

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING
EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN
ROMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR**

PRESENTADO POR:

Bach. MIGUEL ANGEL CORTEZ CUSICUNA

Bach. ANTHONY ROGER CHAVEZ ALVAREZ

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

ASESOR:

Ing. PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

CUSCO – PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ROTOR STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSICION ROTICA USANDO LAMA DE INERCI EN EL DESPLAZADOR presentado por: ANTHONY ROSER CHAVEZ ALVAREZ con DNI Nro.: 47302354 presentado por: DIAGNES DOUGLAS CARTER CARRICANA con DNI Nro.: 47370551 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO MECANICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 07 de NOVIEMBRE de 2023

Firma
Post firma Percy RUEDA PUÑALES

Nro. de DNI 23852830

ORCID del Asesor 0000-0001-8191-9405

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:283891596?locales=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

tesis originalidad.pdf

AUTOR

miguel cortes

RECUENTO DE PALABRAS

71781 Words

RECUENTO DE CARACTERES

323251 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

299 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.4MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 6, 2023 12:06 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 6, 2023 12:10 PM GMT-5**● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

PRESENTACIÓN

Señor:

Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica.

Señores Docentes Miembros del Jurado:

En cumplimiento con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigentes regidas en nuestra casa de estudios, para optar el título de Ingeniero Mecánico, doy a conocer la tesis intitulada: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN ROMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR

La tesis se basa en el diseño y construcción de un motor Stirling experimental de bajas potencias a partir de la utilización de lana de acero en el pistón desplazador cuyo aplicación es fundamental para iniciar el funcionamiento en el motor Stirling, basándonos en aportes de textos y otras investigaciones relacionados al análisis termodinámico, cinemático y dinámico relacionados con el motor Stirling, considerando parámetros iniciales de diseño para el dimensionamiento de cada uno de los componentes, cabe resaltar que durante la construcción se observaron limitaciones que impedían el funcionamiento, por lo que se buscó alternativas que den solución a los problemas encontrados, logrando finalmente el análisis experimental deseado.

Bach. CORTEZ CUSICUNA, Miguel Ángel

Bach. CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger

DEDICATORIA

A mis padres Miguel Angel Cortez Velásquez y Martha Cusicuna Quispe, por su apoyo permanente e incondicional en bien de mi superación profesional, a mis Hijos Sami, Idsa y Miguel, y para todas las personas que estuvieron a lado mío en todo momento regalándome sus buenas vibras y mejores deseos de superación personal.

Miguel Angel Cortez Cusicuna

A mi madre Gladys Elva Alvarez Aragón, quien con tanto esfuerzo y apoyo incondicional me ayudo a lograr mi sueño de ser un profesional.

A mi abuela María del Rosario Aragón Gallegos quien fue la luz que guio mi vida y me convirtió en la persona que ahora soy.

A mi esposa Gaudy e hijas Lucia del Rosario y Anthonela que son el motor y motivo de mi ida.

A mi hermano, Bruno y a mis tíos que siempre me dieron su apoyo y son parte importante en mi vida.

Anthony Roger Chavez Alvarez

AGRADECIMIENTO

En honor y agradecimiento al quien en vida fue Ing. Alfonso Huamán Valencia, quien nos motivó a realizar el presente trabajo, brindándonos su apoyo incondicional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos brindados en los años de vida universitaria y en especial a nuestro asesor Ing. Percy Miguel Rueda Puelles por dedicar su tiempo y aportar con su sabiduría para la culminación del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la presente tesis que constituye el diseño y construcción de un motor Stirling experimental de baja potencia con transmisión rómbica usando lana de acero en el desplazador.

Los motores Stirling desde su creación sufrió diferentes variaciones en su estructura, siendo uno de sus variantes la configuración beta, que funciona con un solo cilindro y dos pistones en su interior, cuyo funcionamiento depende de la diferencia de temperaturas que se logra entre los dos pistones, cuyo desplazamiento se transforma en movimiento rotacionales gracias al mecanismo de transmisión rómbico, el pistón de la zona caliente llamado desplazador, es uno de los componentes cuyo peso se disminuyó reemplazándolo por lana de acero y así obtener el funcionamiento del motor.

En el capítulo I, se describe y formula el problema, se plantea los objetivos, la justificación, las hipótesis, las limitaciones, variables, y los antecedentes de la investigación.

En el capítulo II, se describe los fundamentos teóricos necesarias para el desarrollo del motor Stirling experimental los ciclos termodinámicos; la cinemática y dinámica del mecanismo, como también las consideraciones de la lana de acero.

En el capítulo III, se revisa las consideraciones para la elaboración de los componentes del motor Stirling, los cálculos cinemáticos y dinámicos del mecanismo rómbico, el análisis del regenerador y el desplazador.

En el capítulo IV, se realiza la construcción del motor donde se analiza su funcionamiento respecto a su forma horizontal y vertical. Se revisa los instrumentos que serán usados en la obtención de datos.

En el capítulo V, se realiza la experimentación del funcionamiento del motor, se procedió a realizar pruebas con diferentes masas, el análisis estadístico de los datos obtenidos y el análisis de los costos de elaboración del motor experimental.

RESUMEN

Esta investigación consiste en el diseño y construcción de un motor Stirling experimental, utilizando un sistema de transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador, y se orientó para obtener potencias mecánicas de funcionamiento, pese a que las potencias generadas obtenidas son bajas se evaluó soluciones experimentales para elevarlas de modo que estas contribuyan a futuras investigaciones con fines académicos y experimentales.

Textos referenciales de otras investigaciones dejaron información muy importante que permitieron dimensionar el motor Stirling mediante criterios y parámetros de diseño, dentro del análisis inicial lo más importante se da en el análisis termodinámico, donde se puede estimar las primeras dimensiones y comportamientos que se darán en el motor Stirling, posteriormente se analiza cinemática y dinámicamente para finalmente dimensionar los componentes y construirlo.

El sistema de transmisión rómbico o mecanismo rómbico empleado, resulto ser un estilo novedoso que permite transformar el desplazamiento vertical de los pistones en movimientos rotacionales, el peso de algunos componentes y la alineación al momento de instalarlos impidieron inicialmente el funcionamiento del motor Stirling experimental, por lo que busco reducir el peso de los mismos y en algunos casos reemplazar con otros materiales. El pistón desplazador consistía inicialmente en un tubo de acero por lo que su peso era demasiado para la fuerza que generaba el fluido interior, es así que se cambió el material por lana de acero, donde se pudo reducir su peso en un 62%. Se realizó la selección de los materiales de acuerdo al desgaste que iba a ser sometido y a las condiciones mecánicas a la que iba ser expuesto, algunos componentes fabricados tuvieron que ser realizados en varias ocasiones debido a la falta de precisión en su elaboración.

Gracias al funcionamiento se logra obtener hasta 254 rpm en la volante y una potencia mecánica de 16.66 Watts, además entendimos la importancia del análisis inicial y de los criterios asumidos

para su diseño, finalmente se procedió a realizar el análisis experimental de los resultados obtenidos para definir las dimensiones y pesos más adecuados lo que conllevan a los mejores resultados.

Palabras claves:

Motor Stirling, transmisión rómbica, lana de acero, desplazador.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
INTRODUCCIÓN	V
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXV
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	1
CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA	9
1.1 Título Tesis.....	9
1.2 Problema.....	9
1.2.1 Antecedentes del Problema.....	9
1.2.2 Planteamiento del Problema.....	10
1.2.3 Formulación del Problema.....	10
1.2.3.1 Problema General.....	10
1.2.3.2 Problemas Específicos.....	11
1.3 Justificación e Importancia.....	11
1.4 Objetivos de la Investigación.....	12
1.4.1 Objetivo General.....	12

1.4.2	Objetivos Específicos.....	12
1.5	Hipótesis.....	13
1.5.1	Hipótesis General.....	13
1.5.2	Hipótesis Específico.....	13
1.6	Variables.....	13
1.6.1	Variables independientes.....	13
1.6.2	Variables dependientes.....	14
1.7	Alcances y Limitaciones.....	14
1.7.1	Alcances.....	14
1.7.2	Limitaciones.....	14
1.8	Antecedentes.....	15
1.8.1	Antecedente de la Investigación.....	15
1.8.2	Investigaciones Internacionales.....	16
1.8.3	Investigaciones Nacionales.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		18
2.1	Motores Stirling.....	18
2.1.1	Principio de Funcionamiento de un Motor Stirling	18
2.1.2	Componentes del Prototipo Stirling.....	18
2.1.2.1	Fuente Externa de Calor.....	19
2.1.2.2	Zona Caliente.....	20

2.1.2.3	Zona Fría.....	21
2.1.2.4	Pistón de fuerza.....	22
2.1.2.5	Desplazador.....	23
2.1.2.6	Sistema de transmisión del motor Stirling.....	23
2.1.2.7	Volante.....	24
2.1.3	Tipos de Configuraciones de los Motores Stirling.....	24
2.1.3.1	Configuración Alfa.....	24
2.1.3.2	Configuración Beta.....	25
2.1.3.2.1	Configuración beta con Transmisión rómbica.....	26
2.1.3.3	Configuración Gamma.....	27
2.1.4	Consideraciones para el Análisis Termodinámico del Motor Stirling.....	28
2.1.5	Proceso Termodinámico.....	30
2.1.5.1	Expansión Isotérmica (1-2).....	31
2.1.5.2	Enfriamiento Isocórico (2-3).....	32
2.1.5.3	Compresión Isotérmica (3-4).....	32
2.1.5.4	Calentamiento Isocórico (4-1).....	32
2.1.5.5	Trabajo termodinámico del motor Stirling.....	33
2.1.5.6	Eficiencia Térmica del Motor Stirling.....	33
2.1.6	Ciclo Real del Motor Stirling.....	34
2.1.6.1	Principales Causas que Generan el Ciclo no Ideal.....	34

2.1.6.2	Regenerador	35
2.1.7	Cinemática del Mecanismo Manivela Biela.	40
2.1.8	Dinámica del Mecanismo Manivela Biela y Pistón.....	42
2.1.9	Análisis de Fuerzas Dinámicas en un solo Eslabón.....	43
2.1.10	Análisis de Fuerzas dinámicas en un Mecanismo de Barras de Manivela Corredera. 44	
2.1.11	Fuerzas de gas y pares de torsión de un Motor de un Cilindro.....	47
2.1.12	Fuerzas de Inercia.	51
2.1.13	Fuerzas de sacudimiento.	52
2.1.14	Pares de Torsión de Inercia y Sacudimiento.....	53
2.1.15	Par de Torsión del Motor Total.....	53
2.1.16	Control del Par de Torsión Total por Balanceo y Volantes de Inercia.	53
2.1.16.1	Balanceo.....	54
2.1.16.1.1	Balanceo Estático.	54
2.1.16.1.2	Balanceo dinámico.	56
2.1.16.1.3	Masas Equivalentes.	58
2.1.16.2	Volantes de Inercia.....	61
2.1.16.2.1	Energía del Volante	61
2.1.16.2.2	Dimensionamiento del Volante.	63
2.1.17	Fuerzas de Pasador.....	64

2.2	Lana de Acero.....	68
2.2.1	Composición de la Lana de Acero.....	69
2.2.2	Características Físicas y Químicas de la Lana de Acero	69
2.2.2.1	Magnetismo.....	70
2.2.2.2	Conductividad térmica	70
2.2.2.3	Textura	70
2.2.2.4	Ductilidad y Flexibilidad.....	71
2.2.3	Ventajas y Desventajas	71
2.2.4	Usos y Aplicaciones.....	72
2.3	Ejes o Árbol de transmisión.....	72
2.3.1	Tipos de árboles:.....	72
2.3.1.1	Según la configuración longitudinal.	72
2.3.1.1.1	Arboles rectos	72
2.3.1.1.2	Arboles acodados:.....	72
2.3.1.1.3	Arboles flexibles:.....	73
2.3.1.2	Según la forma de sección trans versal:	73
2.3.2	Acción de los engranajes sobre un árbol de transmisión.	73
2.4	Tolerancias.....	74
2.4.1	Tipos de tolerancias.	75
2.4.1.1	Tolerancias de elementos funcionales.....	75

2.4.1.2	Tolerancias sobre elementos no funcionales.....	76
2.5	Análisis de la Varianza de dos Vías para Datos Independientes.....	76
2.5.1	Tipos de Variación y Suma de Cuadrados.....	77
2.5.2	Grados de Libertad.....	77
2.5.3	Cuadrados Medios (Suma de Cuadrados/Grados de Libertad).....	78
2.5.4	Estadístico de prueba F_c y estadístico F crítico de alfa.	78
CAPÍTULO III. DISEÑO Y ANÁLISIS MECANICO DE LOS COMPONENTES DEL MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL		79
3.1	Descripción del Conjunto	79
3.1.1	Parámetros Preliminares	80
3.1.1.1	Fluido de Trabajo	80
3.1.1.2	Sistema de Refrigeración	81
3.1.1.3	Fuente de Calor	81
3.1.2	Parámetros de Diseño	81
3.1.2.1	Relación Biela- Manivela.....	82
3.1.2.2	Relación Diámetro del Cilindro y Carrera del Pistón	82
3.1.2.3	Relación de temperaturas.	83
3.1.2.4	Distancia Entre Ejes	83
3.2	Consideraciones para el Diseño del Motor Stirling Experimental	83
3.2.1	Diseño del Mecanismo Rómbico del Motor Stirling Experimental.....	85

3.2.2	Dimensionamiento del Desplazador	87
3.2.3	Dimensionamiento del Pistón de Fuerza.....	88
3.2.4	Longitudes de los Vástagos.	88
3.3	Diseño Cinemático del Mecanismo Rómbico	89
3.3.1	Para el mecanismo O2AB.....	90
3.3.1.1	Determinación de las Posiciones:.....	91
3.3.1.2	Determinación de la Velocidad.	93
3.3.1.3	Determinación de la Aceleración.	93
3.3.2	Para el mecanismo O2AC.....	94
3.3.2.1	Determinación de la Posición.....	94
3.3.2.2	Determinación de la Velocidad.	96
3.3.2.3	Determinación de la Aceleración.	96
3.4	Diseño termodinámico.....	97
3.4.1	Análisis termodinámico del ciclo Stirling.....	97
3.4.1.1	Volúmenes muertos.....	98
3.4.1.2	Regenerador imperfecto	100
3.4.1.3	Relación de temperaturas (τ):	100
3.4.1.4	Análisis Térmico en el Foco Caliente.	101
3.4.1.4.1	Cálculo del Foco Caliente.....	102
3.4.1.5	Análisis Térmico en el Foco Frío.....	102

3.4.1.6	Ecuación de estado	103
3.4.1.7	Proceso de compresión isotérmica	103
3.4.1.7.1	Proceso 2-3 de calentamiento isocórico	104
3.4.1.7.2	Proceso de Expansión Isotérmica	104
3.4.1.7.3	Proceso de Enfriamiento Isocórico	105
3.4.1.8	Calor suministrado y rechazado	105
3.4.1.8.1	Calor total suministrado.....	105
3.4.1.8.2	Calor total rechazado	106
3.4.1.9	Trabajo y Eficiencia	107
3.4.1.9.1	Trabajo Neto.....	107
3.4.1.9.2	Presión media efectiva.....	108
3.4.1.9.3	Eficiencia térmica	108
3.4.1.9.4	Eficiencia del regenerador	109
3.4.1	Calculo Termodinámico.....	110
3.4.1.1	Cálculo de flujo de calor del fluido al regenerador.....	111
3.4.1.1.1	Número de Prandtl (Pr).....	111
3.4.1.1.2	Número de Peclet, (Pe).....	111
3.4.1.1.3	Número de Nusselt (Un).....	112
3.4.1.1.4	Cálculo termodinámico ideal de calor	113
3.4.1.1.5	Caída de presión en el regenerador.....	114

3.4.1.1.6	Eficiencia en el regenerador del motor Stirling.....	115
3.4.1.1.7	Desempeño del motor Stirling.....	117
3.4.1.1.8	Eficiencia térmica teórica del motor Stirling.....	117
3.5	Análisis de la Fuerzas.....	117
3.5.1	Fuerzas que Ejerce el Fluido de Trabajo.....	117
3.5.1.1	Fuerzas del Gas y Pares de Torsión para el mecanismo O2AB.....	118
3.5.1.2	Fuerzas del Gas y Pares de Torsión para el mecanismo O2AC.....	121
3.5.2	Fuerzas dinámicas.....	126
3.6	Diseño mecánico.....	130
3.6.1	Balaceo.....	130
3.6.1.1	Modelo Aproximado Para Balaceo.....	130
3.6.1.2	Modelo Estático Aproximado.....	132
3.6.1.3	Fuerzas de Sacudimiento sin Balaceo.....	136
3.6.1.4	Fuerzas de Sacudimiento Balaceado.....	139
3.6.2	Pares de Torsión de Inercia y Sacudimiento.....	143
3.6.3	Par de Torsión Total del Motor.....	145
3.6.4	Determinando la Masa de la Volante.....	146
3.6.5	Determinación de las Fuerzas del Pasador.....	148
3.6.5.1	Fuerzas en el pasador del pistón m4 en el mecanismo O2AB.....	148
3.6.5.2	Fuerzas en el pasador del pistón m4 en el mecanismo O2AC.....	149

3.6.5.3	Fuerzas en el pasador que conecta la manivela y bielas	150
3.6.5.4	Análisis en el muñón de la manivela.....	152
3.6.5.5	Analizando las componentes de la fuerza del gas:	154
3.6.5.6	Determinando los diámetros del Pasador en el Desplazador y en el Pistón de Fuerza.	157
3.6.5.7	Determinando el diámetro del Pasador de la Manivela.....	159
3.6.5.8	Determinando el diámetro del Eje Principal.	161
3.7	Determinación de la potencia del motor Stirling experimental.....	162
3.7.1	Potencia mecánica entregada por el calor suministrado.	162
3.7.2	Potencia mecánica efectiva.	162
3.7.3	Determinación de la eficiencia mecánica del motor Stirling.....	164
3.7.4	Determinación de la eficiencia térmica del motor Stirling experimental	164
CAPÍTULO IV. CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACION DEL MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL.....		166
4.1	Adquisición de Materiales.....	166
4.2	Mecanizado y Cortes.	166
4.3	Elaboración de Piezas.....	168
4.3.1	Cilindro de la Zona Caliente	169
4.3.2	Cilindro de Aluminio de la Zona Fría.....	170
4.3.3	Empaque de Unión.....	171

4.3.4	Cilindro Externo de Agua Para Enfriamiento.....	172
4.3.5	Cilindro Contenedor de Agua.....	173
4.3.6	Desplazador.....	173
4.3.7	Pistón Fuerza.....	175
4.3.8	Vástago del Desplazador.....	175
4.3.9	Vástago del Pistón de Fuerza o Vástago Guía.....	176
4.3.10	Bielas.....	176
4.3.11	Bujes de Bronce.....	177
4.3.12	Plancha Soporte.....	177
4.3.13	Soportes de los Ejes.....	178
4.3.14	Muñón o Eje Principal.....	178
4.3.15	Chumaceras.....	179
4.3.16	Engranajes.....	179
4.3.17	Rodamientos.....	180
4.3.18	Manivelas.....	180
4.3.19	Elaboración de Contrapesos.....	181
4.3.20	La Volante.....	182
4.3.21	Quemador.....	183
4.3.22	Soporte del Motor.....	183
4.3.23	Sistema Eléctrico.....	184

4.3.24	Faja de Unión.....	185
4.4	Lubricación.....	185
4.5	Tolerancias.....	186
4.6	Herramientas de medición.....	186
4.7	Ensamblaje del Motor Stirling.....	188
4.7.1	Ensamblaje del mecanismo rómbico	189
4.7.2	Pistón de fuerza y desplazador.....	189
4.7.3	Cámara del motor Stirling experimental.....	189
4.7.4	Inserción del mecanismo al cilindro	190
4.8	Evaluación para el Funcionamiento del Motor Stirling Experimental	190
4.8.1	Posiciones del Motor Stirling Experimental.....	190
4.8.1.1	En Posición Horizontal.....	190
4.8.1.2	En Posición Vertical (Cilindro Caliente Hacia Arriba).....	191
4.8.1.3	En Posición Vertical (Cilindro Caliente Hacia Abajo).	192
4.8.2	Funcionamiento del Motor Stirling Experimental.....	193
4.9	Mantenimiento del motor Stirling Experimental.....	194
CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.....		195
5.1	Resultados Experimentales del Motor Stirling Experimental.....	195
5.1.1	Apreciaciones en las revoluciones.....	195
5.1.2	Comportamiento de la Temperatura	195

5.1.3	Resultados Cinemáticos.....	197
5.1.3.1	Desplazamientos.....	198
5.1.3.2	Velocidades y aceleración para el mecanismo del desplazador (O2AB).....	199
5.1.3.3	Velocidades y aceleración para el mecanismo del Pistón de fuerza (O2AC) ..	200
5.1.4	Resultado de las Fuerzas Dinámicas.....	200
5.1.5	Resultado de la masa, presión, fuerza y torque de fluido interior de trabajo.....	200
5.1.6	Resultados de Fuerzas de Sacudimiento con/sin balanceo	204
5.1.7	Potencia del motor Stirling experimental.	206
5.1.7.1	Potencia mecánica efectiva real.	206
5.1.7.2	Potencia eléctrica.....	208
5.1.7.3	Eficiencia mecánica del motor Stirling.	210
5.2	Diseño mecánico.....	210
5.3	Análisis estadístico de resultados.	211
5.3.1	Gráficos de dispersión.....	212
5.3.2	Coeficiente de correlación de Pearson.....	216
5.3.3	Análisis de Varianza.	217
5.4	Costos en la Fabricación del Motor Stirling.....	224
CONCLUSIONES		227
RECOMENDACIONES		230
BIBLIOGRAFÍA:		231

