mucho menor en comparación con dispositivos existentes en el mercado cuyo precio es a partir de los \$50,000 MXN sin tomar en cuenta los acondicionamientos necesarios para la instalación mecánica y compatibilidad con la interfaz de control.

Este trabajo forma parte de una serie de implementaciones que se realizan en el laboratorio de máquinas térmicas del L-2 de la FES Aragón gracias al proyecto PAPIME PE101614 para el beneficio de aproximadamente 560 estudiantes a cargo de 12 docentes en las asignaturas de: Aplicaciones de propiedades de la materia, Instrumentación y control, Laboratorio de máquinas térmicas, termodinámica y transferencia de calor, aunque pudiese ser utilizado para demostraciones en otras áreas.

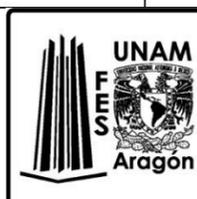


PLANOS





21	Prisionero 1/8"X1/2"	Acero al carbon	1	
20	Prisionero 3/16"X1/4"	Acero al carbon	1	
19	Carcasa	ABS	1	STC-MEC-512-AB
18	Tornillo allen cabeza cilindrica 3mmX7mm	Acero al carbon	2	
17	Tornillo allen cabeza cilindrica 1/8"X1/2"	Acero al carbon	3	
16	Tornillo allen cabeza plana 3/16"X1/2"	Acero al carbon	4	
15	Brida2	Acero 1018	1	STC-MEC-510-AB
14	Brida1	Acero 1018	1	STC-MEC-509-AB
13	Barril	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-506-AB
12	Tuerca de ajuste	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-505-AB
11	Soporte	Acero 1018	1	STC-MEC-504-AB
10	Resorte	Piano	1	
9	Prensaestopas	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-501-AB
8	Perno	Acero Inox. 316	3	STC-MEC-503-AB
7	Oring	Compuesto Parker E3014-80A	1	
6	Motor		1	
5	Junta	PTFE	1	STC-MEC-508-AB
4	Vastago	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-502-AB
3	Tuerca Redonda	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-511-AB
2	Cople	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-507-AB
1	Bushing	Acero Inox. 316	1	STC-MEC-500-AB
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PLANO



Servoválvula
STC-BOM-500-AB
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad De Estudios
Superiores Aragón

Aprobó: HMA

Cota: In[mm]

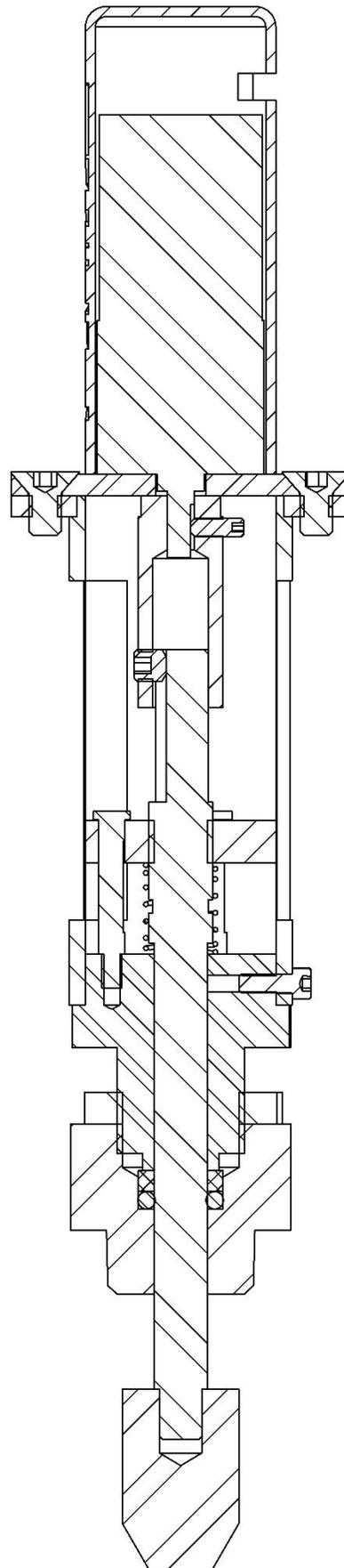
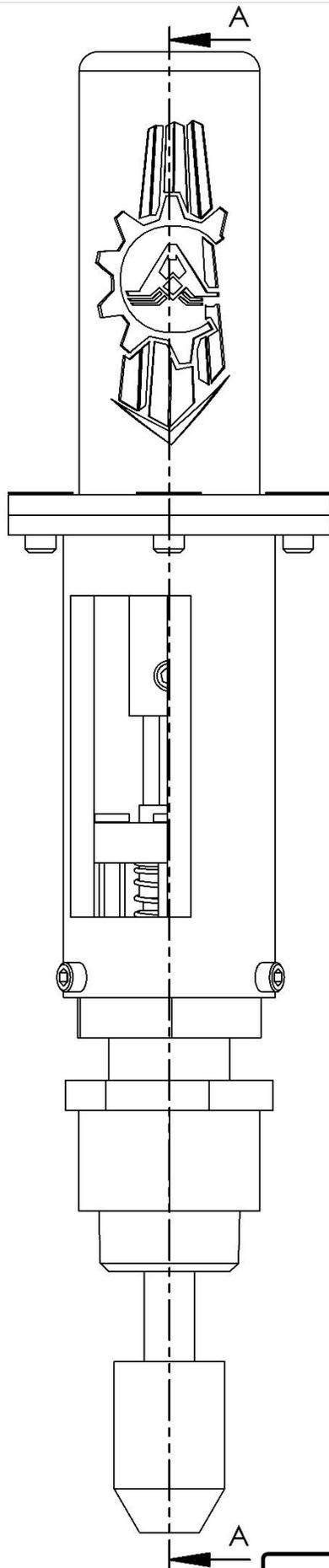
Revisó: HMA

Escala: 1:1

Dibujó: RAVG

1 de 15





Servoválvula
 STC-AGE-500-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA

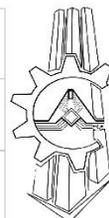
Revisó: HMA

Dibujó: RAVG

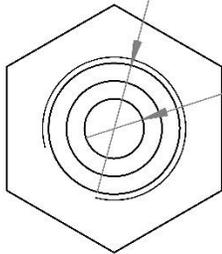
Cota: ln[mm]

