



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

***SERGIO ROSAS GUTIÉRREZ***

ASESOR: ING. JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ

CUAUTITLÁN IZCALLI ESTADO DE MÉXICO 2018



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES  
FES Cuautitlán.



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Diseño y construcción de un motor Stirling tipo Gamma

Que presenta el pasante: **SERGIO ROSAS GUTIÉRREZ**

Con número de cuenta: **30716280-3** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de noviembre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez	
<b>VOCAL</b>	Ing. Bernardo Gabriel Muñoz Martínez	
<b>SECRETARIO</b>	M. en I. Felipe Díaz Del Castillo Rodríguez	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en I. Ricardo Alberto Delgadillo Torres	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. José Fernando García Puertos	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm\*

## DEDICATORIA

*Con mucho cariño a mi papá, amigo y maestro así como a mi querida hermana y nuestras futuras generaciones.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Por hacer posible este trabajo agradezco profundamente el apoyo de mi padre Sergio Rosas F. y a nuestra bella universidad UNAM.

Al Ing. José Antonio Sánchez por su valioso tiempo, conocimiento y paciencia en las asesorías.

En cuanto a mi estadía dentro de la Facultad, tuve la fortuna de ser alumno de los maestros Felipe Díaz, Isaac Dueñas, Ricardo Delgadillo y Ofelia Arrollo profesores a los cuales destaco su amplia vocación por la docencia.

A las amistades y especialistas que colaboraron en el proyecto.

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

## OBJETIVOS

## CAPÍTULO 1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS

1.1 Biomasa.....	1
1.2 Energía geotérmica.....	2
1.3 Energía nuclear.....	2
1.4 Energía eólica.....	2
1.5 Energía Solar.....	3

## CAPÍTULO 2 ASPECTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

2.1 Conducción.....	7
2.2 Convección.....	8
2.3 Radiación.....	9

## CAPÍTULO 3 TERMODINÁMICA DEL MOTOR

3.1 Procesos termodinámicos.....	11
3.2 Eficiencia de la transformación.....	13
3.3 Ciclo de Carnot.....	13
3.4 Ciclo Stirling.....	15

## CAPÍTULO 4 EL MOTOR STIRLING

4.1 Principio de funcionamiento.....	17
4.2 Tipologías del Motor.....	17
4.3 Configuración de motores Stirling.....	18
4.4 Partes fundamentales del motor.....	19
4.5 Fluídos de trabajo.....	21

## CAPÍTULO 5 ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL MAQUINADO

5.1 Seguridad en el taller.....	24
5.2 Materiales.....	25
5.3 Normas básico del dibujo técnico.....	25
5.4 Torneado.....	29
5.5 Fresado.....	30
5.6 Taladrado y mandrilado.....	30

6.7 Cepillado.....	30	
5.8 Rectificado.....	31	
CAPÍTULO 6 DISEÑO DEL MOTOR		
6.1 Cálculos de ciclo.....	32	
6.2 Dibujos del motor.....	37	
CAPÍTULO 7 CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR.....		60
CAPÍTULO 8 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		
8.1 Mediciones finales y ajustes.....	76	
8.2 Pruebas de operación.....	76	
8.3 Cálculos de funcionamiento.....	78	
8.4 Correcciones y modificaciones.....	82	
CONCLUSIONES.....	83	
BIBLIOGRAFÍA.....	84	

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha basado su progreso en avances científicos y tecnológicos que si bien traen un bienestar social, también han deteriorado el medio ambiente que nos rodea, además los recursos naturales más empleados actualmente para la generación de energía son cada vez más escasos. En este trabajo se retoma el estudio del motor térmico de ciclo Stirling el cual es un motor de combustión externa, por consiguiente, pueden emplearse diversos combustibles contrastando con los motores de combustión interna, existen diseños muy diversos para alta y baja potencia dependiendo de las temperaturas de operación, lugar donde se colocará, aprovechamiento de la potencia mecánica producida, potencia requerida, etc. En las siguientes páginas se muestran los conocimientos teóricos básicos requeridos para comprender el funcionamiento del motor, seguido de cálculos del ciclo termodinámico y diseño de las piezas por computadora para finalmente mostrar el mecanizado de sus principales partes y realizar las pruebas posibles en el laboratorio de la universidad.



## **OBJETIVO**

Diseñar y construir un motor Stirling el cual será capaz de funcionar con diversos combustibles o con alguna otra fuente de calor, además deberá ser: portable, desarmable y debe mostrar sus partes principales tanto internas como externas con el fin de dar a conocer de una manera más sencilla su funcionamiento.

# CAPÍTULO 1

## ENERGÍAS ALTERNATIVAS

El aprovechamiento de la energía ha sido campo de estudio desde hace ya muchos años, sin embargo, hay nuevas tendencias de consumo debido al agotamiento de recursos sobreexplotados y a los daños ocasionados al medio ambiente por los residuos que se provocan.

### 1.1 Biomasa

La biomasa es cualquier producto biológico que puede convertirse en energía útil, estos pueden ser madera, carbón vegetal, residuos vegetales, entre otros. Los residuos agrícolas y el estiércol de animales que se produce en el mundo anualmente podrían, si se aprovecharan adecuadamente, satisfacer una parte del consumo mundial de energía. Prácticamente cualquier producto de biomasa podría aprovecharse con propósitos energéticos pero se enfrentan problemas de un alto volumen, lo que trae problemas de almacenamiento y transporte ya que en muchos casos los costos pueden ser muy altos; plantas como la caña de azúcar, sorgo, soya, girasol, maíz, resino, jojoba entre otras pueden aprovecharse para producir alcohol o aceites de gran utilidad.

La producción de biomasa vegetal ocurre con ayuda de la energía solar y agua pero depende también de factores climáticos, del suelo, planta sembrada, etc. La energía primaria obtenida de la biomasa proviene del contenido de azúcares en la planta mismos que son aprovechados para la producción de alcoholes mediante microorganismos; el almidón es también fácilmente fermentable una vez tratado con enzimas y la celulosa requiere de otros procesos que conllevan la hidrólisis enzimática o ácida.

Las tecnologías para convertir la biomasa en energía dependen de factores como: a) la clase de biomasa, b) Humedad de la misma, c) condiciones de proceso ya sea por tamaño de las partículas, temperatura requerida, tasa de alimentación, etc. d) uso final del producto energético. Entre los productos finales de la biomasa tendremos: el biodiesel, alcohol, gas natural o aceites.

## **1.2 Energía geotérmica**

Consiste en aprovechar el calor que se encuentra cerca de la superficie terrestre, puede ser mediante procesos de generación de vapor o por diferenciales de temperatura, las zonas volcánicas son las más adecuadas ya que en ocasiones son visibles los focos térmicos y están más cercanos a la superficie.

## **1.3 Energía nuclear.**

La energía nuclear se obtiene al modificar los núcleos de algunos átomos muy pesados o muy ligeros. En el proceso, su masa atómica se modifica liberando energía sin que exista combustión; en el caso de la fisión se lleva a cabo la desintegración de átomos pesados como los isótopos de uranio y plutonio para dar paso a átomos más pequeños. La fusión consiste en obtener átomos de mayor tamaño (litio) a partir de isótopos de hidrogeno, el proceso da lugar a una gran liberación de energía que no produce residuos peligrosos y es cercana a las cuatro veces lo que se produce por fisión.

## **1.4 Energía eólica.**

Las corrientes de viento son generadas por diferencias de presión por el calentamiento no uniforme de la atmosfera lo que provoca el desplazamiento de aire, las velocidades van de los 9 a los 32km/hra. en diferentes zonas montañosas o costeras. Aproximadamente solo los primeros 150m de altura sobre el nivel del suelo son aprovechables para la instalación de equipos que generen potencia. La potencia eólica, **P**, es proporcional a la velocidad del viento al cubo, calculándose como sigue  $P = \rho AV^3$  y deben tenerse en cuenta factores como la altura, variaciones de clima, localización, entre otros. En México, por ejemplo, las regiones aprovechables más importantes son: la región del sur del istmo de Tehuantepec, península de Baja California, costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán.

La energía cinética del viento puede convertirse en energía mecánica rotacional que a su vez puede convertirse en energía eléctrica o térmica; la turbina eólica es un arreglo de aspas soportadas en una torre que giran al ser expuestas a un flujo de aire.

Los sistemas de conversión de energía eólica en mecánica (aeroturbinas) pueden tener aplicaciones como la molienda de granos o el bombeo de agua las cuales son generalmente centrífugas o de desplazamiento positivo.

El impacto en el medio ambiente puede ir desde la interferencia de señales en los medios de comunicación hasta la modificación del hábitat donde se instalen ya sea por ruido u otros factores.

## **1.5 Energía solar**

La energía solar que recibe la superficie terrestre puede ser aprovechada de diversas formas y los factores a tomarse en cuenta son: la distribución geográfica, variaciones diarias y estacionales, clima, recursos y costos económicos inmediatos y a largo plazo; así pues, la energía recibida en un área unitaria expuesta perpendicularmente a los rayos solares y en ausencia atmosférica es de  $1.353\text{kW/m}^2$  ésta recibe el nombre de constante solar, de modo que la región visible (0.405 a 0.740 micras) cuenta con el 41.476% de energía, la región ultravioleta (0.115 a 0.405 micras) tiene el 9.293% de energía y la región infrarroja (0.740 a 1000 micras) el 49.231%. La radiación solar se altera considerablemente por dispersión y absorción cuando pasa por la atmosfera terrestre por lo que rara vez excede  $1\text{kW/m}^2$ , dicha radiación es directa si los rayos no tienen una desviación o interferencia por parte de la atmósfera y es difusa si la interferencia existe; teniendo proporciones variables según la nubosidad, humedad, partículas suspendidas o contaminación. Se resumirán los 4 procesos de conversión energética solar como sigue:

### **a) sistemas térmicos pasivos.**

Son aquellos sistemas en los que la energía solar captada se convierte en calor sin el empleo de equipos auxiliares electromecánicos como bombas o ventiladores por lo tanto el movimiento del fluido ocurre de manera natural. Dichos sistemas son utilizados a menudo para la climatización de edificios, sea calefacción o refrigeración, secado de alimentos e inclusive para el calentamiento de agua. Tendremos entonces sistemas de ganancia directa, con paredes de almacenamiento térmico, techo de almacenamiento térmico y colectores solares planos. En la figura 1.1 pueden verse los sistemas térmicos pasivos para la captación de energía solar.

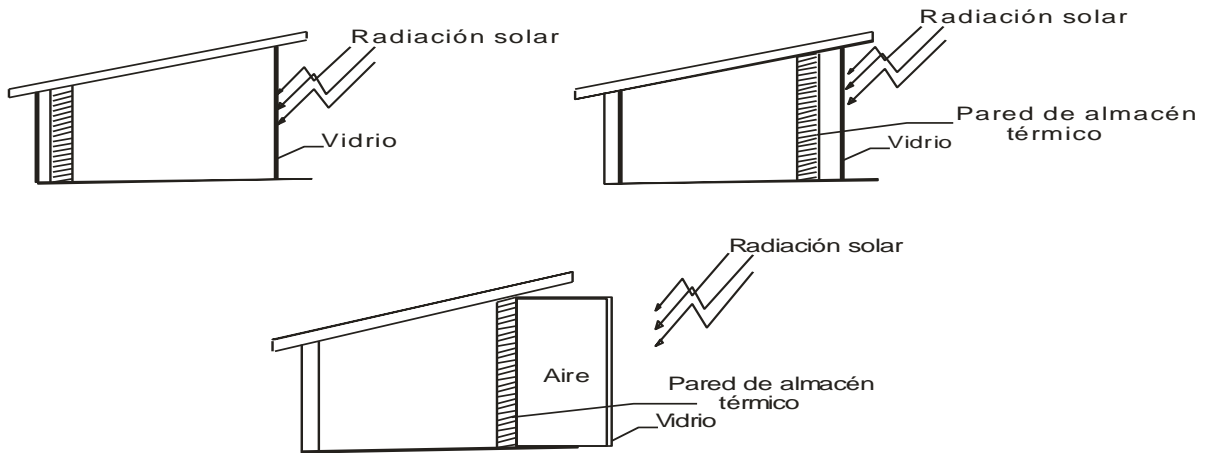


Figura 1.1 Ilustra los sistemas térmicos pasivos

### b) Sistemas térmicos estacionarios

Los sistemas por colector plano (fig. 1.2) operan en una posición fija y consta básicamente de una superficie plana oscura que absorbe la radiación y la transfiere a unos tubos soldados generalmente de cobre por donde circula agua, dicho sistema se aísla térmicamente en una caja que permite la entrada de luz solar por medio de un cristal y está orientada e inclinada de forma adecuada para que las desviaciones de su normal con respecto al sol sean lo más pequeñas posible. Para oscurecer la superficie se utilizan recubrimientos como: pintura enamel negra, negro de níquel, negro de níquel sobre hierro galvanizado, oxido de níquel sobre cobre, oxido de cobre sobre aluminio ò cromo negro electro depositado sobre recubrimiento de níquel. Por otra parte los aislantes más utilizados son: corcho granulado, paja, aserrín en polvo, espuma de poliuretano y poliestireno expandido.

Los colectores tubulares tienen un principio de funcionamiento similar al de los colectores solares planos, dos tubos que pueden ser concéntricos uno de vidrio y otro absorbedor en su interior funcionan con una presión de vacío entre sí para evitar las pérdidas de calor por convección y están en arreglo con una superficie reflejante.

Otros tipos de colectores son los de concentración estacionaria y funcionan exponiendo al sol una superficie que absorbe la radiación aumentando su temperatura y transmitiéndola a un fluido por conducción, el arreglo de espejos ayuda a que la razón de concentración esté entre 1 y 3.

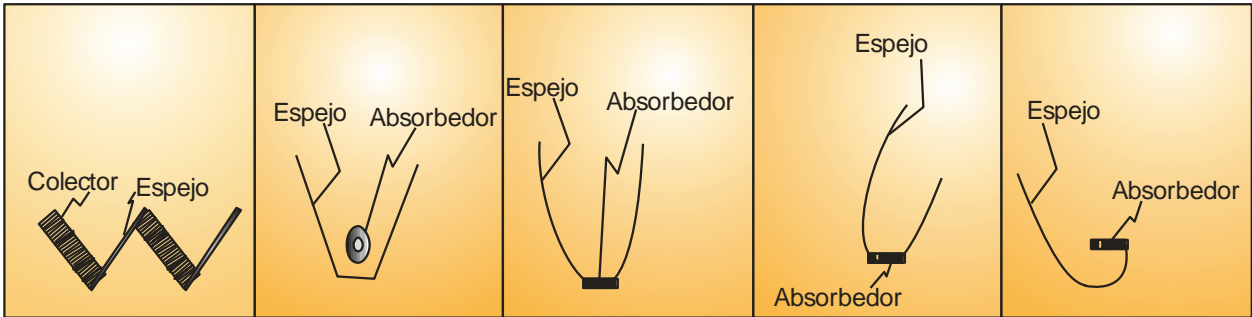


Figura 1.2 Sistemas estacionarios de aprovechamiento solar.

**c) Sistemas térmicos con seguimiento**

Son empleados cuando se desean alcanzar temperaturas medias o altas, para lograr esto se requiere de una alta razón de concentración, es decir, deben reflejar los rayos solares en un área tan pequeña como sea posible. En la figura 1.3 pueden apreciarse los sistemas de tipo parabólico, cilíndrico, reflector segmentado y de espejos fijos. Para sistemas de torre central se emplean espejos planos (helióstatos) que concentran la radiación solar a un absorbedor común elevado a ellos; por otra parte los sistemas distribuidos emplean espejos o lentes que tienen un enfoque puntual o lineal, y han sido propuestos para aplicaciones como la generación de calor de uso industrial o ambientación, sus sistemas de seguimiento solar pueden ser en una o dos direcciones y tienen por función orientar al sistema ya sea reflectivo o refractivo para que aumente su eficiencia.

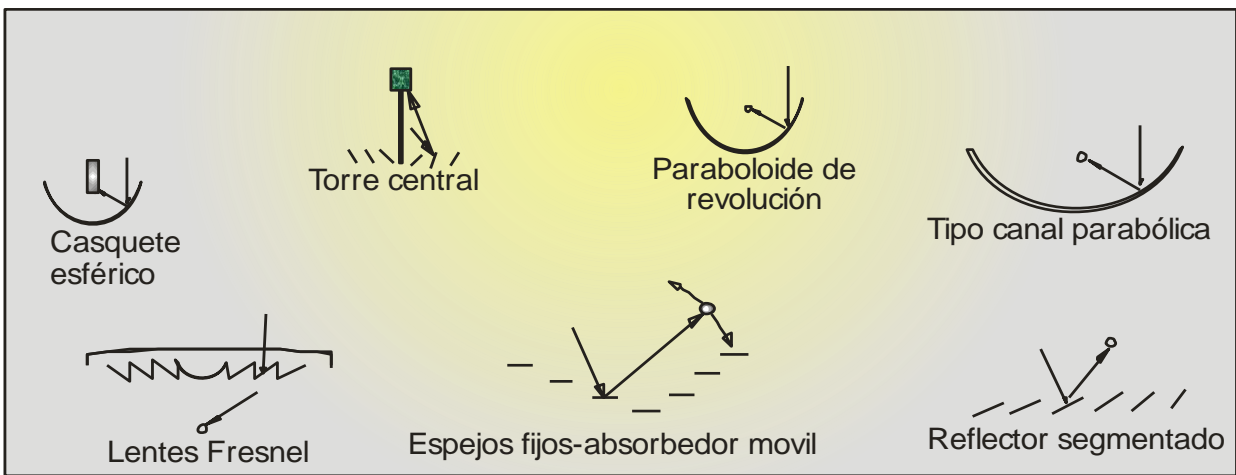


Figura 1.3 Ejemplos de sistemas de aprovechamiento solar con seguimiento.

#### d) Sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos tienen como objetivo absorber la energía de los fotones presentes en la luz que incide sobre ellos y convertirla en energía eléctrica. Entre los conductores y aislantes eléctricos encontramos a los semiconductores, materiales que al ser expuestos a los rayos solares, forman una corriente eléctrica ya que los fotones contenidos en la luz aportan energía suficiente para liberar a los electrones de valencia libres. Algunos de los materiales son el silicio, germanio y arseniuro de galio; como en estado puro el silicio no es muy fotoconductor se le dopa de fósforo con el fin de que tenga un excedente de cargas negativas (material tipo n), así mismo al silicio se le dopa con boro para que tenga un excedente de cargas positivas (material tipo p), también se colocan tiras de cobre como se muestra en la figura 1.4.

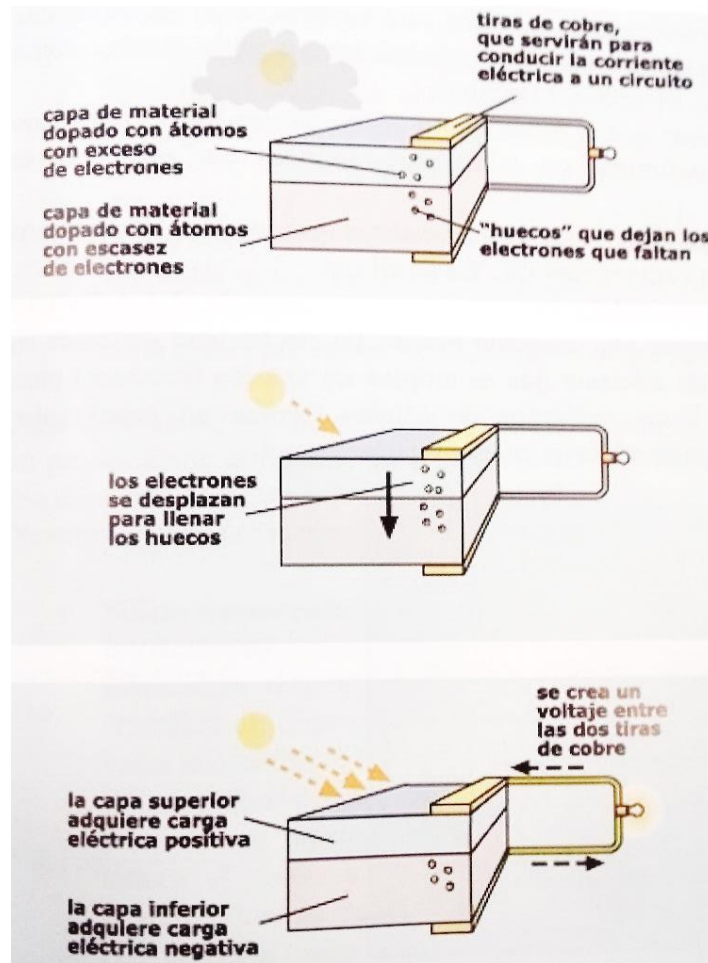


Figura 1.4 Ejemplo de celda solar

## CAPITULO 2

### ASPECTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es el intercambio de las formas sensible y latente de la energía interna entre dos medios, como resultado de una diferencia de temperatura, debe tener magnitud y dirección por lo que se puede indicar una ganancia de calor con signo positivo y pérdida con signo negativo, además, el calor puede transmitirse por conducción, convección y radiación.