ANEXOS.....236

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de Lana de Acero Comerciales</i> _____	69
Tabla 2 <i>Análisis de varianza</i> _____	79
Tabla 3 <i>Características Iniciales de componentes del mecanismo del Motor Stirling.</i> ____	86
Tabla 4 <i>Propiedades del Aire</i> _____	110
Tabla 5 <i>Resultados del Diseño del Motor Stirling Rómbico</i> _____	125
Tabla 6 <i>Resultado de la Fuerza de Sacudimiento para 180°</i> _____	133
Tabla 7 <i>Resultados del Análisis de Balanceo del Mecanismo</i> _____	135
Tabla 8 <i>Resultados de Fuerza Máxima en el Pasador a 184°</i> _____	157
Tabla 9 <i>Resultados de Fuerza en el Pasador a 48°</i> _____	159
Tabla 10 <i>Resultado de Temperaturas Respecto al Flujo de Gas sin Flujo en el Enfriador</i>	196
Tabla 11 <i>Resultado de Temperaturas Respecto al Flujo de Gas con Flujo en el Enfriador</i>	197
Tabla 12 <i>Resultado de Medición con el Uso de Imanes</i> _____	207
Tabla 13 <i>Resultados de Voltaje en el Motor Stirling</i> _____	209
Tabla 14 <i>Masa de la Lana de Acero</i> _____	211
Tabla 15 <i>Resultados de RPM con las Distintas Masas sin Refrigeración</i> _____	211
Tabla 16 <i>Resultados de RPM con las Distintas Masas con Refrigeración</i> _____	212
Tabla 17 <i>Coficiente de Correlación de Pearson</i> _____	217
Tabla 18 <i>Coficiente de Pearson y Coficiente de Determinación, sin Agua.</i> _____	217
Tabla 19 <i>Coficiente de Pearson y Coficiente de Determinación, con Agua.</i> _____	217
Tabla 20 <i>Resultados de Rpm con Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, sin Agua.</i> ____	218
Tabla 21 _____	219

Tabla 22 <i>Resultados de Rpm con Lana de Acero N°2 y Masas Diferentes de Lana de Acero, sin Agua</i> _____	219
Tabla 23 <i>Resultados de Rpm con Lana de Acero N°4 y Masas Diferentes de Lana de Acero, sin Agua.</i> _____	219
Tabla 24 <i>Análisis de Varianza para Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, con Agua</i>	220
Tabla 25 <i>Resultados de RPM con Lana de Acero N°1 y Masas Diferentes de Lana de Acero, con Agua</i> _____	220
Tabla 26 <i>Análisis de Varianza para Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, con Agua.</i>	220
Tabla 27 <i>Resultados de RPM con Lana de Acero N°2 y Masas Diferentes de Lana de Acero, con Agua.</i> _____	221
Tabla 28 <i>Análisis de Varianza para Lana de Acero N°2 con Masas Diferentes, con Agua.</i>	221
Tabla 29 <i>Resultados de RPM con Lana de Acero N°4 y Masas Diferentes de Lana de Acero, con Agua.</i> _____	222
Tabla 30 <i>Análisis de Varianza para Lana de Acero N°4 con Masas Diferentes, con Agua.</i>	222
Tabla 31 <i>Resultados de Test de Tukey</i> _____	223
Tabla 32 <i>Diferencia Muestral de Resultados, sin Agua.</i> _____	223
Tabla 33 <i>Diferencia Muestral de Resultados, con Agua</i> _____	224
Tabla 34 _____	224

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes del Motor Stirling _____	19
Figura 2 Zona Caliente _____	21
Figura 3 Zona fría forzada. _____	22
Figura 4 Configuración Alfa de un Motor Stirling _____	25
Figura 5 Configuración Beta _____	26
Figura 6 Mecanismo Rómbico _____	27
Figura 7 Corte Transversal de un Motor Stirling _____	27
Figura 8 Configuración Gamma _____	28
Figura 9 Ciclo Stirling Teórico _____	29
Figura 10 Enfriamiento del Aire Dentro de un Cilindro _____	29
Figura 11 Desplazamiento del Aire Dentro de un Cilindro _____	29
Figura 12 Calor Absorbido _____	30
Figura 13 Calentamiento del Aire Dentro de un Cilindro _____	30
Figura 14 Ciclo termodinámico del Motor Stirling _____	31
Figura 15 Expansión isotérmica _____	31
Figura 16 Enfriamiento Isocórico _____	32
Figura 17 Compresión Isotérmica _____	32
Figura 18 Calentamiento isocórico _____	33
Figura 19 Ciclo Teórico Stirling Presión-Volumen _____	33
Figura 20 Comparación de Ciclo Ideal y Real _____	34
Figura 21 Materiales Usados en los Regeneradores _____	35

Figura 22 <i>Materiales Usados en Regeneradores Creados por la Tecnología Selective Laser Melting</i> _____	37
Figura 23 <i>Composición de Regeneradores de paso Cuadrado y Romboide</i> _____	38
Figura 24 <i>Ciclo termodinámico con Regenerador</i> _____	39
Figura 25 <i>Diagrama General de Mecanismo Manivela – Biela</i> _____	40
Figura 26 <i>Diagrama Manivela – Biela- Corredera</i> _____	41
Figura 27 <i>Diagrama de Fuerzas (Cuerpo Libre de un Eslabón).</i> _____	43
Figura 28 <i>Diagrama De Cuerpo Libre Del Mecanismo Manivela, Biela Y Corredera.</i> _____	45
Figura 29 <i>Geometría del Mecanismo</i> _____	47
Figura 30 <i>Diagramas de Cuerpo Libre</i> _____	49
Figura 31 <i>Modelo Dinámico y DCL de Mecanismo Biela Manivela</i> _____	51
Figura 32 <i>Masas de balanceo.</i> _____	55
Figura 33 <i>Descomponiendo las Fuerzas Inerciales para Balanceo Dinámico</i> _____	57
Figura 34 <i>Modelado Dinámicamente Equivalente</i> _____	59
Figura 35 <i>Modelo Estáticamente Equivalente</i> _____	61
Figura 36 <i>Diagrama de un Volante en un Eje Motriz</i> _____	62
Figura 37 <i>DLC del Pasador</i> _____	64
Figura 38 <i>DLC de Fuerza de Inercias</i> _____	65
Figura 39 <i>DLC de Fuerzas Producidas por la Aceleración de la Masa de la Biela Localizada en el Pasador del Pistón</i> _____	66
Figura 40 <i>DLC de Fuerzas Producidas por la Aceleración de la Masa de la Biela Localizada en el Muñón de la Manivela</i> _____	67
Figura 41 <i>Componentes del Motor Stirling</i> _____	85
Figura 42 <i>Dimensiones de los componentes del mecanismo del Motor Stirling</i> _____	86

Figura 43 <i>Gráfico de Longitudes de Vástago de Pistón de Fuerza y Desplazador</i>	89
Figura 44 <i>Esquema general de un Motor Stirling Rómbico</i>	90
Figura 45 <i>Mecanismo Rómbico / Mecanismo de Referencia O2AB.</i>	91
Figura 46 <i>Diagrama Lazo Vectorial Mecanismo O2AB</i>	91
Figura 47 <i>Diagrama Lazo Vectorial Mecanismo O2AB</i>	95
Figura 48 <i>Distribución de la Temperatura del Gas en el Interior</i>	98
Figura 49 <i>Esquema de Cálculo para la Transferencia de Calor en la Zona Caliente</i>	101
Figura 50 <i>Fuerza del Gas Sobre Mecanismo O2AB</i>	118
Figura 51 <i>Representación Geométrica Alternativa para Determinar Posición, Velocidad y Aceleración</i>	119
Figura 52 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de Fuerzas del Fluido Interior Sobre el Mecanismo OAB</i>	120
Figura 53 <i>Fuerza del Gas Sobre Mecanismo OAC</i>	122
Figura 54 <i>Representación Geométrica Alternativa Para Determinar Posición, Velocidad y Aceleración</i>	122
Figura 55 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de Fuerzas del Fluido Interior Sobre el Mecanismo OAC</i>	124
Figura 56 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de Fuerzas del Mecanismo</i>	127
Figura 57 <i>Modelado Aproximado de un Eslabón</i>	131
Figura 58 <i>Modelo Estático</i>	132
Figura 59 <i>Gráfico de Análisis para Balanceo</i>	133
Figura 60 <i>Gráfico de contrapeso y dimensiones.</i>	135
Figura 61 <i>Diagrama de Fuerzas de Sacudimiento en la Bancada</i>	137
Figura 62 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de la Biela y los Pistones</i>	138

Figura 63 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de Análisis de Fuerzas en la Manivela</i> _____	138
Figura 64 <i>Diagrama Análisis de Fuerzas Inerciales en la Bancada</i> _____	139
Figura 65 <i>Diagrama de Fuerzas de Sacudimiento en la Bancada</i> _____	141
Figura 66 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de la Biela y los Pistones</i> _____	141
Figura 67 <i>Fuerzas en la Manivela</i> _____	142
Figura 68 <i>Modelo Dinámico y DCL de Mecanismo Biela Manivela Balanceado</i> _____	142
Figura 69 <i>Diagrama de fuerzas en la Bancada</i> _____	143
Figura 70 <i>Ángulos para el Torque</i> _____	144
Figura 71 <i>Gráfica del Torque de Sacudimiento vs Ángulo de Manivela</i> _____	145
Figura 72 <i>Diagrama de Torque vs Ángulo de Manivela</i> _____	146
Figura 73 <i>Diagrama Torque vs Ángulo en la Manivela</i> _____	147
Figura 74 <i>Diagrama Torque vs Ángulo en la Manivela</i> _____	148
Figura 75 <i>Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AB</i> _____	149
Figura 76 <i>Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AC</i> _____	150
Figura 77 <i>Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AB</i> _____	151
Figura 78 <i>Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AC</i> _____	152
Figura 79 <i>Diagrama de Fuerza de Inercia en el Muñón de la Manivela m_{3a}</i> _____	153
Figura 80 <i>Diagrama de Fuerza de Inercia en el Muñón de la Manivela m_{2a}</i> _____	153
Figura 81 <i>Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AB</i> _____	154
Figura 82 <i>Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AC</i> _____	155
Figura 83 <i>Pasadores en el Mecanismo</i> _____	158
Figura 84 <i>Fuerzas Actuantes en el Pasador</i> _____	160
Figura 85 <i>Materiales para la Elaboración del Motor</i> _____	166
Figura 86 <i>Máquina de Corte por Láser TY-301500</i> _____	167

Figura 87 <i>Torno Convencional MASTER- 34 1000</i>	167
Figura 88 <i>Soldadura TIG</i>	168
Figura 89 <i>Maquina Rectificadora BM-160</i>	168
Figura 90 <i>Elaboración del Cilindro de la Zona Caliente</i>	169
Figura 91 <i>Cilindro de la Zona Caliente con Acoplamiento de un Sistema de Enfriamiento.</i>	170
Figura 92 <i>Cilindro de Alumod antes del mecanizado</i>	171
Figura 93 <i>Cilindro de Aluminio de la Zona Fría</i>	171
Figura 94 <i>Empaque de Unión</i>	172
Figura 95 <i>Cilindro Externo de Agua para Enfriamiento</i>	173
Figura 96 <i>Cilindro Contenedor de Agua</i>	173
Figura 97 <i>Pistón de Acero de la Zona Caliente</i>	174
Figura 98 <i>Desplazador del Motor Stirling</i>	174
Figura 99 <i>Pistón de la zona fría</i>	175
Figura 100 <i>Vástago del Desplazador</i>	176
Figura 101 <i>Vástago Guía</i>	176
Figura 102 <i>Bielas y Cojinetes del Mecanismo</i>	177
Figura 103 <i>Buje de Bronce</i>	177
Figura 104 <i>Plancha para el Soporte del Motor</i>	178
Figura 105 <i>Eje del Motor</i>	179
Figura 106 <i>Chumaceras del Motor</i>	179
Figura 107 <i>Engranajes del Motor</i>	180
Figura 108 <i>Rodamiento Marca SKF</i>	180
Figura 109 <i>Manivela del Mecanismo Rómbico</i>	181
Figura 110 <i>Contrapesos del Mecanismo Rómbico</i>	182

Figura 111 <i>Volante de inercia inicial</i>	182
Figura 112 <i>Volante de inercia final</i>	183
Figura 113 <i>Quemador del prototipo</i>	183
Figura 114 <i>Soporte del Motor</i>	184
Figura 115 <i>Prueba de Funcionamiento del Sistema Eléctrico</i>	185
Figura 116 <i>Faja de Unión</i>	185
Figura 117 <i>Tacómetro 6236P</i>	186
Figura 118 <i>Infrarrojo PM550E</i>	187
Figura 119 <i>Multímetros Digitales DT-830L</i>	187
Figura 120 <i>Balanza Digital</i>	188
Figura 121 <i>Instrumento Vernier</i>	188
Figura 122 <i>Prueba del Prototipo</i>	191
Figura 123 <i>Prueba con GLP, con bosta de cuy y calor residual de ladrilleras</i>	192
Figura 124 <i>Posición Vertical del Prototipo</i>	192
Figura 125 <i>Diseño 3D del Prototipo</i>	193
Figura 126 <i>Resultados del Prototipo sin el generador</i>	195
Figura 127 <i>Grafica de Temperaturas en el Prototipo sin Refrigeración</i>	196
Figura 128 <i>Grafica de Temperaturas en el Prototipo con Refrigeración</i>	197
Figura 129 <i>Grafica Desplazamiento vs Ángulo de Manivela</i>	198
Figura 130 <i>Grafica de Distancia Entre Pistón de Fuerza y Desplazador</i>	199
Figura 131 <i>Grafica Velocidad y aceleración del desplazador.</i>	199
Figura 132 <i>Grafica Aceleraciones vs Ángulo de Manivela</i>	200
Figura 133 <i>Diagrama de Volúmenes y Ángulo de Manivela</i>	201
Figura 134 <i>Diagrama Presión vs Volumen</i>	202

Figura 135 <i>Diagrama Fuerza de gas vs Ángulo de Manivela</i> _____	202
Figura 136 <i>Diagrama Presión del gas vs Ángulo de Manivela</i> _____	203
Figura 137 <i>Diagrama del Torque de gas vs Ángulo de Manivela</i> _____	203
Figura 138 <i>Diagrama de Fuerza de Sacudimiento con/sin Balanceo vs Ángulo en la Manivela</i> _____	204
Figura 139 <i>Diagrama de Ángulo en la Manivela vs Torque</i> _____	205
Figura 140 <i>Diagrama de Ángulo en la Manivela vs Torque</i> _____	205
Figura 141 <i>Toma de Datos del Torque del Motor Experimental</i> _____	206
Figura 142 <i>Toma de Datos del Torque del Motor Experimental</i> _____	207
Figura 143 <i>Grafico de Dispersión para una Masa de 45 gr. con Refrigeración</i> _____	213
Figura 144 <i>Grafico de Dispersión para una Masa de 45 gr. sin Refrigeración</i> _____	214
Figura 145 <i>Grafico de Dispersión para una Masa de 55 gr. con Refrigeración</i> _____	214
Figura 146 <i>Grafico de Dispersión para una Masa de 45 gr. sin Refrigeración</i> _____	215
Figura 147 <i>Grafico de Dispersión para una Masa de 70 gr. con Refrigeración</i> _____	215
Figura 148 <i>Grafico de Dispersión para una Masa de 70 gr. sin Refrigeración</i> _____	216

GLOSARIO DE TÉRMINOS

SIMB.	DEFINICION	UNI.
Ad	Área de la sección del desplazador en zona de compresión.	mm^2
Ae	Área de la sección del desplazador en la zona de expansión.	mm^2
Aff	Área de flujo	mm^2
Ap	Área de la sección del pistón en zona de compresión.	mm^2
Asit	Área interior de la tapa.	mm^2
Awi	Área interior de las paredes del cilindro.	mm^2
b	Parámetro b (Schmidt)	-
c	Parámetro c (Schmidt)	-
Dh	Diámetro hidráulico del ducto del regenerador	mm
dw	Diámetro de lana de acero	mm
ΔP	Caída de presión en el regenerador	KPa
ε	Eficiencia del regenerador	-
$n_{th, E}$	Eficiencia térmica del motor Stirling	-
τ	Relación de temperaturas	-
f	Coefficiente de fricción	-
fd	Factor de fricción	-
F_{gas}, F_g	Fuerza del gas	N
h	Coefficiente de convección.	$W/m^2 k$
m_C	Masa del fluido caliente.	gr
m_R	Masa en el regenerador.	gr

m_F	Masa del fluido frio	gr
mg	masa del gas	gr
n	Número de resistores	-
Nu	Numero de Nusselt	-
P	Presión del sistema	MPa
V	Volumen del sistema	cm^3
Pe	Numero de Peclet	-
Pg	Presión del gas	KPa
Pm	Presión media (Schmidt)	KPa
Pmax	Presión máxima (Schmidt)	KPa
Pmin	Presión mínima (Schmidt)	KPa
Pr	Numero de Prandtl	-
Re	Numero de Reynolds	-
s	Parámetro (Schmidt)	-
Q ideal	Calor ideal	J
Q ent	Calor que ingresa al motor	J
Q sal	Calor que sale del motor	J
Q reg	Calor absorbido del regenerador	J
Qteorico	Calor teórico	J
Qabs	Calor absorbido	J
Qent	Calor que entra al motor	J
Q1	Calor que ingresa del motor por la tapa de la zona caliente	J
Q2	Calor que ingresa del motor por el cilindro de la zona caliente	J

T _{se}	T° promedio exterior de la tapa.	°K
T _{si}	T° promedio interior de la tapa	°K
T _{we}	T° promedio exterior de las paredes del cilindro.	°K
T _{wi}	T° promedio interior de las paredes del cilindro.	°K
T _e	T° interior del fluido de trabajo en la zona caliente.	°K
T _r	Temperatura efectiva del regenerador.	°K
T _R	Temperatura de regeneración.	°K
T _c	Temperatura en el cilindro caliente.	°K
T _f	Temperatura en el cilindro frio.	°K
T _{hot}	Temperatura del fluido caliente.	°K
T _{cold}	Temperatura del fluido frio.	°K
V _c	Volumen de compresión	cm ³
V _{ca}	Volumen en la zona de compresión	cm ³
V _{clc}	Volumen muerto en la zona de compresión	cm ³
V _{cle}	Volumen muerto en la zona de expansión	cm ³
V _d	Volumen del desplazador	cm ³
V _{da}	Amplitud del volumen del espacio debido al desplazador	cm ³
V _e	Volumen de expansión	cm ³
V _{ea}	Amplitud del volumen del espacio de expansión	cm ³
V _{max}	Volumen total máximo	cm ³
V _{MC}	Volumen muerto de compresión	cm ³
V _{ME}	volumen muerto de expansión	cm ³
V _{MR}	Volumen muerto del regenerador	cm ³

V_{pa}	Amplitud del volumen debido al pistón	cm^3
V_r	Volumen del regenerador	cm^3
V_{swc}	Volumen de barrido en la zona de compresión.	cm^3
V_{swe}	Volumen de barrido en la zona de expansión	cm^3
W_{neto}	Trabajo neto	J
W_c	Trabajo de compresión	J
W_e	Trabajo de expansión	J
X_{da}	Longitud efectiva del volumen recorrido del desplazador.	mm
X_{pa}	Longitud efectiva del volumen comprimido del pistón.	mm
w	Velocidad angular.	rad/seg
t	Tiempo	seg
α	Angulo alfa	rad
δ	Angulo Rho	rad
ϕ_v	Índice de porosidad	-
\vec{a}_2	Vector de manivela.	-
\vec{a}_3	Vector de biela	-
\vec{S}	Vector del desplazamiento	-
S	Desplazamiento escalar	mm
\dot{S}	Velocidad escalar	m/seg
\ddot{S}	Aceleración escalar.	m/seg^2
\vec{e}	Vector de desface.	-
θ_2	Angulo de posicionamiento de la manivela	rad
θ_3	Angulo de posicionamiento de la biela.	rad

θ_s	Angulo de posicionamiento del desplazamiento.	rad
θ_e	Angulo de posicionamiento de desface.	rad
f	Función de posición.	-
\dot{f}	Función de velocidad.	-
\ddot{f}	Función de aceleración.	-
w_2	Velocidad angular de la manivela.	rad/seg
w_3	Velocidad angular de la biela.	rad/seg
α_2	Aceleración angular de la manivela.	rad/seg ²
α_3	Aceleración angular de la biela.	rad/seg ²
$[J(x)]$	Matriz de la función de Cramer.	-
$ J(x) $	Determinante de la función de Cramer.	-
x_1, x_2	Variables de Cramer.	-
j_{11}, j_{12}, \dots	Componente de la matriz referencia de Cramer.	-
\mathbf{a}, \vec{a}	Vector aceleración.	-
\mathbf{R}, \vec{R}	Vector de posición de centro de gravedad de un eslabón.	-
R, r	Escalar de posición de un eslabón.	-
\mathbf{F}, \vec{F}	Vector fuerza.	-
F	Fuerza escalar.	N
\mathbf{T}, \vec{T}	Vector torque.	-
T	Torque escalar.	N.m
I_G	Momento inercial	kg.m ²
F_s	Fuerza de sacudimiento.	N
M_s	Momento de sacudimiento.	N.m

M_i	Momento de inercia.	N.m
T_s	Par torsión de sacudimiento.	N.m
T_i	Par torsión de inercia.	N.m
m	Masa	gr
m_A	Masa concentrada en A.	gr
m_B	Masa concentrada en B	gr
m_2	Masa de la manivela.	gr
m_{2a}	Masa de la biela concentrada en el punto A.	gr
m_3	Masa de la manivela.	gr
m_{3a}	Masa de la manivela concentrada en el punto A.	gr
m_{3b}	Masa de la manivela concentrada en el punto B.	gr
m_4	Masa del pistón.	gr
E	Energía cinética de la volante.	J
w_{max}	Velocidad angular máximo.	rad/seg
w_{min}	Velocidad angular mínimo.	rad/seg
w_{prom}	Velocidad angular promedio.	rad/seg
w_n	Velocidad angular normal.	rad/seg
w_t	Velocidad angular tangencial.	rad/seg
w_r	Velocidad angular radial.	rad/seg
I_s	Momento d inercia de la volante.	$kg. m^2$
F_{ip}	Componentes de la fuerza de inercia debida a la masa pistón.	N
F_{iw}	Componentes de la fuerza de inercia en el pasador del pistón debida a la masa de la biela.	N

F_{ic}	Componentes de la fuerza de inercia en el pasador de la manivela debida a la masa de la biela.	N
F_{ir}	Componentes de la fuerza de inercia en el pasador de la masa de la manivela.	N
F_{34}	Fuerza en el pasador del pistón.	N
F_{32}	Fuerza que ejerce en el pasador de la manivela.	N
F_{21}	Fuerza que ejerce en el muñón principal.	N
H_0	Hipótesis nula.	-
H_1	Hipótesis variable.	-
SC_{total}	Variación total respecto a la media general.	-
SC_{trat}	Variación entre las muestras.	-
SC_{error}	Variación dentro de las muestras.	-
CM_{error}	Cuadrado medio del error.	-
CM_{trat}	Cuadrado medio tratados.	-
n_i	Numero de observaciones por tratamientos.	-
k	Numero de tratamientos.	-
$N - k$	Grados de libertad para el error.	-
α	Nivel de significancia.	-
T_α	Valor de Tukey.	-
z	Relación biela manivela.	-
L	Longitud de biela.	mm
R_m	Longitud de manivela.	mm
B	Diámetro interno del cilindro.	mm

<i>S</i>	carrera recorrida del pistón fuerza.	mm
<i>Dp</i>	Diámetro del pistón de fuerza.	mm
<i>Dd</i>	Diámetro del desplazador.	mm
<i>Ld</i>	Longitud del desplazador.	mm
<i>Lp</i>	Longitud del pistón de fuerza.	mm
<i>Lvd</i>	Longitud del vástago desplazador.	mm
<i>Lvp</i>	Longitud del vástago del pistón de fuerza.	mm
O2AB	Mecanismo manivela biela del desplazador.	-
O2AC	Mecanismo manivela biela del pistón de fuerza.	-

CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA

1.1 Título Tesis

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJAS POTENCIAS CON TRANSMISIÓN ROMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR”

Responsables

- MIGUEL ÁNGEL CORTEZ CUSICUNA.
- ANTHONY ROGER CHAVEZ ALVAREZ

1.2 Problema

1.2.1 *Antecedentes del Problema.*

Los motores Stirling poseen un gran potencial de aprovechamiento energético, aplicado de diferentes maneras gracias a la transformación de energía térmica en energía mecánica, la tecnología Stirling ha evolucionado increíblemente; pese a su antigüedad sigue siendo aplicado en investigaciones científicas relacionados con la calefacción, la refrigeración y la generación eléctrica.