Escala: 1:1

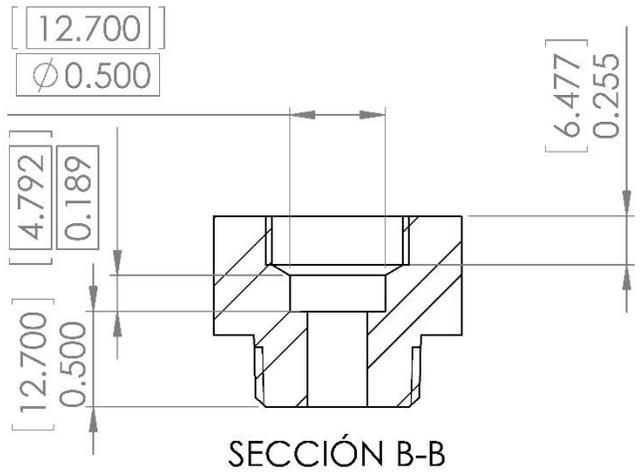
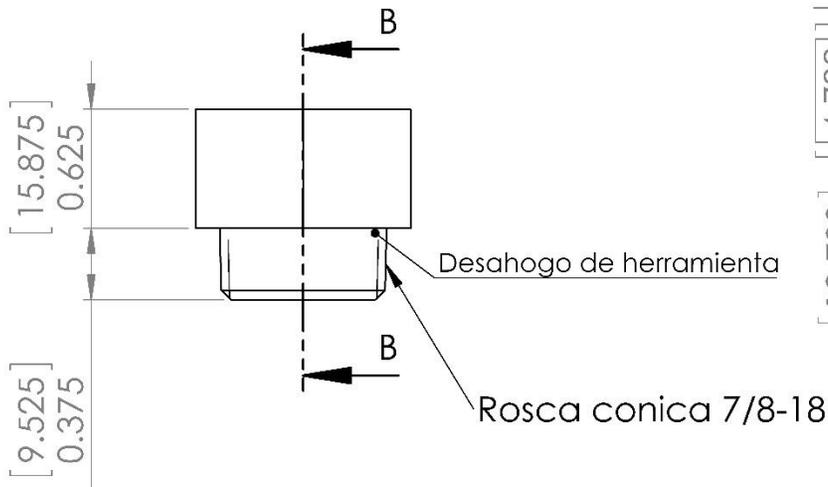
 2 de 15



$\varnothing 0.688 [17.463] \nabla 0.380 [9.652]$
 $3/4-16 \text{ UNC } \nabla 1.500 [38.100]$



$\varnothing 0.313 [7.938]$ PASADO

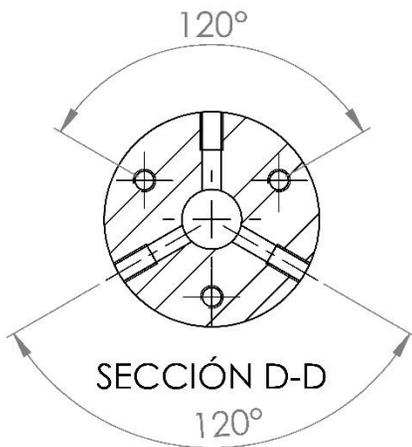
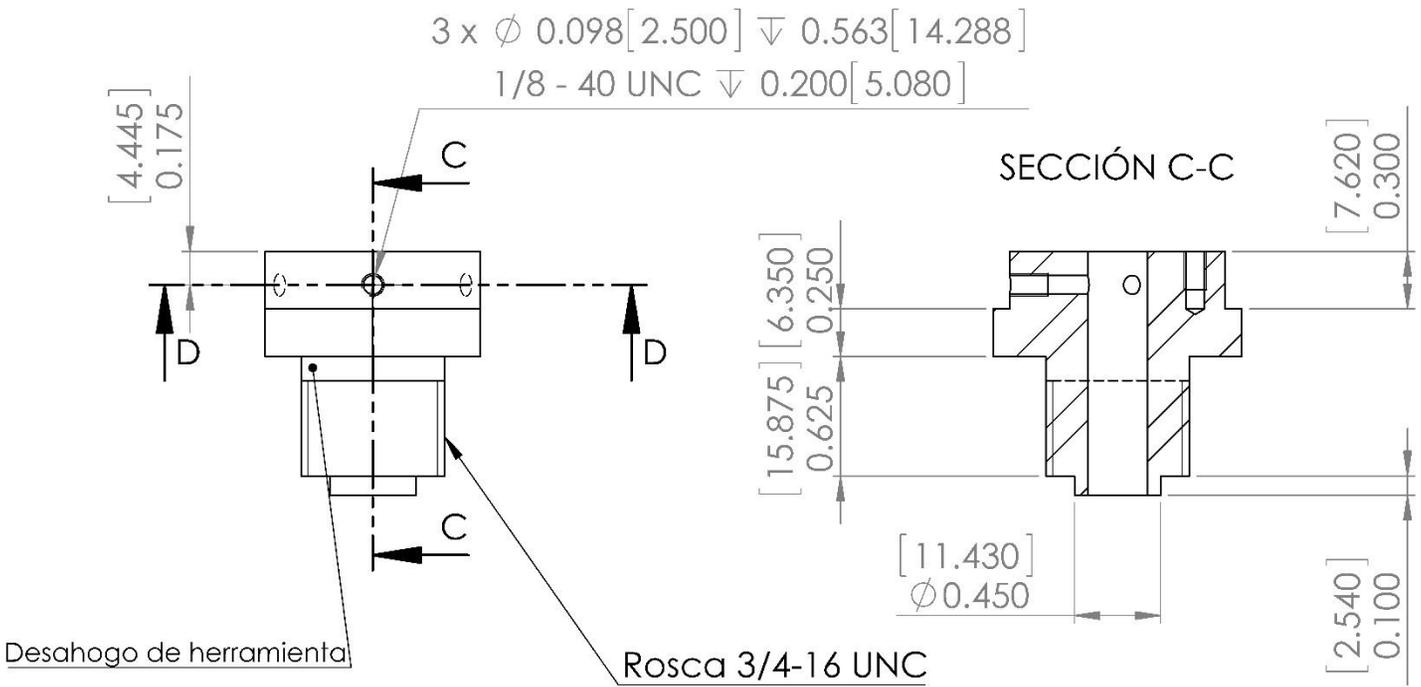
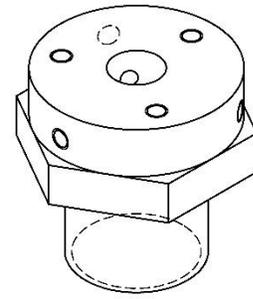
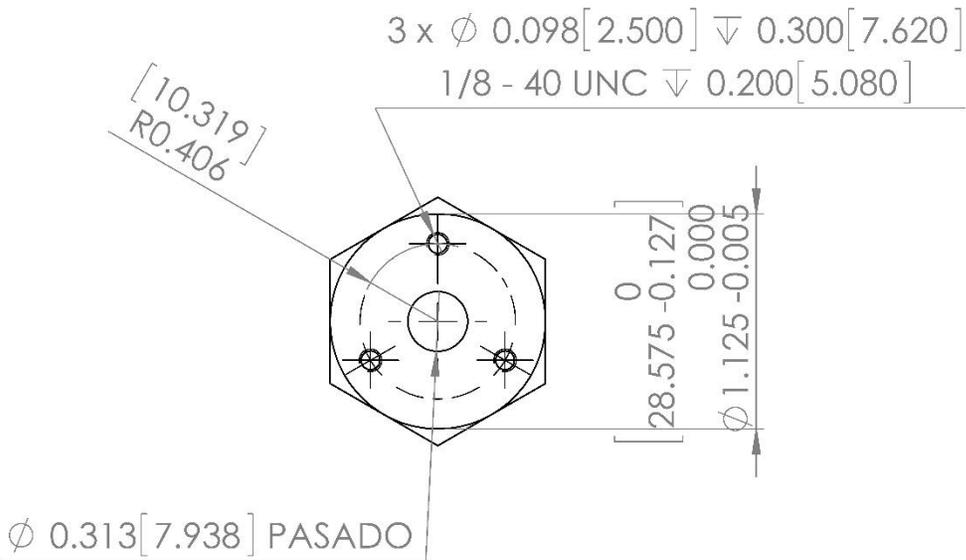


Bushing
 STC-MEC-500-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA
 Revisó: HMA
 Dibujó: RAVG

Cota: In[mm]
 Escala: 1:1
 3 de 15





Prensaestopas
 STC-MEC-501-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA

Revisó: HMA

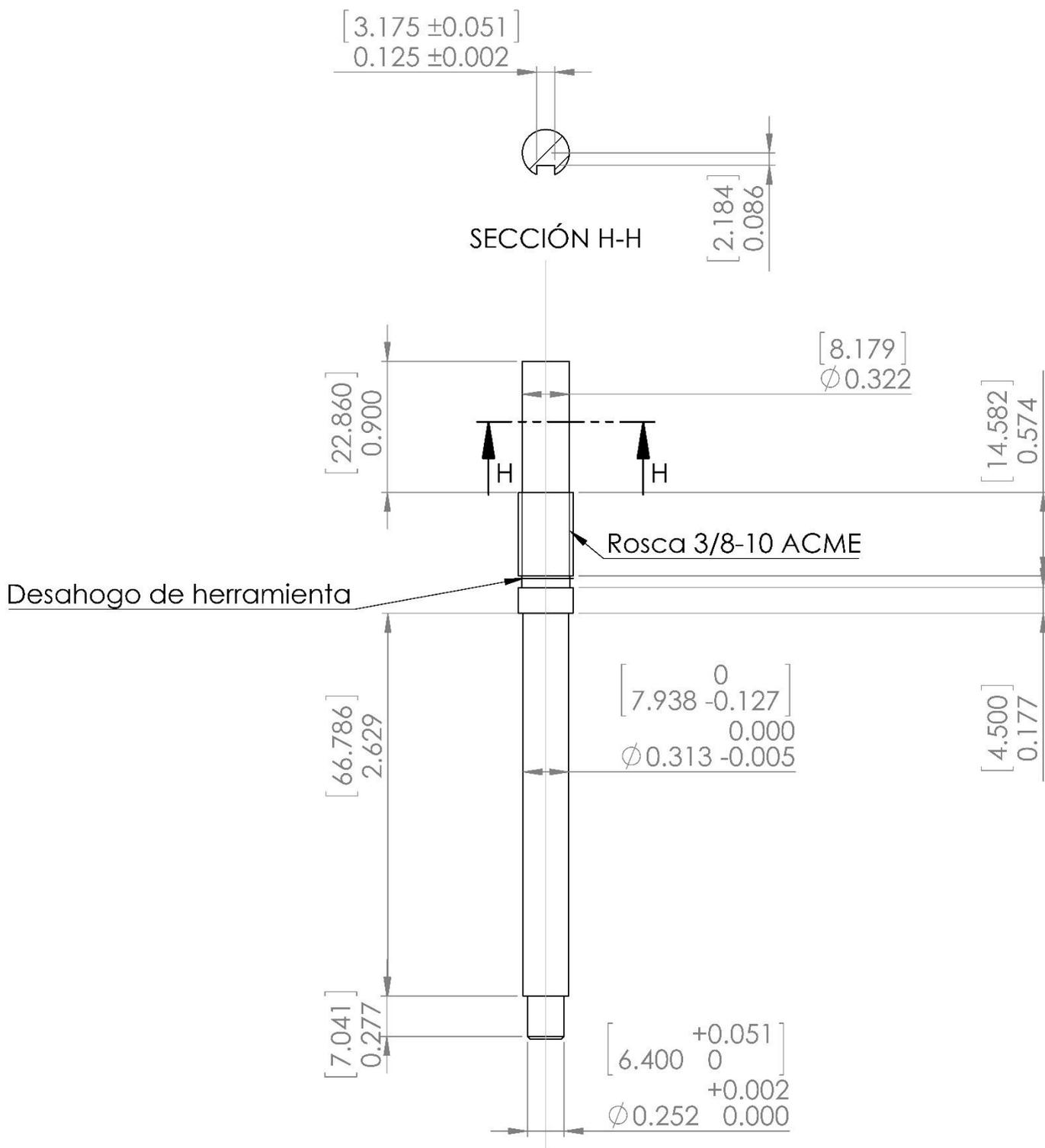
Dibujó: RAVG

Cota: In [mm]

Escala: 1:1

4 de 15





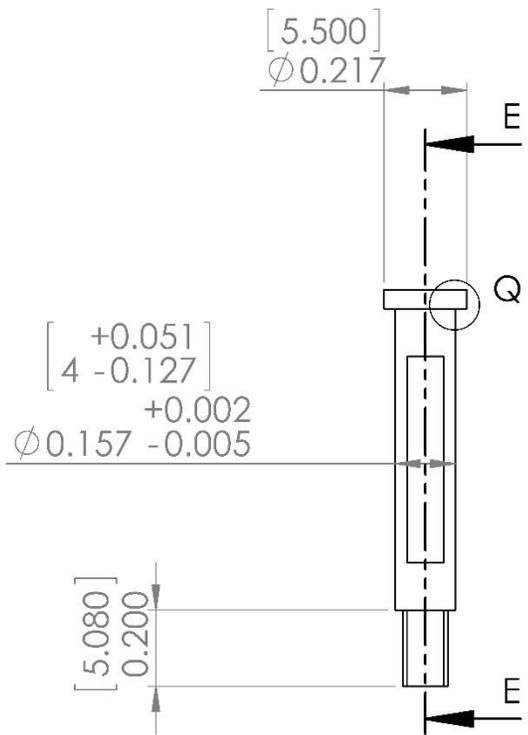
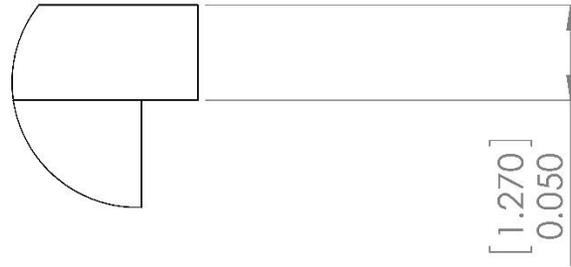
Vástago
 STC-MEC-502-AB
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad De Estudios Superiores Aragón

Aprobó: HMA
 Revisó: HMA
 Dibujó: RAVG

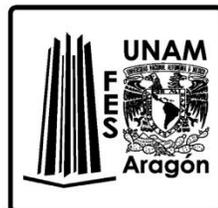
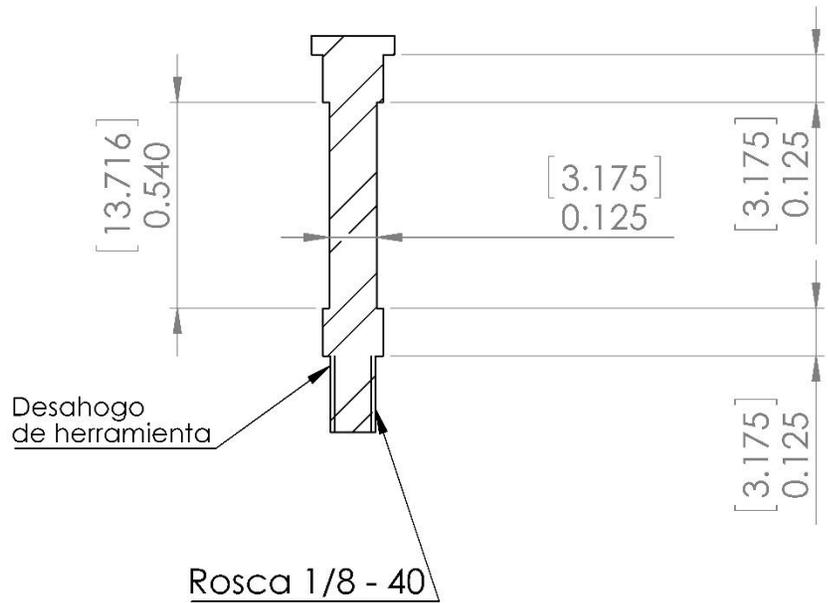
Cota: In [mm]
 Escala: 1:1
 5 de 15