#### 2.1 Conducción.

Es la transferencia de energía térmica de las partículas más energéticas de un medio hacia las partículas adyacentes. Se puede añadir que esto puede ocurrir en sólidos, líquidos y gases siempre y cuando no exista un movimiento másico.

La conducción de calor en un sólido se debe a la vibración de partículas acomodadas en una red cristalina y, a su vez, al flujo de electrones que ocurre en el material, así mismo la rapidez en la conducción de calor se debe a factores como la geometría, espesor, material y diferencia de temperaturas entre dos puntos determinados. Cabe resaltar que la conductividad de metales puros es mucho mayor a la de sus aleaciones aún si éstas estuviesen compuestas de dos buenos conductores térmicos.

En el caso de los gases se ha comprobado que su conductividad térmica es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura termodinámica  $T$  e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su masa molar; un ejemplo de ello es la conductividad térmica del aire la cual es mucho menor que la del helio con masas molares de 29 y 4 respectivamente.

Para los líquidos la conductividad disminuye al aumentar la masa molar y decrece con el incremento de temperatura teniendo algunas excepciones como la del agua.

La razón de la transferencia de calor a través de un medio en una dirección específica es proporcional a la diferencia de temperatura entre dos puntos en un medio y al área perpendicular a la dirección de la transferencia de calor, pero es inversamente proporcional



a la distancia en esa dirección. Esto se expresó en forma diferencial por la **ley de Fourier de la conducción de calor** en forma unidimensional, como:  $\dot{Q}_{Cond} = -kA \frac{dT}{dx}$

## 2.1 Convección.

La convección es el modo de transferencia de calor que ocurre entre un sólido y un fluido (líquido o gaseoso) adyacente que está en movimiento, se puede agregar que entre más rápido sea el flujo será mayor la transferencia de energía.

Se considera un flujo externo aquel que fluye de manera no confinada y será interno si fluye dentro de un tubo o ducto, además tendremos un fluido incompresible si éste no cambia su densidad en condiciones relativamente normales de presión y temperatura, un ejemplo de ello es el agua, aceite u otro líquido. Al movimiento sumamente ordenado de los fluidos se le denomina flujo laminar y generalmente se hace presente a velocidades bajas, por otra parte, si la velocidad del flujo es alta se dice que es turbulento ya que existe un alto grado de desorden en las trayectorias de sus líneas de corriente.

La transferencia de calor por convección depende de: la viscosidad, velocidad del fluido, densidad, calor específico, coeficiente de conductividad térmica del fluido entre otros factores.

La convección forzada se debe al movimiento del fluido que es obligado a pasar por una superficie o dentro de un tubo, dicho movimiento es provocado por medios externos como puede ser un ventilador o una bomba.

Es una convección natural si el flujo tiene un movimiento debido a medios naturales como el cambio de densidades por la existencia de gradientes de temperatura, un ejemplo de su aplicación está en el efecto termosifónico presente en los calentadores de agua con aprovechamiento de radiación solar.

Las superficies con aletas se usan regularmente como sumideros de calor en donde lo que se pretende es enfriar algún aparato generalmente electrónico; el principio de funcionamiento de una aleta es el aumento de área expuesta a la convección que puede ser natural o forzada y que generalmente es más eficiente si el fluido es un gas en lugar de un líquido.

La razón de la transferencia de calor desde una superficie que está a una temperatura  $T_s$  hacia el medio circundante que está a  $T_\infty$  se expresa por la ley de Newton del enfriamiento como  $\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$

Donde  $A_s$  es el área superficial de transferencia de calor y  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección. Existen dos maneras de incrementar la razón de la transferencia de calor: aumentar el coeficiente de transferencia de calor por convección,  $h$ , o aumentar el área superficial  $A_s$ . Para el diseño de superficies aletadas deben tomarse en cuenta factores como la longitud de las aletas y el espaciamiento entre las mismas así como el material en que se fabricarán.

### 2.3 Radiación.

Es un tipo de energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, la transferencia de calor por radiación no requiere de un medio interventor como un sólido o un fluido. Por otra parte, todos los sólidos, líquidos y gases emiten, transmiten y absorben radiación en diferentes grados según su naturaleza, así pues, la razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura  $T$  es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann;  $\dot{Q}_{emitida\ max} = \sigma A_s T_s^4$  donde  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$  a la superficie idealizada que emite radiación, a ésta razón se le llama cuerpo negro y siempre será mayor que la radiación emitida por cualquier otro cuerpo real, en consiguiente tenemos:  $\dot{Q}_{emitida} = \epsilon \sigma A_s T_s^4$  Siendo  $0 \leq \epsilon \leq 1$  la emisividad de la superficie. La radiación térmica es emitida en forma continua por toda la materia cuya temperatura sea mayor al 0K abarcando al espectro electromagnético visible, infrarrojo y parte de la radiación ultravioleta. Cuando la radiación choca contra una superficie, parte de ella es absorbida, otra parte es reflejada y finalmente transmitida si es que lo permite el medio. Las superficies donde se requiera captar la energía solar, como las áreas de absorción de los colectores solares, se desea que tengan valores altos de absorptividad, pero bajos de emisividad. En la figura 2.1 se ilustra la descomposición de la radiación que incide en un material semitransparente.

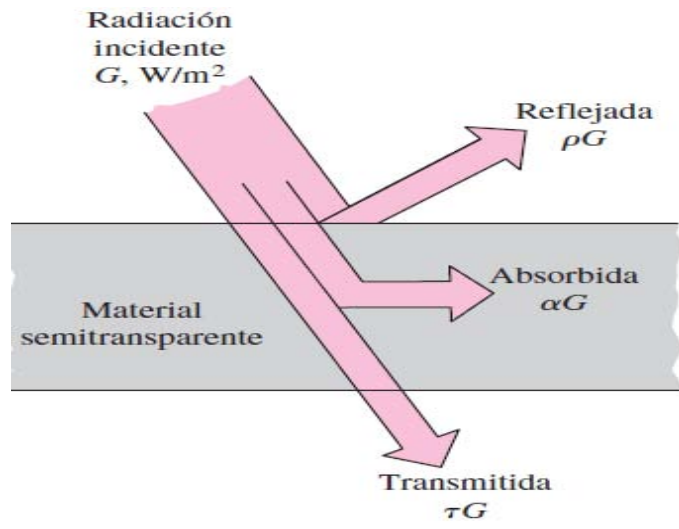


Figura 2.1 Descomposición de la radiación incidente.

## CAPÍTULO 3

### TERMODINÁMICA DEL MOTOR

Un motor térmico es aquel que transforma el flujo de calor en trabajo a través de una serie de procesos realizados en forma cíclica continua y su funcionamiento está caracterizado por la diferencia de temperaturas existentes en los focos térmicos así como por la rapidez con la que se realiza el ciclo, lo que definirá su potencia. En el caso de los motores endotérmicos, el calor es aportado al fluido de trabajo haciéndolo intervenir en la combustión que se desarrolla dentro del motor cambiando su composición química, por esta razón, el fluido debe ser reemplazado una vez que el ciclo ha terminado. Cuando los motores son exotérmicos, la aportación de calor al ciclo es por transferencia y por consiguiente pueden utilizarse diferentes combustibles como la biomasa o gases de escape de otros motores e incluso aprovechar la radiación solar.

#### 3.1 Procesos termodinámicos

El análisis de los distintos procesos de evolución de un ciclo termodinámico puede simplificarse considerando que el fluido de trabajo es ideal además, se puede comparar el estudio a realizar con ciclos de referencia que facilitan su cálculo.

##### a) Proceso a volumen constante.

Una relación sencilla para este proceso es:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\text{Sea } V_1 = V_2$$

$$\text{Queda: } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Así como el calor transferido

$$Q = m C_V (T_f - T_i)$$

**b) Proceso a presión constante.**

De manera similar al proceso anterior:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} ; \quad \text{Siendo } P_1=P_2$$

$$\text{Con: } Q = mC_p(T_f - T_i)$$

**c) Proceso a temperatura constante.**

Sabiendo que  $T_1=T_2$  entonces:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\text{Para } w_{isot} = RT \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

**d) Proceso adiabático.**

Un proceso adiabático se produce sin intercambio de calor ( $Q=0$ ) por lo que  $dS=0$

se tiene:  $U_2-U_1+W=0$

y para gases ideales:  $W= U_1-U_2 = C_v(T_1-T_2)$  o  $C_vdT + PdV = 0$

Sustituyendo  $P = \frac{RT}{v}$  en la ecuación anterior:

$$C_vdT + \frac{RT}{v} dV$$

Teniendo en cuenta que:  $R = c_p - c_v$  y  $K = \frac{c_p}{c_v}$

$$\text{Quedará: } P_1V_1^k = P_2V_2^k$$

### e) Proceso politrópico

Son procesos característicos de ciclos reales en donde no hay procesos adiabáticos reversibles, en este caso:  $PV^n = \text{Constante}$ , donde  $n$  es el valor que depende de los calores específicos del gas y de la relación.  $\frac{dQ}{dT}$  de dicho proceso.

### 3.2 Eficiencia de transformación

La transformación de un flujo de calor en trabajo mecánico es hecho por una máquina térmica motora que con una entrada de calor  $Q_A$  y la expulsión de parte del calor recibido ( $Q_B$ ) logrará a través de un ciclo termodinámico generar trabajo  $W$ .

$$Q_A + Q_B + W_{\text{neto}} = 0$$

Luego la eficiencia térmica es:

$$\eta = W_{\text{neto}} / Q_{\text{entrada}}$$

Por limitaciones teórico-tecnológicas y como se podrá demostrar por la segunda ley de la termodinámica no existe una máquina que realice una transformación total de calor en trabajo, de esta manera el rendimiento teórico siempre será inferior al ciclo de Carnot,

$$\text{vemos que: } \eta_{\text{Maq.}} \leq \eta_{\text{Carnot}}$$

### 3.3 Ciclo de Carnot

Carnot demostró que en la transformación que se produce en una máquina alternativa su eficiencia aumenta al incrementar la diferencia de temperaturas existentes entre los focos térmicos de trabajo; las fases por las que pasa el ciclo de Carnot son las siguientes:

- 1-2 Expansión isotérmica.
- 2-3 Expansión adiabática
- 3-4 Compresión isotérmica
- 4-1 Compresión adiabática

Expansión isotérmica: (1 → 2) Se parte de una situación en que el gas se encuentra al mínimo volumen del ciclo y a temperatura  $T_1$  de la fuente caliente. En este estado se transfiere calor al cilindro desde la fuente de temperatura  $T_1$  haciendo que el gas se expanda, por la expansión el gas tiende a enfriarse, pero absorbe calor de  $T_1$  y mantiene su temperatura constante. Suponiendo un gas ideal, si no cambia la temperatura tampoco lo hace su energía interna.

Expansión adiabática: (2 → 3) La expansión isotérmica termina en un punto tal que el resto de la expansión pueda realizarse sin intercambio de calor, la expansión adiabática hace que el gas se enfríe hasta alcanzar la temperatura  $T_2$  pero también llega a su volumen máximo. Al enfriarse disminuye su energía interna y la entropía se mantiene constante.

Compresión isotérmica: (3 → 4) el gas se pone en contacto con la temperatura  $T_2$  y comienza a comprimirse, pero no aumenta su temperatura porque va cediendo calor a la fuente fría. Al no cambiar la temperatura tampoco lo hace la energía interna, y la cesión de calor implica que hay que hacer un trabajo sobre el sistema; al ser el calor negativo, la entropía disminuye.

Compresión adiabática: (4 → 1) Aislado térmicamente, el sistema evoluciona comprimiéndose y aumentando su temperatura hasta el estado inicial donde se repetirá el ciclo.

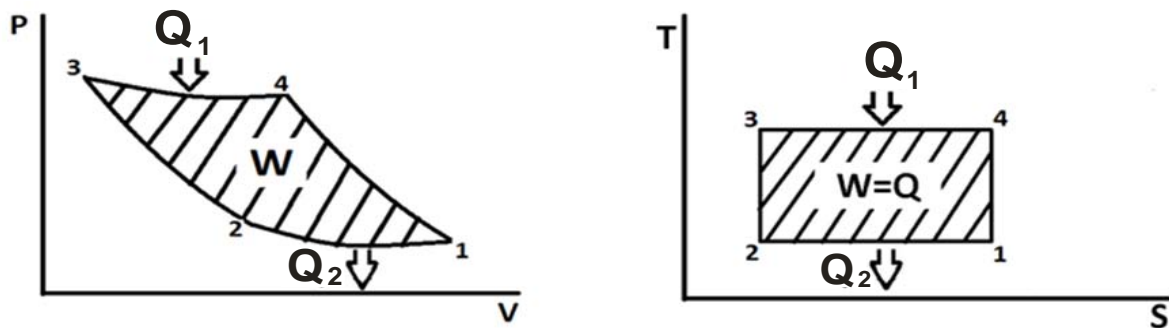


Figura 3.1 Gráfica P-V y T-S para ciclo de Carnot.

En la gráfica T-S de la figura 3.1 el área debajo de los puntos 3-4 es el calor aportado  $Q_1$  mientras que el calor extraído se encuentra en el área bajo los puntos 1-2 por lo consiguiente se alcanza un mayor trabajo si la diferencia de las temperaturas crece entre los focos térmicos de operación.

El calor aportado y extraído en el proceso es:

$$Q_1 = T_3(S_4 - S_3)$$

$$Q_2 = T_1(S_1 - S_2)$$

Pero ya que los procesos de 2-3 y 4-1 son adiabáticos e isotrópicos entonces:

$$S_4 = S_1 \text{ y } S_2 = S_3$$

Luego el trabajo neto es:

$$W_{\text{neto}} = Q_1 - Q_2 = T_3(S_4 - S_3) - T_1(S_1 - S_2)$$

Por tanto:

$$\eta = \frac{T_3(S_4 - S_3) - T_1(S_1 - S_2)}{T_3(S_4 - S_3)} = 1 - \frac{T_1(S_1 - S_2)}{T_3(S_4 - S_3)};$$

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

### 3.4 Ciclo Stirling

En el ciclo Stirling ideal para un motor con aportación de calor externa se tienen los siguientes cuatro procesos termodinámicos que actúan sobre el fluido de trabajo. En la figura 3.2 se muestran las gráficas P-V y T-S del ciclo Stirling.

(1→2). Compresión isotérmica del gas a la temperatura baja. En este proceso se cede calor a la fuente fría, la totalidad del fluido se encuentra en la cámara fría por lo que el volumen en la cámara caliente es mínimo.



(2→3). Calentamiento isocórico. Estando el fluido en la cámara fría el volumen cambia a intermedio para el mecanismo y mínimo para el cilindro caliente pero atravesando en regenerador existe la aportación de calor a volumen constante lo que provoca un aumento de presión.

(3→4). Expansión isotérmica del gas a alta temperatura. Durante este proceso el fluido absorbe calor de la fuente caliente pero continúa en el volumen mínimo para el fluido, por otra parte, la cámara fría estará en su mínimo volumen.

(4→1). Enfriamiento isocórico. El fluido pasa de la cámara caliente a la fría teniendo una extracción de calor que se almacenará en el regenerador disminuyendo la temperatura del fluido y volviendo al estado inicial del ciclo.

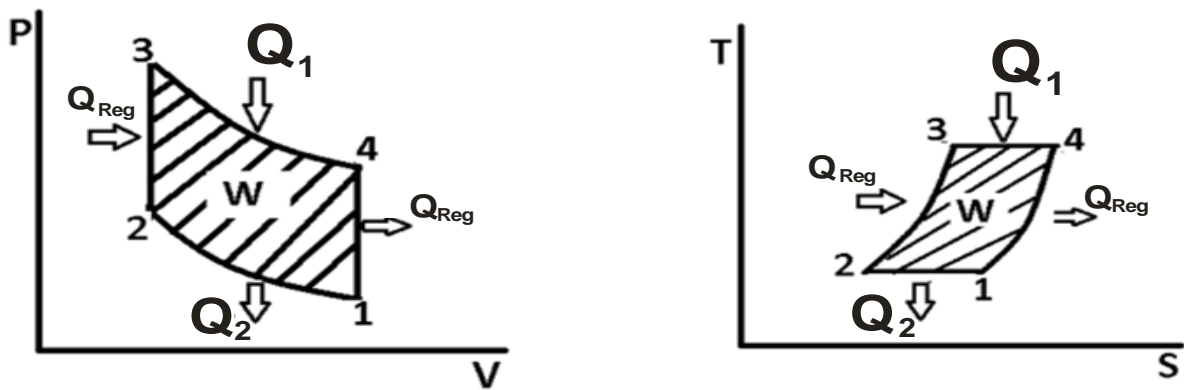


Figura 3.2 Graficas P-V y T-S del ciclo Stirling

El rendimiento del ciclo Stirling coincidirá con el obtenido en el ciclo de Carnot

para:  $V_2=V_3$  y  $V_1=V_4$        $\eta_{\text{Stirling}} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$

$$\eta_T = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_e} \times 100$$

Encontrándose la potencia media ( $P_m$ ) con la siguiente ecuación:

$$P_m = (W_n)(n)$$

Donde  $n$  son los ciclos por segundo desarrollados por la máquina.

## CAPÍTULO 4

### EL MOTOR STIRLING

#### 4.1 Principio de funcionamiento

Supóngase un cilindro cerrado herméticamente y que en una de las tapas se encuentra un émbolo con movimiento lineal acoplado a un volante como en un mecanismo Biela-manivela-corredera (fig. 4.1), ahora, calentando el aire dentro del cilindro se tendrá la expansión del gas que causará el movimiento del embolo y por consiguiente un trabajo. Por otra parte si el aire contenido dentro del sistema es enfriado rápidamente se tendrá la compresión del fluido así como una baja de presión, consiguientemente el embolo regresará a su posición inicial.