El motor Stirling posee componentes que requieren una gran precisión en su elaboración, lo que implica producir las piezas con máquinas de alta precisión y mano de obra especializada; el peso de los componentes, retardan el funcionamiento y reducen potencia, los materiales empleados

son generalmente metales cuyos pesos no son nada despreciables, recordemos que los motores Stirling solo funciona con el calentamiento y desplazamiento de un fluido interior que está sometido a una variación de temperatura, lo que ejerce un empuje débil en sus componentes interiores.

La fricción y las temperaturas elevadas dentro de un motor Stirling provoca desgaste y que los materiales pierdan sus características iniciales, por lo que la evaluación de los materiales en el diseño inicial es muy importante para la construcción.

1.2.2 *Planteamiento del Problema*

Los componentes de un motor Stirling experimental, están sujetas a modificaciones constantes porque poseen características de diseño especiales, estos varían acorde a la necesidad de mejorar la eficiencia, generalmente son de gran tamaño y muy pesados.

El presente trabajo está orientado a proveer soluciones experimentales con la elaboración del sistema de transmisión rómbico y sus componentes, de manera que podamos demostrar el diseño, análisis y la selección de materiales más adecuadas, reduciendo el peso del desplazador y experimentando con lana de acero, de tal forma que los resultados sean óptimos y contribuyan experimentalmente para mejorar las potencias y sirvan para futuros diseños y construcciones de otros motores Stirling.

1.2.3 *Formulación del Problema*

1.2.3.1 *Problema General.*

¿Como transformar la energía térmica en energía mecánica utilizando un sistema de transmisión rómbico y lana de acero como componentes de un motor Stirling experimental?

1.2.3.2 Problemas Específicos.

- ¿Cómo evaluar los criterios iniciales de diseño de un motor Stirling?
- ¿Cómo analizar y diseñar los componentes del motor Stirling experimental con sistema de transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador?
- ¿Cómo demostrar experimentalmente que los resultados del diseño y análisis de un motor Stirling experimental con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador funcionen adecuadamente?
- ¿Como evaluar los resultados obtenidos del funcionamiento de motor Stirling experimental de bajas potencias con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador?

1.3 Justificación e Importancia.

Es importante conocer diferentes tipos de configuraciones del motor Stirling, y especialmente de configuración beta con un sistema de transmisión rómbica para experimentar su comportamiento y comparar con otros tipos sistemas de transmisión.

Se pretende sustituir el material del desplazador aligerando su peso y utilizando lana de acero como alternativa.

Los estudios con relación a los motores Stirling en nuestra región son pocos, por lo que se quiere dar a conocer este trabajo resaltando el sistema de transmisión rómbica y el uso de la lana de acero en el desplazador para obtener potencias gracias a su funcionamiento.

1.4 Objetivos de la Investigación.

1.4.1 *Objetivo General.*

“Diseñar y construir un motor Stirling experimental con transmisión rómbica utilizando lana de acero en el desplazador.”

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Recopilar y estudiar conceptos de diseño mecánico y térmico para la construcción de un motor Stirling experimental.
- Diseñar y analizar los componentes mecánicos del motor Stirling experimental con sistema de transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador en base a parámetros de diseño.
- Determinar la potencia experimental del motor Stirling con transmisión rómbica utilizando lana de acero en el desplazador.
- Analizar los resultados obtenidos del funcionamiento del motor Stirling experimental con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador.

1.5 Hipótesis.

1.5.1 *Hipótesis General.*

El diseño y construcción de un motor Stirling experimental con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador permitirá transformar la energía térmica en mecánica y obtener bajas potencias.

1.5.2 *Hipótesis Específico.*

- Es posible recopilar y estudiar los conceptos de diseño mecánico y térmico para construir un motor Stirling experimental.
- Es posible determinar las características mecánicas y dimensiones del motor Stirling experimental con sistema de transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador.
- Con la construcción del motor Stirling experimental con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador será posible definir que los resultados de diseño son los óptimos.
- Al realizar el análisis de resultados experimentales permitirá comprender las condiciones para un funcionamiento adecuado del motor Stirling experimental de bajas potencias con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador.

1.6 Variables.

1.6.1 *Variables independientes.*

Lana de acero.

1.6.2 *Variables dependientes.*

Potencia del Motor Stirling

1.7 **Alcances y Limitaciones.**

1.7.1 *Alcances.*

Para diseñar y construir un motor Stirling experimental de bajas potencias con transmisión rómbica y lana de acero en el desplazador, se realizará en base a fuentes de investigación anteriores y criterios propios, un estudio mecánico del sistema de transmisión y componentes del motor Stirling experimental, del mismo modo se realizará un análisis térmico para finalmente determinar las características de sus componentes y construirlos.

Se reemplazará el cilindro usado como desplazador por lana de acero compactada con el objetivo de aligerar el peso del motor y lograr mayor eficiencia.

Como fuente de calor se experimentará con GLP y como fluido de trabajo el aire.

Se realizará comparaciones de eficiencia y potencia con otros motores Stirling con diferentes configuraciones y características, analizando finalmente las ventajas y los resultados obtenidos.

1.7.2 *Limitaciones.*

Como parte de la experimentación se tiene las siguientes limitaciones:

- Elaboración de los elementos y componentes para la construcción del motor.

- Características de los materiales de los componentes del motor.
- Mano de obra especializada.
- Aire como fluido interno de trabajo.
- Hermeticidad en el cilindro del motor Stirling experimental.
- Medición de torque y potencia de salida del motor.
- Análisis de pérdidas de calor externa.

1.8 Antecedentes

1.8.1 *Antecedente de la Investigación.*

Los motores Stirling, vienen tomando mayor relevancia en la actualidad, siendo usado como una fuente de energía versátil y limpia, cuenta con diferentes tipos de transmisión que permiten que exista una gran variedad de aplicaciones y de estudios relacionados.

En el Perú no se conoce algún fabricante de motores Stirling, pero, con ayuda de la web se encuentran empresas en el mundo y en especial en España y China donde se estudia alternativas de aplicación con los motores Stirling para generación eléctrica de más de 1 KW, son estudiados también en sistemas de refrigeración y en la parte naval es usado como propulsor de submarinos.

Los motores Stirling al construirse a escalas pequeñas, requiere de más precisión en sus componentes, pero favorece el peso de los mismos para iniciar el funcionamiento, es así que se puede mejorar el rendimiento, a medida que el motor crece, el rendimiento viene afectado por el peso de sus componentes y necesitan una mayor diferencia de temperatura para generar una fuerza

de empuje en el desplazador dando inicio al funcionamiento del motor Stirling experimental, esta inquietud provoco que sea de interese de estudio por mejorar el rendimiento de motor Stirling, ya sea cambiando la configuración, o el sistema de transmisión, o mejorando algunos componentes, aquí se muestra algunos estudios similares al que se va a realizar en este estudio.

1.8.2 *Investigaciones Internacionales.*

(Correa Zea, 2021) en su tesis de maestría titulada “Modelado, simulación y rediseño de un motor para aplicación Dish-stirling para cubrir la necesidad energética de 1kw”, desarrollada en la Universidad Nacional de Colombia, diseña y simula los componentes de un motor Dish-Stirling de 1 KW de potencia determinando la mejor configuración y tipo de mecanismo del motor Stirling y su regenerador, llegando a la conclusión que la mejor configuración de los motores Stirling es del tipo beta con transmisión rómbica, y el mejor tipo de material para el regenerador es el de alambre de titanio, el mejor diámetro de malla es 0.2mm, resalta también que a mayor turbulencia que se produzca en el regenerador mayor será la variación de temperatura aumentando la eficacia del regenerador.

Vives Albesa (2016) en su tesis titulada “Diseño de un motor Stirling” desarrollada en la Universidad Politécnica de Cataluña, tuvo como objetivo el desarrollo de un banco de pruebas digital de un motor Stirling con captación solar de 8.4KW, utilizando un software de simulación DYMOLA, se desarrolló un modelamiento 3D del motor con material termoplástico para entender su funcionamiento llegando a la conclusión principal que la disminución de los volúmenes muertos aumenta la potencia del motor y la velocidad.

1.8.3 *Investigaciones Nacionales.*

Zegarra (2004), en su tesis titulada “Estudio, diseño y construcción de un motor Stirling experimental tipo beta “, desarrollado en la Universidad Nacional de Ingeniería, el trabajo se realizó un estudio teórico y experimental del diseño, construcción y funcionamiento un motor Stirling tipo β con cigüeñal con GLP de como fuente de calor, obteniendo como resultado una potencia mecánica al eje alrededor de 4W, existe una pérdida de potencia mecánica dentro del motor de 167W, y una pérdida de energía térmica de 147W en el interior y el exterior causada por la radiación y convección.

Bardales (2018) en su tesis titulada “Diseño para la construcción de un motor Stirling para la generación de energía eléctrica” desarrollado en la Universidad Nacional de Trujillo, en su trabajo tiene como objetivo transferir, apropiar y recrear un paquete tecnológico en base al motor Stirling con rango de potencia entre 100W a 300W, y realizar un análisis energético para el diseño y construcción del motor Stirling, llegando a la conclusión que el motor puede funcionar con diferentes mecanismos, pero siempre existirá pérdidas en su funcionamiento; la eficiencia térmica disminuye debido a que los materiales usados como regenerador no son los ideales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Motores Stirling.

2.1.1 *Principio de Funcionamiento de un Motor Stirling*

Sir George Cayley para 1807, el inglés pionero de la aviación fue quien indico el funcionamiento de un motor de aire caliente donde menciona que al calentar el aire este aumenta de volumen y al enfriarlo disminuye (Prieto, 2012).

Para 1816 Robert Stirling y su hermano James Stirling, bajo la idea de Cayley desarrollan la propuesta del motor Stirling patentado en 1827(Prieto, 2012).

Su funcionamiento se basa en un ciclo regenerativo producido por la presencia de calor, el fluido de trabajo circula dentro del cilindro, permitiendo que se desplace de un lugar a otro y así producir el movimiento interno de los pistones, quiere decir, que permite convertir el calor en trabajo mediante el desplazamiento de los pistones. Consiste de 4 procesos de los cuales 2 procesos son a temperatura constante llamado isotérmicos y 2 procesos a volumen constante llamados isocóricos.

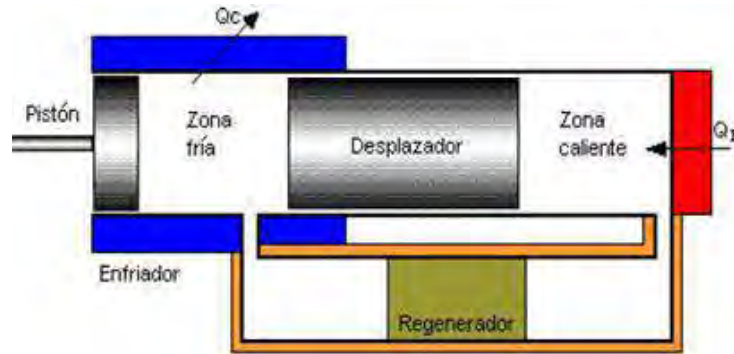
Varela (2014) indica que se incorpora un economizador de calor que en la actualidad lleva el nombre de regenerador con la finalidad de mejorar el rendimiento térmico.

2.1.2 *Componentes del Prototipo Stirling.*

El fluido interno (aire) es el que se encarga de dar vida a este tipo de motor, siendo este calentado y enfriado, circulando por diferentes espacios dentro del motor, en la Figura 1 se aprecia algunos componentes en el cilindro del motor Stirling.

Figura 1

Componentes del Motor Stirling



Nota: Adaptada del esquema de general de un motor Stirling [Ilustración] por Jorge Mirez, 2012, Tomado de Wordpress (<https://goo.su/9KG0HJ>).

2.1.2.1 Fuente Externa de Calor.

Es la fuente que causa que el fluido eleve su temperatura sin que los componentes del motor sufran alteraciones, algunos prototipos pequeños no necesitan una fuente de calor muy elevada, se puede ver que existen versiones que pueden funcionar solo con el calor que desprende una persona que sostiene la parte caliente del motor, por lo tanto las fuentes de calor pueden ser diversas; esto permite que este tipo de motores sea utilizado con fuentes térmicas naturales como son: Energía solar, geotérmica; das natural entre otras, que simplemente permitan que el fluido de trabajo sea calentado.

2.1.2.2 Zona Caliente.

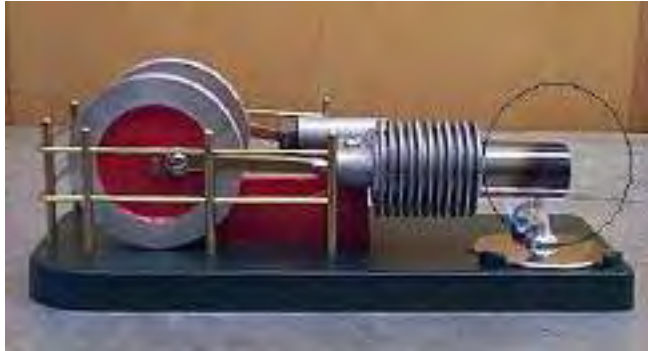
Es una de las partes importantes del motor, siendo la parte donde se transfiere directamente el calor al cilindro del motor por la parte externa y pasa a través de las paredes del cilindro, el cual calienta al aire para que pueda expandirse en el interior del motor, que ocasiona que la presión generada, por esta expansión puede generar un empuje en el pistón que se desplazara por el eje interior del motor y a su vez empujara en dirección contraria al pistón de la zona fría, este movimiento es el que genera el funcionamiento del motor.

El exterior del cilindro caliente está expuesta a baja presión, alta temperatura y un flujo estable y continuo donde se transfiere calor por conducción, el interior del cilindro caliente está sometido a alta presión y alta temperatura y se transfiere el calor más por convección que por conducción, el material del tubo deberá ser resistente a altas temperaturas, por esta razón se puede usar acero inoxidable austenítico, acero al cromo molibdeno, entre otras como alternativa para su diseño y construcción.

La forma de la zona caliente dependerá mucho del tamaño del motor, del fluido de trabajo y de los resultados que se quiera obtener, los motores pequeños y experimentales no requieren presurización, sin embargo, para presurizar un motor se debe aumentar la superficie de transferencia de calor para poder disipar el calor debido a que el fluido se calentara a mayores temperaturas.

Figura 2

Zona Caliente



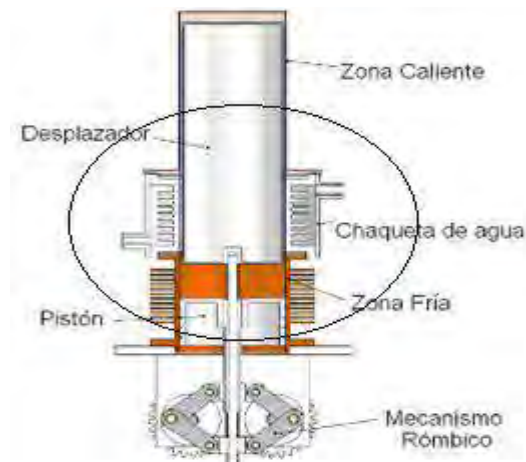
Nota: Adaptada del motor Stirling zona caliente [Fotografía] por Maria Jesus Hernandez Lucas, 2011. Tomada de UV (<https://goo.su/RZ57z8H>)

2.1.2.3 Zona Fría.

El fin de esta zona es extraer el calor del prototipo, puede ser natural para lo cual se puede dotar de aletas de aluminio, y también puede ser forzada usando un sistema de refrigeración como puede ser colocar una chaqueta por la cual se hará pasar agua alrededor del cilindro.

Figura 3

Zona fría forzada.



Nota: Adaptada del esquema de un motor Stirling tipo Beta, [Ilustración] por G, Camacho, 2007, Tomada de Cloudfront (<https://goo.su/Xb1Vo0l>).

Como resultado se mantendrá la zona fría a temperaturas bajas lo cual aumentará la eficiencia térmica del motor, esto ocasiona que la diferencia de temperatura dentro del motor según el ciclo de trabajo del motor Stirling al ser lo más grande posible ocasiona que el fluido de trabajo tenga un comportamiento adecuado para el funcionamiento del motor.

2.1.2.4 Pistón de fuerza

Es un componente del motor que manifiesta la fuerza del motor, se recomienda que el pistón tenga anillos para presurizar la cámara del fluido de trabajo.

El peso del pistón debe ser lo más ligero posible, por lo cual se suele usar un material liviano como el aluminio, el pistón se encuentra unido a un eje al desplazador y es accionado por el fluido de trabajo.

2.1.2.5 Desplazador.

Elemento que se encargara del inicio del movimiento del motor al ser calentado llevara el fluido de trabajo de una zona a otra, debe soportar altas temperaturas y ser liviano, las recomendaciones es usar un cilindro hueco de un espesor que pueda dar al cilindro una resistencia al desgaste y deformaciones causadas por el movimiento y las altas temperaturas.

Los desplazadores debido al trabajo que realizan se construyen de acero inoxidable por las propiedades que tiene este material que resiste altas temperaturas y cuenta con una buena conductividad térmica.

Debido al peso de este suele causar que la eficiencia del motor disminuya, debido a que su peso es un factor que va en contra al impulso que se genera por el calentamiento del fluido de trabajo, por lo cual se vio la posibilidad de reemplazarlo por otro material que nos brinde la seguridad de soportar altas temperaturas y buena conductividad, el desplazador debe ser de una a tres veces su diámetro; la holgura que debe tener el desplazador con el cilindro hueco es de 2% del diámetro del cilindro.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ve por conveniente reemplazar el material del desplazador de un cilindro de acero por la lana de acero compactada el cual reduciría hasta en más de un 50% el peso del desplazador.

2.1.2.6 Sistema de transmisión del motor Stirling

Refiere al mecanismo usado para la conversión de movimiento, son los que transforman el movimiento de entrada en otro movimiento de salida, es muy usual en los diferentes tipos de motores con los que se genera energía.

En un motor Stirling de configuraciones Alfa se usa la biela manivela y un cigüeñal, para la configuración Beta se puede usar un mecanismo rómbico o un cigüeñal.

El mecanismo rómbico está compuesto por cuatro bielas manivelas conectados por ejes a dos engranes y una volante, el desplazamiento lineal de desplazadores es recepcionado por el mecanismo rómbico el cual permite que los ejes principales empiezan a rotar

2.1.2.7 Volante

Uno de los componentes más antiguos en los motores, que antiguamente se usaba en los tornos de los trabajadores de alfarería, que ayudaba a mantener un movimiento constante y suave en los tonos; se utilizaba en las maquinas a vapor, en tranvías, en juguetes de fricción entre otras aplicaciones, hoy en día es un elemento importante siendo usada en los generadores eólicos, en automóviles, siendo esta última en donde más se desarrolla y con los avances tecnológicos se convirtieron en compactos y más eficientes.

Es una de las piezas más importantes en la conservación de energía de un motor Stirling, que cumple con la función del mantener la energía cinética para brindar al motor una constancia de su movimiento que está ligada a la potencia y al peso del motor.

2.1.3 Tipos de Configuraciones de los Motores Stirling

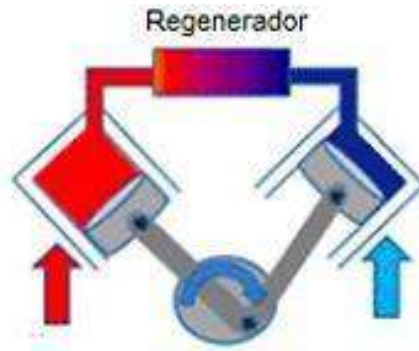
2.1.3.1 Configuración Alfa

Dicha configuración no se cuenta con un desplazador, está conformada de dos cilindros independientes los cuales se encuentran unidos por un ducto donde se realiza la regeneración del

fluido; cuenta con 2 pistones los cuales se encuentran desfasados 90°, uno de ellos se encuentra en la zona caliente donde se le suministra calor y el otro en la zona fría refrigerada por aletas o mediante algún liquido refrigerante.

Figura 4

Configuración Alfa de un Motor Stirling



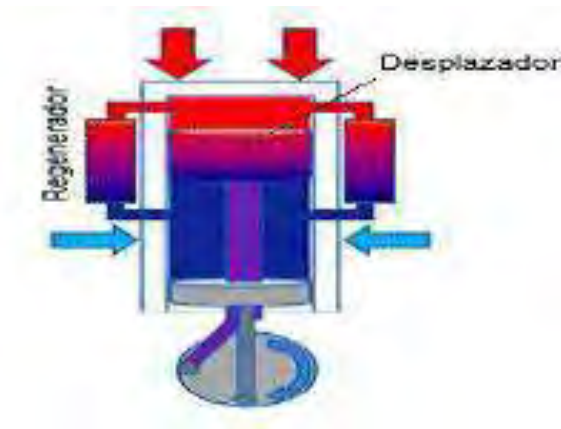
Nota: *Motor Stirling de configuración Alfa [Ilustración] por Pablo Utrilla Noriega, 2014, Tomada de Unimilitar(<https://goo.su/2ujcPV>)*

2.1.3.2 Configuración Beta

Como se observa la configuración solo tiene un cilindro donde se encuentra el desplazador y pistón, generalmente usa un eje de levas en el sistema de transmisión, se obtiene una mayor potencia específica a comparación de otras configuraciones. El desplazador tiene una holgura que permite el fluido gaseoso pueda se desplazarse de la parte caliente a la parte fría, esta configuración requiere de una precisión en su ensamblaje y la fabricación de sus piezas es más complicada a comparación de las otras configuraciones, también puede ser poroso.