DETALLE Q
ESCALA 10 : 1



SECCIÓN E-E



Perno
STC-MEC-503-AB
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad De Estudios
Superiores Aragón

Aprobó: HMA

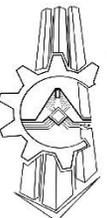
Cota: In [mm]

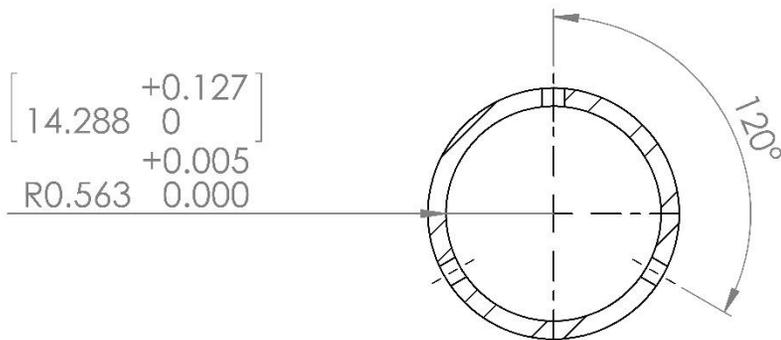
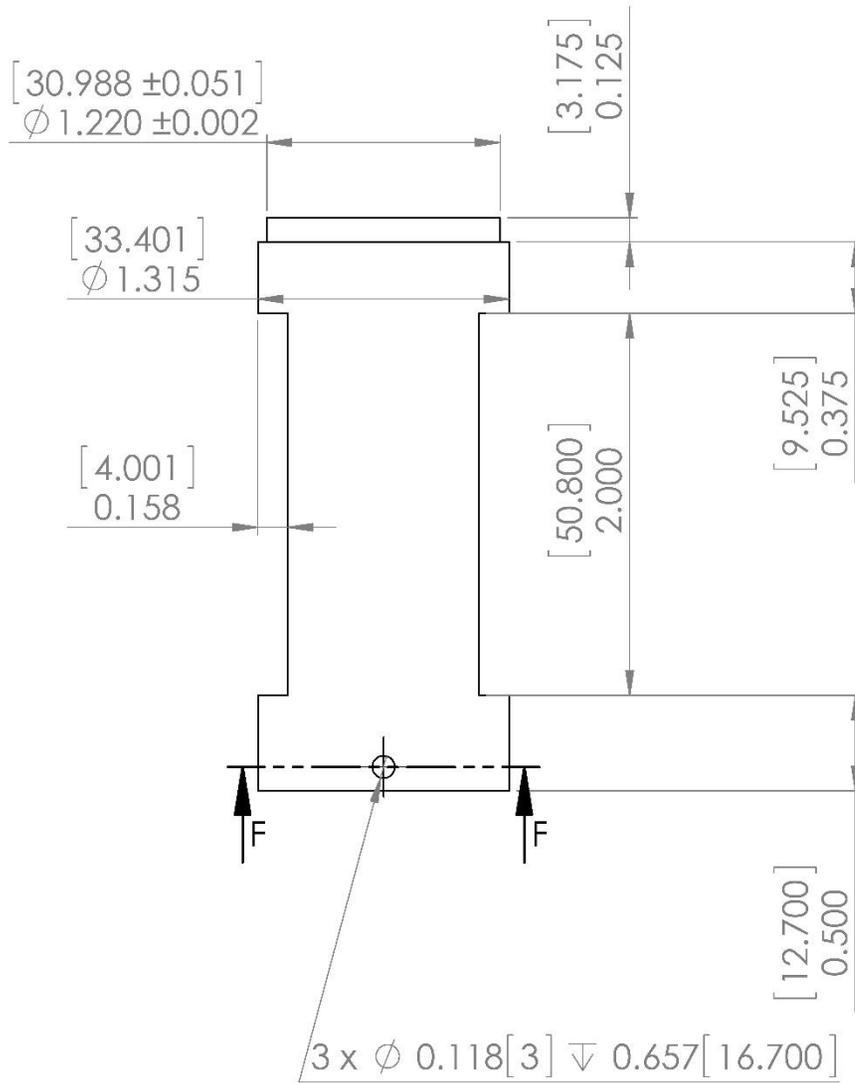
Revisó: HMA

Escala: 2:1

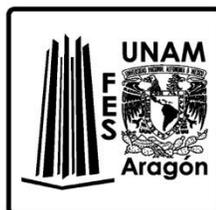
Dibujó: RAVG

6 de 15





SECCIÓN F-F



Soporte
 STC-MEC-504-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA

Revisó: HMA

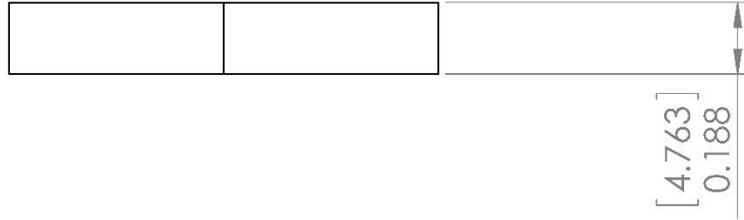
Dibujó: RAVG

Cota: In [mm]