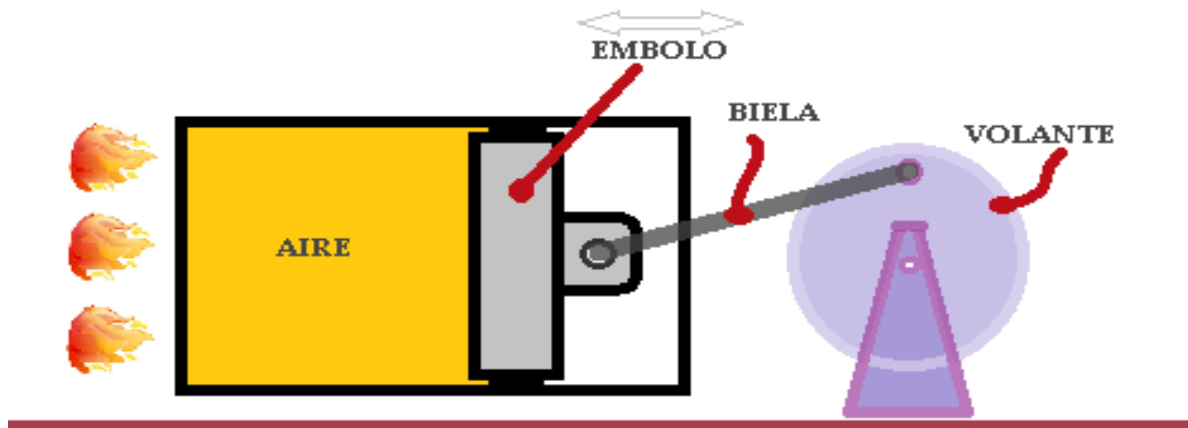


Figura 4.1 Esquema de funcionamiento de un motor tipo Stirling

#### 4.2 Tipologías de motor

El diseño de éstos motores térmicos es muy variado y depende de factores como el espacio de trabajo, eficiencia, arreglo con otros sistemas de aprovechamiento etc. De manera general los motores tienen émbolos cilíndricos por simplicidad en la construcción, a su vez, el embolo desarrolla las funciones de pistón, desplazador ó pistón-desplazador que se explicarán más adelante.

### 4.3 Configuración de motores Stirling.

El motor tiene tres configuraciones principales.

- Tipo alfa
- Tipo gamma
- Tipo beta

El motor tipo alfa (fig. 4.2) utiliza dos pistones desfasados  $90^0$  en su posición, por lo consiguiente, están unidos en el mismo punto del volante de inercia. Un cilindro es utilizado como cámara caliente y el otro debe contar con un sistema de enfriamiento ya sea por aletas o por circulación de agua, así mismo, estarán conectados por un tubo que tiene conexión al regenerador de calor por donde circula el gas de trabajo.

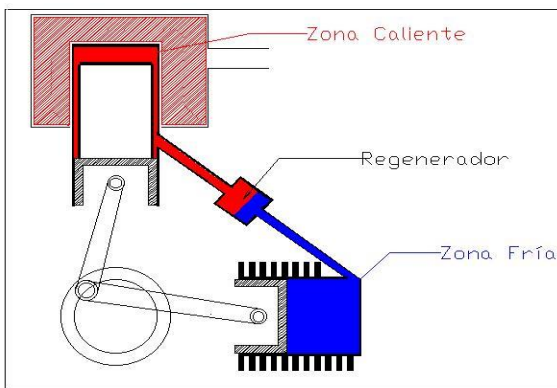


Figura 4.2 Muestra la configuración tipo alfa.

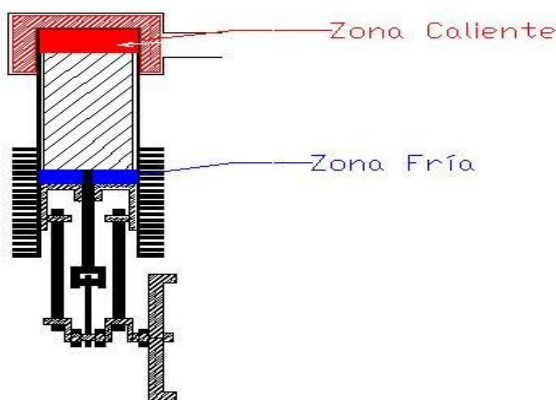


Figura 4.3 Muestra la configuración tipo beta.

Para la configuración Beta, representada en la figura 4.3, se cuenta con un solo cilindro en el que, pistón de potencia y desplazador trabajan concéntricos. En motores de tamaño pequeño no se utiliza un regenerador, de manera que el desplazador es un embolo con

holgura de unas cuantas decimas de milímetro para permitir el paso del gas de trabajo de la zona caliente a la zona fría y viceversa; un cigüeñal especial sitúa las posiciones de pistón y desplazador en ángulo recto para lograr el funcionamiento adecuado del mecanismo.

En el caso del arreglo tipo gamma, puede verse en la figura 4.4 que el pistón de fuerza y desplazador estarán alineados pero no concéntricos como en la configuración Beta, la construcción es más sencilla pero su eficiencia disminuye, el cigüeñal posiciona a los émbolos 90 grados uno respecto del otro.

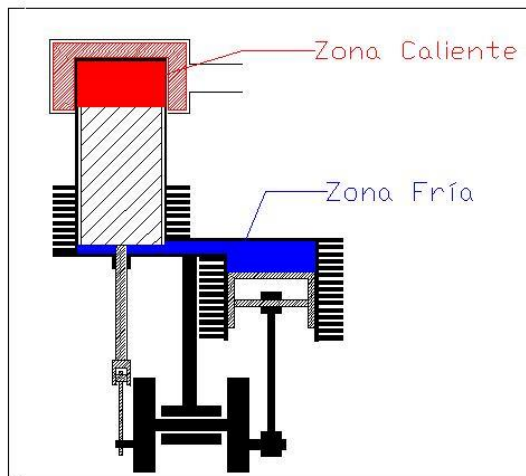


Figura 4.4 Muestra la configuración tipo gamma.

#### 4.4 Partes fundamentales del motor.

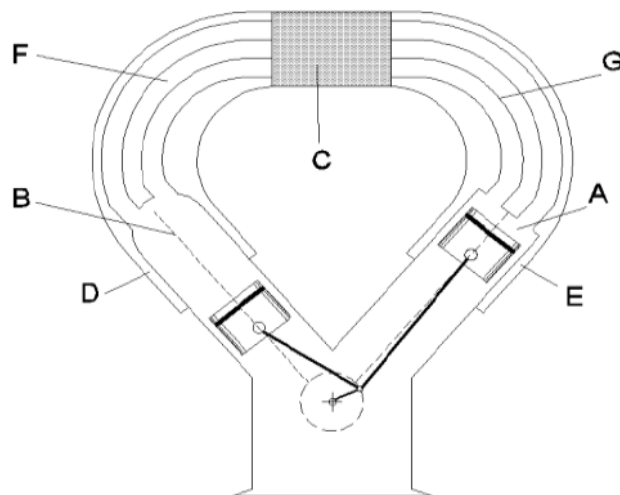


Figura 4.5 Esquema de las partes básicas del motor Stirling

En la figura 4.5 se pueden observar las distintas partes del motor las cuales se denominan como:

- A- Camara de compresion
- B- Camara de expansion
- C- Regenerador
- D- Calentador
- E- Refrigerador
- F- Calentador auxiliar
- G- Refrigerador auxiliar

Si el embolo en cuestion debe soportar un gradiente elevado de temperaturas pero con presiones proximas en sus extremos se dice que es un desplazador, en cambio, si la diferencia de presiones es muy alta y los saltos termicos no son reelevantes entonces se habla de un piston. Un embolo que es piston-desplazador debe resistir alta diferencia de presiones y gradientes termicos, por lo mismo, su diseño es combinado en cuestiones de resistencia mecanica y aislamiento termico.

El calentador de un motor stirling tiene como función transmitir el calor desde el exterior del sistema al fluido dentro del cilindro, comunmente el mismo cilindro forma parte del calentador aunque tambien puede ser externo. Los calentadores varian en el diseño por los siguientes motivos:

- Tipo de combustible o fuente de calor usada.
- Eficiencia deseada.
- Tamaño del motor.
- Ubicación en el sistema motor.
- Polivalencia

La transferencia de calor en éste elemento ocurre como sigue:

Convección y radiacion del medio exterior a la superficie del calentador, se requiere una superficie de contacto lo mas grande posible para el optimo aprovechamiento de la energia.

Conducción térmica de la pared, por ello el material a elegir en su fabricación generalmente es un metal teniendo en cuenta su conductividad y resistencia a la fatiga térmica en ciclos alternantes de esfuerzos.

Convección de la pared hacia el fluido de trabajo, hay que tener en cuenta que el fluido se mueve a gran velocidad y en ocasiones está presurizado.

El calentador puede diseñarse para procesos de combustión con presencia de un recuperador de humos (precalentador) ó para calentamiento por radiación, siendo los más comunes los de aletas y los calentadores tubulares.

El objetivo del refrigerador en el motor Stirling es evacuar la mayor cantidad posible de calor hacia el exterior del sistema, conduciendo al fluido para su retorno al estado inicial. Se constituye principalmente por la cámara de compresión y un sistema de enfriamiento que suelen ser aletas, circulación de agua u otras variantes, teniendo en cuenta que a mayor salto térmico la eficiencia mejorará (el refrigerador debe evacuar casi el 50% de la energía que el motor recibe) siendo los mismos mecanismos de transferencia de calor que en el calentador pero en sentido contrario, es decir, desde el interior el fluido transfiere por convección a la pared del cilindro, la conducción tiene lugar en la cámara misma y finalmente la convección natural o forzada lleva el flujo de calor al exterior donde se disipará.

#### **4.5 Fluidos de trabajo.**

Todos los motores Stirling del siglo XIX funcionaban con aire a presión atmosférica como fluido de trabajo pero al paso de los años en 1954 se comienza a emplear aire presurizado para obtener mayor potencia, también se probaron otros gases como el hidrógeno y el helio teniendo éxito en el funcionamiento. En la tabla 4.1 se enlistan los posibles fluidos de trabajo, algunos ya se han probado y otros que siguen en experimentación.

Tabla 4.1 muestra los gases y sustancias usadas y en experimentacion.

Monocomponente	Monofase	Gas	H, He, Ar, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Multifase	Liquido	H <sub>2</sub> O, Hg, Aceites, alcoholes,
		Fluido condensante	H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O <sub>v</sub>
Multicomponente	Monofase	Mezcla de gases	Aire
		Liquido multicomponente	H <sub>2</sub> O+solutos, mezclas
		Gas portador + gas disociante	No estudiados
	Multifase	Gas portador+fluido condensante	Aire+H <sub>2</sub> O+H <sub>2</sub> O <sub>v</sub>
		Gas portador + fluido condensante - disociante	Helio + N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ...

### Los gases como fluido

Meijer presentó en 1970 un estudio basado en la simulación donde compara Hidrógeno, Helio y Aire en condiciones fijas con  $T_{\max}= 700^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}= 25^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\max}=110\text{Kg}/\text{cm}^2$ . A partir de gráficos se tienen las siguientes deducciones:

- Al aumentar la velocidad el rendimiento disminuye casi de forma lineal hasta unas rpm limite en las que cae en picada, el aire llega a éste limite antes que el Helio y posteriormente el Hidrógeno.
- Al aumentar la velocidad, la potencia específica aumenta casi linealmente hasta un límite que depende de cada gas, el aire tiene un límite de potencia menor siendo el hidrógeno el de mejor desempeño.
- Un aumento de  $T_{\max}$  provoca un ascenso en la curva de rendimiento.
- El aumento de  $P_{\max}$  hace la curva más plana por lo que se aumentan los rendimientos a altas potencias pero los deja igual a potencias menores.

## **Liquidos como fluido**

En 1931 John Maloney demostró con dos prototipos que es posible utilizar líquidos como fluidos de trabajo alcanzando un rendimiento del 27% girando a 250rpm en un motor con pistones llenos de agua; las ventajas de uso frente a los gases son:

- Se favorece la transmisión de calor por la alta conductividad térmica y capacidad calorífica que presentan los líquidos.
- El líquido sirve de lubricante.
- El sistema se autopresuriza ya que el sistema puede llenarse a presión atmosférica y cuando se calienta aumenta su presión rápidamente.

Las desventajas son las siguientes:

\*Elevadas presiones requieren paredes gruesas en las camisas por lo que se hace más pesado el motor.

\*Para evitar pérdidas térmicas a lo largo de las paredes, es necesario hacer los cilindros y pistones más largos y de poco diámetro.

\*La densidad e inercia de los líquidos no permiten funcionar a altas velocidades.

\*Se han realizado pruebas con otros líquidos como el Mercurio, Alcoholes, aceite, gasolina, dióxido de azufre entre otros pero el agua resultó tener los mejores resultados.

## **Sistemas presurizados**

Por sencillez en el sistema y para fines demostrativos es conveniente trabajar con diseños que operen con aire a presión atmosférica, con esto, las fugas existentes en el ciclo de trabajo no serán ningún problema pero debe tenerse en cuenta que la eficiencia de la máquina será inferior a la obtenida en sistemas presurizados, los cuales deben llenarse con una presión igual a la media del ciclo. Así mismo el empleo de diafragmas rotativos o anillos de teflón son adecuados para obtener hermeticidad y baja fricción.



## **CAPÍTULO 5**

### **ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL MAQUINADO**

El uso de las maquinas herramientas es importante por el hecho de llevar a la realidad nuestro diseño, por consiguiente saber el “por qué se hace” será tan importante como el saber “cómo se hace” también son indispensables los conocimientos de seguridad industrial para no provocar accidentes. El maquinado es uno de los cuatro métodos para dar forma a los metales; mediante el uso de herramientas de corte se da forma y medida útil al material trabajado, otras técnicas son: el conformado en caliente, la fundición y el conformado en frío.

#### **5.1 Seguridad en el taller.**

De manera general se explicarán las medidas de seguridad que deben tenerse en cuenta antes de entrar a cualquier cuarto de máquinas pues por descuidos, el operario o visitante puede quedar incapacitado permanentemente.

El espacio de trabajo de cualquier máquina debe estar delimitado y esto se debe a sus dimensiones, en la industria, líneas pintadas en el piso indican dichos espacios, pasillos u otras indicaciones que deben respetarse para evitar accidentes. El orden y la limpieza son indispensables por lo que aceites o virutas deben limpiarse con frecuencia de máquinas y área de trabajo.

Debe planearse lo que se va hacer y conocer la maquina a operar, de tal manera, las guardas de seguridad que tenga la maquina no deben removerse ni ningún otro dispositivo que garantice la seguridad del usuario, también debe saberse la manera de apagar rápidamente la máquina en caso de accidente.

En el cuidado personal los ojos es lo primero a tener en cuenta, es una medida muy básica y para eso existen lentes o caretas que servirán contra virutas o chispas que podrían ocasionar ceguera. Seguido a los ojos, las manos deben cuidarse con guantes cuando el trabajo lo amerite, de otro modo hay que tener presente cualquier peligro por herramientas

cortantes, giratorias, virutas o sustancias químicas siempre usando brocha o lo más adecuado en el caso de la limpieza. Las botas o zapatos con puntera de acero evitarán lesiones si algo pesado cae inesperadamente en nuestros pies, la bata de taller es importante si se requiere, pero debe estar pegada al cuerpo y sin cintas que cuelguen pues podrían enredarse en la máquina y arrastrar al maquinista, éstas y otras medidas de seguridad deben seguirse según el trabajo a realizar.

## **5.2 Materiales**

En el diseño mecánico, el conocimiento de los materiales influye por las características físicas y químicas que éstos tienen. Antes de fabricar una pieza, cualquiera que sea, se toman consideraciones de peso, fluencia, dureza, resistencia química, coeficiente de fricción, entre otras. En la tabla 5.1 se clasifican algunos materiales y se da ejemplo de su uso.

## **5.3 Normas básicas para el dibujo técnico.**

El dibujo técnico es la manera gráfica de expresar una idea del diseño mecánico compuesto por una diversidad de líneas que representan superficies bordes y perfiles. Adicionando símbolos, líneas dimensionales y notas, el dibujante debe dar especificaciones exactas de lo que requiere, por consiguiente, las acotaciones son tan importantes como el dibujo mismo.

Clasificación de los diseños:

**Croquis:** Es un dibujo que se traza normalmente a mano libre con lápiz y que se utiliza en anteproyectos y en el taller, no se ajusta totalmente a normas y formatos.

**Dibujo de conjunto:** Muestra reunidos los diversos componentes que se asocian para formar un todo, no se acota y se incluye la lista de materiales.


**Dibujo de detalle:** Representación completa de una pieza lo que incluye dimensiones, tolerancias, acabados, etc.


**Dibujo de fabricación o taller:** Se realiza especialmente para el taller u oficina.


Tabla 5.1 Clasificación de materiales.


MATERIAL			DESCRIPCION	USOS	
M E T Á L I C O S	F E R R O S O S	ACEROS	SIMPLES BAJO CARBONO MEDIO CARBONO ALTO CARBONO	Aleación Fe-C con un contenido de éste último en el rango de 0.02 a 2% con poca cantidad de otros elementos aleantes.	Ejes, poleas, engranes, resortes, herramientas manuales, perfiles, construcción...
			ALEADOS	Acero simple al que se le ha agregado intencionalmente ciertos elementos aleantes siendo la suma de éstos menor al 5%	Elementos especiales de maquinaria donde se requiera mejor templabilidad, dureza y tenacidad.
			ALTA ALEACION	Un ejemplo es el acero inoxidable con un mínimo de Cr de 10%	Recipientes para alimentos y de trabajo en medios corrosivos.
		HERRAMIENTA	TIPO A	Temple al aire	La designación que se le ha dado a cada acero para herramienta da una idea de su uso.
			TIPO W	Temple al agua	
			TIPO O	Temple al aceite	
			TIPO H	Para trabajo en caliente	
			TIPO S	Resistentes al impacto	
			TIPO D	Fabricación de troqueles	
			TIPO P	Fabricación de moldes	
TIPO L	Propósito general				
HSS	Fabricación Herr. corte				
FUNDICIONES		Aleación Fe-C con $2\% \leq C \leq 6.67\%$	Bases de máquinas, partes automotrices...		
N O F E R R O S O S	ALEACIONES DE Cu	BRONCE	Aleación cobre-estaño	Las aleaciones de cobre son excelentes para medios corrosivos. Tuberías, conexiones, bujes, resortes, conductores...	
		LATON	Aleación cobre-zinc		
		MONEL	Aleación cobre-níquel		
ALEACIONES DE Al		Existen aleaciones con otros elementos como Zn, Cu, Mg, Si, etc.	Escaleras, poleas, cancelería, envases, conductores...		
N O M E T Á L I C O S	PLASTICOS	TERMOPLASTICOS	Materiales sintéticos de buenas propiedades mecánicas a baja temperatura.	Partes automotrices, envases para alimentos, tubería, ligas, engranes, muebles...	
		TERMOESTABLES			
		ELASTOMEROS			
	CERAMICOS		Materiales no metálicos frágiles con un alto punto de fusión.	Tejas, crisoles, herramientas de corte...	
COMPUESTOS		Amplia diversidad ya que hay combinación de los materiales anteriores	Manguera reforzada, kevlar, estructuras, fibra de carbono...		

Para que el dibujo sea claro en sus delimitaciones, las líneas deben ser claramente visibles y formar un contraste definido con las demás líneas. Éste contraste es necesario cuando el dibujo deba ser fácil de comprender.

Línea continua gruesa  se utiliza en contorno de piezas y cuadro de referencia (Grosor: 0.4 a 0.5 mm)

Línea continua fina  usada en márgenes, líneas de cota y extensión (Grosor: 0.25mm)

Línea de trazos cortos  empleada para representar aristas no visibles (Grosor: 0.25mm)

Línea de centros  destinada para representar líneas de centros, ejes de simetría, etc. (Grosor: 0.2mm)

De acuerdo a la proyección ortogonal, las vistas son los elementos básicos para la representación de un objeto según una dirección y un sentido. En la figura 5.1 se muestra un claro ejemplo de las vistas empleadas en dibujo técnico para representar un objeto y acotarlo adecuadamente.