Figura 5

Configuración Beta



Nota: Motor Stirling de configuración Beta [Ilustración] por Pablo Utrilla Noriega, 2014, Tomada de Unimilitar(<https://goo.su/2ujcPV>)

2.1.3.2.1 Configuración beta con Transmisión rómbica

En esta configuración se cambia el sistema de transmisión por el juego de engranajes al cual se le conoce como configuración tipo beta rómbico y se caracteriza por reducir los volúmenes muertos y generar mayores compresiones obteniendo una potencia mayor a la salida.

Figura 6

Mecanismo Rómbico



Nota: *Motor Stirling Beta Rómbico [Fotografía] por Bob Warfield, 2012, Tomada de CookBook (<https://goo.su/gWhn>)*

El tamaño de los motores se reduce, pero la utilización de un mecanismo más complejo aumenta la fricción y también la precisión en la construcción de sus piezas.

Figura 7

Corte Transversal de un Motor Stirling



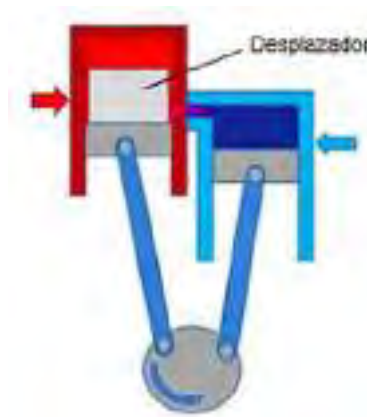
Nota: *Motor Stirling Beta Rómbico [Fotografía] por Togo, 2005, Tomada de CookBook (<https://goo.su/dMd5p1n>)*

2.1.3.3 Configuración Gamma

Esta configuración, tiene una construcción más sencilla, es una variante de la configuración beta, la diferencia es que esta configuración consta de dos pistones separados, uno que desempeña la función de desplazador y otro que desempeña la función de pistón de potencia, cada uno en dispuesto en cada zona de trabajo. Se desarrolla una menor potencia específica a consecuencia del volumen muerto.

Figura 8

Configuración Gamma



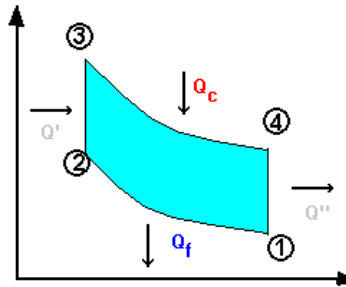
Nota: *Motor Stirling de configuración Gamma [Ilustración] por Pablo Utrilla Noriega, 2014, Tomada de Unimilitar (<https://goo.su/2ujcPV>)*

2.1.4 Consideraciones para el Análisis Termodinámico del Motor Stirling

El ciclo del motor es cerrado con una fuente de calor fija, la cual se usa para calentar el fluido de trabajo en el interior del cilindro del motor, el movimiento de los pistones genera variaciones volumétricas y aparecen volúmenes de compresión y expansión.

Figura 9

Ciclo Stirling Teórico

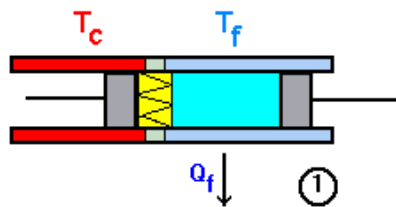


La imagen muestra el ciclo donde:

Para el punto 1 se tiene un volumen mínimo en la zona caliente y máximo en zona fría.

Figura 10

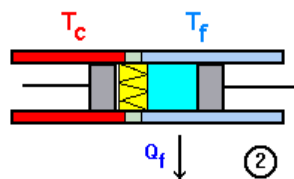
Enfriamiento del Aire Dentro de un Cilindro



A temperatura constante T_f se extrae calor Q_f del cilindro frío, parte 1 y 2, finalmente en 2 se tendrá un V_{min} , T_f y p_2 . Hasta aquí no hay movimiento en el desplazador. Se debe tener en consideración que el sistema absorbe trabajo.

Figura 11

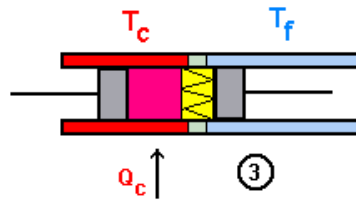
Desplazamiento del Aire Dentro de un Cilindro



Para 2 y 3 se inicia movimiento en paralelo de los pistones, el cilindro interior circula y absorbe calor Q' en el cual la temperatura se eleva de T_f a T_c . Por lo tanto, al final (en 3) se estará a T_c , V_{min} y p_3 , hasta esta parte no se produce trabajo

Figura 12

Calor Absorbido

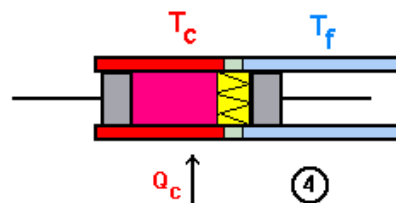


Entre 3 y 4 se absorbe calor Q_c porque se trata de un proceso isotérmico, para esta sección ya se tiene trabajo a T_c , se tiene un volumen máximo V_{max} y una presión p_4 .

De 4 a 1 se produce un movimiento paralelo de los pistones y el fluido de trabajo cede temperatura de T_c hasta T_f y la presión disminuye de p_4 a p_1 . El fluido de trabajo se encuentra a V_{max} , p_1 y T_f .

Figura 13

Calentamiento del Aire Dentro de un Cilindro

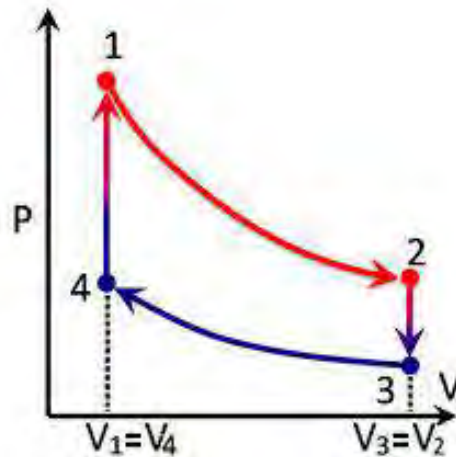


2.1.5 *Proceso Termodinámico.*

Consiste de 4 procesos de los cuales 2 procesos son a temperatura constante llamado isotérmicos y 2 procesos a volumen constante llamados isocóricos como se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Ciclo termodinámico del Motor Stirling

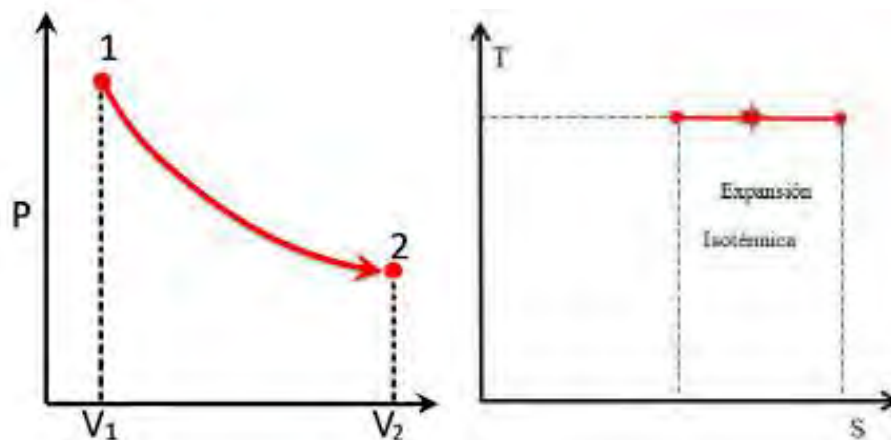


2.1.5.1 Expansión Isotérmica (1-2).

Se tiene una expansión isotérmica producida por el calor entregado y a temperatura constante.

Figura 15

Expansión isotérmica

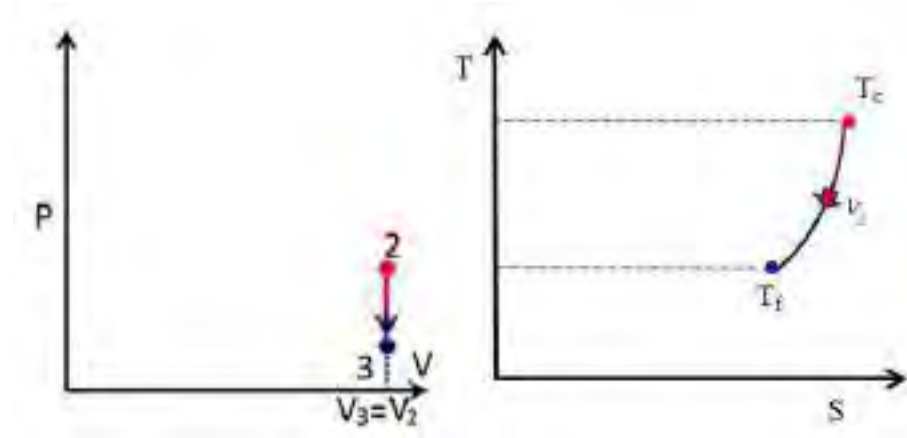


2.1.5.2 Enfriamiento Isocórico (2-3).

Se elimina del fluido de trabajo el calor Isocórico a volumen constante.

Figura 16

Enfriamiento Isocórico

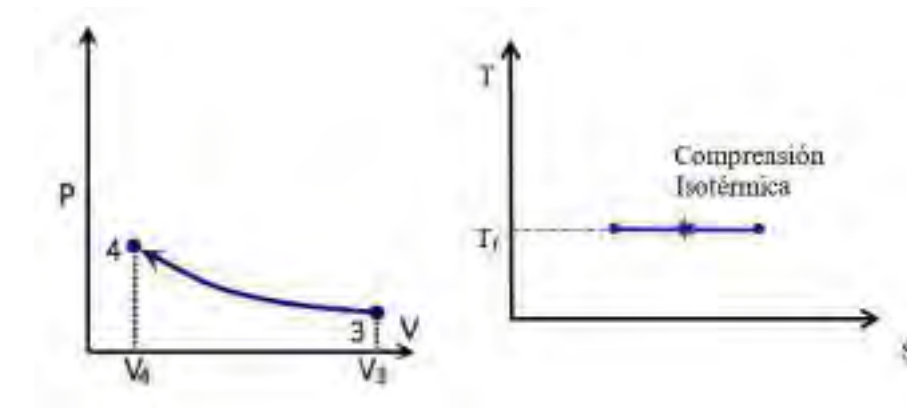


2.1.5.3 Compresión Isotérmica (3-4).

Existe una compresión isotérmica, aumentando la presión del fluido interior de trabajo.

Figura 17

Compresión Isotérmica

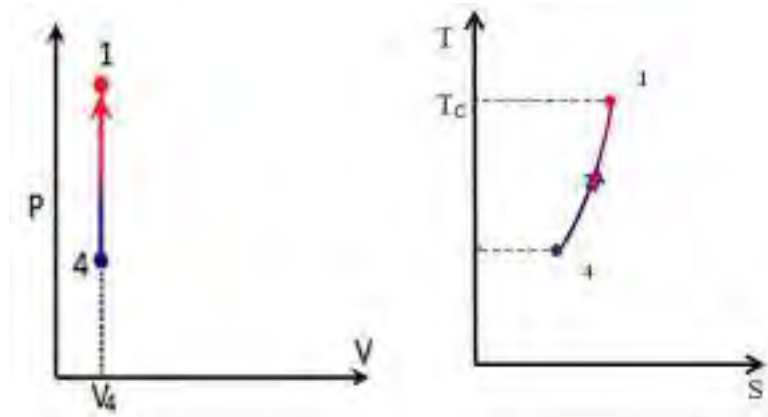


2.1.5.4 Calentamiento Isocórico (4-1).

Proceso donde el volumen es constante, el calentamiento Isocórico donde la temperatura del fluido de trabajo es menor.

Figura 18

Calentamiento isocórico

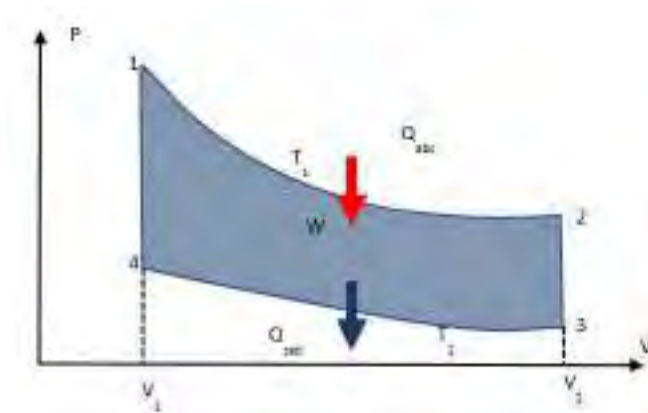


2.1.5.5 Trabajo termodinámico del motor Stirling.

El trabajo termodinámico neto es el área que está dentro de las líneas isocóricas e isotérmicas.

Figura 19

Ciclo Teórico Stirling Presión-Volumen



2.1.5.6 Eficiencia Térmica del Motor Stirling.

Definida por la diferencia de la unidad con la relación de temperaturas:

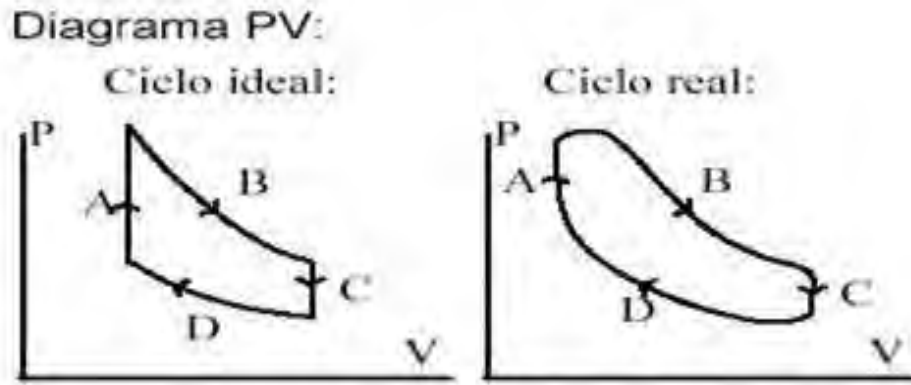
$$n_{th} = 1 - \frac{T_f}{T_c} < 1$$

2.1.6 Ciclo Real del Motor Stirling.

Los procesos no son ideales por lo que debemos de tener en cuenta el ciclo real.

Figura 20

Comparación de Ciclo Ideal y Real



Nota: *Ciclo ideal y real de un Motor Stirling [Ilustración] por Proyecto Stirling, 2007, Proyecto Motor Stirling (<https://proyecto-motorstirling.webnode.cl/fisica-delmotor/ciclo-real/>)*

2.1.6.1 Principales Causas que Generan el Ciclo no Ideal.

USACH (2015) menciona que las causas de un ciclo no ideal son:

- Transferencia de Calor Incompleta en el Enfriamiento.
- Transferencia de Calor Incompleta en el Calentamiento.
- Eficiencia de la regeneración.
- Fugas del fluido.
- Fricciones.
- Movimiento del pistón.

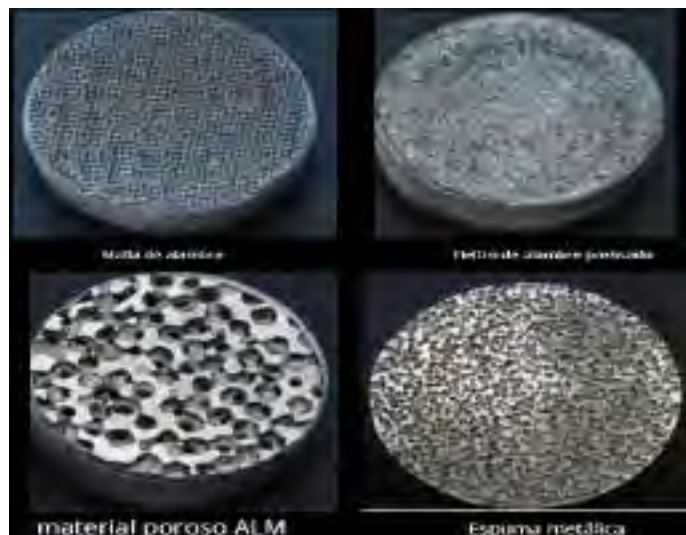
2.1.6.2 Regenerador

Se designa como regenerador al elemento que hace la función de intercambiador de calor interno para transferir o absorber calor del fluido de trabajo, los materiales del que está hecho están sujetas a flujos calientes oscilantes y gradientes de temperatura elevados. Para un alto rendimiento, el regenerador debe contener un volumen muerto mínimo.

Los materiales de la matriz de los regeneradores actuales están hechas de diferentes componentes, entre los que podemos mencionar alambre de acero inoxidable; esponjas de acero; telas metálicas de malla entre otras, en esta variedad de materiales también podemos mencionar las diferentes configuraciones; que puede comprender fibras gruesas orientadas de forma radial o circunferencial.

Figura 21

Materiales Usados en los Regeneradores



Nota: *Materiales usados en experimentos en regeneradores [Fotografía] por J. Organ, 1994, Tomada de Sciencedirect (<https://goo.su/EUHnEvz>)*

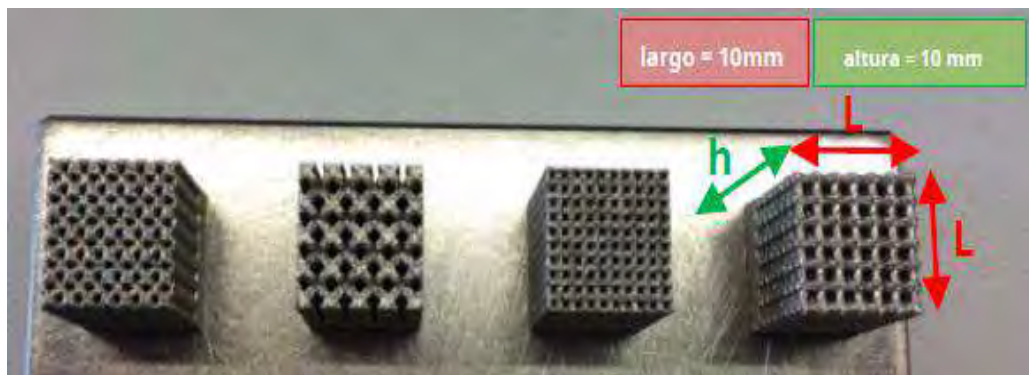
En la actualidad la matriz de los regeneradores contiene bolas empaquetadas, filtros o pantallas apiladas, la matriz en un regenerador de matriz compuesta que contienen fibras a lo largo de los canales de flujo axial ofrecen la ventaja potencial de una mayor eficacia de transferencia de calor para una fricción de flujo dada. El área de superficie alta de las fibras mejora la transferencia de calor gas/sólido, lo que hace posible obtener un rendimiento adecuado con menos canales de flujo más anchos de lo que de otro modo se necesitaría; esto crea una oportunidad para reducir costos porque se pueden fabricar menos canales más grandes con mayor facilidad. Otras ventajas de la matriz en un regenerador de matriz compuesta es que contienen fibras que cruzan canales de flujo axial, en relación con los regeneradores actuales, incluyen caídas de presión más pequeñas y volúmenes muertos más pequeños

Las conductividades térmicas longitudinales de las fibras de carbono grafitadas oscilan entre 300 y 1000 W/ (m K), entre 20 y 67 veces la conductividad térmica del acero inoxidable siendo los más adecuados para la matriz del regenerador. Las conductividades térmicas transversales de estas fibras son sólo alrededor de 1/100 de sus conductividades longitudinales. Si estas fibras se combinaran con materiales de matriz de baja conductividad térmica, los materiales compuestos resultantes exhibirían una alta anisotropía de conducción térmica. En principio, dichas fibras y materiales de matriz podrían utilizarse ventajosamente en un regenerador de las siguientes formas:

- Las fibras podrían usarse para conducir el calor entre el gas que fluye y las paredes del canal de flujo.
- Las paredes podrían estar hechas de un material compuesto que contenga fibras orientadas radialmente para utilizar la anisotropía de conducción térmica para maximizar la conducción radial entre la pared y las fibras en el canal mientras se minimiza la conducción axial no deseada. Preferiblemente, el material de la matriz en la pared sería uno de alto calor específico, así como de baja conductividad térmica.

Figura 22

Materiales Usados en Regeneradores Creados por la Tecnología Selective Laser Melting



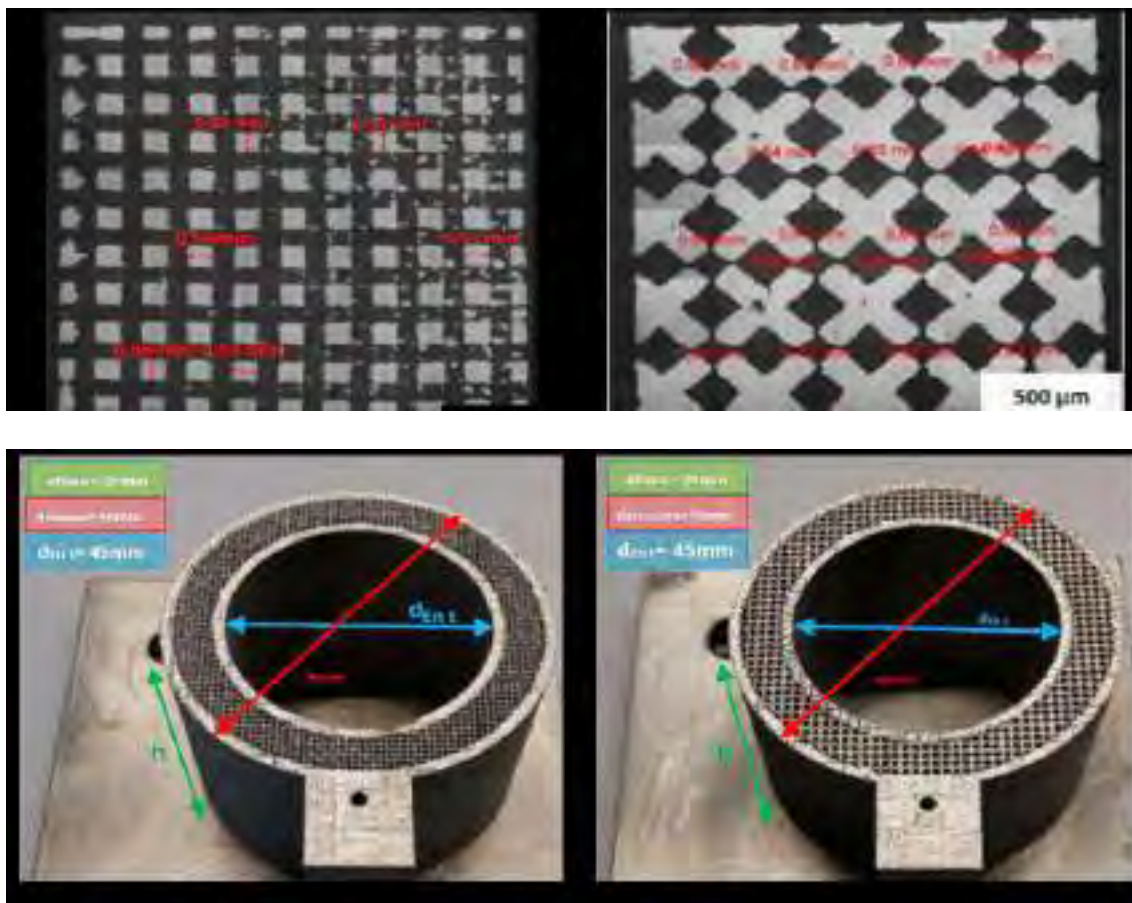
Nota: *Regeneradores creados Tecnología Selective Laser Melting [Fotografía] por J. Organ, 1994, Tomada de Sciencedirect (<https://goo.su/EUHnEvz>)*

Miren (2018) desarrollan regeneradores mediante la tecnología Selective Laser Melting, que es una tecnología de impresión 3D que funde y fusiona varios polvos metálicos mediante un rayo láser de alta potencia, fue desarrollada en 1995 por científicos alemanes. El rayo láser. A medida que el rayo láser golpea una capa delgada del material, une o suelda selectivamente las partículas.