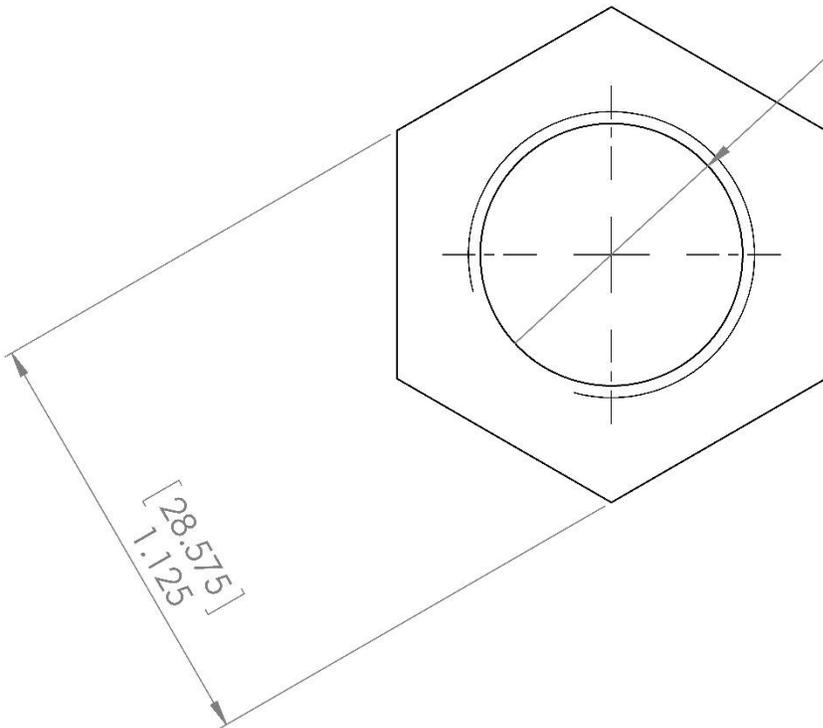
Escala: 1:1

7 de 15





Ø 0.688 [17.463] PASADO
3/4-16 UNC PASADO

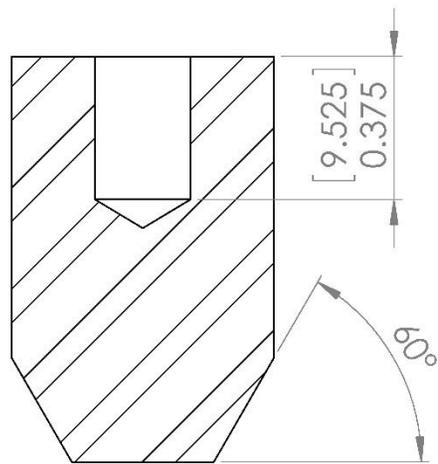
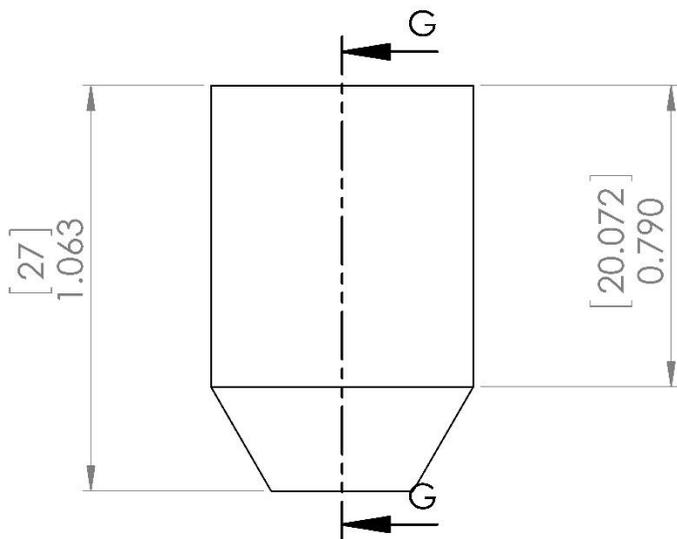
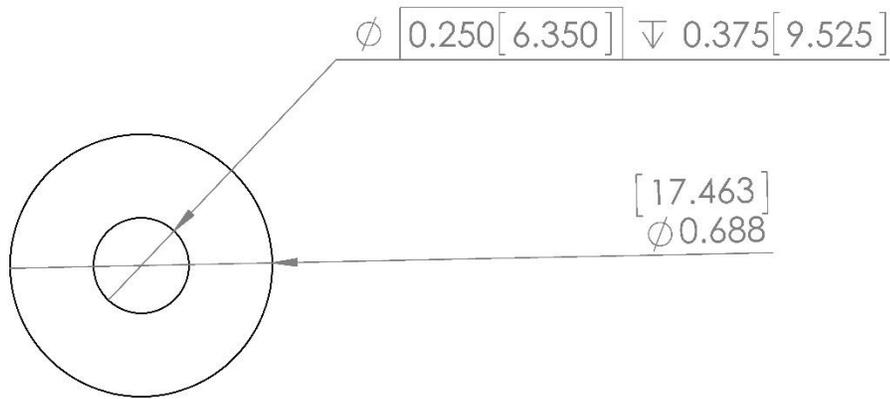


Tuerca de ajuste
STC-MEC-505-AB
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad De Estudios
Superiores Aragón

Aprobó: HMA
Revisó: HMA
Dibujó: RAVG

Cota: In [mm]
Escala: 2:1
8 de 15





SECCIÓN G-G



Barril
 STC-MEC-506-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

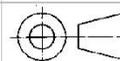
Aprobó: HMA

Cota: In [mm]

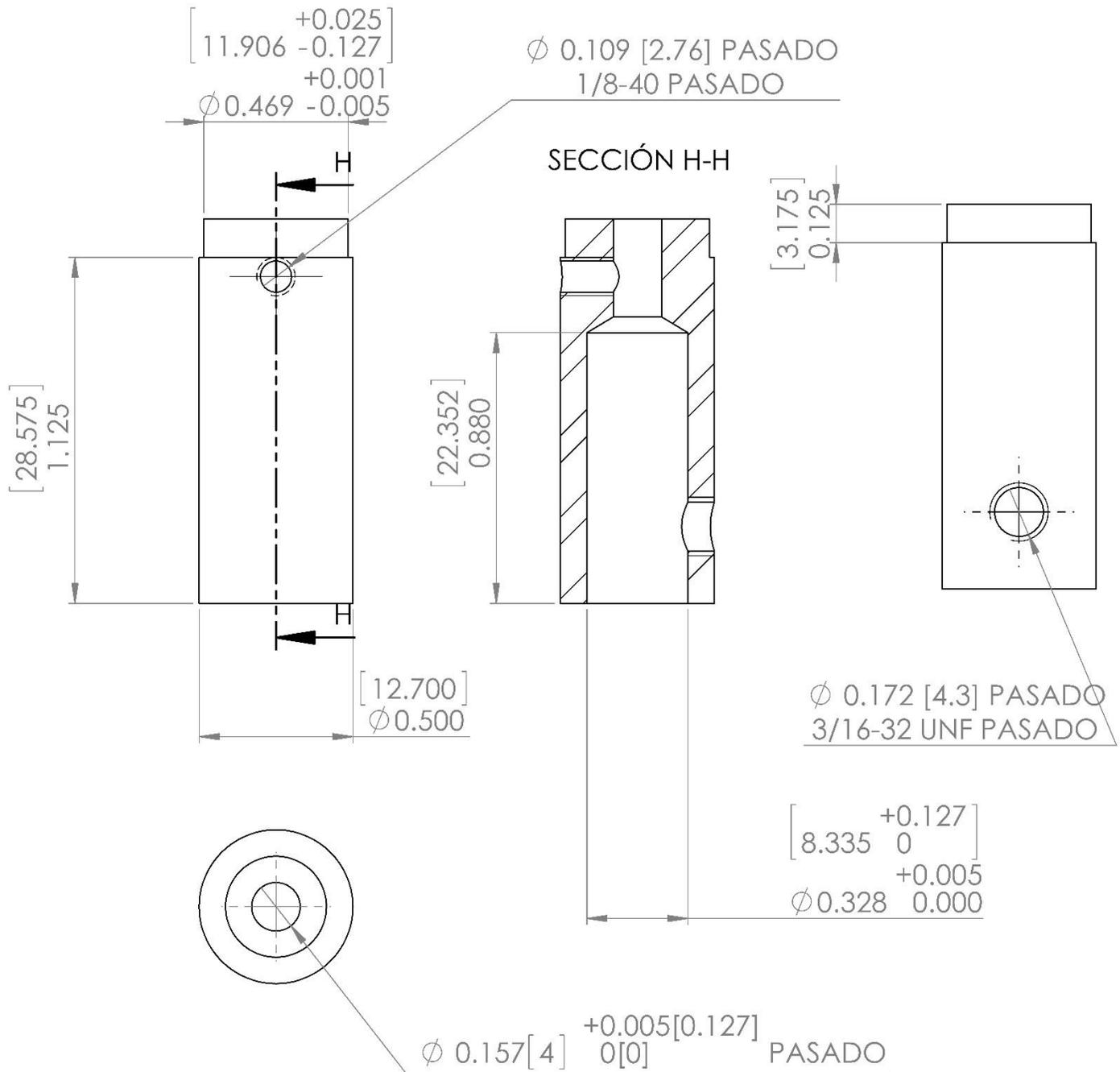
Revisó: HMA

Escala: 2:1

Dibujó: RAVG

 9 de 15





Cople
 STC-MEC-507-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA

Cota: In [mm]