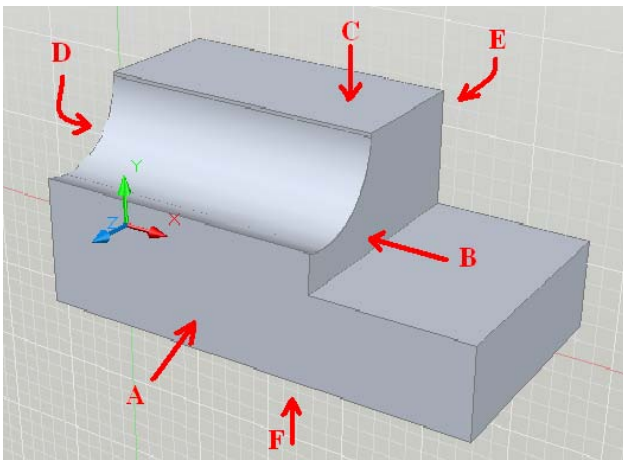


Figura 5.1 El objeto y sus vistas

\*Vista frontal.....(A)

\*Vista lateral derecha.....(B)

\*Vista superior.....(C)

\*Vista lateral izquierda.....(D)


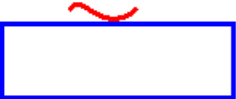

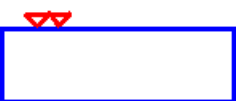
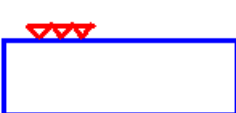

\*Vista posterior.....(E)

\*Vista inferior.....(F)

## Símbolos de acabado

En el dibujo hecho para la fabricación de la pieza es necesario especificar el tipo de acabado superficial requerido, en la tabla 5.2 se muestran símbolos usados para especificarlo.

Tabla 5.2 Símbolos usados para acabado en piezas.

SÍMBOLO	ACABADO SUPERFICIAL	PROCESO
	Conformado sin maquinar	Laminado, forjado, estirado, fundición.
	En bruto pero sin rebabas Pieza extraída de fundición	Defectos corregidos por lima o esmeril
	Desbaste	Corte de material: Velocidad de corte baja. Velocidad de avance alta. Profundidad de corte grande
	Afine	Corte de material: Velocidad de corte alta. Velocidad de avance baja. Profundidad de corte poca
	Rectificado Maquinado CNC	Las huellas de corte dejan de ser visibles a simple vista
	Súper acabado	Pulido, bruñido, lapeado

El ensamble de dos piezas con la misma dimensión nominal constituye un ajuste. Dependiendo del sentido de las tolerancias en ambas piezas el ajuste puede tener juego, ser incierto o con apriete. En el ajuste con juego, la zona de tolerancia del agujero queda totalmente libre de la zona de tolerancia del árbol. Si el ajuste es incierto, debido al traslape de tolerancias puede existir o no el apriete. Finalmente si el ajuste es con apriete la tolerancia de la flecha rebasa en dimensión a la tolerancia del barreno donde entrará.

Una máquina herramienta es una maquina no portátil impulsada por motor que se utiliza para conformar un material por métodos de corte, presión, impacto, técnicas eléctricas ó la combinación de éstos. Las más comunes son: el torno, la fresadora, el taladro, el cepillo y la rectificadora; dichas máquinas se complementan con herramientas de corte ya sea de un filo cortante como en el caso del buril en el torno ó de múltiples filos como es el caso de un cortador circular para la fresadora, la rectificadora, a su vez, utiliza ruedas abrasivas para llevar a cabo su función. Es importante mencionar que todas la maquinas herramientas cuentan con aditamentos que realizan diferentes funciones la cuales pueden ser:

- Sujeción de pieza ó material a trabajar.
- Sujeción de herramientas de corte
- Topes para evitar desplazamientos y ubicación rápida de la pieza
- División en segmentos circulares iguales
- Seguidores de forma

#### **5.4 Torneado**

Históricamente el torno es el precursor de todas las maquinas herramientas, su principio de funcionamiento consiste en hacer girar la pieza y avanzar una herramienta de corte contra ella. Existen tornos de diferentes tipos, por ejemplo el torno paralelo, torno vertical, torno revolver, torno automático, entre otros y son adquiridos según las necesidades que se tengan. Con las herramientas adecuadas el torno puede taladrar, refrentar, ranurar, roscar, cilindrar, avellanar, pulir, moletar...

Taladrado: Con el mandril que está dispuesto en el usillo se sujeta la pieza de trabajo, se hace girar y con el broquero del contrapunto se avanza la broca contra la pieza.

Refrentado y cilindrado. El refrentado es la operación donde la herramienta de corte avanza en dirección normal al giro de la pieza, con el fin de obtener una cara uniforme y plana en el extremo deseado. En el caso del cilindrado el mecanismo de corte es el mismo, sólo que la dirección de avance es paralela al eje del usillo.

Ranurado. Las ranuras que se logran hacer en la pieza de trabajo con ayuda del torno pueden ser de múltiples formas; haciendo avanzar la herramienta de corte hacia la pieza y perpendicular al eje del usillo se logra esta operación.

Roscado. El corte de roscas que se puede hacer con herramientas de mano como los machuelos también puede hacerse con el torno, cabe resaltar que en la maquina pueden darse diferentes grados de ajuste para rosca y ser de tipo cuadrada, acme ó de 60 grados. Consiste en realizar repetidamente un corte en forma de hélice sobre una superficie cilíndrica hasta alcanzar la profundidad deseada para así formar lo que llamaremos “cuerda” la cual puede ser externa ó interna.

### **5.5 Fresado**

Es el proceso de maquinado en el cual una pieza de trabajo sujeta adecuadamente es sometida a un proceso de corte con una herramienta de múltiples filos. Las operaciones pueden ser el maquinado de superficies planas, ranuras, taladrado, escariado, maquinado de engranes, maquinado de cajas ó la combinación de varios procesos que dependen de la forma que se le da a los filos cortantes y a la trayectoria que sigan. Las maquinas que se basan en el principio de la fresadora pero que son especialmente diseñadas para la fabricación de engranes se llaman maquinas generadoras.

### **5.6 Taladrado y mandrilado**

Consiste en cortar un agujero redondo por medio de una herramienta giratoria llamada broca; para realizar el mandrilado es necesario que una herramienta de una sola punta cortante descentrada gire y dé acabado a un taladrado previo. De manera parecida el escariado puede llevarse a cabo en el taladro éste último proceso sirve para dar tolerancias más exactas a un barreno.

### **5.7 Cepillado**

El cepillo es una máquina herramienta utilizada para conformar superficies planas, ranuras rectas y perfiladas. Se sujeta la pieza de manera adecuada en una prensa o con otros aditamentos, fijos a la mesa de trabajo, para luego ser sometida a corte con un buril u otra

herramienta puntiforme. Un brazo rígido porta la herramienta de corte el cual se mueve recíprocamente hacia delante y hacia atrás dándose el corte en una sola dirección. La longitud de carrera, de avance y número de ciclos por minutos son ajustados por el operador.

## **5.8 Rectificado**

El rectificado es el mecanizado que se realiza por abrasión (se utiliza una rueda abrasiva que gira a una velocidad cercana a los 30,000rpm) con mayor exactitud y mejor acabado superficial que el obtenido en otros procesos. La pieza es trabajada previamente en otras máquinas herramienta como el torno o la fresadora para aproximar dimensionalmente y después darle las medidas finales en rectificadora. Existen de diversos tipos pero las más comunes son las rectificadoras para superficies planas y para superficies cilíndricas.



## CAPITULO 6

### DISEÑO DEL MOTOR

Los siguientes cálculos se realizaron para saber la potencia que podría alcanzar el mecanismo pues debe tenerse en cuenta debido al tamaño deseado, recursos económicos y materiales existentes. Para esto se realizó una investigación previa de costos, dimensiones entre otros aspectos que logran dar una estimación de las medidas que tendrá el proyecto físico.

#### 6.2 Cálculos del ciclo

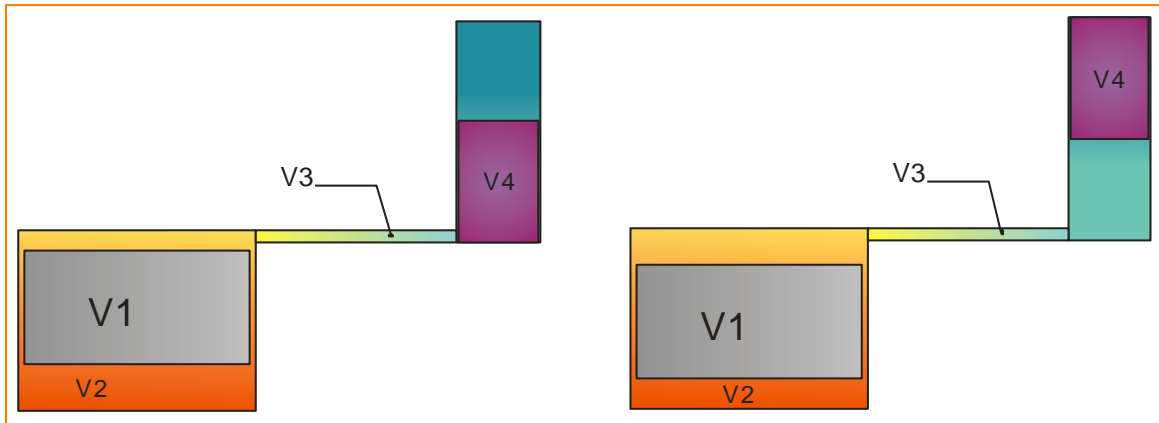


Figura 6.1 Esquema para cálculo de volúmenes mínimo (izquierda) y máximo (derecha)

$V_1$  --- Volumen de desplazador

$V_2$  --- Volumen de cilindro de foco caliente

$V_3$  --- Volumen de interconexión de cilindros

$V_4$  --- Volumen en cilindro de foco frío

$\phi$ : Diámetro

$l$ : largo

$c$ : carrera

#### CÁLCULO DE VOLUMENES MAX. Y MIN.

$$V_1 \rightarrow \phi = 73mm, \quad l = 38mm$$

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \times l \gg \left( \frac{\pi \times 0.073_m^2}{4} \right) (0.038_m)$$
$$V_1 = 1.59 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_2 \rightarrow \phi = 75mm, \quad l = 60mm$$

$$V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \times l \gg \left( \frac{\pi \times 0.075^2 m}{4} \right) (0.06m)$$

$$V_2 = 2.65 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_3 \rightarrow \phi = 4mm, \quad l = 60mm$$

$$V_3 = \frac{\pi D^2}{4} \times l \gg \left( \frac{\pi \times 0.004^2 m}{4} \right) (0.06m)$$

$$V_3 = 7.54 \times 10^{-7} m^3$$

$$V_4 \rightarrow \phi = 25mm, \quad c = 20mm$$

$$V_4 = \frac{\pi D^2}{4} \times c \gg \left( \frac{\pi \times 0.025^2 m}{4} \right) (0.020m)$$

$$V_4 = 9.82 \times 10^{-6} m^3$$

$$V_{max} = V_2 + V_3 + V_4 - V_1$$

$$V_{min} = V_2 + V_3 - V_1$$

$$V_{max} = (2.65 \times 10^{-4} m^3 + 7.54 \times 10^{-7} m^3 + 9.82 \times 10^{-6} m^3 - 1.59 \times 10^{-4} m^3)$$

$$V_{max} = 1.17 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_{min} = (2.65 \times 10^{-4} m^3 + 7.54 \times 10^{-7} m^3 - 1.59 \times 10^{-4} m^3)$$

$$V_{min} = 1.07 \times 10^{-4} m^3$$

## DATOS

$$* \rho_{aire \text{ cdmx}} = 0.897028 \frac{kg}{m^3} \quad (\text{Densidad})$$

$$*rpm = 800 \quad (\text{propuesto})$$

$$* T_{max} = 500^\circ C = 773.15K \quad (\text{propuesto})$$

$$* T_{min} = 60^\circ C = 333.15K \quad (\text{propuesto})$$

$$* V_{max} = 1.17 \times 10^{-4} m^3$$

$$* V_{min} = 1.07 \times 10^{-4} m^3$$

$$* C_{p \text{ aire}} = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$* C_{v \text{ aire}} = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$* P_{\text{inicial}} = 580 \text{ mmHg} = 0.77327 \text{ bar}$$

## CÁLCULO DE MASA

$$\rho_{\text{aire cdmx}} = 0.897028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Si tenemos } V_{\text{max}} = 1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{Sea } \rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho v \rightarrow m = \left(0.897028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^3) = 1.05 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

$$m = 0.105 \text{ gr}_{\text{aire}}$$

## PROCESO DE 1 A 2

$$V_1 = V_{\text{max}} = 1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_2 = V_{\text{min}} = 1.07 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P_1 = P_{\text{inicial}} = 77.327 \text{ kPa}$$

$$P_2 = ?$$

$$T_2 = T_1 = T_{\text{min}} = 333.15 \text{ K}$$

De la ecuación

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow (77.327 \text{ kPa})(1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^3) = (P_2)(1.07 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$P_2 = 85 \text{ kPa}$$

$$\text{Sea } Q_c = Q_{1 \rightarrow 2} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$(77.327 \text{ kPa})(1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^3) \ln \frac{1.07 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$Q_c = -8.083 \times 10^{-4} \text{ kJ}$$

## PROCESO DE 2 A 3

$$V_2 = V_3 = V_{\text{min}} = 1.07 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P_2 = P_{\text{inicial}} = 85 \text{ kPa}$$

$$P_3 = ?$$

$$T_2 = T_{\text{min}} = 333.15 \text{ K}$$

$$T_3 = 773.15 \text{ K}$$

$$\text{De un proceso isométrico } \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \rightarrow \left(\frac{85 \text{ kPa}}{333.15 \text{ K}}\right) (773.15 \text{ K}) = P_3 = 197 \text{ kPa}$$

$$\text{Sea } Q_{\text{in}} = Q_{2 \rightarrow 3} = m C_v (T_3 - T_2)$$

$$(1.05 \times 10^{-4} \text{kg}) \left( 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right) (773.15\text{K} - 333.15\text{K})$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = 0.033 \text{ kJ}$$

#### PROCESO DE 3 A 4

$$V_3 = V_{\min} = 1.07 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$V_4 = V_{\max} = 1.17 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$P_3 = 197 \text{kPa}$$

$$P_4 = ?$$

$$T_3 = T_4 = T_{\max} = 773.15\text{K}$$

$$\text{De la ecuación } P_3 V_3 = P_4 V_4 \rightarrow (197 \text{kPa})(1.07 \times 10^{-4} \text{m}^3) = (P_4)(1.17 \times 10^{-4} \text{m}^3)$$

$$P_4 = 180 \text{kPa}$$

$$\text{Sea } Q_b = Q_{3 \rightarrow 4} = P_3 V_3 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$(197 \text{kPa})(1.07 \times 10^{-4} \text{m}^3) \ln \frac{1.17 \times 10^{-4} \text{m}^3}{1.07 \times 10^{-4} \text{m}^3}$$

$$Q_{3 \rightarrow 4} = 1.88 \times 10^{-3} \text{kJ}$$

#### PROCESO DE 4 A 1

$$V_4 = V_1 = V_{\max} = 1.17 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$P_4 = 180 \text{kPa}$$

$$P_1 = P_{\text{inicial}} = 77.327 \text{kPa}$$

$$T_4 = T_{\max} = 773.15\text{K}$$

$$T_1 = 333.15\text{K}$$

$$\text{Sea } Q_{4 \rightarrow 1} = m C_v (T_1 - T_4)$$

$$(1.05 \times 10^{-4} \text{kg}) \left( 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right) (333.15\text{K} - 773.15\text{K})$$

$$Q_{4 \rightarrow 1} = -0.033 \text{ kJ}$$

Eficiencia con respecto a las temperaturas

$$\eta_T = 1 - \frac{T_{\text{baja}}}{T_{\text{alta}}} = 1 - \frac{333.15^\circ\text{C}}{773.15^\circ\text{C}} \times 100 = 56.91\%$$

## EFICIENCIA DEL CICLO

$$W_{neto} = (Q_{3 \rightarrow 4}) + (Q_{1 \rightarrow 2})$$

$$W_{neto} = (1.88 \times 10^{-3} kJ) + (-8.083 \times 10^{-4} kJ) = 1.07 \times 10^{-3} kJ$$

$$\text{Si } Q_T = Q_e = 1.88 \times 10^{-3} kJ$$

$$\eta_T = \frac{W_{neto}}{Q_e} \times 100 = \left( \frac{1.07 \times 10^{-3} kJ}{1.88 \times 10^{-3} kJ} \right) \times 100$$

$$\eta_T = 57\%$$

## CÁLCULO DE POTENCIA

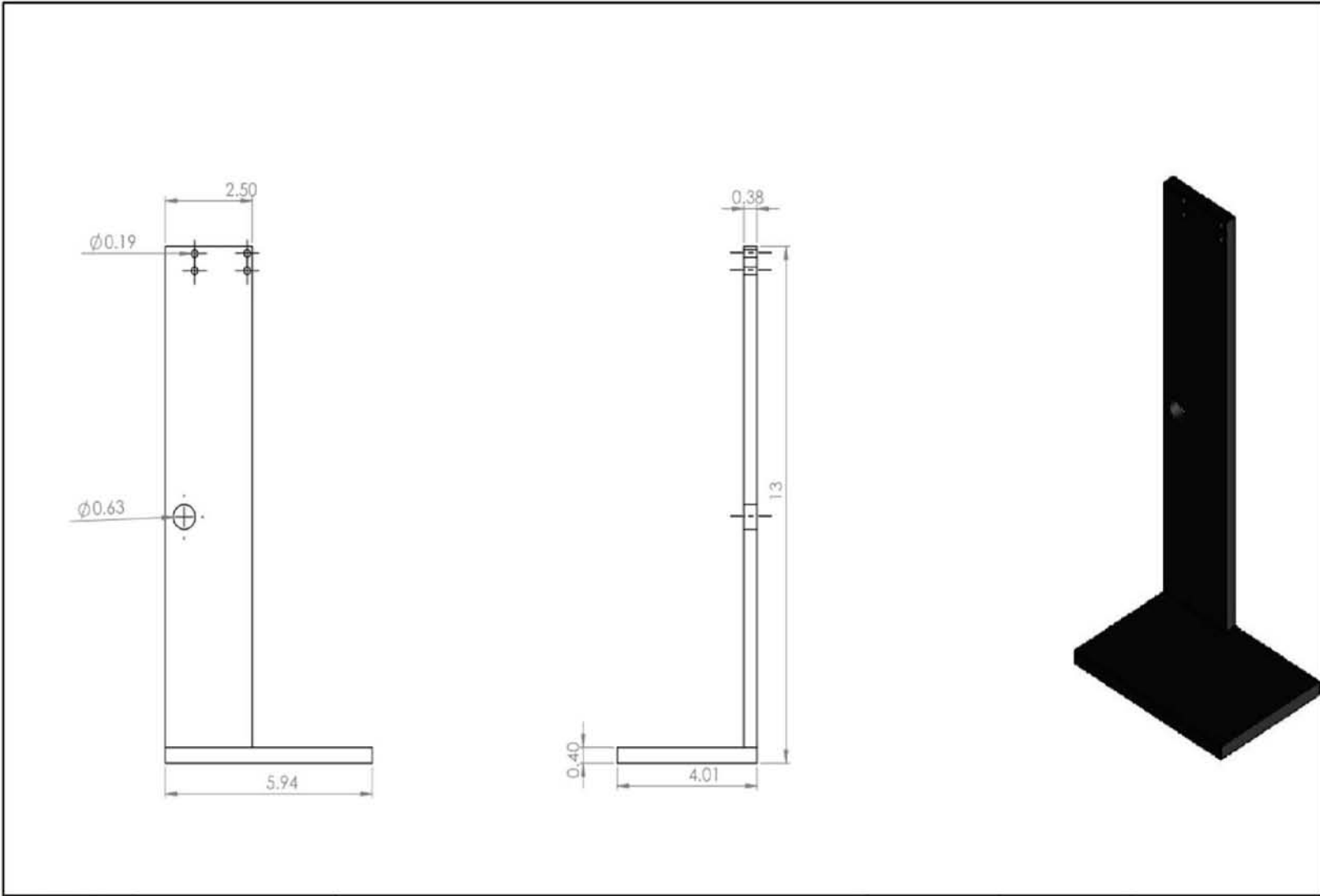
$$P_m = (W_n)(n)$$

$$n = \left( \frac{800 rev}{min} \right) \left( \frac{1 min}{60 s} \right) \left( \frac{1 ciclo}{1 rev} \right) = 13.3 \frac{ciclos}{s}$$