Mediante esta tecnología se han fabricado algunos ejemplares con topologías de celdas estudiadas que fueron elaboradas en acero inoxidable AISI 316, entre las cuales se fabricaron dos topologías de celda diferentes: celda de puntal de celosía cúbica, tamaño de celda de $1500 \mu\text{m}$ y sección de $400 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$, y celda de puntal de celosía angular, tamaño de celda de $2250 \mu\text{m}$ y Sección de $600 \mu\text{m} \times 600 \mu\text{m}$. De la medición realizada a los struts es evidente que se logra un mayor espesor para las celdas más delgadas, alrededor de $500 \mu\text{m}$ en lugar del valor diseñado de $400 \mu\text{m}$.

Figura 23

Composición de Regeneradores de paso Cuadrado y Romboide

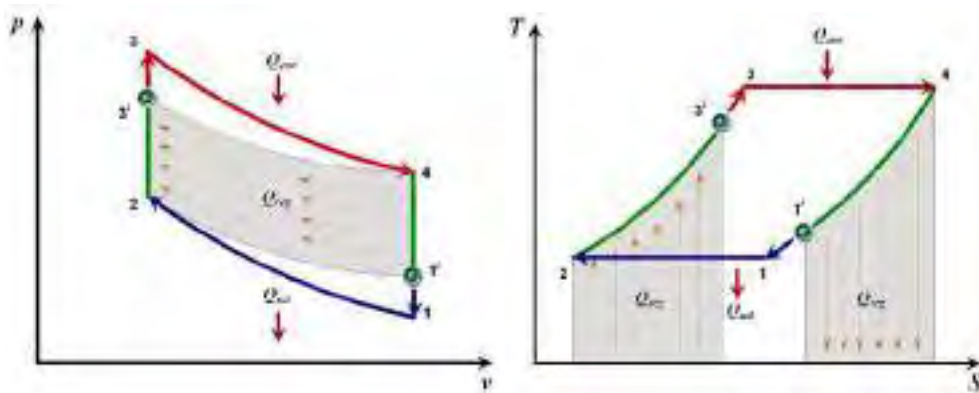


Nota: Regeneradores creados Tecnología Selective Laser Melting [Fotografía] por J. Organ, 1994, Tomada de Sciencedirect (<https://goo.su/EUHnEvz>)

El estudio de los regeneradores son materia de otros estudios lo cual incentivo para la realización de las modificaciones que se realizaron en el presente trabajo.

Figura 24

Ciclo termodinámico con Regenerador



Al realizar el análisis del ciclo termodinámico del motor Stirling con el regenerador se consideró como un regenerador ideal, en el proceso 4 – 1 el calor total rechazado es absorbido por el regenerador y este a la vez es liberado al fluido de trabajo en el proceso 2 – 3.

Al tener en cuenta un regenerador imperfecto, donde la temperatura del fluido con el que trabaja el regenerador a la entrada y salida serán nominados como $T_{1'}$ y $T_{3'}$, respectivamente. En la Figura 21 se observa que para incrementar $T_{3'}$ hasta T_3 se requiere una entrada de calor y para disminuir $T_{1'}$ hasta T_1 se necesita de un escape de calor.

Como se mencionó para un regenerador lo más conveniente es que la eficiencia de este sea lo más cercano a 100% es decir entre unos 90 a 99%, lo cual puede lograrse al tener una tecnología de última generación en la fabricación de este componente sin embargo en el Perú se carece de esta tecnología.

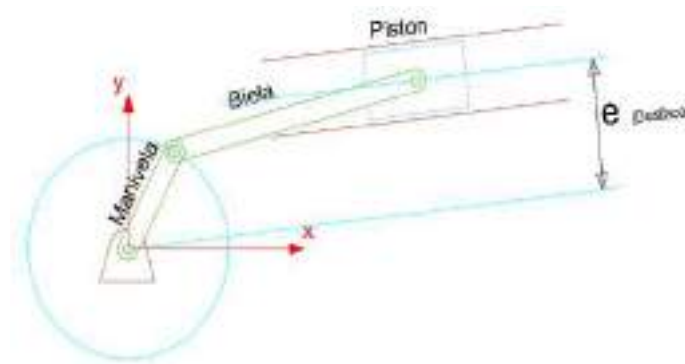
Por lo mencionado se desarrollará un análisis desde un punto en el cual se considerará al regenerador como imperfecto y que se tendrá un volumen muerto, algunas investigaciones consideran al regenerador como perfecto y con un volumen muerto de cero, la cual sería aceptada en una investigación teórica pero no para la construcción de un motor experimental. El regenerador puede absorber y ceder calor, pero no realiza trabajo mecánico.

2.1.7 Cinemática del Mecanismo Manivela Biela.

Se realiza un análisis cinemático general del mecanismo manivela biela que se encuentran desfasados. Este mecanismo lo consideramos como un mecanismo de cuatro barras. La velocidad y la aceleración se determinan a partir de la posición del pistón.

Figura 25

Diagrama General de Mecanismo Manivela – Biela



Para definir un mecanismo se debe establecer parámetros de diseño que no cambien con el tiempo, y definen las dimensiones de un mecanismo, dichos parámetros en este caso son las longitudes de los eslabones de la biela, manivela y el desfase de la corredera (a_2 , a_3 y e).

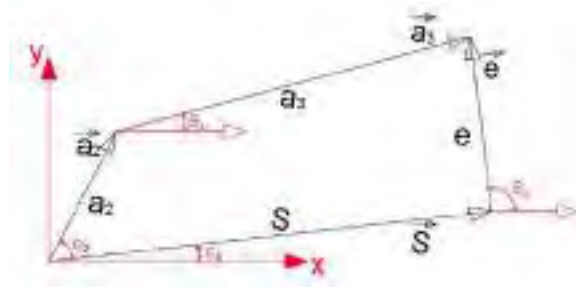
También se tiene que determinar las variables, que vienen a ser las cantidades que cambian con el tiempo y definen la posición particular del mecanismo en un momento dado, las variables están asociadas a algunas características del lazo, pueden ser variables de tipo angular (θ_2 , θ_3) o variables de tipo lineal (S).

Este mecanismo se determina mediante el análisis por el método de lazo vectorial, que permite hacer una representación vectorial del mecanismo y que consiste en tener un alzo cerrado, en la figura 26 se denota los vectores \vec{a}_2 , \vec{a}_3 , \vec{S} y \vec{e} como vectores de la manivela, biela, desplazamiento

y excentricidad o desfase respectivamente. El lazo vectorial debe representar una ecuación de suma de vectores que debe tener un punto inicial y un punto final donde sumando los vectores sean igual a cero.

Figura 26

Diagrama Manivela – Biela- Corredera



Ecuación de Lazo vectorial:

$$\vec{a}_2 + \vec{a}_3 - \vec{S} - \vec{e} = 0$$

Representando la ecuación en forma vectorial:

$$a_2 \begin{Bmatrix} \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 \end{Bmatrix} + a_3 \begin{Bmatrix} \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 \end{Bmatrix} - S \begin{Bmatrix} \cos \theta_5 \\ \sin \theta_5 \end{Bmatrix} - e \begin{Bmatrix} \cos \theta_e \\ \sin \theta_e \end{Bmatrix} = 0$$

Separando componentes X y Y obtenemos un sistema de ecuación no lineal para el posicionamiento del pistón.

$$f_1(\theta_3, S): a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_3 - S \cos \theta_5 - e \cos \theta_e = 0$$

$$f_2(\theta_3, S): a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3 - S \sin \theta_5 - e \sin \theta_e = 0$$

Donde la variable de entrada es θ_2 , partiendo de allí es que podemos obtener las variables θ_3 y S .

Derivando las funciones f_1 y f_2 en función del tiempo “t”, obtenemos las ecuaciones generales de velocidad del pistón.

$$f_1 = -a_2 \omega_2 \sin \theta_2 - a_3 \omega_3 \sin \theta_3 - \dot{S} \cos \theta_5 = 0$$

$$\dot{f}_2 = a_2 w_2 \cos \theta_2 + a_3 w_3 \cos \theta_3 - \dot{S} \sin \theta_5 = 0$$

Nuestra variable de entrada es w_2 , de allí obtenemos w_3 y \dot{S} .

Para obtener la aceleración de desarrolla una segunda derivada de las funciones.

$$\ddot{f}_1 = -a_2 \alpha_2 \sin \theta_2 - a_2 w_2^2 \cos \theta_2 - a_3 \alpha_3 \sin \theta_3 - a_3 w_3^2 \cos \theta_3 - \ddot{S} \cos \theta_5 = 0$$

$$\ddot{f}_2 = a_2 \alpha_2 \cos \theta_2 - a_2 w_2^2 \sin \theta_2 + a_3 \alpha_3 \cos \theta_3 - a_3 w_3^2 \sin \theta_3 - \ddot{S} \sin \theta_5 = 0$$

Donde la variable de entrada es α_2 , de allí obtenemos α_3 y \ddot{S} .

Se puede determinar los valores de w_3 , \dot{S} , α_3 y \ddot{S} por la regla de Cramer.

$$[J(x)][x] = [b] \text{ donde } \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

Donde $[J(x)]$ es matriz de la función de f_1 y f_2 , y para determinar las variables utilizamos las siguientes ecuaciones.

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} b_1 & j_{12} \\ b_2 & j_{22} \end{vmatrix}}{|J(x)|}$$

$$x_2 = \frac{\begin{vmatrix} j_{11} & b_1 \\ j_{21} & b_2 \end{vmatrix}}{|J(x)|}$$

Donde $\begin{vmatrix} b_1 & j_{12} \\ b_2 & j_{22} \end{vmatrix}$ y $|J(x)|$ son las determinantes respectivas.

2.1.8 *Dinámica del Mecanismo Manivela Biela y Pistón.*

El análisis dinámico consiste en obtener las distintas fuerzas y momentos en los eslabones que compone un mecanismo, esto se da después del análisis cinemático y antes del dimensionamiento del mecanismo donde se calcula las secciones de los componentes del mecanismo de acuerdo a la fuerza a las que están sometidas.

Para calcular las fuerzas se hace uso de la segunda ley de newton $\overline{\sum \vec{F}} = m\vec{a}$, en condiciones de mecanismos estacionarias $\overline{\sum \vec{F}} = 0$, y en condiciones de mecanismos en movimiento se hace un análisis dinámico, se establece un balance dinámico donde obtenemos fuerzas de inercia y par de inercia:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$\sum M_G = I\alpha$$

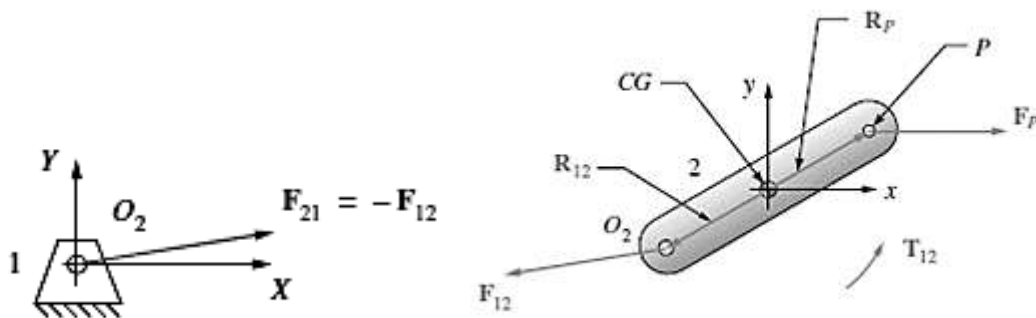
Donde a_x y a_y es la aceleración lineal con dirección en su centro de gravedad, I es el momento de inercia y α es la aceleración angular.

2.1.9 Análisis de Fuerzas Dinámicas en un solo Eslabón

En un eslabón donde uno de sus extremos es fijo y en el otro se aplica una fuerza F_p , se descomponen en un sistema de coordenadas respecto a su CG.

Figura 27

Diagrama de Fuerzas (Cuerpo Libre de un Eslabón).



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 500) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

Donde:

$$\sum F = F_p + F_{12} = m_2 a_G$$

$$\sum T = T_{12} + (R_{12} * F_{12}) + (R_p + F_p) = I_G \alpha$$

Descomponiendo en sus ecuaciones.

$$F_{p_x} + F_{12_x} = m_2 a_{G_x}$$

$$F_{p_y} + F_{12_y} = m_2 a_{G_y}$$

$$T_{12} + (R_{12_x} * F_{12_y} - R_{12_y} * F_{12_x}) + (R_{p_x} * F_{p_y} - R_{p_y} * F_{p_x}) = I_G \alpha$$

Expresando en forma matricial:

$$[A] * [B] = [C]$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -R_{12_y} & R_{12_x} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{12_x} \\ F_{12_y} \\ T_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{G_x} - F_{p_x} \\ m_2 a_{G_y} - F_{p_y} \\ I_G \alpha - (R_{p_x} * F_{p_y} - R_{p_y} * F_{p_x}) \end{bmatrix}$$

De aquí podemos determinar resolviendo adecuadamente los valores de F_{12_x} , F_{12_y} y T_{12} .

Las fuerzas dinámicas son también conocidas para este tipo de problemas como fuerzas inerciales.

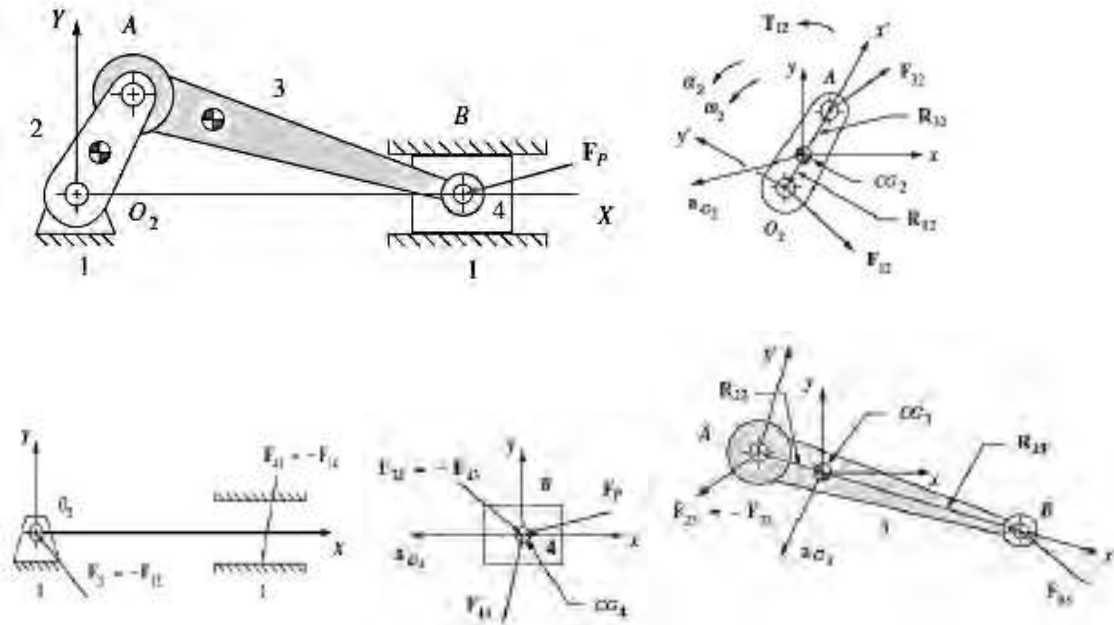
2.1.10 *Análisis de Fuerzas dinámicas en un Mecanismo de Barras de Manivela Corredera.*

Para el análisis en la corredera donde esta no presenta aceleración angular, necesitamos calcular las fuerzas dinámicas y el par de torsión motriz para que genere las aceleraciones específicas, el

análisis cinemático realizado anteriormente nos facilitara la información sobre la posición, velocidad y aceleración del mecanismo.

Figura 28

Diagrama De Cuerpo Libre Del Mecanismo Manivela, Biela Y Corredera.



Nota: *Diseño de maquinarias (pág. 514) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L*

Analizando la figura 28 tenemos:

Para el eslabón 2.

$$F_{12x} + F_{32x} = m_2 a_{G2x}$$

$$F_{12y} + F_{32y} = m_2 a_{G2y}$$

$$T_{12} + (R_{12x} * F_{12y} - R_{12y} * F_{12x}) + (R_{32x} * F_{32y} - R_{32y} * F_{32x}) = I_{G2} \alpha_2$$

Para el eslabón 3.

$$F_{43x} - F_{32x} = m_3 a_{G3x}$$

$$F_{43y} - F_{32y} = m_3 a_{G3y}$$

$$\left(R_{43x} * F_{43y} - R_{43y} * F_{43x} \right) - \left(R_{23x} * F_{32y} - R_{23y} * F_{32x} \right) = I_{G_3} \alpha_3$$

Para el eslabón 4.

$$F_{14x} - F_{43x} + F_{px} = m_4 a_{G_{4x}}$$

$$F_{14y} - F_{43y} + F_{py} = m_4 a_{G_{4y}}$$

$$\left(R_{14x} * F_{14y} - R_{14y} * F_{14x} \right) - \left(R_{34x} * F_{43y} - R_{34y} * F_{43x} \right) + \left(R_{px} * F_{py} - R_{py} * F_{px} \right) = I_{G_4} \alpha_4$$

Donde:

$$\alpha_4 = 0; a_{G_{4y}} = 0$$

Considerando que existe fricción, entonces:

$$F_{14x} = \pm \mu F_{14y}$$

Sustituyendo tenemos:

$$\pm \mu F_{14y} - F_{43x} + F_{px} = m_4 a_{G_{4x}}$$

$$F_{14y} - F_{43y} + F_{py} = 0$$

Sustituyendo reducimos a cuatro incógnitas: $F_{12x}, F_{12y}, F_{32x}, F_{32y}, F_{43x}, F_{43y}, F_{14x}, F_{14y}, T_{12}$ cuyos

valores obtendremos cuando resolvamos esta ecuación matricial.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -R_{12y} & R_{12x} & -R_{32y} & R_{32x} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{23y} & -R_{23x} & -R_{43y} & -R_{43x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & \pm \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ F_{32x} \\ F_{32y} \\ F_{43x} \\ F_{43y} \\ F_{14y} \\ T_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{G_{2x}} \\ m_2 a_{G_{2y}} \\ I_{G_2} \alpha_2 \\ m_3 a_{G_{3x}} \\ m_3 a_{G_{3y}} \\ I_{G_3} \alpha_3 \\ m_4 a_{G_{4x}} - F_{px} \\ -F_{py} \end{bmatrix}$$

Las fuerzas dinámicas determinadas contribuyen a la obtención de las fuerzas de sacudimiento que provocarán que el plano se mueva de atrás para adelante y el momento de sacudimiento lo hará oscilar, estos provocan las vibraciones en la máquina.

La fuerza de sacudimiento es la fuerza la cual se puede expresar como la sumatoria de las fuerzas que suministran los eslabones móviles al plano de bancada o a los pivotes fijos y está dado por:

$$F_s = F_{21} + F_{41}$$

Y el momento:

$$M_s = T_{21} + (R_1 * F_{41})$$

Donde:

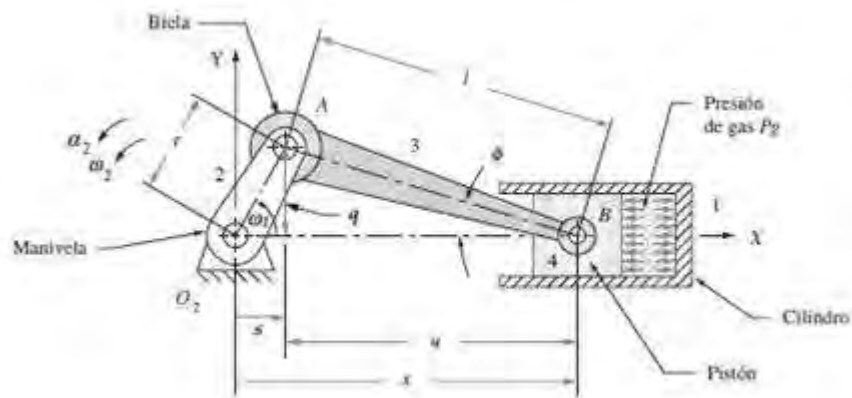
$$F_{21} = -F_{12}; F_{41} = -F_{14} \text{ y } T_{21} = -T_{12}$$

2.1.11 Fuerzas de gas y pares de torsión de un Motor de un Cilindro.

Se analizará el mecanismo para obtener el par de torsión de salida generada por el fluido de trabajo interior, los resultados obtenidos varían de acuerdo al diseño del motor y el fluido de trabajo.