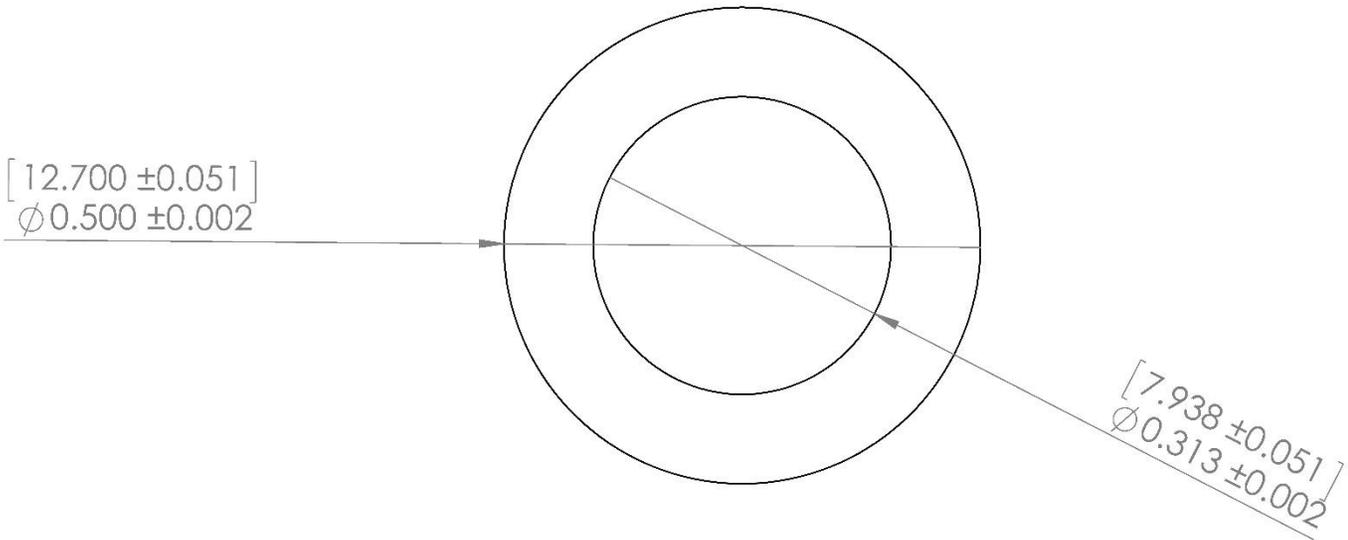
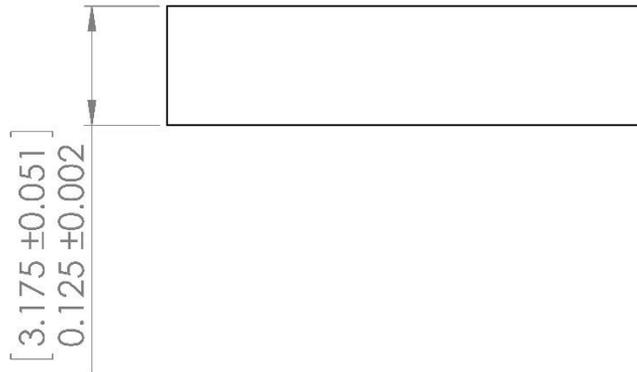
Revisó: HMA

Escala: 2:1

Dibujó: RAVG

10de15

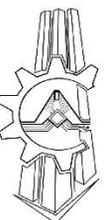


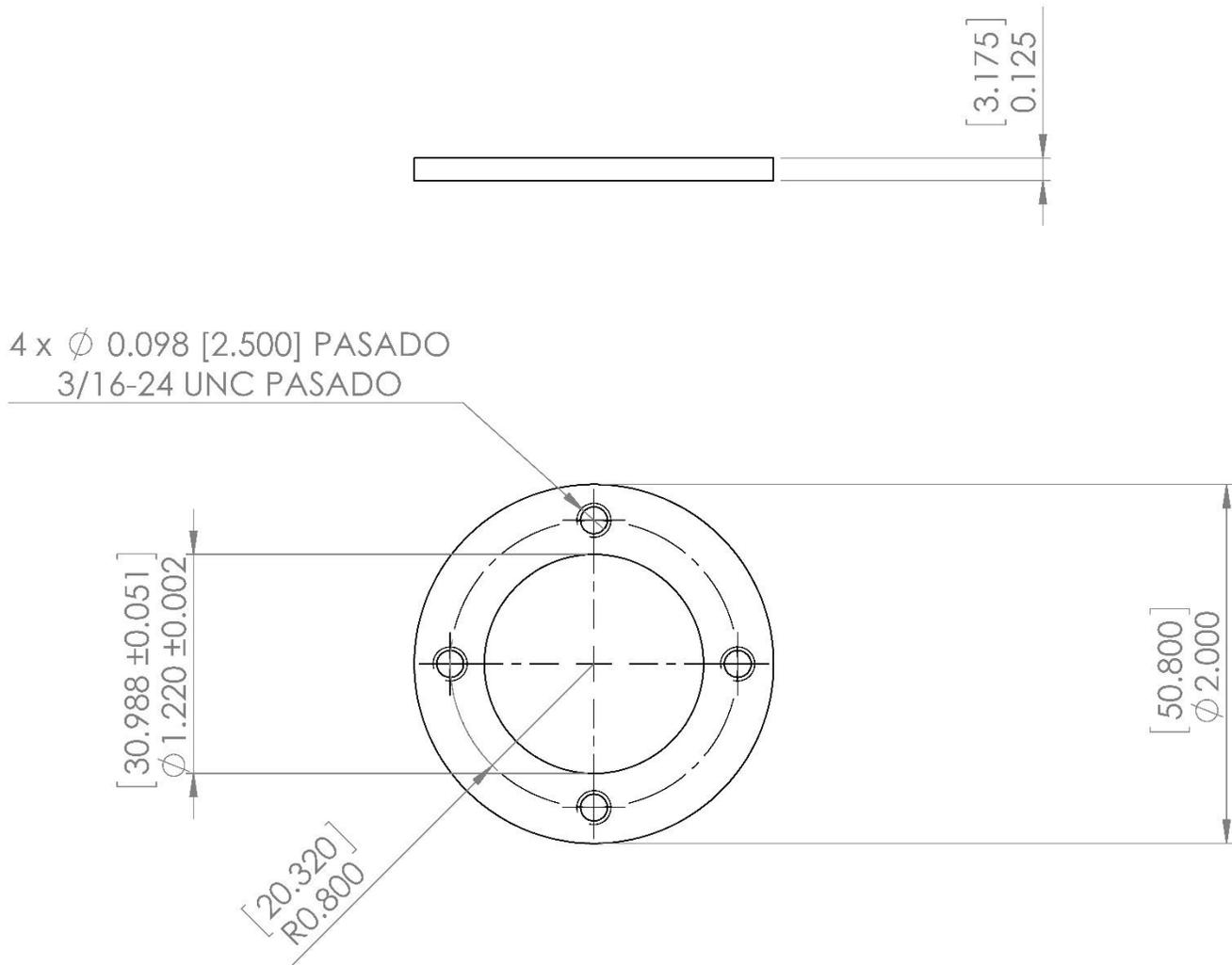


Junta
 STC-MEC-508-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA
 Revisó: HMA
 Dibujó: RAVG