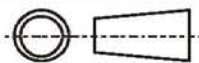
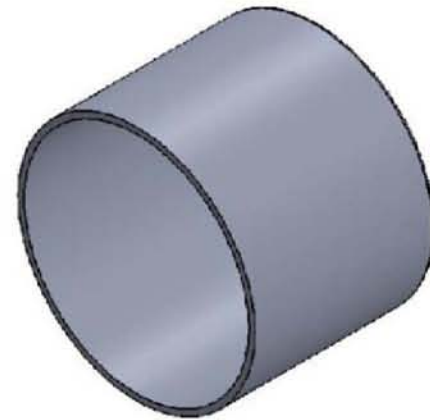
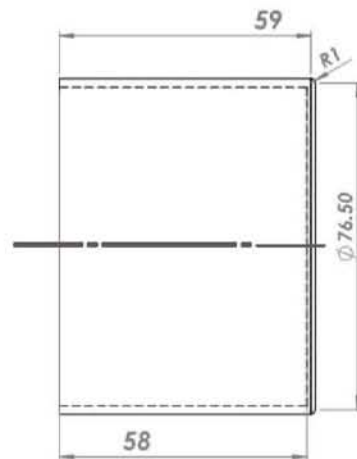
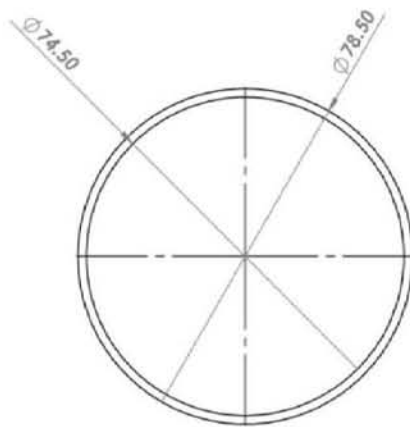
$$P_m = (1.07 \times 10^{-3} kJ) \left( 13.3 \frac{ciclos}{s} \right) = 0.014231 kW$$

$$P_m = 14.23 W$$

6.2 Dibujos de motor



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	FES C	BASE MOTOR	No. de Pza 1	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

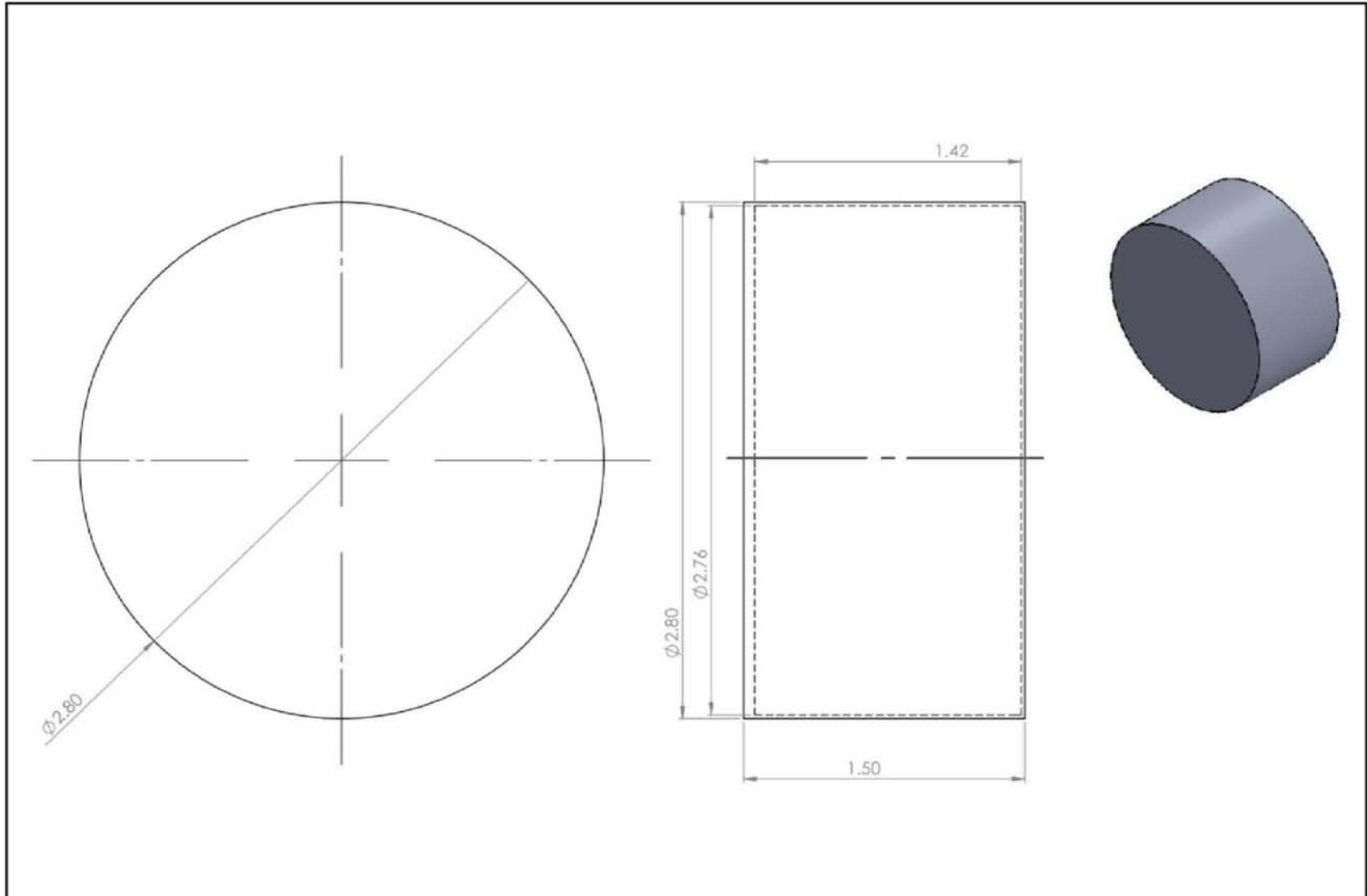
CILINDRO FOCO CALIENTE

ACOT: mm

No. de Pza  
2

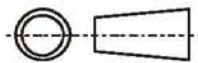
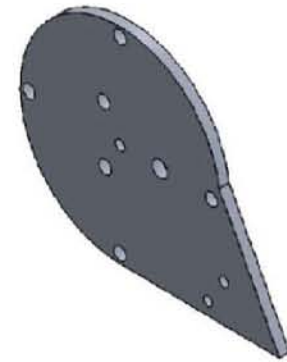
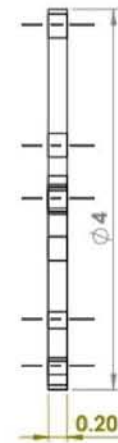
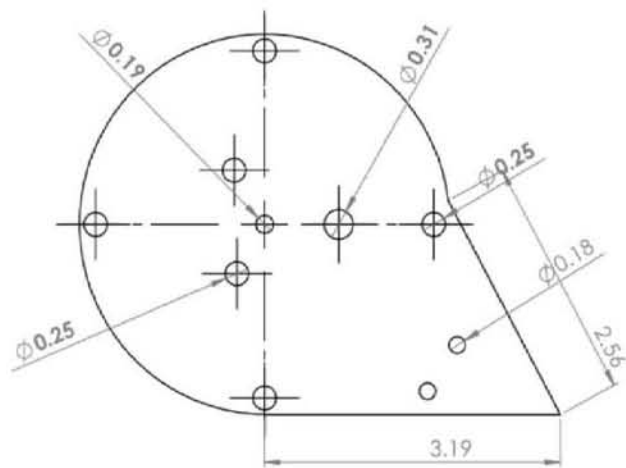
25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.Elaboró  
Sergio Rosas G.



		<p>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA</p>	<p>ACOT: Plg</p>	<p>25/03/2017</p>	<p>Elaboró Sergio Rosas G.</p>
<p>FES C</p>	<p>DESPLAZADOR</p>	<p>No. de Pza 3</p>	<p>Revisó Ing. José A. Sánchez.</p>		





FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

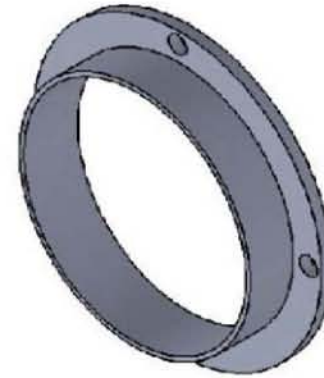
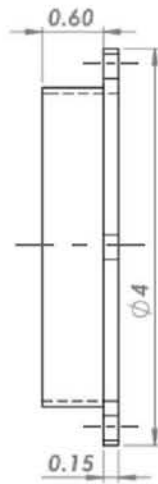
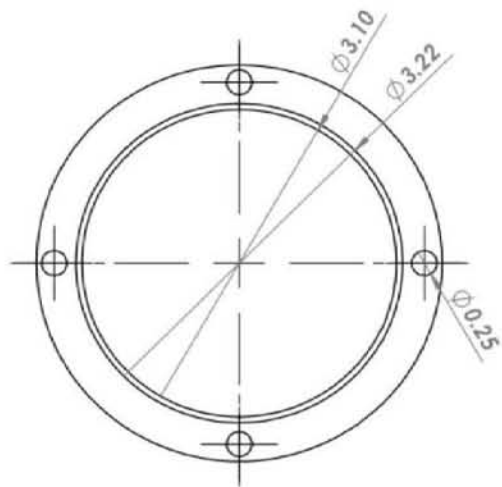
TAPA DE DESPLAZADOR

ACOT: Plg

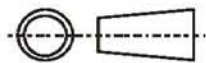
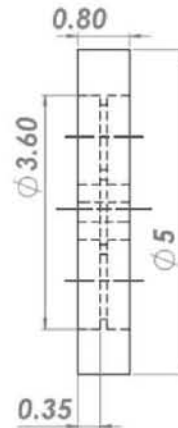
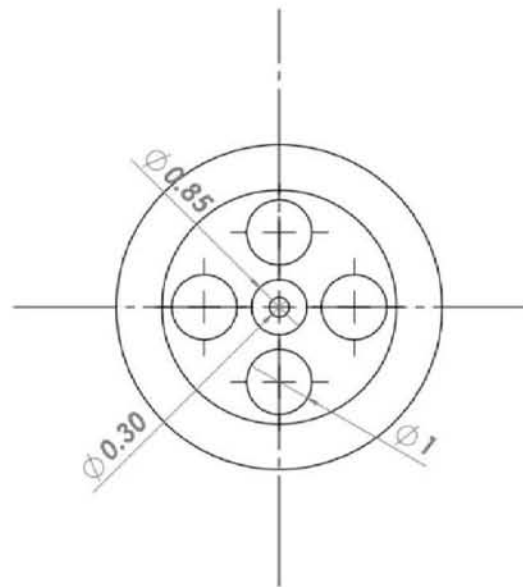
No. de Pza  
4

25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.Elaboró  
Sergio Rosas G.



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	FES C	SUJETADOR DE CILINDRO	No. de Pza 5	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

VOLANTE DE INERCIA

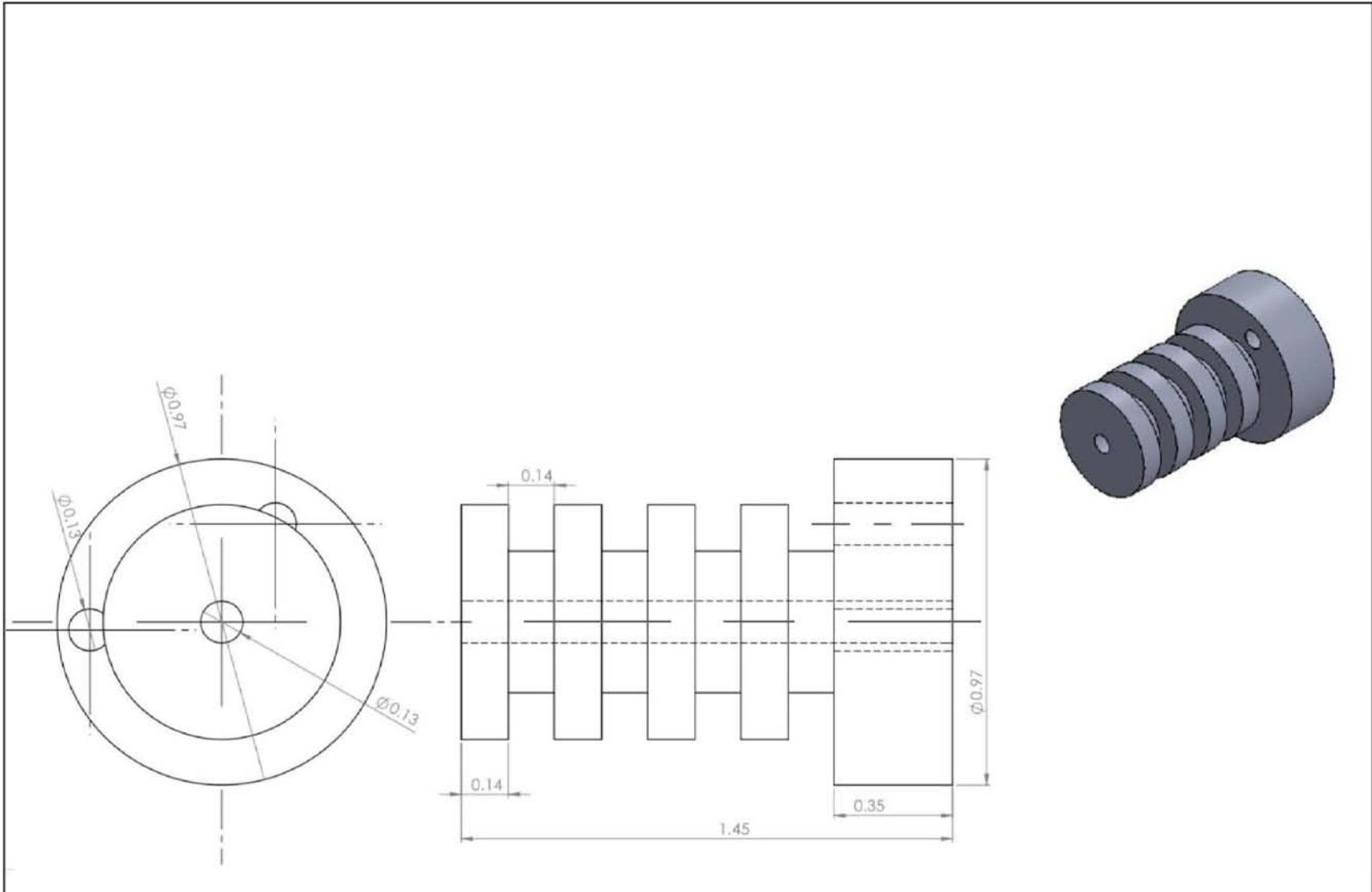
ACOT: Plg

No. de Pza  
6

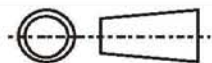
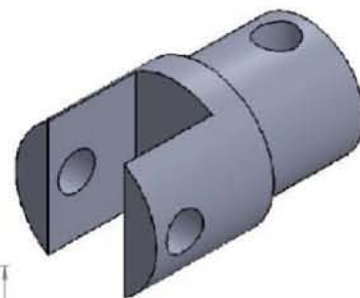
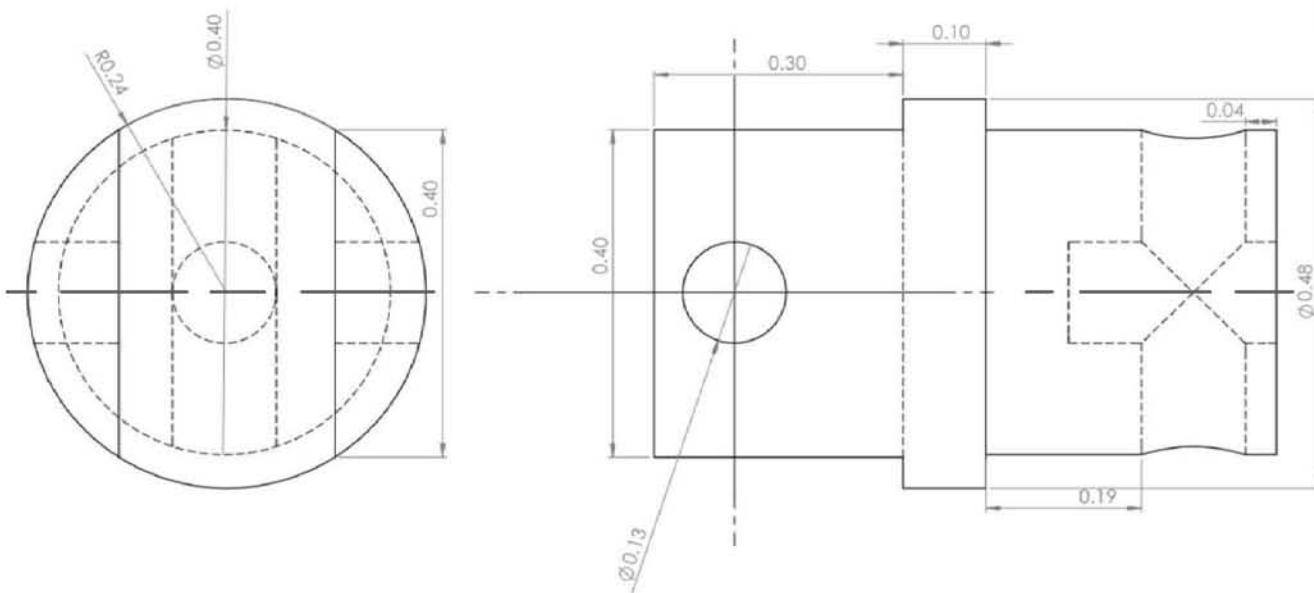
25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

Elaboró  
Sergio Rosas G.