Figura 29

Geometría del Mecanismo



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 576) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

En seguida se desarrollará un método de solución alternativo para calcular la posición, velocidad y aceleración del mecanismo sometido en un fluido de trabajo. Construyendo dos triángulos rectángulos rqs y lqu tenemos.

$$q = r \cdot \text{sen}\theta = l \cdot \text{sen}\phi$$

$$\text{sen}\phi = \frac{r}{l} \text{sen}\theta$$

Donde: $\theta = \omega \cdot t$

$$s = r \cdot \cos(\omega t)$$

$$u = l \cdot \cos\phi$$

$$x = s + u = r \cdot \cos(\omega t) + l \cdot \cos\phi$$

Tenemos que: $\cos\phi = \sqrt{1 - \text{sen}^2\phi} = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2}$

$$x = r \cdot \cos(\omega t) + l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2}$$

De aquí podemos obtener expresiones de la velocidad y la aceleración.

$$\dot{x} = -r \cdot \omega \cdot \left[\text{sen}(\omega t) + \frac{r}{2l} \cdot \frac{\text{sen}(2\omega t)}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2}} \right]$$

$$\ddot{x} = -r \cdot \omega^2 \cdot \left\{ \cos(\omega t) - \frac{r \left[l^2 (1 - 2 \cdot \cos^2(\omega t)) - r^2 \cdot \text{sen}^4(\omega t) \right]}{[l^2 - (r \cdot \text{sen}(\omega t))^2]^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

Haciendo unos arreglos termodinámicos tenemos:

$$\dot{x} \cong l \cdot \frac{r^2}{4l} + r \cdot \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{4l} \cdot \cos(2\omega t) \right)$$

$$\ddot{x} \cong -r \cdot \omega^2 \cdot \left(\text{sen}(\omega t) + \frac{r}{2l} \cdot \text{sen}(2\omega t) \right)$$

$$\ddot{x} = -r \cdot \omega^2 \cdot \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cdot \cos(2\omega t) \right)$$

Se sabe que:

Fuerza del gas:

$$F_g = -P_g \cdot A_p \hat{i}$$

Donde:

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot B^2$$

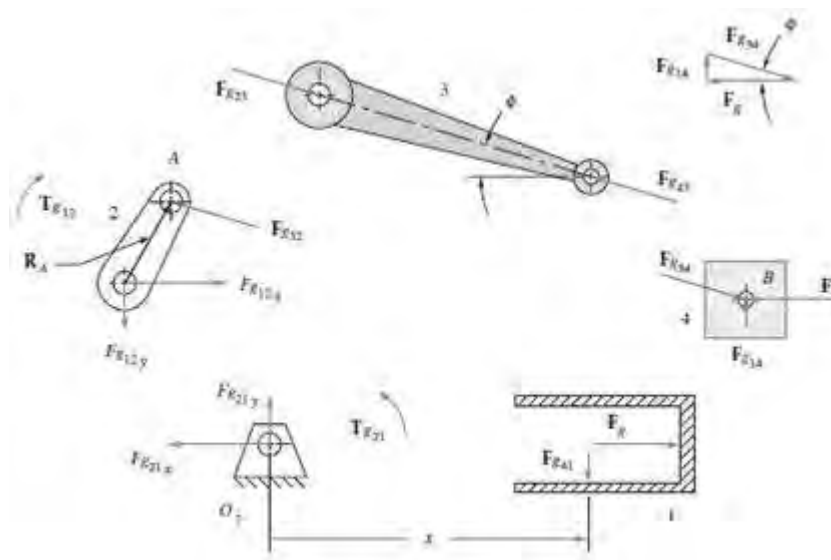
Entonces:

$$F_g = -\frac{\pi}{4} \cdot P_g \cdot B^2 \hat{i}$$

Haciendo un análisis de los diagramas de cuerpo libre se tiene que.

Figura 30

Diagramas de Cuerpo Libre



Nota: *Diseño de maquinarias (pág. 576) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L*

Tenemos que:

$$F_{g14} = F_g * \tan\phi \hat{j}$$

$$F_{g34} = -F_g \hat{i} - F_g * \tan\phi \hat{j}$$

$$F_{g41} = -F_{g14}$$

$$F_{g43} = -F_{g34}$$

$$F_{g23} = -F_{g43}$$

$$F_{g32} = -F_{g23} = -F_{g43} = F_g \hat{i} + F_g \tan\phi \hat{j}$$

El par de torsión está dado por:

$$T_{g21} = R_A * F_{g32}$$

El par de torsión que correspondiente a la fuerza del gas es:

$$T_{g12} = F_{g41} * x \hat{k}$$

$$T_{g21} = -T_{g12}$$

$$T_{g21} = -F_{g41} * x \hat{k}$$

Entonces

$$T_{g21} = (F_g * \tan\phi) \left[l - \frac{r^2}{4l} + r * \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{4l} * \cos(2\omega t) \right) \right] \hat{k}$$

Se sabe que

$$\tan\phi = \frac{q}{u} = \frac{r * \sin(\omega t)}{l * \cos\phi}$$

Entonces

$$\tan\phi \cong \frac{r * \sin(\omega t)}{l * \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} * \sin(\omega t) \right)^2}} \cong \frac{r * \sin(\omega t)}{l} \left(1 + \frac{r^2}{2l^2} * \sin^2(\omega t) \right)$$

Remplazando

$$T_{g21} \cong F_g * \left[\frac{r}{l} * \sin(\omega t) \left(1 + \frac{r^2}{2l^2} * \sin^2(\omega t) \right) \right] \left[l - \frac{r^2}{4l} + r * \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{4l} * \cos(2\omega t) \right) \right] \hat{k}$$

Simplificando obtenemos el torque del gas.

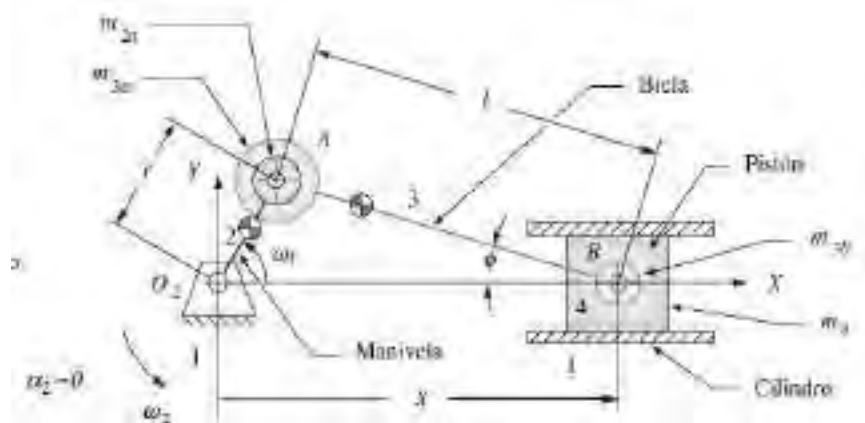
$$T_{g21} \cong F_g * r * \text{sen}(wt) * \left(1 + \frac{r}{l} * \text{cos}(wt)\right)$$

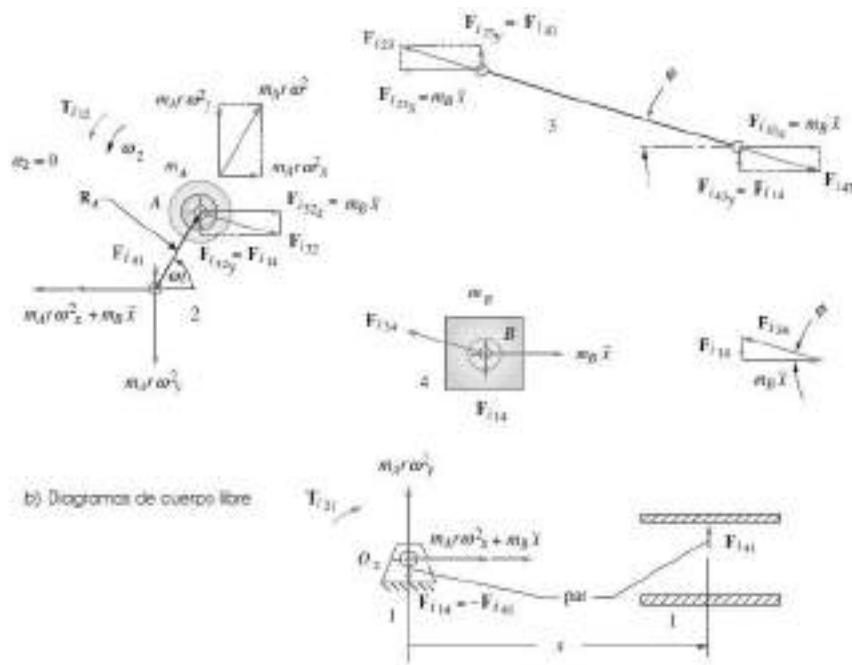
2.1.12 *Fuerzas de Inercia.*

La fuerza de inercia total es la sumatoria de las fuerzas de inercia en los puntos A y B de la figura.

Figura 31

Modelo Dinámico y DCL de Mecanismo Biela Manivela





Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 586) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

Se tiene que:

$$\vec{F}_l = -m_A \vec{a}_A - m_B \vec{a}_B$$

Donde las aceleraciones resultan de derivar dos veces el vector de posición.

$$\vec{R}_A = r \cos wt \hat{i} + r \sin wt \hat{j} \rightarrow \vec{a}_A = -rw^2 \cos wt \hat{i} - rw^2 \sin wt \hat{j}$$

Descomponiendo en sus componentes X y Y:

$$F_{ix} = -m_A (-rw^2 \cos wt) - m_B \left[-rw^2 \left(\cos wt + \frac{r}{l} \cos 2wt \right) \right]$$

$$F_{iy} = -m_A (-rw^2 \sin wt)$$

2.1.13 Fuerzas de sacudimiento.

Se tiene que la fuerza provocada por el sacudimiento será igual a la fuerza inercial en sentido contrario.

$$\vec{F}_s = -\vec{F}_i$$

$$F_{sx} = -m_A (rw^2 \cos wt) - m_B \left[rw^2 \left(\cos wt + \frac{r}{l} \cos 2wt \right) \right]$$

$$F_{sy} = -m_A (rw^2 \sen wt)$$

2.1.14 Pares de Torsión de Inercia y Sacudimiento

$$\vec{T}_{i21} = (F_{i41} * x) \hat{k}$$

Desarrollando tenemos.

$$\vec{T}_{i21} \cong \frac{1}{2} m_B r^2 w^2 \left(\frac{r}{2l} \sen wt - \sen 2wt - \frac{3r}{2l} \sen 3wt \right) \hat{k}$$

El par de torsión provocado por el sacudimiento será igual al par de torsión de inercia.

$$\vec{T}_s = \vec{T}_{i21}$$

2.1.15 Par de Torsión del Motor Total.

El par de torsión total será expresado como la suma del par de torsión de gas y el par de torsión de inercia.

$$\vec{T}_{total} = \vec{T}_g + \vec{T}_i$$

2.1.16 Control del Par de Torsión Total por Balanceo y Volantes de Inercia.

Las oscilaciones significativas causadas por la variación de las aceleraciones en el par de torsión, las cuales se desean suavizar estas oscilaciones por medio del uso de una volante de inercia, esto permitirá dimensionar de manera correcta al motor.

2.1.16.1 Balanceo.

2.1.16.1.1 Balanceo Estático.

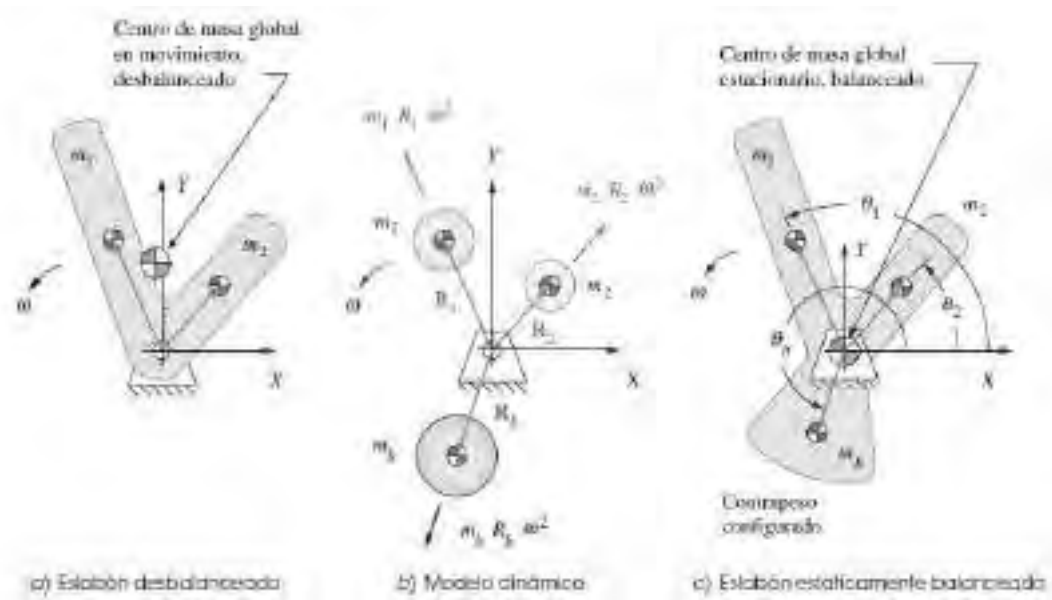
El balanceo estático consiste básicamente en que la suma de todas las fuerzas en el sistema móvil, fuerzas inerciales y fuerzas del gas, sea iguales a cero, está basado en el principio de d'Alembert.

$$\sum F - m * a = 0$$

Supongamos que un sistema gira con dos masas a velocidad angular w , colocamos un sistema coordinado en el origen y a partir de allí se crea una masa de balanceo m_b en algún lugar R_b , al girar las aceleraciones de las masas son centrípetas y las fuerzas de inercia centrifugas, las únicas fuerzas que pueden balancearse son las fuerzas inerciales.

Figura 32

Masas de balanceo.



Nota: *Diseño de maquinarias (pág. 545) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L*

Descomponiendo las fuerzas inerciales tenemos:

$$-m_1 \mathbf{R}_1 \omega^2 - m_2 \mathbf{R}_2 \omega^2 - m_b \mathbf{R}_b \omega^2 = 0$$

$$m_b \mathbf{R}_b \omega^2 = -m_1 \mathbf{R}_1 \omega^2 - m_2 \mathbf{R}_2 \omega^2$$

Simplificando ω^2 .

$$m_b \mathbf{R}_b = -m_1 \mathbf{R}_1 - m_2 \mathbf{R}_2$$

Descomponiendo en X y Y:

$$m_b R_{bx} = -m_1 R_{1x} - m_2 R_{2x}$$

$$m_b R_{by} = -m_1 R_{1y} - m_2 R_{2y}$$

Entonces:

$$\theta_b = \arctan \frac{m_b R_{by}}{m_b R_{bx}}$$

Además:

$$m_b R_b = m_b \sqrt{R_{bx}^2 + R_{by}^2}$$

Ordenando tenemos:

$$R_b = \sqrt{R_{bx}^2 + R_{by}^2}$$

Se debe tener en cuenta que el radio R_b le podemos asumir un valor conveniente para nuestro sistema.

2.1.16.1.2 Balanceo dinámico.

Requiere de dos condiciones, del balanceo estático y de la suma de momentos iguales a cero.

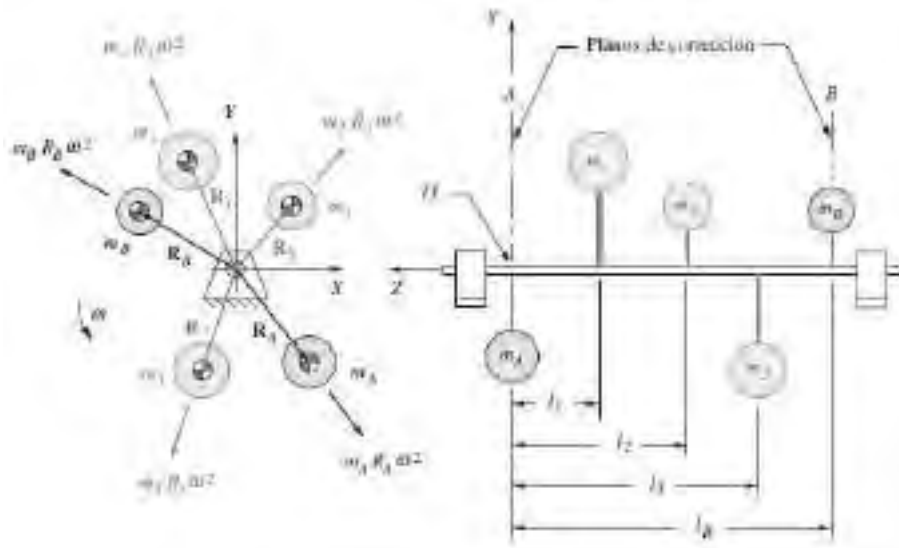
$$\sum F = 0$$

$$\sum M = 0$$

También se le conoce como balanceo en dos planos.

Figura 33

Descomponiendo las Fuerzas Inerciales para Balanceo Dinámico



Nota: *Diseño de maquinarias (pág. 548) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L*

Eliminar o aumentar una cantidad correcta de masa en posiciones apropiadas y ciertas distancias puede corregir el desbalanceo dinámico. Es recomendable primero balancear estáticamente.

Como ejemplo consideremos un sistema de tres masas, se supone la aceleración angular es cero, entonces por el balanceo estático tenemos:

$$-m_1 \mathbf{R}_1 \omega^2 - m_2 \mathbf{R}_2 \omega^2 - m_3 \mathbf{R}_3 \omega^2 - m_A \mathbf{R}_A \omega^2 - m_B \mathbf{R}_B \omega^2 = 0$$

$$m_A \mathbf{R}_A \omega^2 + m_B \mathbf{R}_B \omega^2 = -m_1 \mathbf{R}_1 \omega^2 - m_2 \mathbf{R}_2 \omega^2 - m_3 \mathbf{R}_3 \omega^2$$

$$m_A \mathbf{R}_A + m_B \mathbf{R}_B = -m_1 \mathbf{R}_1 - m_2 \mathbf{R}_2 - m_3 \mathbf{R}_3$$

Descomponiendo en sus coordenadas:

$$m_A R_{Ax} + m_B R_{Bx} = -m_1 R_{1x} - m_2 R_{2x} - m_3 R_{3x}$$

$$m_A R_{Ay} + m_B R_{By} = -m_1 R_{1y} - m_2 R_{2y} - m_3 R_{3y}$$

Ahora se realiza un balanceo dinámico sacando momentos con respecto al plano A. todo esto con respecto al eje Z.

$$(m_B \mathbf{R}_B w^2) l_B = -(m_1 \mathbf{R}_1 w^2) l_1 - (m_2 \mathbf{R}_2 w^2) l_2 - (m_3 \mathbf{R}_3 w^2) l_3$$

Simplificando w^2 y descomponiendo en sus componentes.

$$m_B R_{Bx} = \frac{-(m_1 R_{1x}) l_1 - (m_2 R_{2x}) l_2 - (m_3 R_{3x}) l_3}{l_B}$$

$$m_B R_{By} = \frac{-(m_1 R_{1y}) l_1 - (m_2 R_{2y}) l_2 - (m_3 R_{3y}) l_3}{l_B}$$

Para encontrar los valores de A ya también se considera el momento respecto al plano B.

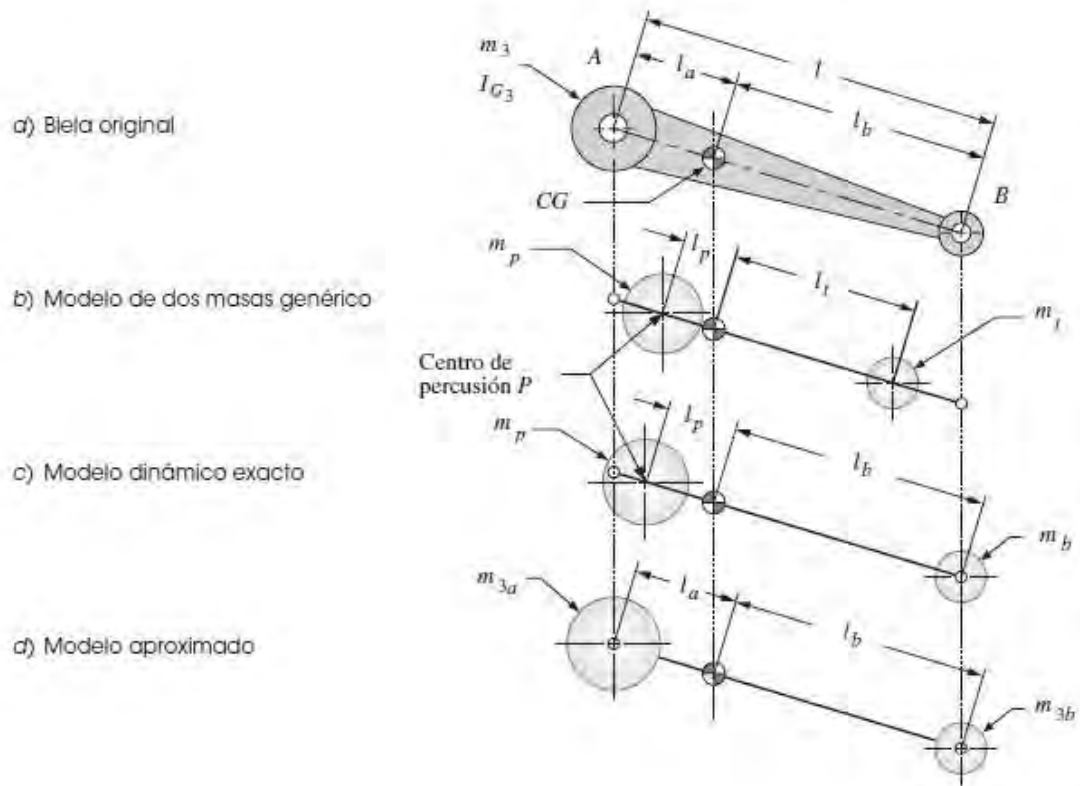
2.1.16.1.3 Masas Equivalentes.

- **Modelo dinámicamente equivalente.**

Para realizar estos análisis se debe conocer los momentos de inercia, los centros de gravedad y las masas de los eslabones. Se puede diseñar a la biela con masas puntuales en donde se ubican los pasadores.