Cota: In [mm]
 Escala: 5:1
 11 de 15





Brida 1
STC-MEC-509-AB
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad De Estudios
Superiores Aragón

Aprobó: HMA

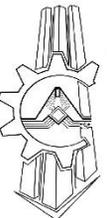
Cota: In [mm]

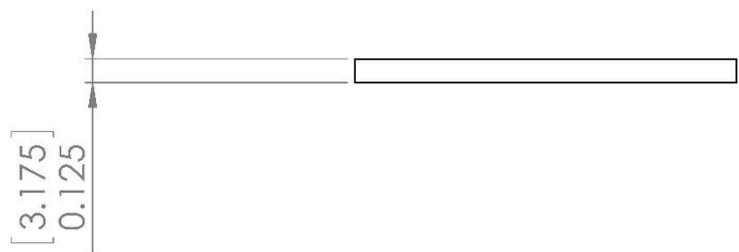
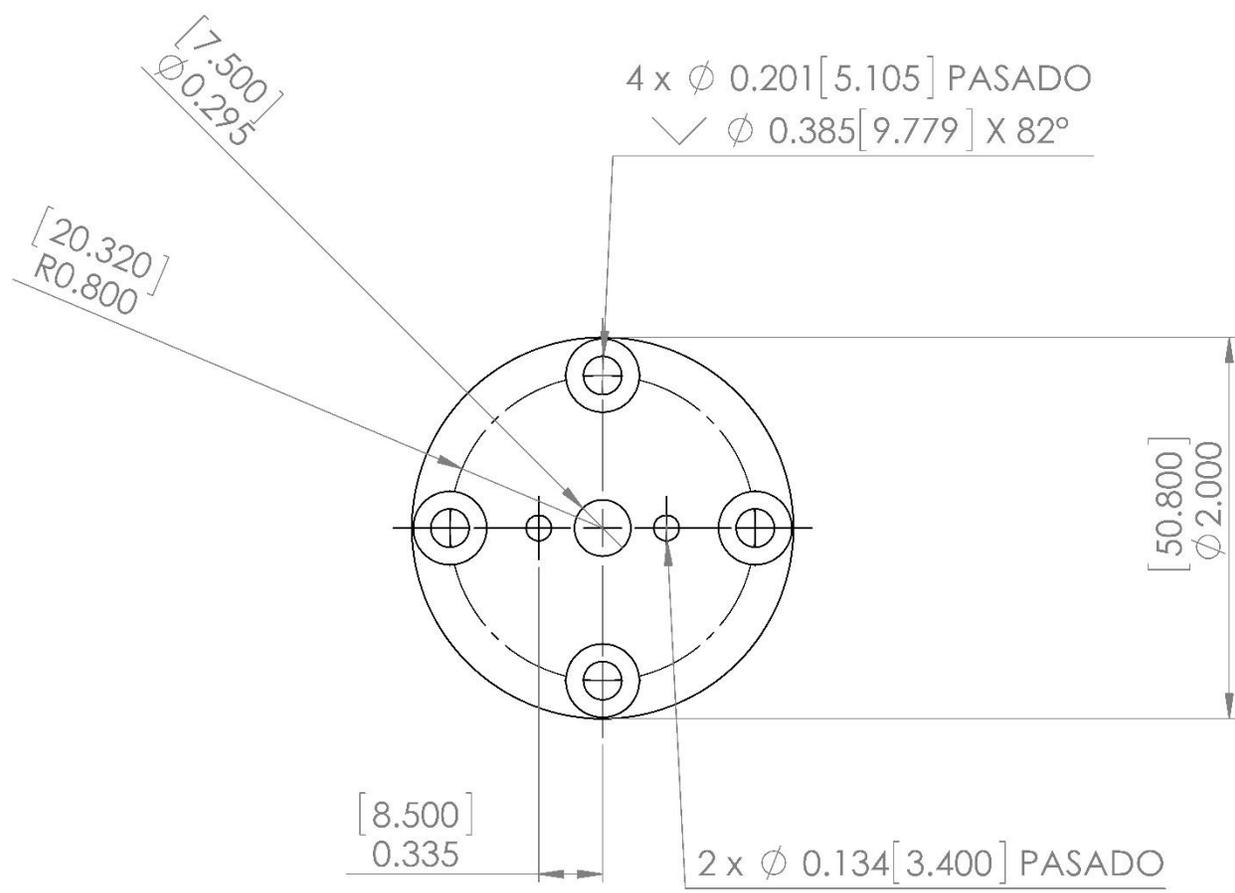
Revisó: HMA