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	<b>FES C</b>	<b>BUJE DEL DESPLAZADOR</b>	No. de Pza 7	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

COPEL PISTON-BIELA

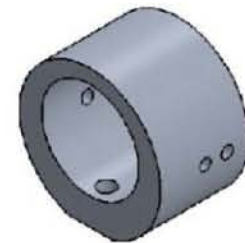
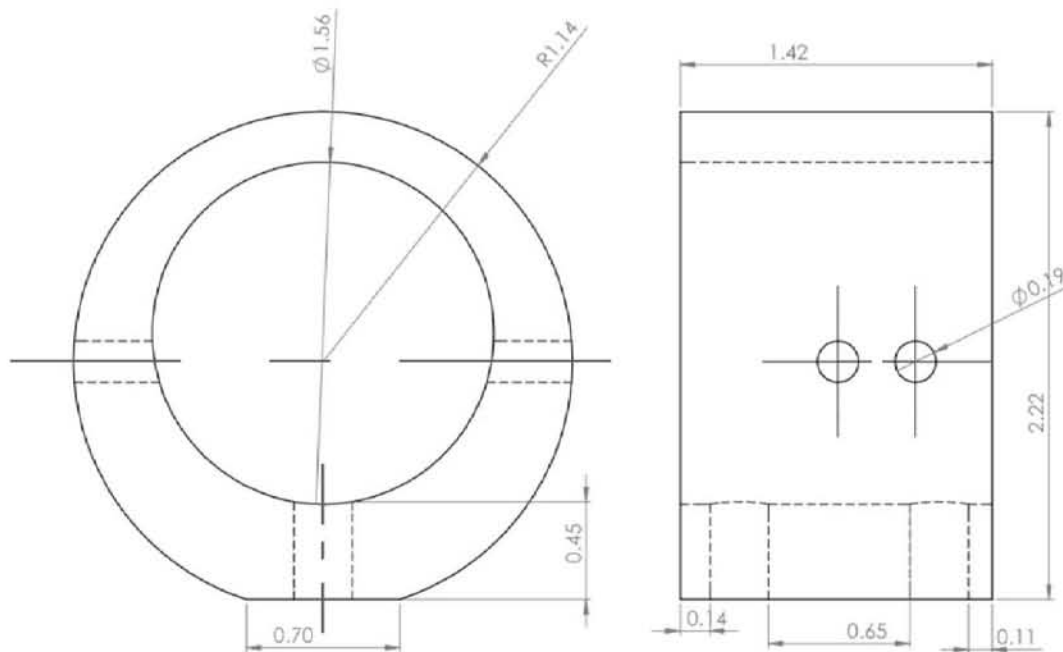
ACOT: Plg

No. de Pza  
8

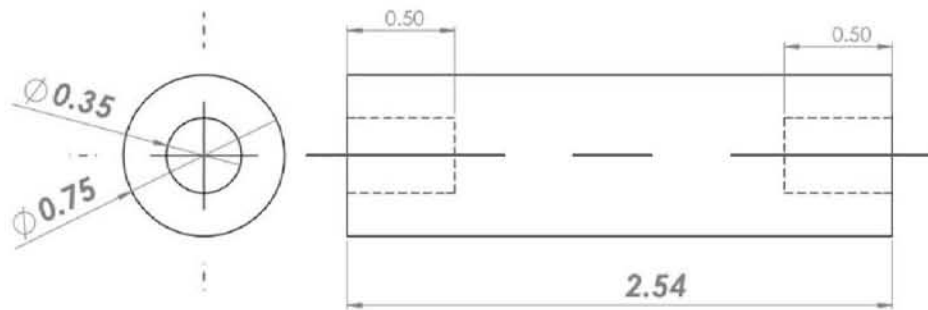
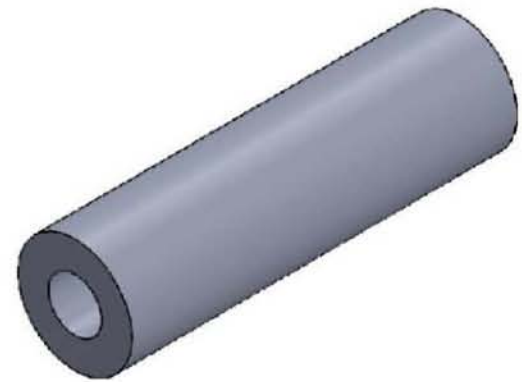
25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

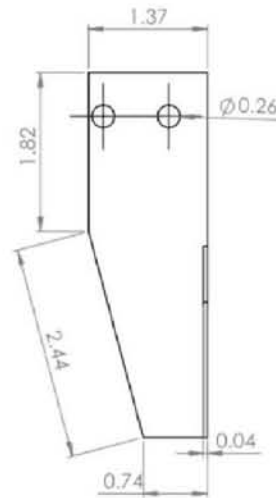
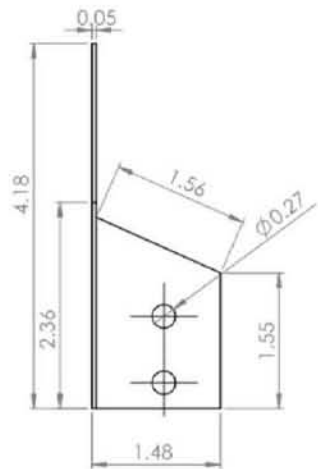
Elaboró  
Sergio Rosas G.



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	FES C	SUJETADOR DE CILINDRO	No. de Pza 9	Revisó Ing. José A. Sánchez.	

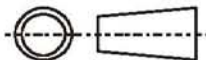
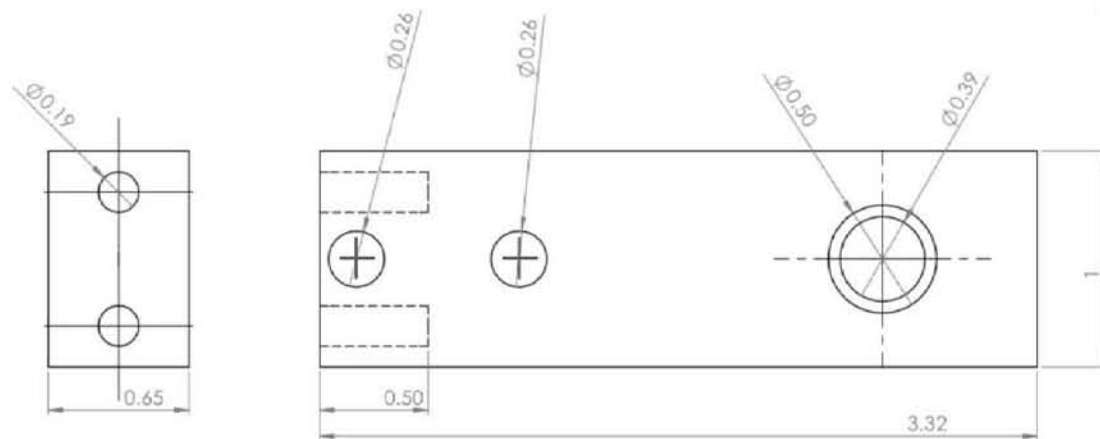


		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	<b>FES C</b>	<b>BASE DEL SUJETADOR</b>	No. de Pza 10	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	<b>FES C</b>	<b>LAMINA SOPORTE</b>	No. de Pza 11	Revisó Ing. José A. Sánchez.	





FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

SOPORTE DE VOLANTE

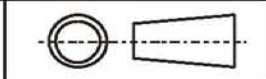
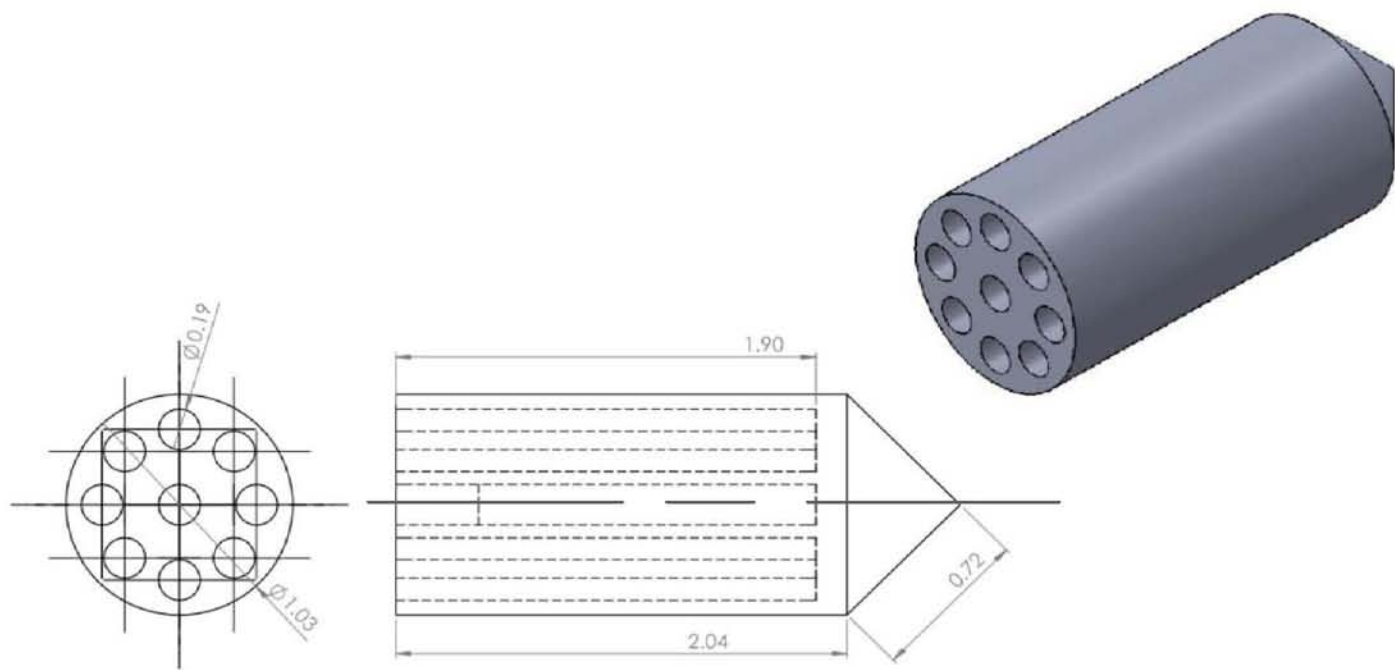
ACOT: Plg

No. de Pza  
12

25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

Elaboró  
Sergio Rosas G.



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

PISTON DE FUERZA

ACOT: Plg

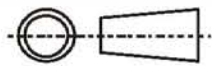
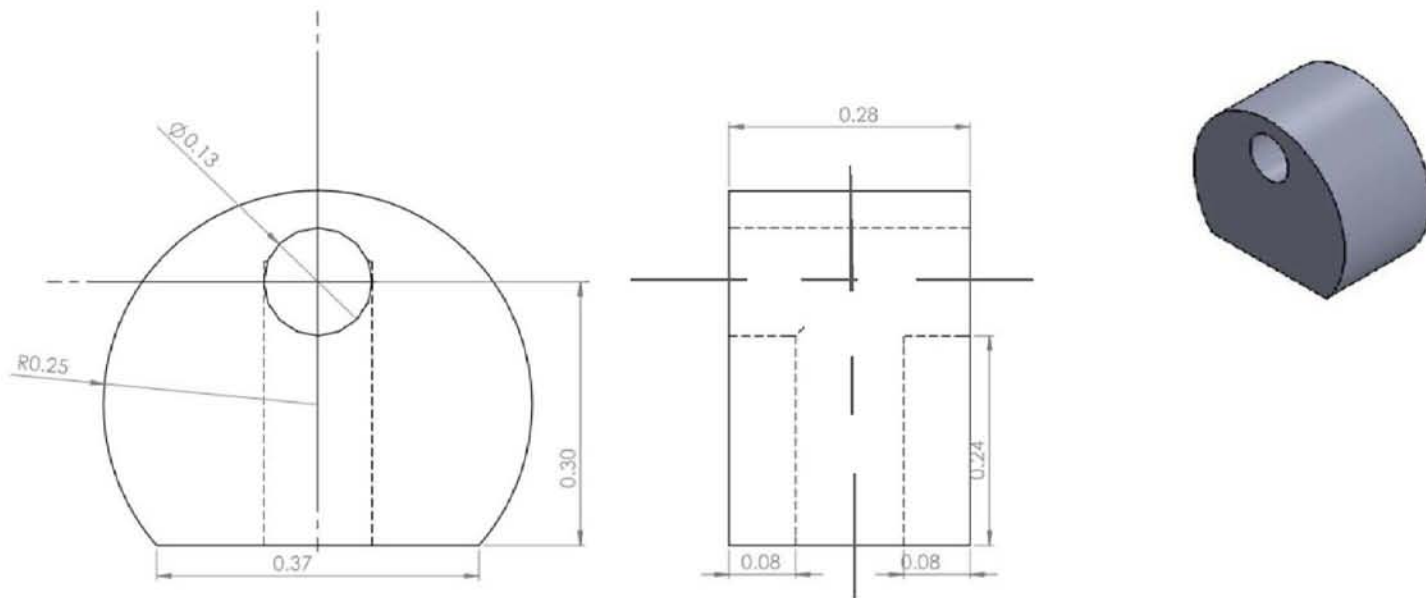
No. de Pza  
13

25/03/2017

Revisó

Elaboró  
Sergio Rosas G.

Ing. José A. Sánchez.



FES C

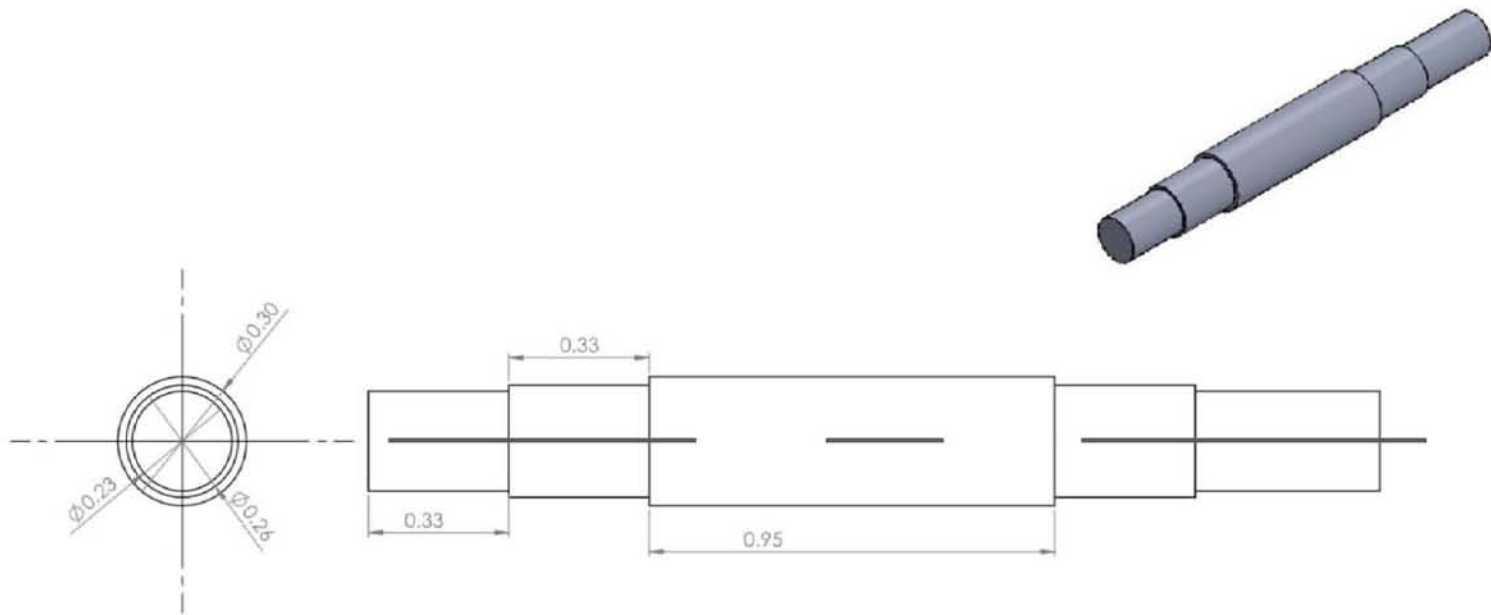
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

AJUSTADOR DE DISTANCIA

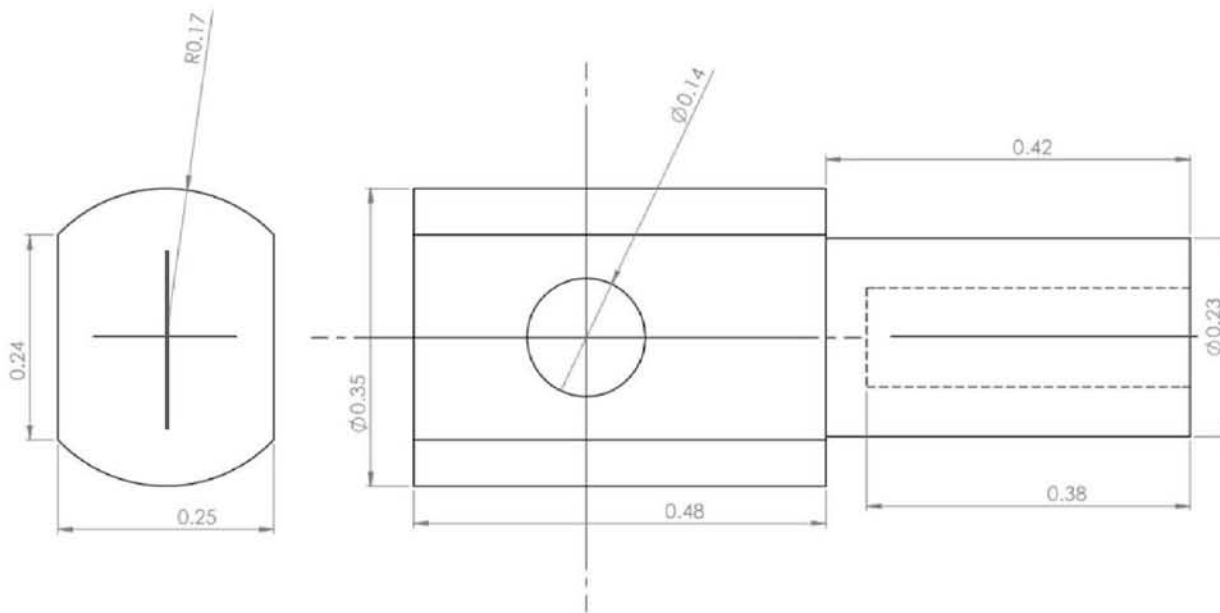
ACOT: Plg

25/03/2017

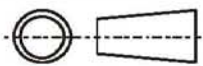
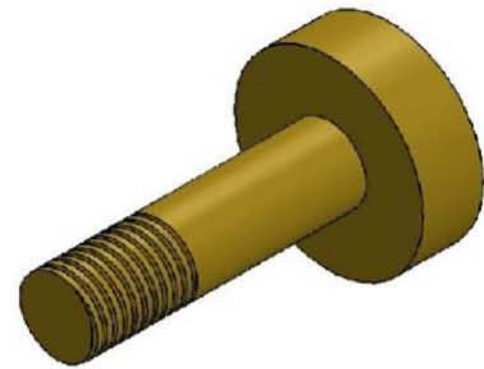
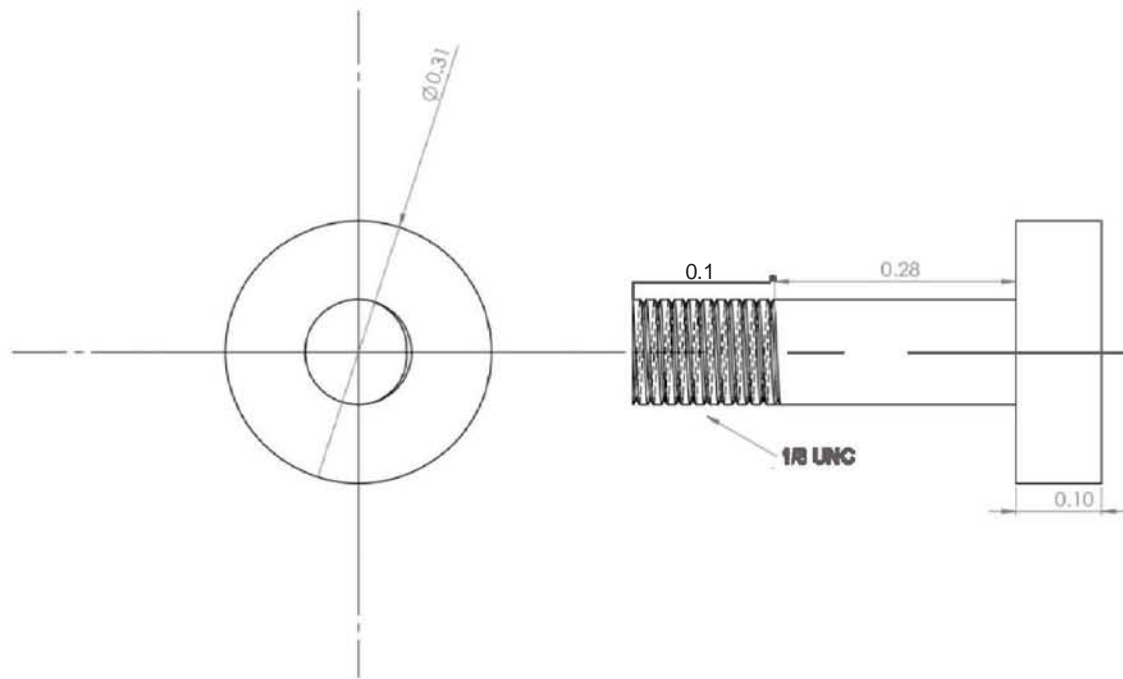
Elaboró  
Sergio Rosas G.No. de Pza  
14Revisó  
Ing. José A. Sánchez.