Figura 34

Modelado Dinámicamente Equivalente



Nota: *Diseño de maquinarias (pág. 584) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L*

Se crearon dos masas m_p y m_t , ubicados dentro de la biela a una distancia l_p y l_t del centro de gravedad, expresando matemáticamente estas variables tenemos:

$$m_p + m_t = m_3$$

$$m_p l_p = m_t l_t$$

$$m_p l_p^2 + m_t l_t^2 = I_{G3}$$

Para realizar el cálculo de las variables igualamos $l_t = l_b$, quedando:

$$m_p = m_3 \frac{l_b}{l_p + l_b}$$

$$m_b = m_3 \frac{l_p}{l_p + l_b}$$

Reemplazando estas variables en la última relación. -

$$m_3 \frac{l_b}{l_p + l_b} l_p^2 + m_3 \frac{l_p}{l_p + l_b} l_t^2 = I_{G3} = m_3 l_p l_b$$

$$l_p = \frac{I_{G3}}{m_3 l_b}$$

Si $l_p = l_a$ entonces:

$$m_{3a} = m_3 \frac{l_b}{l_a + l_b}$$

$$m_{3b} = m_3 \frac{l_a}{l_a + l_b}$$

Estas masas definen las cantidades totales que se colocaran en los extremos para modelar dinámicamente.

- **Modelo Estáticamente Equivalente.**

No existiendo aceleración angular $T = I\alpha = 0$ se tendrá:

$$m_2 = m_{2a} + m_{2o2}$$

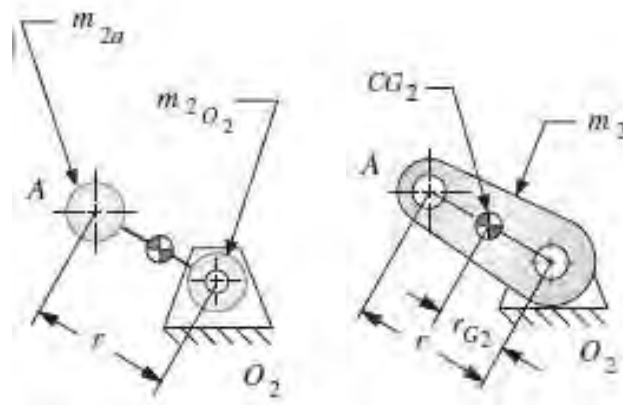
$$m_{2a} r = m_2 r_{G2}$$

$$m_{2a} = m_2 \frac{r_{G2}}{r}$$

La masa m_{2a} puede colocarse en el pasador A y la otra masa en el pivote fijo O_2 .

Figura 35

Modelo Estáticamente Equivalente



Nota: *Diseño de maquinarias (pág. 584) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L*

Se concentra dos masas en el pasador A y en el muñón, entonces queda así las relaciones:

$$m_A = m_{2a} + m_{3a}$$

$$m_B = m_{3b} + m_4$$

2.1.16.2 Volantes de Inercia.

La variación de las aceleraciones provoca oscilaciones significativas en el par de torsión, se quiere suavizar estas oscilaciones por medio de las volantes de inercia, esto permitirá dimensionar de manera correcta al motor.

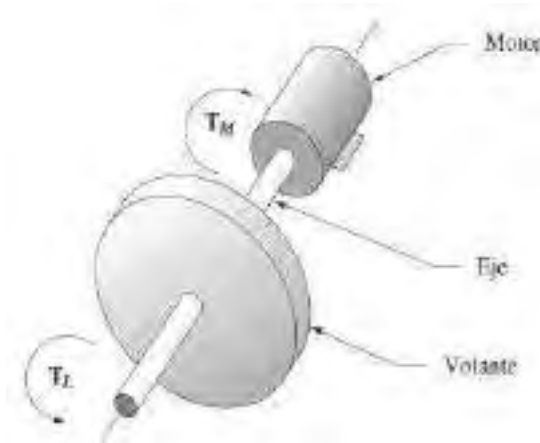
2.1.16.2.1 Energía del Volante

La energía cinética en un sistema rotatorio es:

$$E = \frac{c\omega^2}{2}$$

Figura 36

Diagrama de un Volante en un Eje Motriz



Nota: Diseño de maquinarias (pág. 523) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

Donde I es el momento de inercia de toda la masa rotatoria del eje, incluye I de la manivela del mecanismo, I de la volante y otros.

Por la ley de Newton

$$\sum T = I \alpha$$

$$T_L - T_M = I \alpha$$

Donde $T_M = T_{prom}$, entonces:

$$T_L - T_{prom} = I \alpha$$

Haciendo unos arreglos matemáticos resulta:

$$(T_L - T_{prom})d\theta = I \omega d\omega$$

Integrando se tiene:

$$\int_{\theta \rightarrow w_{min}}^{\theta \rightarrow w_{max}} (T_L - T_{prom}) d\theta = \frac{1}{2} I (w_{max}^2 - w_{min}^2)$$

El primer miembro es la energía entre w máximo y mínimo del eje y es el mismo valor del área debajo del diagrama de par torsión, y la segunda expresión es el cambio de energía almacenado en la volante.

2.1.16.2 Dimensionamiento del Volante.

El cambio de velocidad del eje durante un ciclo se llama fluctuación y es igual a:

$$Fl = w_{max} - w_{min}$$

De aquí obtenemos un coeficiente de fluctuación que es un parámetro de diseño que se ajusta a un valor entre 0.01 y 0.05 y corresponde del 1 al 5% de variación de velocidad del eje; mientras más pequeño sea el valor elegido más grande será la volante

$$k = \frac{w_{max} - w_{min}}{w_{prom}}$$

Sea el cambio de energía requerida E al integrar la curva del par de torsión producida por:

$$\int_{\theta \rightarrow w_{min}}^{\theta \rightarrow w_{max}} (T_L - T_{prom}) d\theta = E$$

Integrando se tiene:

$$E = \frac{1}{2} I (w_{max}^2 - w_{min}^2) = \frac{1}{2} I (w_{max} + w_{min})(w_{max} - w_{min})$$

Si la función par de torsión fuera armónica pura entonces su valor promedio podría expresarse como:

$$w_{prom} = \frac{w_{max} + w_{min}}{2}$$

Y tendríamos:

$$E = \frac{1}{2} I (2w_{prom})(kw_{prom})$$

Se puede tener una expresión para obtener el momento de inercia de masa I_s del volante requerido asumiendo que existe un par de torsión armónico.

$$I_s = \frac{E}{k w_{prom}^2}$$

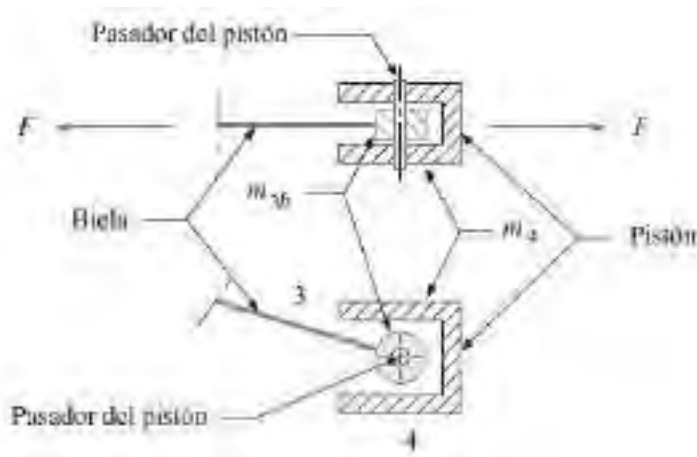
Con esta ecuación podemos diseñar el volante físico considerando que se trata de una plancha circular rígida, para mejorar la eficiencia de la volante es recomendable que la concentración de masa de la volante se encuentre en los extremos y esto genera un momento de inercia de un volante físico I_f que se aproxima o es igual a I_s .

2.1.17 Fuerzas de Pasador.

Además de conocer las fuerzas dinámicas del mecanismo, también se quiere conocer la magnitud de las fuerzas en la junta de los pasadores, tanto la biela y la manivela producen jalones en diferentes direcciones en el pasador o pines, tal como se muestra en la figura.

Figura 37

DLC del Pasador



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 593) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

Se utilizarán los siguientes términos:

F_g : Componentes de la fuerza del gas.

F_{ip} : Componentes de la fuerza de inercia debida a la masa pistón.

F_{iw} : Componentes de la fuerza de inercia en el pasador del pistón debida a la masa de la biela.

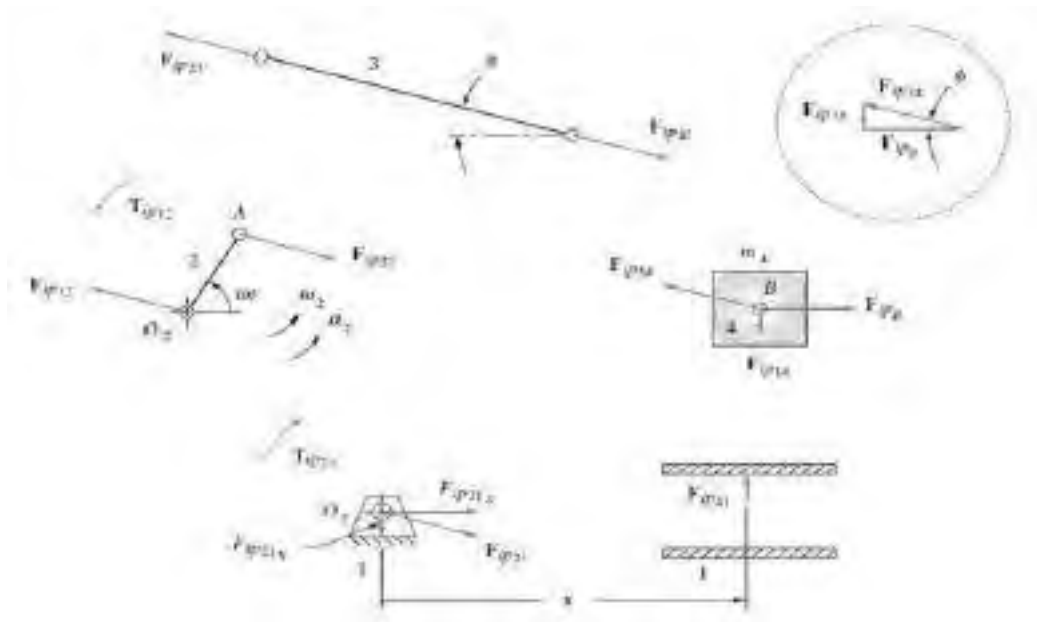
F_{ic} : Componentes de la fuerza de inercia en el pasador de la manivela debida a la masa de la biela.

F_{ir} : Componentes de la fuerza de inercia en el pasador de la masa de la manivela.

En el siguiente grafico se muestra el diagrama de cuerpo libre que indica las fuerzas de inercia producida por la aceleración de la masa del pistón m_4 .

Figura 38

DLC de Fuerza de Inercias



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 593) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

$$F_{iPB} = -m_4 a_B \hat{i}$$

$$F_{ip14} = -F_{iPB} \tan\phi \hat{j} = m_4 a_B \tan\phi \hat{j}$$

$$F_{ip34} = -F_{iPB} - F_{ip14} = m_4 a_B \hat{i} - m_4 a_B \tan\phi \hat{j}$$

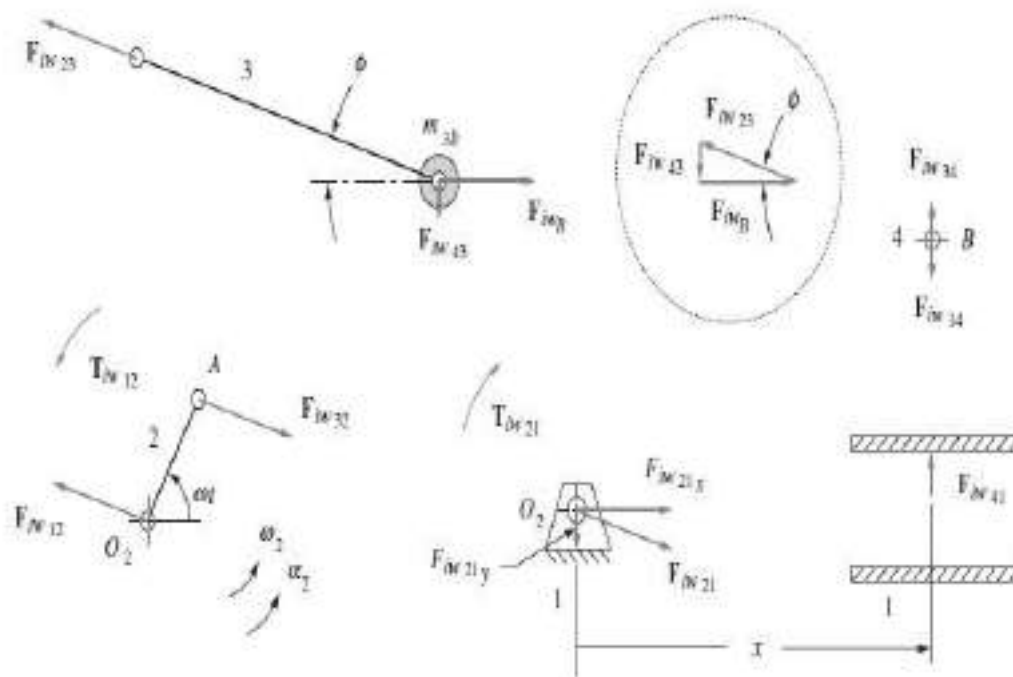
$$F_{ip32} = -F_{ip34} = -m_4 a_B \hat{i} + m_4 a_B \tan\phi \hat{j}$$

$$F_{ip12} = -F_{ip32} = F_{ip34}$$

En el siguiente grafico se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas producidas por la aceleración de la masa de la biela localizada en el pasador del pistón m_{3b} .

Figura 39

DLC de Fuerzas Producidas por la Aceleración de la Masa de la Biela Localizada en el Pasador del Pistón



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 594) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L.

$$F_{iwB} = -m_{3b} a_B \hat{i}$$

$$F_{iw34} = F_{iw41} = F_{iwB} \tan\phi \hat{j} = -m_{3b} a_B \tan\phi \hat{j}$$

$$F_{iw43} = -F_{iw34} = m_{3b} a_B \tan\phi \hat{j}$$

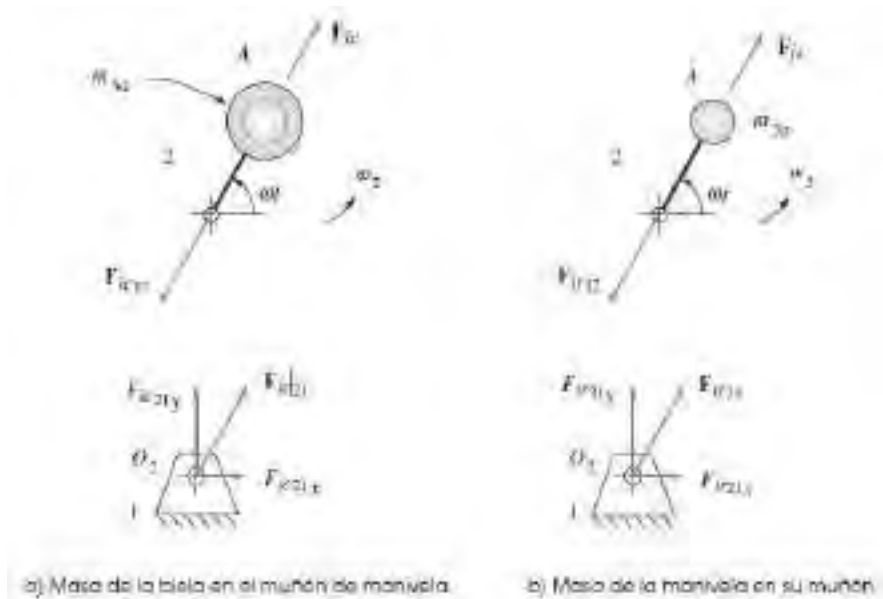
$$F_{iw23} = -F_{iwB} - F_{iw43} = m_{3b} a_B \hat{i} - m_{3b} a_B \tan\phi \hat{j}$$

$$F_{iw12} = -F_{iw32} = F_{iw23}$$

En el siguiente grafico se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas producidas por la aceleración de la masa de la biela localizada en el muñón de la manivela m_{3a} .

Figura 40

DLC de Fuerzas Producidas por la Aceleración de la Masa de la Biela Localizada en el Muñón de la Manivela



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 594) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

$$F_{ic} = -F_{ic12} = F_{ic21} = -m_{3a} \mathbf{a}_A$$

Sustituyendo a_A :

$$F_{ic21} = -F_{ic12} = -m_{3a} r \omega^2 (\cos \omega t \hat{i} + \sin \omega t \hat{j})$$

Las fuerzas producidas por la aceleración de la masa concentrada en el muñón m_{2a} afectan al pasador principal O_2 .

$$\mathbf{F}_{ir} = -\mathbf{F}_{ir12} = \mathbf{F}_{ir21} = -m_{2a}\mathbf{a}_A$$

$$\mathbf{F}_{ir21} = -m_{2a}r\omega^2(\cos\omega t \hat{i} + \sin\omega t \hat{j})$$

Con estos resultados se puede obtener las fuerzas en cada pasador, a estas ecuaciones se suman las fuerzas del gas.

Entonces la \mathbf{F}_{41} es la fuerza en la pared que ejerce el pistón.

$$\mathbf{F}_{41} = \mathbf{F}_{g41} + \mathbf{F}_{ip41} + \mathbf{F}_{iw41}$$

La \mathbf{F}_{34} es la fuerza en el pasador del pistón.

$$\mathbf{F}_{34} = \mathbf{F}_{g34} + \mathbf{F}_{ip34} + \mathbf{F}_{iw34}$$

La \mathbf{F}_{32} es la fuerza que ejerce en el pasador de la manivela.

$$\mathbf{F}_{32} = \mathbf{F}_{g32} + \mathbf{F}_{ip32} + \mathbf{F}_{iw32} + \mathbf{F}_{ic32}$$

La \mathbf{F}_{21} es la fuerza que ejerce en el muñón principal.

$$\mathbf{F}_{21} = \mathbf{F}_{32} + \mathbf{F}_{ir21}$$

Cabe resaltar que para el análisis se deberá realizar para cada mecanismo respectivamente.

2.2 Lana de Acero

Es un aglomerado de filamentos de acero blandos y finos, la cual se obtiene de trabajos industriales siendo este el excedente de los materiales de manufactura o elaboración de piezas

Comercialmente se puede encontrar según el grosor de las hebras de acero como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1*Tipos de Lana de Acero Comerciales*

Tipo	Especificación límite	Especificación límite
000#	635x10 ⁵	889 x10 ⁵
00#	889 x10 ⁵	1270x10 ⁵
0#	1270x10 ⁵	3810x10 ⁵
1#	3810x10 ⁵	6350 x10 ⁵
2#	6350 x10 ⁵	8890 x10 ⁵
3#	8890 x10 ⁵	11430 x10 ⁵
4#	11430 x10 ⁵	17780 x10 ⁵

2.2.1 Composición de la Lana de Acero

El acero es uno de los metales más comerciales que no se encuentra en la naturaleza, proviene de la aleación de hierro con una variación de 0,03% y 1,075% de carbono de la composición de su peso, la aleación se vuelve más dura, pero menos maleable/dúctil (estirable) como se sabe el carbono mejora las propiedades físico-químicas, sobre todo la resistencia.

2.2.2 Características Físicas y Químicas de la Lana de Acero

Generalmente está hecha de acero con bajo contenido de carbono con lo cual se mejora sus propiedades mecánicas, son paquetes de fibras de alambre de acero maleables, blandos, pero dúctiles que se utilizan durante la limpieza del hogar para pulir artículos o en la carpintería para lijar y dar acabado a los productos de madera. Por lo general, la lana de acero se fabrica mediante el proceso de brochado: se pasa un alambre de acero grueso a través de un troquel dentado, lo que produce virutas de acero muy delgadas que luego se recolectan y se les da forma de lana de acero, está disponible en grados diferentes.

2.2.2.1 Magnetismo

La lana de acero, constituida en gran parte de hierro puro, es ferromagnética.

2.2.2.2 Conductividad térmica

Es la reacción de los materiales ante los cambios de temperatura, como también el calor que se puede suministrar. La lana de acero, como todos los metales, es un buen conductor térmico el cual tiene un valor de 45 watts / (metro × Kelvin).

2.2.2.3 Textura

Las almohadillas de lana de acero son de un gris opaco muy oscuro, los filamentos individuales son ligeramente lustrosos y reflejan pequeños destellos de luz; sin embargo, la almohadilla en su conjunto no es muy brillante.

Lana de acero es abrasiva de una textura bastante peculiar. Dependiendo del grado aspereza que se manipule su textura varia, pero mantiene se mantiene esponjosa.

2.2.2.4 Ductilidad y Flexibilidad

No es muy dúctil pero muy flexible debido a que las almohadillas en su conjunto están compuestas sustancialmente de aire entre las fibras de acero con bajo contenido de carbono, se pueden comprimir fácilmente y “aplanar”. Sin embargo, se expanden nuevamente cuando se libera la presión. Por otro lado, su ductilidad es bastante baja. Cuando las almohadillas se separan, se “rompen” en dos mitades, no se estiran en una almohadilla más larga y delgada. Las fibras individuales de acero, debido a que son tan delgadas, son tan flexibles como un cabello humano.

2.2.3 Ventajas y Desventajas

Entra una de sus ventajas para el siguiente trabajo se puede indicar lo siguiente:

- Ocupa un gran volumen, pero con poca masa, lo que beneficia al motor Stirling porque reemplazará al desplazador y reducirá el peso de este componente.
- Posee gran poder de absorción térmica.
- Es de fácil acceso, ya que este producto es comercializado en ferreterías o lugares de venta de materiales.
- Su bajo costo hace que su mantenimiento no sea complicado.

Entre sus desventajas encontradas podemos mencionar:

- La poca duración que tiene en el motor llegando a una vida útil de 50 horas de trabajo.

2.2.4 Usos y Aplicaciones.

La lana de acero es empleada en diferentes rubros como pulido de madera u objetos de metal, acabado, limpieza y reparación.

2.3 Ejes o Árbol de transmisión.

Un eje o un árbol de transmisión es un elemento de máquina, generalmente de sección circular que es mucho menor que su longitud, los ejes pueden ser fijos o móviles.

Un árbol a diferencia de un eje, transmite potencia, normalmente se aseguran por medio de chavetas y por ajuste.

2.3.1 Tipos de árboles:

2.3.1.1 Según la configuración longitudinal.

2.3.1.1.1 Árboles rectos

Poseen simetría respecto a su eje de giro, pueden ser macizos y huecos, y a lo largo de su longitud constante o escalonado.

2.3.1.1.2 Árboles acodados:

Convierten el movimiento de rotación en traslación.

2.3.1.1.3 Árboles flexibles:

Presentan una forma longitudinal variable, permiten la transmisión de movimiento entre dos puntos.