Escala: 1:1

Dibujó: RAVG

 12de15

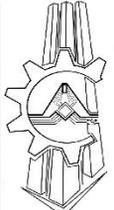


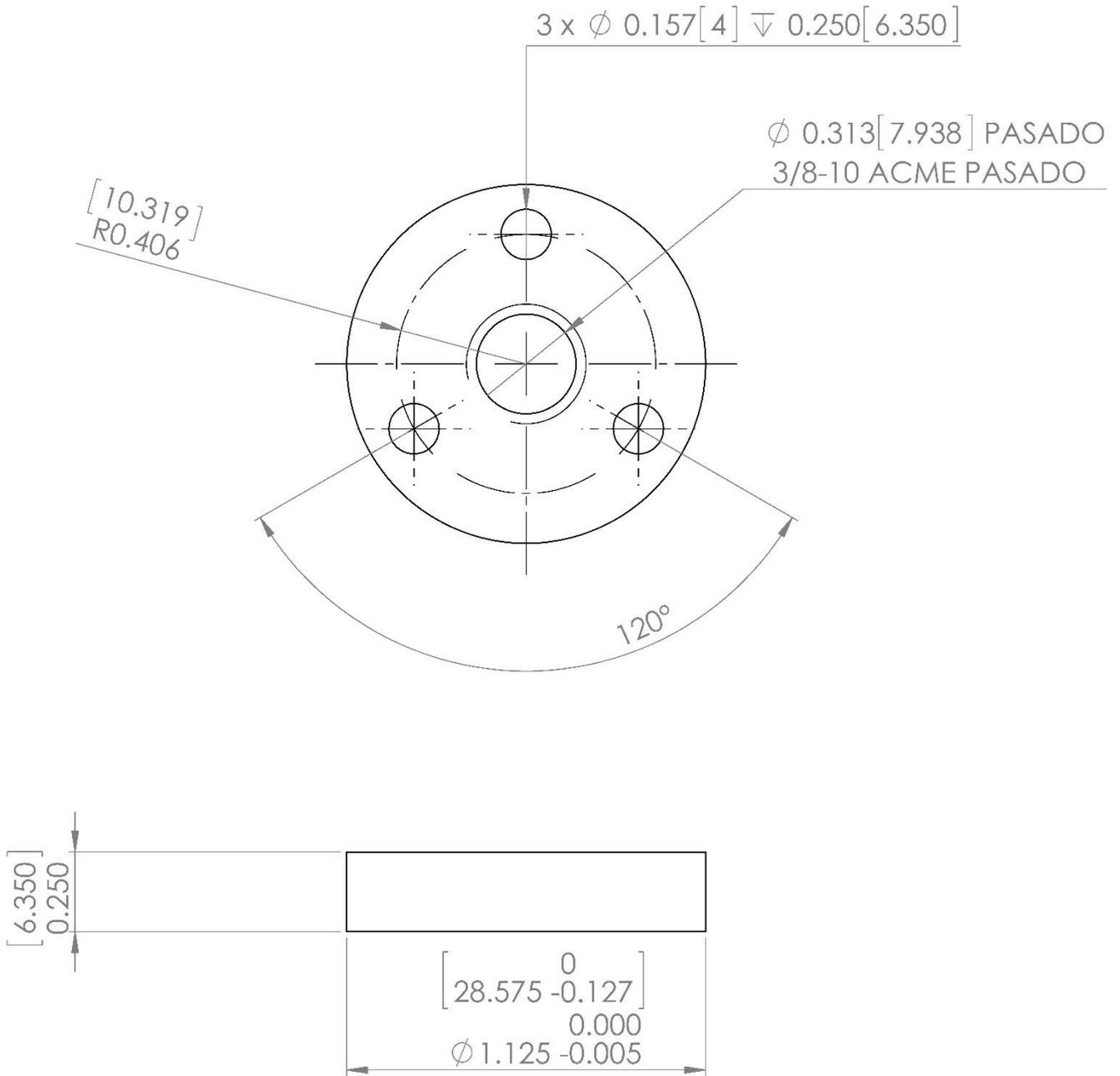


Brida 2
 STC-MEC-510-AB
 Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad De Estudios
 Superiores Aragón

Aprobó: HMA
 Revisó: HMA
 Dibujó: RAVG

Cota: In [mm]
 Escala: 1:1
 13de15





Tuerca redonda
STC-MEC-511-AB
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad De Estudios
Superiores Aragón

Aprobó: HMA

Cota: In [mm]

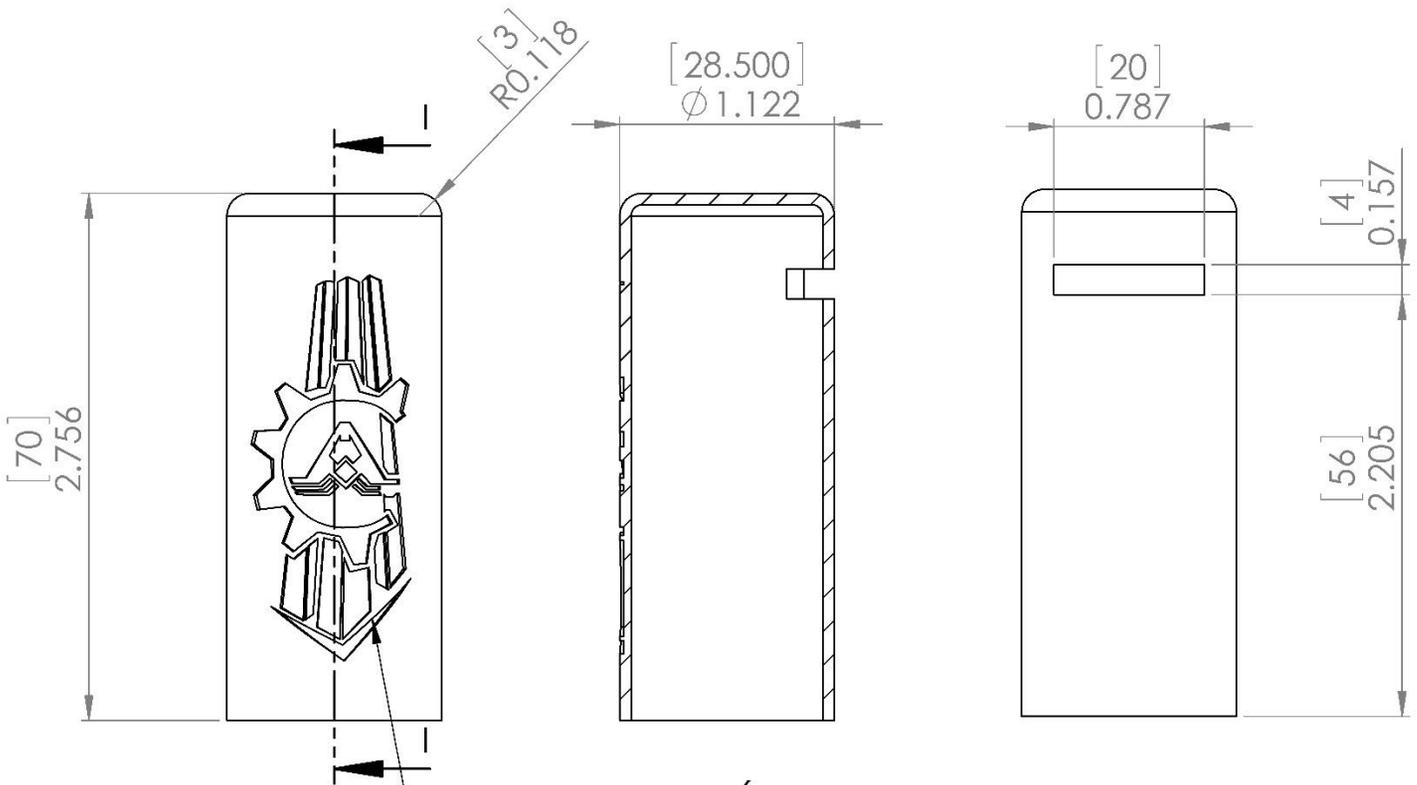
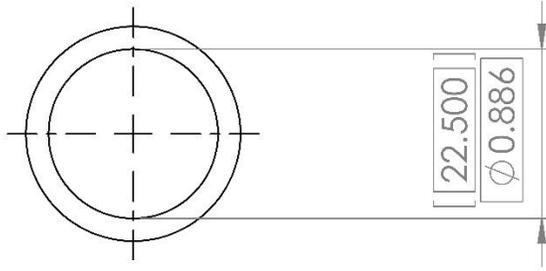
Revisó: HMA

Escala: 2:1

Dibujó: RAVG

14de15





SECCIÓN I-I

Profundidad del grabado
uniforme a 0.019 [0.5]



Carcasa
STC-MEC-512-AB
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad De Estudios
Superiores Aragón

Aprobó: HMA

Revisó: HMA

Dibujó: RAVG

Cota: In [mm]

Escala: 1:1

15de15



BIBLIOGRAFIA

- Cengel Y. & Boles, A. *Termodinámica*, Séptima edición, McGraw-Hill, México 2009.
- Jones, C. *Métodos de diseño*. Gustavo Gili, España 1977.
- Mott, L.R. *Diseño de elementos de Maquinas*. Prantice Hall, México 1995.
- Askeland, D. *Ciencia e ingeniería de materiales*. Thomson, México 1998.
- Jensen C., Helsel J.D., Short D. R. *Dibujo y diseño en ingeniería*, Sexta edición, McGraw-Hill, México 2004.

REFERENCIAS

1. Sener.gob.mx. Recuperado el 23 de abril de 2014 de: http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/ee/Generacion_Bruta_de_Energia_Electrica.pdf
2. Nicolás García S. A (2013). *Sistema de supervisión y Adquisición de datos para un ciclo Rankine* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Aragón.
3. Parker. (2014). Catalogo O-Ring. Parker, 1, 2-4.
4. Millán Rosas C. (2015). *Diseño y construcción de control de Servoválvulas para turbina Coppus*. (Tesis de licenciatura inédita). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería.