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	FES C	FLECHA EJE DE VOLANTE	No. de Pza 15	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	<b>FES C</b>	<b>BIELA</b>	No. de Pza 16	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

EJE BIELA-VOLANTE

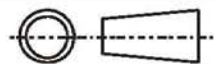
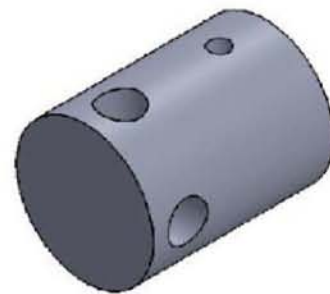
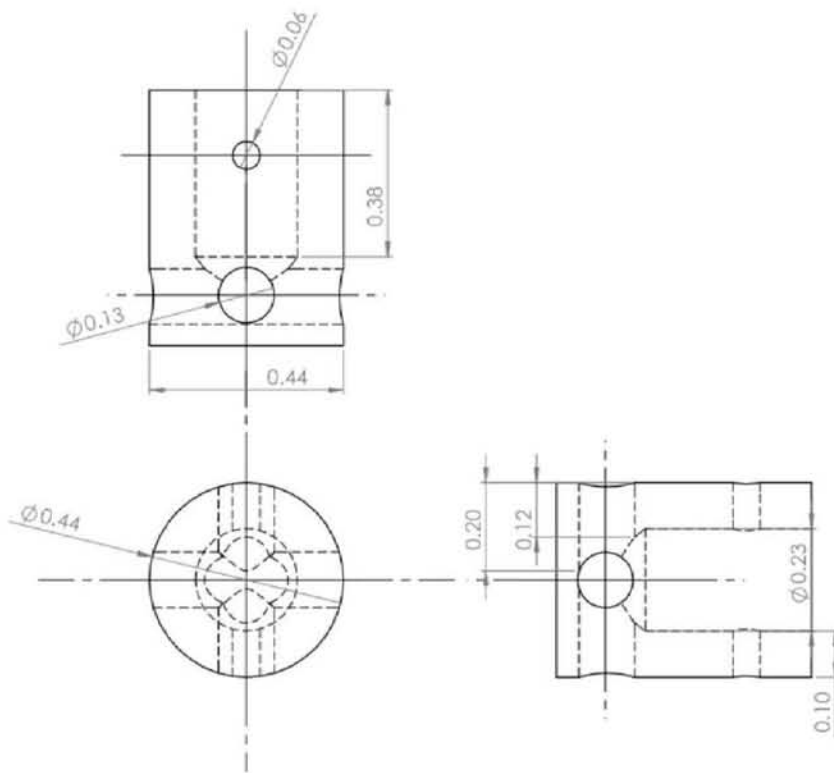
ACOT: Plg

No. de Pza  
17

25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

Elaboró  
Sergio Rosas G.



FES C

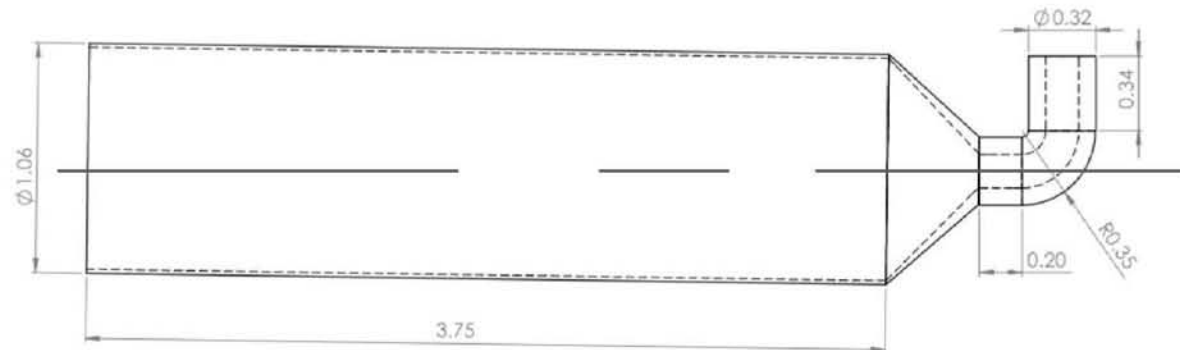
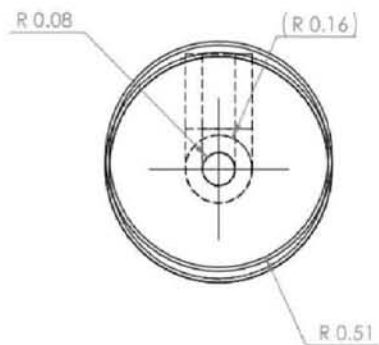
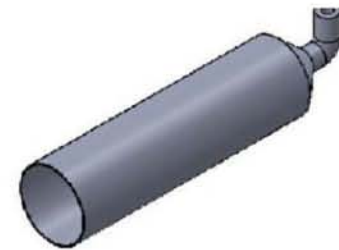
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

COPLA DE VOLANTE

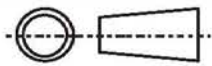
ACOT: Plg

25/03/2017

Elaboró  
Sergio Rosas G.No. de Pza  
18Revisó  
Ing. José A. Sánchez.



55



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

CILINDRO DE FUERZA

ACOT: Plg

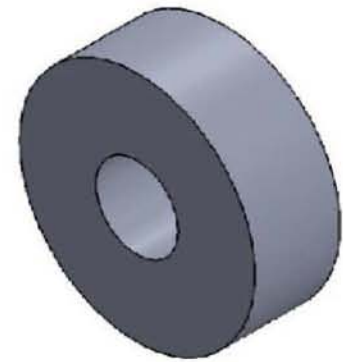
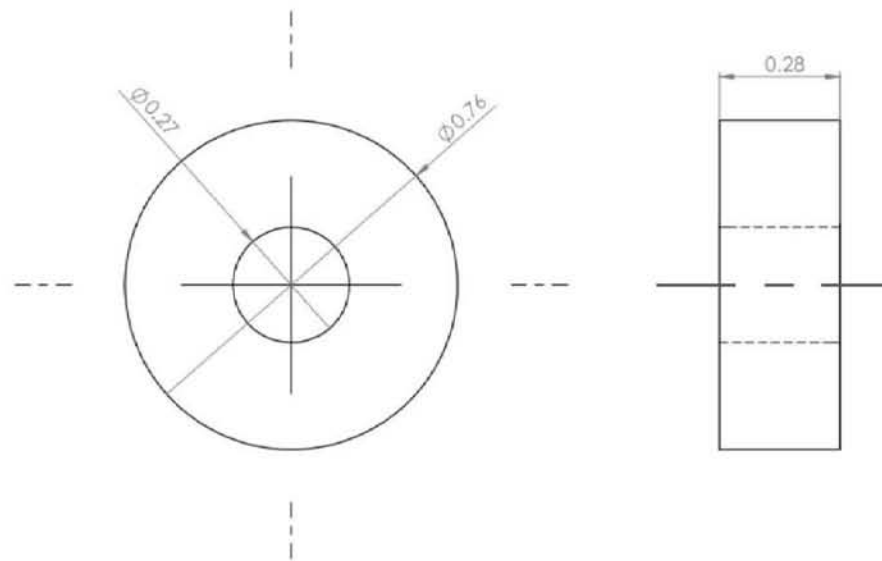
No. de Pza  
19

25/03/2017

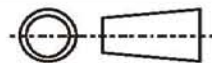
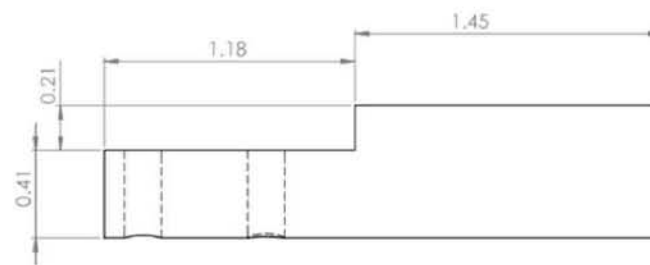
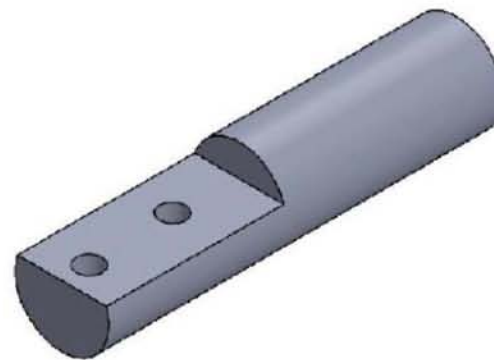
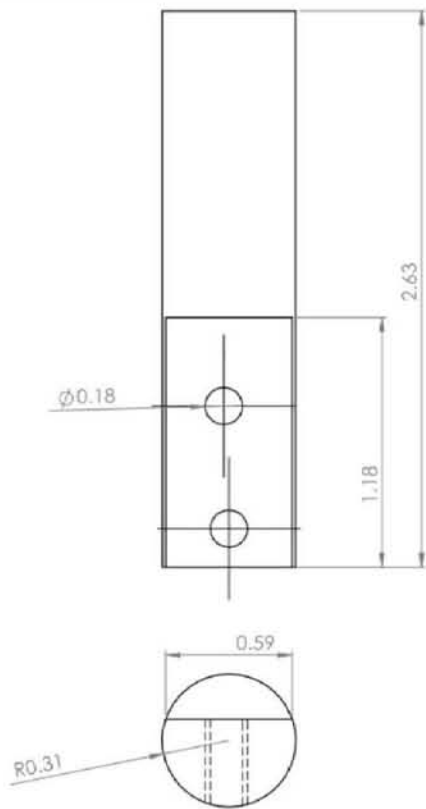
Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

Elaboró  
Sergio Rosas G.





		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA	ACOT: Plg	25/03/2017	Elaboró Sergio Rosas G.
	FES C	BUJE	No. de Pza 20	Revisó Ing. José A. Sánchez.	



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

SOPORTE TAPA

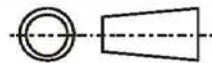
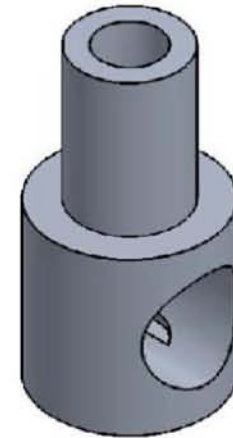
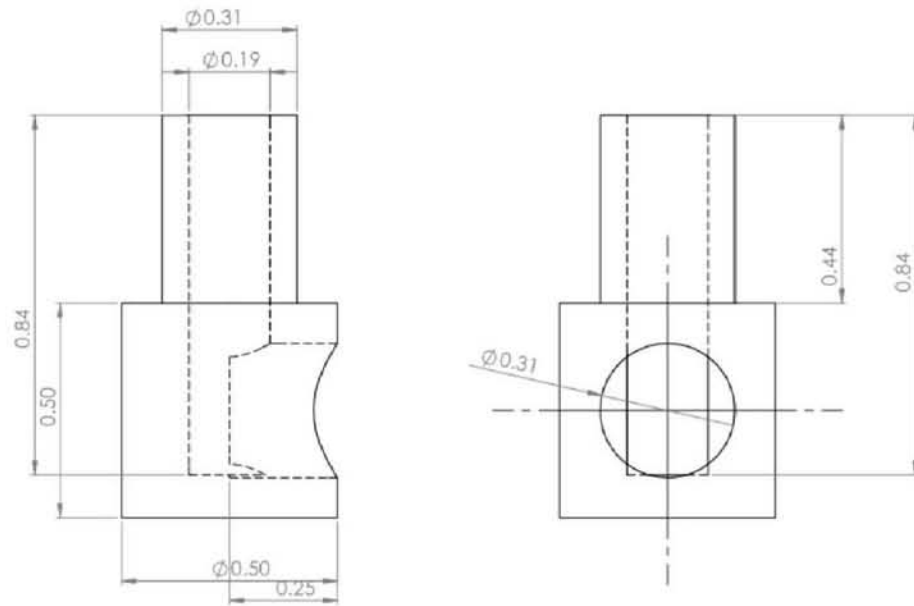
ACOT: Plg

No. de Pza  
21

25/03/2017

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

Elaboró  
Sergio Rosas G.



FES C

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

CONDUCTO

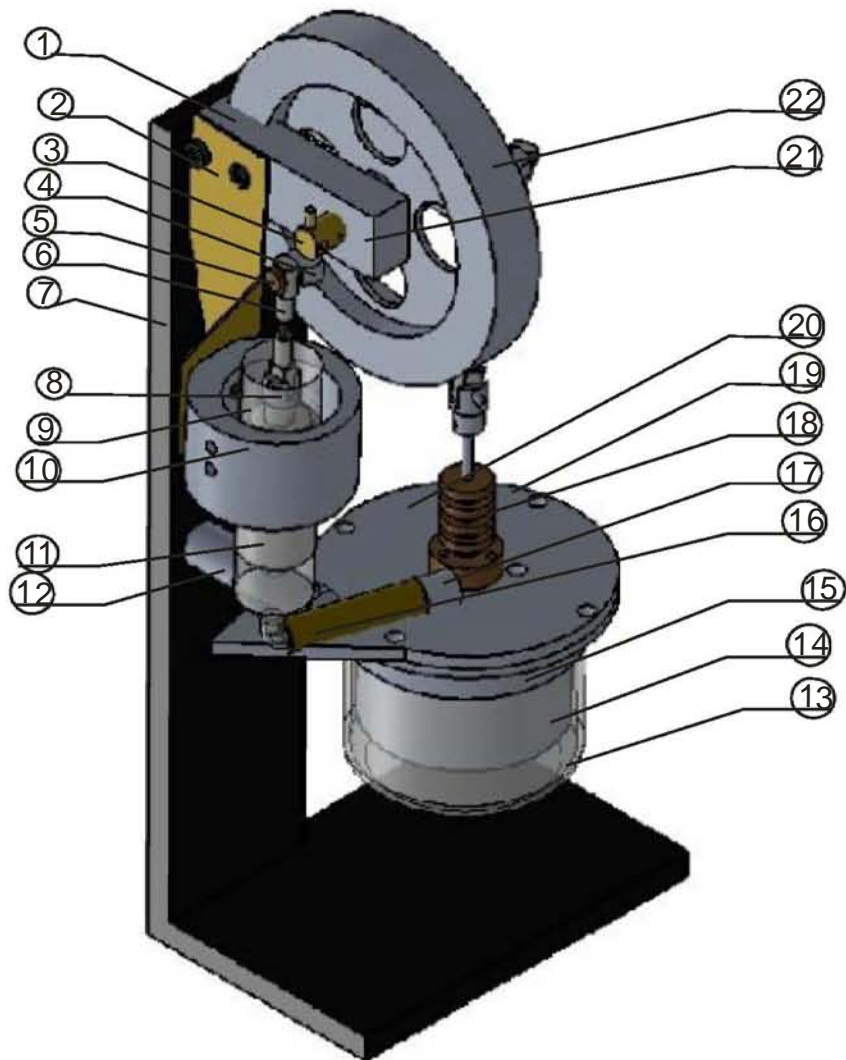
ACOT: Plg

25/03/2017

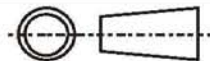
Elaboró  
Sergio Rosas G.

No. de Pza  
22

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.



No. Pza	Nombre	Material
1	Soporte de volante	Aluminio
2	Lamina de soporte	Acero
3	Cople de volante	Latón
4	Ajustador de distancia	Aluminio
5	Eje biela-volante	Bronce
6	Biela	PTFE
7	Base motor	Aluminio
8	Cople pistón biela	Aluminio
9	Cilindro de fuerza	Pyrex
10	Sujetador de cilindro	Aluminio
11	Pistón de fuerza	PTFE
12	Soporte de tapa	Aluminio
13	Cilindro foco caliente	Pyrex
14	Desplazador	Aluminio
15	Sujetador de cilindro	Aluminio
16	Conexión	Hule
17	Conducto	Aluminio
18	Buje del desplazador	Bronce
19	Junta	Asbesto
20	Tapa de desplazador	Baquelita
21	Buje	PTFE
22	Volante de inercia	Aluminio



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING TIPO GAMMA

ACOT:----

25/03/2017

Elaboró Sergio Rosas G.

FES C

CONJUNTO

No. de Pza  
----

Revisó  
Ing. José A. Sánchez.

## CAPÍTULO 7

### CONSTRUCCION DEL MOTOR

Piezas:






Ya que mostrar todos los procesos de mecanizado del motor sería muy extenso y tomaría demasiadas fotos en el capítulo, se denotaran los principales organizándose en grupos de maquinado, los cuales son:

- 1.- Cilindro de foco caliente
- 2.- Cilindro de foco frio
- 3.- Desplazador
- 4.- Mecanismo de bielas
- 5.- Pistón de fuerza
- 6.- Volante de inercia

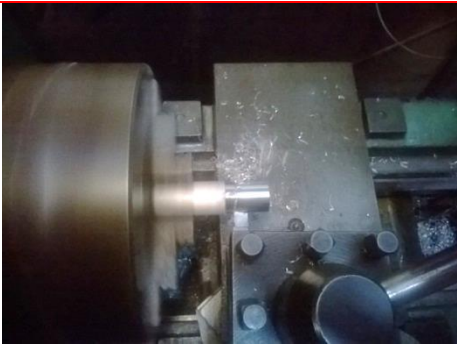
Cabe mencionar que:

- Los cilindros de foco frio y caliente son de cristal templado y se mandaron a fabricar a un taller especializado por lo que no se muestra su proceso.
- En el caso del desplazador, es una pieza muy delgada para maquinarse y soldarse, de modo que se buscó una pieza pre-fabricada similar a un cilindro ciego (al que se le suelda una tapa) en material de aluminio por cuestiones de peso. La soldadura es con soplete y varillas especiales que funden a temperaturas cercanas a los 450 °C.
- El eje del desplazador es de acero HSS por cuestiones de resistencia a las altas temperaturas pues se probaron otros materiales y tienden a deformarse y causando mayor fricción.
- La junta que une al cilindro de fuerza con su brida de sujeción es fabricada con tela de asbesto y silicón automotriz ya que debe ser flexible y hermética. De igual forma se trabajó con la junta-uniión que fija al cilindro de foco frio con su base.




## Cilindro de foco caliente

PIEZA sujetador de cilindro		CANTIDAD 1	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado a medida y Refrentado	Torno		
Cilindrado de escalón.	Torno		
Barrenado con broca y posteriormente con barra.	Torno		
Tronzado	Torno		
Realizar 4 cuerdas 1/8 NC distribuidas uniformemente	Taladro, Machuelo		





PIEZA Tapa de cilindro		CANTIDAD 1	MATERIAL Celoron
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Trazar y cortar a mano	Segueta manual		
Barrenado 1/8 según trazo en periferia y para los tornillos de sujeción del buje.	Taladro		
Barrenado del centro broca 3/16	Taladro		

PIEZA Buje del desplazador		CANTIDAD 1	MATERIAL Bronce
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado y refrentado.	Torno		
Barrenado al centro con broca 1/8	Torno		
Barrenado según trazo, posteriormente machuelo 1/8	Taladro		
Tronzado de pza.	Torno		



PIEZA Sujetador de tapa		CANTIDAD 1	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado externo.	Torno		
Fresado, cortador vertical de 1/2	Fresadora		
Barrenado	Taladro		

## Cilindro de foco frio

PIEZA	Sujetador del cilindro de fuerza	CANTIDAD	1	MATERIAL	Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO			
Refrentado	Torno				
Barrenado con broca-barra interiores	Torno				
Fresado con cortador vertical 3/4.	Fresadora				
Cuerda 1/2NF	Machuelo				



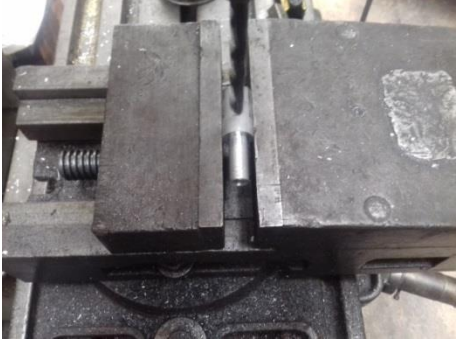
PIEZA Base del sujetador		CANTIDAD 1	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Barrenado para cuerda 3/8NF Machuelo Corte	Torno y Machuelo		

### Desplazador

PIEZA Desplazador		CANTIDAD 1	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
De una pieza comercial de aluminio tronzar con cuchilla lo requerido en longitud.	Torno		
Soldar tapa	Soplete, prensa		
Barrenar a 1/8 al centro	Taladro		


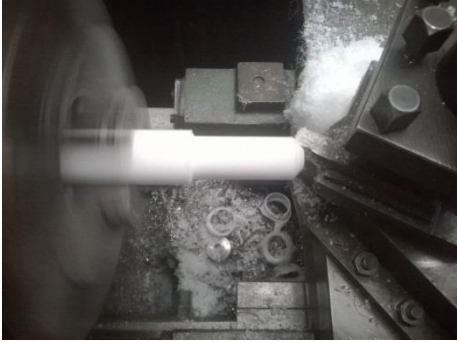
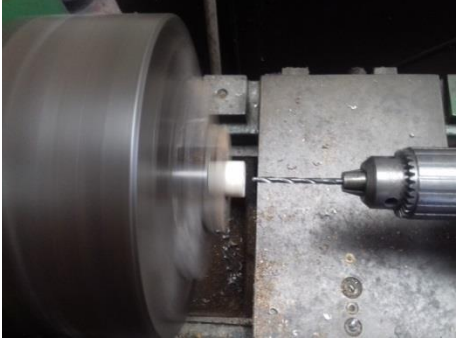

## Mecanismo de bielas


PIEZA	Eje Biela-volante	CANTIDAD	2	MATERIAL	bronce
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO			
Cilindrado de varias medidas según dibujo.	Torno				
Cuerda 1/8	Tarrajá y torno				
Corte de pieza con cuchilla.	Torno				

PIEZA Biela		CANTIDAD 4	MATERIAL PTFE
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Barrenado	Torno		
Cilindrado de escalón.	Torno		
Barrenar a 1/8	Taladro		

PIEZA Ajustador de distancia		CANTIDAD 2	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado excéntrico.	Torno		
Barrenado para cuerda 1/8	Torno		
Fresado, cortador vertical 7/16	Fresadora		


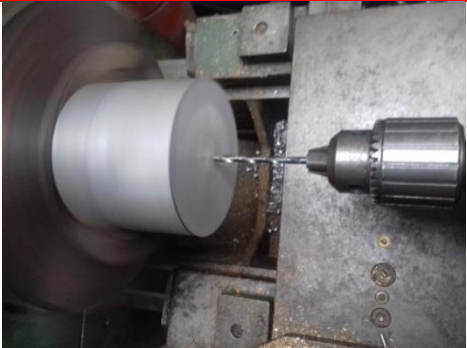


## Pistón de fuerza



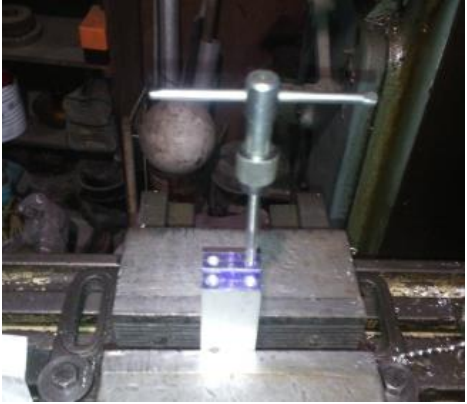
PIEZA Pistón		CANTIDAD 1	MATERIAL PTFE
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado a medida	Torno		
Realización de cono.	Torno		
Barreno para cuerda 1/8 UNC	Torno		
Realizar barrenos con broca usando mesa divisora.	Fresadora		




PIEZA Cople pistón-biela		CANTIDAD 2	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrar escalón.	Torno		
Ranurado, cortador vertical 1/4.	Fresadora		
Barrenado	Taladro		
Cuerda 1/8	Machuelo		



## Volante de inercia

PIEZA volante		CANTIDAD 1	MATERIAL Aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Refrentado y cilindrado.	Torno		
Barreno ¼ al centro	Torno		
Realización de caja y corte de pieza.	Torno		
Barrenado con cortador vertical 1" distribuidos uniformemente.	Fresadora, mesa divisora.		

PIEZA soporte del volante		CANTIDAD 2	MATERIAL aluminio
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Realizar barreno pasado con broca.	Torno		
Realización de caja interna.	Torno		
Machueleado a 3/16.	Machuelo		

PIEZA buje de volante		CANTIDAD 2	MATERIAL PTFE
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado en ajuste.	Torno		
Corte con cuchilla.	Torno		
Barreno a medida en el buje previamente metido a presión.	Taladro		

PIEZA flecha del volante		CANTIDAD 1	MATERIAL Acero 1045
TAREA	HERRAMIENTA	FOTO	
Cilindrado a medidas requeridas. Corte con segueta manual	Torno		
Barreno con broca 7/64	Taladro		

## **CAPITULO 8**

### **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

#### **8.1 Mediciones finales y ajustes**

Para el buen funcionamiento del mecanismo se requiere una baja fricción por lo que es de vital importancia la alineación de las piezas así como su lubricación con aceite de muy baja viscosidad, ya que los procesos de maquinado no son tan perfectos como desearíamos, las medidas entre las piezas que deslizan deben de tener una mayor diferencia que la calculada en los dibujos.

En las primeras pruebas de operación se corrigieron algunos detalles como alineamientos y fallas de ensamble, posteriormente, terminada la prueba se hizo notar la necesidad de una protección pues el cilindro de foco caliente no soportó el cambio de temperatura por lo que se quebró, el maestro del taller de soplado de vidrio comentó que es importante no exponer al cristal a una flama directa de soplete de gas butano sino que debe de instalarse un difusor. Bajo estas circunstancias se optó por reemplazar la pieza y colocar un mechero de alcohol, además de su respectiva protección.

#### **8.2 Pruebas de operación.**

Se realizaron las pruebas de operación, puesto en marcha el motor se midieron las revoluciones a las que gira con un estroboscopio pues si se midiera con un tacómetro se tendría que hacer el acoplamiento mecánico respectivo lo cual afectaría la potencia y por consiguiente los ciclos a los que gira, también se midieron, con la cámara termográfica de la Facultad, las temperaturas de foco frío y foco caliente.

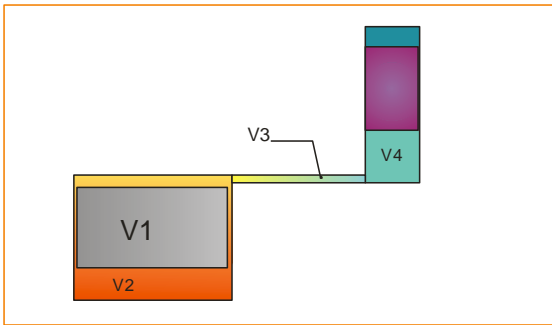


Figura 8.1 Fotografía del motor en funcionamiento.

Tabla 8.1 Muestra imágenes de las pruebas de funcionamiento.

<p>Prueba de funcionamiento realizada en los laboratorios de física de la FESC. Estando el motor en funcionamiento se miden las revoluciones con el estroboscopio.</p>		<p>Foto tomada en el LIME I con la cámara termográfica mientras opera el motor stirling, incluso puede apreciarse el gas dentro del sistema.</p>

### 8.3 Cálculos de funcionamiento.



Los siguientes cálculos se realizan para saber la potencia teórica que desarrolla la máquina puesta en operación, las temperaturas, dimensiones y velocidad angular son las que se tomaron una vez terminado el motor.

Figura 6.1 Esquema para cálculo de volúmenes.

$V_1$  --- Volumen de desplazador

$V_2$  --- Volumen de cilindro de foco caliente

$V_3$  --- Volumen de interconexión de cilindros

$V_4$  --- Volumen en cilindro de foco frío

$\phi$ : Diámetro       $l$ : largo       $c$ : carrera

#### CÁLCULO DE VOLUMENES MAX. Y MIN.

$$V_1 \rightarrow \phi = 71.12mm, \quad l = 38.1mm$$

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \times l \gg \left( \frac{\pi \times 0.07112_m^2}{4} \right) (0.0381_m)$$

$$V_1 = 1.513551 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_2 \rightarrow \phi = 75mm, \quad l = 60mm$$

$$V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \times l \gg \left( \frac{\pi \times 0.075_m^2}{4} \right) (0.06_m)$$

$$V_2 = 2.650719 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_3 \rightarrow \phi = 4mm, \quad l = 63mm$$

$$V_3 = \frac{\pi D^2}{4} \times l \gg \left( \frac{\pi \times 0.004_m^2}{4} \right) (0.063_m)$$

$$V_3 = 3.166725 \times 10^{-6} m^3$$

$$V_4 \rightarrow \phi = 26.035\text{mm}, \quad c = 24.7\text{mm}$$

$$V_4 = \frac{\pi D^2}{4} \times c \gg \left( \frac{\pi \times 0.026035^2}{4} \right) (0.0247\text{m})$$

$$V_4 = 1.314928 \times 10^{-5} \text{m}^3$$

$$V_{max} = V_2 + V_3 + V_4 - V_1$$

$$V_{min} = V_2 + V_3 - V_1$$

$$V_{max} = (2.650719 \times 10^{-4} \text{m}^3 + 3.166725 \times 10^{-6} \text{m}^3 + 1.314928 \times 10^{-5} \text{m}^3 - 1.513551 \times 10^{-4} \text{m}^3)$$

$$V_{max} = \mathbf{1.300324 \times 10^{-4} \text{m}^3}$$

$$V_{min} = (2.650719 \times 10^{-4} \text{m}^3 + 3.166725 \times 10^{-6} \text{m}^3 - 1.513551 \times 10^{-4} \text{m}^3)$$

$$V_{min} = \mathbf{1.168831 \times 10^{-4} \text{m}^3}$$

## DATOS

$$* \rho_{\text{aire cdmx}} = 0.897028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{Densidad})$$

$$* \text{rpm} = 450$$

$$* T_{max} = 270^\circ \text{C} = 543.15 \text{K}$$

$$* T_{min} = 35^\circ \text{C} = 308.15 \text{K}$$

$$* V_{max} = 1.300324 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$* V_{min} = 1.168831 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$* C_{p \text{ aire}} = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$* C_{v \text{ aire}} = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$* P_{inicial} = 580 \text{mmHg} = 0.77327 \text{bar}$$

## CÁLCULO DE MASA

$$\rho_{\text{aire cdmx}} = 0.897028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Si tenemos } V_{max} = 1.300324 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$\text{Sea } \rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho v \rightarrow m = \left( 0.897028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (1.300324 \times 10^{-4} \text{m}^3) = 1.166427 \times 10^{-4} \text{kg}$$

$$m = 0.11664 \text{gr}_{\text{aire}}$$



## PROCESO DE 1 A 2

$$V_1 = V_{max} = 1.300324 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_2 = V_{min} = 1.168831 \times 10^{-4} m^3$$

$$P_1 = P_{inicial} = 0.77327 bar$$

$$P_2 = ?$$

$$T_2 = T_1 = T_{min} = 308.15 K$$

De la ecuación

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow (0.77327 bar)(1.300324 \times 10^{-4} m^3) = (P_2)(1.168831 \times 10^{-4} m^3)$$

$$P_2 = 0.85915 Bar$$

$$\text{Sea } Q_c = Q_{1 \rightarrow 2} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \therefore (0.77327 bar)(1.300324 \times 10^{-4} m^3) \ln \frac{1.168831 \times 10^{-4} m^3}{1.300324 \times 10^{-4} m^3}$$

$$Q_c = -1.071959 \times 10^{-3} kJ$$

## PROCESO DE 2 A 3

$$V_2 = V_3 = V_{min} = 1.168831 \times 10^{-4} m^3$$

$$P_2 = P_{inicial} = 0.85915 Bar$$

$$P_3 = ?$$

$$T_2 = T_{min} = 308.15 K$$

$$T_3 = 543.15 K$$

$$\text{De un proceso isométrico } \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \rightarrow \left( \frac{0.85915 Bar}{308.15 K} \right) (543.15 K) = P_3 = 1.51435 Bar$$

$$\text{Sea } Q_{in} = Q_{2 \rightarrow 3} = m C_v (T_3 - T_2) \rightarrow (1.166427 \times 10^{-4} kg) \left( 0.718 \frac{kJ}{kg K} \right) (543.15 K - 308.15 K)$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = 0.0196811 kJ$$

## PROCESO DE 3 A 4

$$V_3 = V_{min} = 1.168831 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_4 = V_{max} = 1.300324 \times 10^{-4} m^3$$

$$P_3 = 1.51435 Bar$$

$$P_4 = ?$$

$$T_3 = T_4 = T_{max} = 543.15 K$$

$$\text{De la ecuación } P_3 V_3 = P_4 V_4 \rightarrow (1.51435 bar)(1.168831 \times 10^{-4} m^3) = (P_4)(1.300324 \times 10^{-4} m^3)$$

$$P_4 = 1.361214 Bar$$

$$\text{Sea } Q_b = Q_{3 \rightarrow 4} = P_3 V_3 \ln \frac{V_4}{V_3} \therefore (1.51435 bar)(1.168831 \times 10^{-4} m^3) \ln \frac{1.300324 \times 10^{-4} m^3}{1.168831 \times 10^{-4} m^3}$$

$$Q_{3 \rightarrow 4} = 1.887006 \times 10^{-3} kJ$$

## PROCESO DE 4 A 1

$$V_4 = V_1 = V_{max} = 1.300324 \times 10^{-4} m^3$$

$$P_4 = 1.361214 \text{ Bar}$$

$$P_1 = P_{inicial} = 0.77327 \text{ bar}$$

$$T_4 = T_{max} = 543.15 \text{ K}$$

$$T_1 = 308.15 \text{ K}$$

$$\text{Sea } Q_{4 \rightarrow 1} = m C_v (T_1 - T_4) \rightarrow (1.166427 \times 10^{-4} \text{ kg}) \left( 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right) (308.15 \text{ K} - 543.15 \text{ K})$$

$$Q_{4 \rightarrow 1} = -0.0196811 \text{ kJ}$$

Eficiencia con respecto a las temperaturas

$$\eta_T = 1 - \frac{T_{baja}}{T_{alta}} = 1 - \frac{308.15^\circ\text{C}}{543.15^\circ\text{C}} \times 100 = 43.26\%$$

## EFICIENCIA DEL CICLO

$$W_{neto} = (Q_{3 \rightarrow 4}) + (Q_{1 \rightarrow 2})$$

$$W_{neto} = (1.887006 \times 10^{-3} \text{ kJ}) + (-1.071959 \times 10^{-3} \text{ kJ}) = 8.15047 \times 10^{-4} \text{ kJ}$$

$$\text{Si } Q_T = Q_e = 1.887006 \times 10^{-3} \text{ kJ}$$

$$\eta_T = \frac{W_{neto}}{Q_e} \times 100 = \left( \frac{8.15047 \times 10^{-4} \text{ kJ}}{1.887006 \times 10^{-3} \text{ kJ}} \right) \times 100$$

$$\eta_T = 43.19\%$$

## CÁLCULO DE POTENCIA

$$P_m = (W_n)(n)$$

$$n = \left( \frac{450 \text{ rev}}{\text{min}} \right) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{1 \text{ ciclo}}{1 \text{ rev}} \right) = 7.5 \frac{\text{ciclos}}{\text{s}}$$

$$P_m = (8.15047 \times 10^{-4} \text{ kJ}) \left( 7.5 \frac{\text{ciclos}}{\text{s}} \right) = 6.112852 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P_m = 6.113 \text{ W}$$

#### **8.4 Correcciones y modificaciones.**

En un principio el funcionamiento de la maquina se planeó de manera que tuviera una posición horizontal, es decir, los ejes de desplazamiento del pistón y desplazador serían paralelos al piso, pero después al ver como se iba a colocar el mechero y también por cuestiones de fricción fue mejor hacer que su operación sea de forma vertical.

Otra modificación al diseño original fué el pistón de fuerza, ya que se hicieron pruebas con un pistón de aluminio y anillos de teflón pero la hermeticidad no era la esperada y el sistema contaba con demasiada fricción. Se optó por un pistón de fuerza de tolerancia cerrada a la camisa y de proporciones alargadas.

Ya que este proyecto es de propósito didáctico se planea, en un futuro, colocar un generador eléctrico acoplado al volante de inercia esto con la finalidad de que sea más notoria la utilidad del proyecto.

## CONCLUSIONES

En cuanto al funcionamiento del mecanismo se concluye que funciona de manera satisfactoria sirviendo para el propósito de diseño, sin embargo es claro que la potencia, en diseños de baja presión, es muy reducida por lo que su utilidad es limitada.

Uno de los factores primordiales en esta máquina es la fricción, por lo que, la selección de materiales resistentes y ligeros es esencial además se incluyen materiales de bajo coeficiente de fricción como el bronce y el PTFE (comúnmente llamado teflón); las piezas como pistón de fuerza y desplazador deben de ser prácticamente huecas, estar muy bien alineadas y lubricadas.

Para finalizar se concluye que al realizar un proyecto de este tipo es importante contar con lo siguiente.

- Objetivo claro.
- Conocimiento del presupuesto y de los materiales existentes.
- Teoría y cálculos matemáticos necesarios.
- Diseño, teniendo en cuenta que no siempre es definitivo.
- Determinación para lograr el objetivo.

## **BIBLIOGRAFIA.**

Curso de energía solar Antonio Madrid Vicente primera edición 2009, ediciones A. Madrid Vicente.

Compendio de energía solar José Ma. Fernández Salgado, Madrid España 2009, ediciones A. Madrid Vicente.

Transferencia de calor y masa Yunus A. Çengel 4ta ed. Ed. Mc Graw Hill, Méx. 2011

Máquinas térmicas motoras Álvarez Flores Jesús Andrés, Ed. Alfa omega.

Diseño de un motor Stirling tipo beta a 1/2KW Ángel Lecona Galindo Méx. 2011

Tecnología de materiales II Díaz del Castillo Rodríguez Felipe, Cuautitlán Méx.

Materiales y sus propiedades Díaz del Castillo Rodríguez Felipe, Cuautitlán Méx.

Diseño de Herramental Díaz del Castillo Rodríguez Felipe, Cuautitlán Méx.

Proyecto de generación energía con disco parabólico- Stirling. Zavalza Gustavo 2010

Diseño y construcción de un motor Stirling tipo alfa de alta presión de trabajo. Rosales Villanueva Francisco Javier Méx. 2013

Alternativas energéticas, Concheiro FCE Mex 1985

Manual de máquinas herramientas Vol. 2 Kibbe, Neely, Meyer, White. Ed. Limusa 1994

Tecnología de las maquinas herramientas, Steve F. Krar, Arthur R. Gill, Ed. Mc Graw Hill 6ta ed. 2009.



VALOR Y CONFIANZA ANTE EL PORVENIR

HALLAN LOS PUEBLOS EN LA GRANDEZA DE SU PASADO.

MEXICANO CONTEMPLATE EN EL ESPEJO DE ESA GRANDEZA.

COMPRUEBA AQUÍ EXTRANJERO LA UNIDAD DEL DESTINO HUMANO.

PASAN LAS CIVILIZACIONES PERO EN LOS HOMBRES QUEDARÁ SIEMPRE

LA GLORIA QUE OTROS HOMBRES HAYAN LUCHADO PARA ERIGIRLAS.

Jaime Torres Bodet