2.3.1.2 Según la forma de sección transversal:

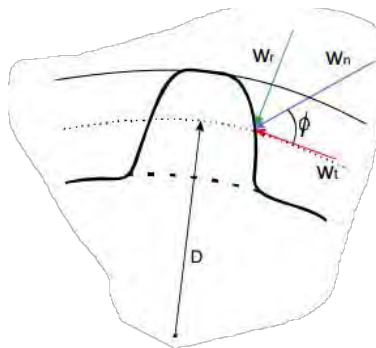
Pueden ser de sección transversal circular, acanalada y poligonal.

2.3.2 Acción de los engranajes sobre un árbol de transmisión.

Los engranajes transmiten potencia al eje, ejerce una fuerza W_n que es perpendicular al perfil envolvente de los dientes del engranaje, estos tienen componentes rectangulares tangencial W_t y radial W_r .

Figura 41

Fuerzas de reacción en el diente de engranaje



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 418) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

La relación entre potencia y torque es

$$P = T \cdot w$$

Donde $w = \frac{2\pi \cdot n}{60}$; entonces $T = \frac{P}{w}$ y $W_t = \frac{T}{D/2}$, donde D es el diámetro primitivo del engranaje.

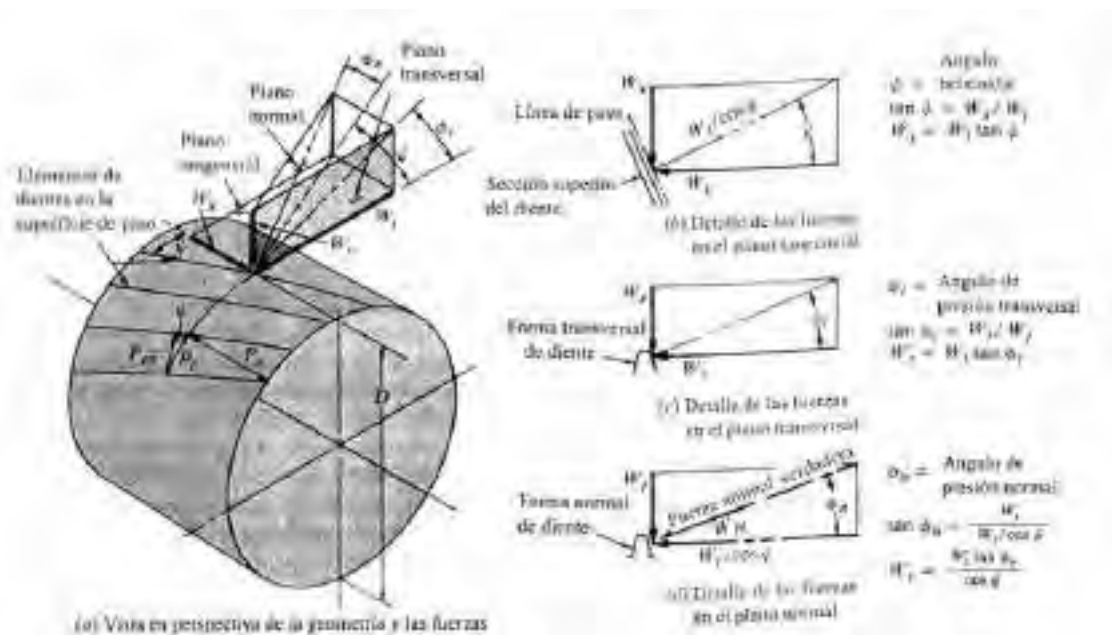
Si ϕ es el ángulo de presión que depende de las formas de los dientes (por lo general es 14.5° , 20° , 25°), entonces

$$W_r = W_t \cdot \text{tg} \phi$$

estas fuerzas generan flexión en los ejes perpendiculares, así como se muestra en la figura.

Figura 42

Fuerzas de reacción del engranaje sobre el eje.



Nota: *Diseño de maquinarias* (pág. 426) por Robert L. Norton, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L

2.4 Tolerancias.

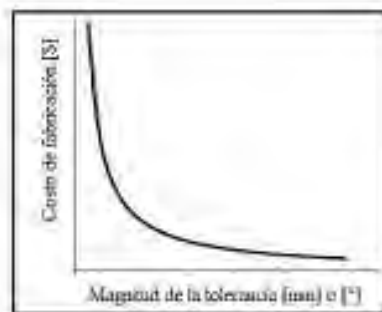
Las tolerancias dimensionales y geométricas son de importancia para el diseño. Influyen en el rendimiento del motor y se debe tener en cuenta en la selección de los materiales, acabados superficiales, en la fabricación de las piezas, en el diseño de los complementos que se usaran para el armado del motor.

Tolerancia es la variación que se admite en una característica física dimensional, forma parte de los procesos técnicos normados, estas variaciones compensan las fallas humanas y la limitación de las maquinas en el proceso de fabricación y controles ideales. Las tolerancias varían según las cada dimensión y según características propias, como el material , uso, tamaño, etc.

Se establece con el objetivo de lograr costos de fabricación bajos con un rendimiento adecuado.

Figura 43

Diagrama de relación magnitud de tolerancia vs costo de fabricación.



2.4.1 Tipos de tolerancias.

2.4.1.1 Tolerancias de elementos funcionales.

Pertenecen a dimensiones y características de control que tienen influencia directa sobre el funcionamiento de un componente y son:

- Diámetro de la perforación de maza.

- Excentricidad entre los dientes y diámetro de perforación de masa.
- Dimensiones del cuerpo:
 - Excentricidad del diámetro exterior.
 - Excentricidad lateral.
 - Paralelismo.
 - Convexidad.
 - Concavidad.

2.4.1.2 Tolerancias sobre elementos no funcionales.

Estas tolerancias pertenecen a dimensiones relacionadas con el soporte del cuerpo, y no afectan directamente al funcionamiento de este y son:

- Dimensiones de la maza.
- Dimensiones del alma.
- Diseño de elementos de montaje y sujeción. (chavetas, prisioneros, etc.).
- Dimensiones del cuerpo.

Las dimensiones no funcionales y de elementos se definen de acuerdo a las consideraciones generales del diseño de elementos de máquinas.

2.5 Análisis de la Varianza de dos Vías para Datos Independientes.

El ANOVA es un test estadístico básico para el estudio de uno o más factores sobre la media de una variable, es muy utilizado cuando se quiere comparar tres o más grupo de muestras donde debe existir distribución normal de datos

Las condiciones para realizar el análisis de varianza deben ser:

- Aleatoriedad de las muestras.
- Independencia de las variables.
- Normalidad de las distribuciones.
- Igualdad de varianza entre grupos (homocedasticidad).

Para realizar el ANOVA se parte de las hipótesis nulas donde cada media de los grupos es igual entre sí, y la hipótesis alterna dice que no todas las medias son iguales.

$$H_0 = \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k;$$

$$H_1: \text{No todas las } \mu_j \text{ son iguales.}$$

2.5.1 Tipos de Variación y Suma de Cuadrados.

- a. Variación total respecto a la media general.

$$SC_{total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

- b. Variación entre las muestras.

$$SC_{trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

- c. Variación dentro de las muestras.

$$SC_{error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

2.5.2 Grados de Libertad.

Grados de libertad totales = N-1

Grados de libertad entre las muestras = K-1

Grados de libertad del error= N-K

2.5.3 Cuadrados Medios (Suma de Cuadrados/Grados de Libertad)

$$CM_{trat} = \frac{SC_{trat}}{k - 1}$$

$$CM_{error} = \frac{SC_{error}}{N - k}$$

2.5.4 Estadístico de prueba F_c y estadístico F crítico de alfa.

$$F = \frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$$

Se rechaza la hipótesis nula H_0 cuando F es mayor a F_α (teórico), tal que F_0 sigue una distribución con k-1 y N-k grados de libertad.

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$$

Quiere decir que cuando el F_0 es mayor que el F_α existe diferencias entre las medias del tratamiento o de los grupos entre poblaciones.

Posteriormente a estos cálculos se realiza una comparación de pareja de medias por el “método de TUKEY” que consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico dado por:

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_{error}}{n_i}}$$

Donde:

CM_{error} = cuadrado medio del error

n_i = numero de observaciones por tratamientos.

k = numero de tratamientos.

$N - k$ = grados de libertad para el error.

α = nivel de significancia.

$q_\alpha(k, N - k)$ = son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado

que se obtienen de la tabla

Entonces se declaran significativamente diferentes los pares de medias cuya diferencia maestra en valor absoluto es mayor que T_α .

Resumiendo lo anteriormente desarrollado tenemos.

Tabla 2

Análisis de varianza

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	$SC_{trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	k-1	$CM_{trat} = \frac{SC_{trat}}{k-1}$	$F = \frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$	N-k	$CM_{error} = \frac{SC_{error}}{N-k}$	
Total	$SC_{total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$	N-1		

CAPÍTULO III. DISEÑO Y ANÁLISIS MECANICO DE LOS COMPONENTES DEL MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL

3.1 Descripción del Conjunto

El motor Stirling bajo un principio de funcionamiento de expansión y contracción del fluido con el que trabaja, el cual es sometido a temperaturas altas con el objetivo de crear una fuerza de empuje en el desplazador, la cual nos permita generar un movimiento lineal del pistón para ser transformada en energía eléctrica.

Los parámetros de trabajo del motor Stirling son referenciales, las cuales influyen en las dimensiones de los componentes del mecanismo que se va a considerar, los materiales con los que se va a trabajar y las condiciones de funcionamiento.

3.1.1 *Parámetros Preliminares*

Los parámetros preliminares se basan en:

3.1.1.1 *Fluido de Trabajo*

El motor Stirling desde su creación funciono con aire, bajo el sencillo principio de expansión de un fluido al cual al ser calentado incrementa su volumen, por lo cual fue llamado motor de aire caliente, con el pasar de los tiempos y el incremento de la tecnología se realizaron motores que funcionaban con otros fluidos de trabajo, cuyas propiedades incrementaban la eficiencia del motor.

Los diferentes fluidos de trabajo dieron otra visión a los motores Stirling aumentando su producción, sin embargo, los fluidos de trabajo como el Helio, argon o hidrogeno, requieren de crear una cámara hermética para el trabajo de expansión, esto demanda un costo más elevado y una manufactura muchas más precisa de los elementos del motor, por tal motivo se vio por conveniente como fluido de trabajo el aire, esta demanda menores gastos en la producción de la

energía y evita problemas de fuga del fluido de trabajo debido que este se encuentra en gran cantidad en nuestra atmosfera.

3.1.1.2 Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración incrementa la eficiencia del motor, siempre y cuando se aplique de manera adecuada. Se puede usar sistemas de refrigeración de aire y agua, la mejor opción es de refrigeración por agua, instalado alrededor de la zona caliente, el otro tipo de refrigeración es de aire natural que circula por medio de las aletas del cilindro frio. Es necesario resaltar que a mayor diferencia de aire entre la zona caliente y la zona fría mejorara la eficiencia del motor.

3.1.1.3 Fuente de Calor

Es uno de los elementos más importantes para lograr el funcionamiento del motor Stirling, pueden ser naturales como la energía solar, o provocados por la combustión de algún agente comburente como el GLP, a mayor temperatura mejor eficiencia y térmica del motor Stirling. La aplicación excesiva de este puede vulnerar las propiedades de los componentes en donde se aplica directamente el calor.

En este caso usaremos el gas propano para generar una llama limpia, con la ayuda de un regulador de llama incrementaremos la incidencia de la llama y lograr una temperatura adecuada,

3.1.2 Parámetros de Diseño

Para el diseño de los componentes se debe conocer el funcionamiento, ciclo y análisis desarrollados, se procede al diseño de los componentes del motor Stirling, dicho estudio previo nos servirán de guía para el diseño adecuado de cada pieza, teniendo en cuenta los diferentes factores como la diferencia de temperatura, pérdidas del sistema entre otros.

Los parámetros de diseño son recomendaciones de otras investigaciones y de textos relacionados con el diseño de motores, los cuales brindan intervalos para valores que serán considerados en el análisis y diseño del motor Stirling. Los parámetros principales de diseño son los siguientes:

3.1.2.1 Relación Biela- Manivela

Con este parámetro se puede tener los primeros detalles de los componentes del motor, la relación biela-manivela es fundamental para la determinación de las características del mecanismo y nos permitirá desarrollar la ecuaciones de posición, velocidad y aceleración, además que contribuye a la determinación de las fuerzas y pares de torsión. La relación biela/manivela $\left(z = \frac{L}{R_m}\right)$ debe ser mayor a 2 para obtener ángulos de transmisión aceptables en el mecanismo manivela corredera. (Norton, 2009), de este parámetro dependen los desplazamientos volumétricos que se presentaran en el motor Stirling.

3.1.2.2 Relación Diámetro del Cilindro y Carrera del Pistón

Otra relación que se consideró para el diseño es del diámetro interno del cilindro de fuerza/carrera recorrida del pistón $\left(\frac{B}{S}\right)$ donde $S \geq 2R_m$. Según Beale (1984) los rangos de la

relación $\left(\frac{B}{S}\right)$ deben estar entre 0.75 y 1.5. Si el diámetro interno es grande y la carrera pequeña entonces se producirá altas fuerzas de gas que dañaran a los pasadores, si la carrera es grande y el diámetro interior pequeño se producirá altas fuerzas de inercia que también afectaran al pasador.

3.1.2.3 Relación de temperaturas.

Según Beale (1984) menciona que mientras mayor sea la diferencia de temperaturas entre la zona caliente y zona fría, mayor será la eficiencia del motor Stirling experimental; para esto se debe considerar este parámetro $\frac{T_c}{T_h} < 1$; T_c es la temperatura en la zona fría y T_h es la temperatura en la zona caliente.

3.1.2.4 Distancia Entre Ejes

Según Beale (1984) la distancia entre ejes de sujeción de la manivela evita el agarrotamiento en el mecanismo, su valor debe encontrarse en la siguiente relación:

$$2L > Dejes > 2Rm$$

3.2 Consideraciones para el Diseño del Motor Stirling Experimental

Se debe tener en cuenta los parámetros del motor Stirling experimental, la longitud de la manivela y biela influyen en el dimensionamiento del mecanismo y de sus componentes; el diámetro del cilindro dependerá directamente del diámetro del pistón de fuerza, la longitud del cilindro se basaran en los desplazamientos del mecanismo rómbico y de las longitudes que se

asumirá en el desplazador y el pistón de fuerza; los demás componentes serán analizados dependiendo a las características de funcionamiento del motor Stirling experimental.

Los materiales a utilizar en los componentes deben soportar altas temperatura sobre todo en la zona caliente, el acero A36 es accesible en todas sus presentaciones y de fácil mecanizado, será utilizado en la mayoría de componentes de motor Stirling experimental; el cilindro de la zona fría debe ser de un material resistente a la fricción y también a la temperatura por lo que se puede optar por el Alumold. El motor Stirling experimental necesitara temperaturas elevadas para su funcionamiento por lo que se realizara las pruebas empleando GLP.

Para el diseño computacional del motor se utilizará el software de diseño mecánico SolidWorks que nos permitirá diseñar y se realizar el ensamblaje digital del motor, lo que nos permite simular la cinemática del motor y verificar su adecuado funcionamiento de los componentes, así realizar las modificaciones que sean necesarias antes del mecanizado de los componentes del motor.

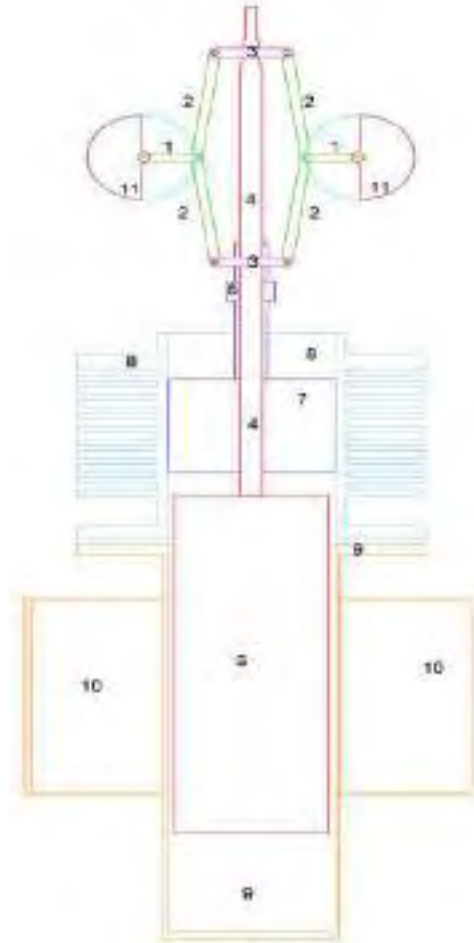
Básicamente el motor Stirling consiste de los siguientes componentes:

Figura 41

Componentes del Motor Stirling

Componentes principales:

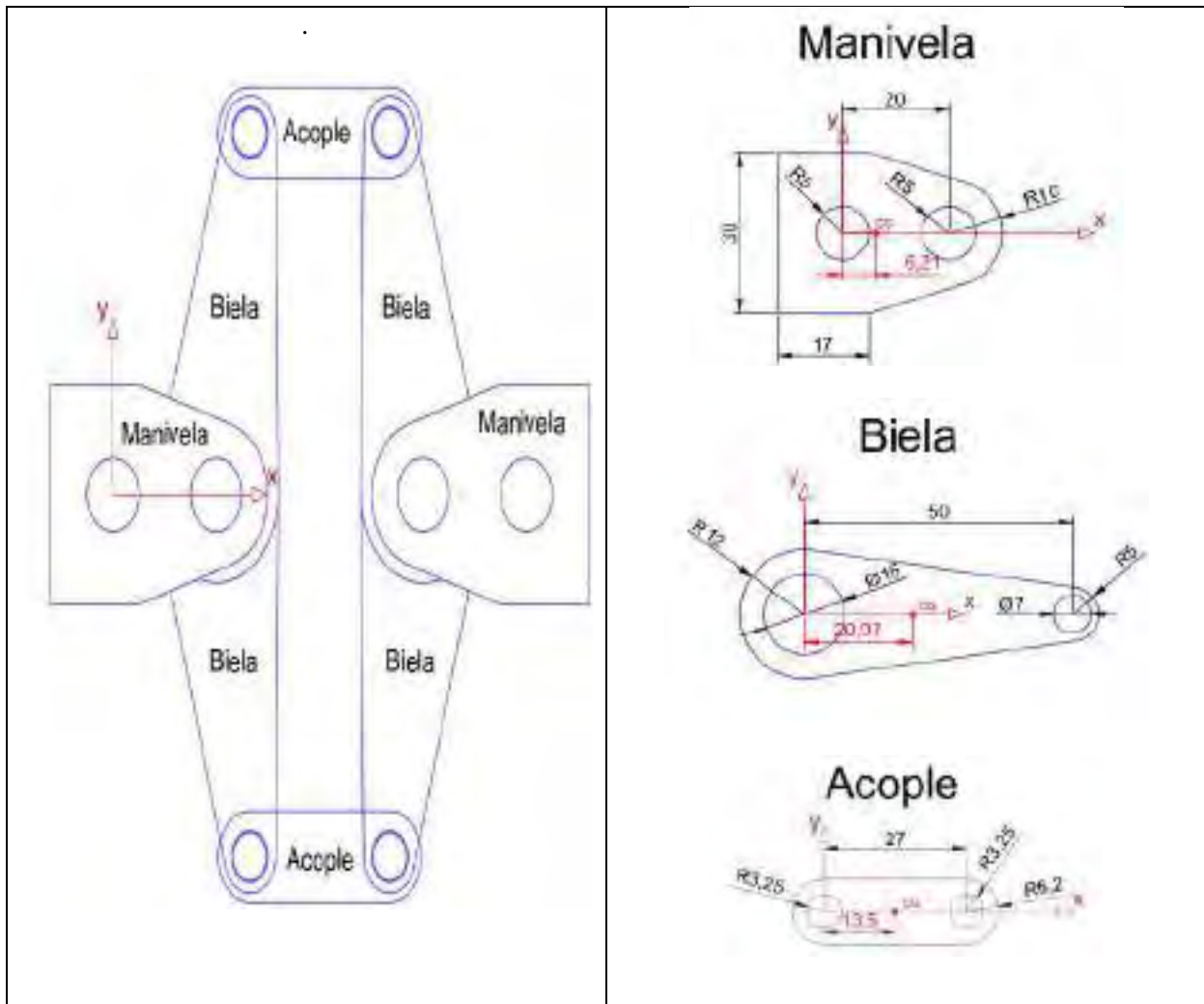
-
1. Manivela.
 2. Biela.
 3. Acople.
 4. Vástago del desplazador.
 5. Vástago del pistón.
 6. Pistón desplazador.
 7. Pistón de fuerza.
 8. Cilindro frío.
 9. Cilindro caliente.
 10. Cilindro enfriador.
 11. Contrapeso
-



3.2.1 *Diseño del Mecanismo Rómbico del Motor Stirling Experimental*

Para el diseño del mecanismo rómbico de nuestro motor Stirling experimental, debemos tener claro que consiste en la sincronización de 4 mecanismos manivela y biela, todas las ecuaciones que obtengamos resultaran en base a estas dos longitudes donde emplearemos nuestros parámetros definidos anteriormente.

Figura 42 Dimensiones de los componentes del mecanismo del Motor Stirling



Proponemos construir un motor Stirling con las siguientes características.

Tabla 3

Características Iniciales de componentes del mecanismo del Motor Stirling.

	CARACTERÍSTICAS INICIALES
Motor Stirling	Tipo beta
Mecanismo	Rómbico
Fluido de trabajo	Aire
Material de componentes	ASTM A36
Diámetro de cilindro de fuerza	62 mm

MANIVELA

Longitud de manivela	20 mm
Espesor de manivela	12 mm
Masa de manivela	80.03 gr

BIELA

Longitud de biela	50 mm
Espesor de biela	6 mm
Masa de biela	40.93 gr

ACOPLE

Longitud de acople	27 mm
Espesor de acople	20 mm
Masa de acople	45.54 gr

3.2.2 Dimensionamiento del Desplazador

Es uno de los elementos para el cual no se tienen formula que nos de la referencia de un valor exacto, solo se tienen recomendaciones y son:

La longitud del desplazador se recomienda estar dentro de estos valores:

$$2.5Dp \leq Ld \leq 3Dp$$

$$1.55 \leq Ld \leq 1.86$$

$$Ld = 160mm$$

La holgura radial Hr que presenta el desplazador debe ser del 1% al 2% del diámetro del cilindro caliente, según estas recomendaciones se obtienen el diámetro del desplazador, entonces:

$$1\%Dp = 0.62mm \wedge 2\%Dp = 1.24mm$$

Por lo que el diámetro del desplazador debe tener un rango de:

$$1.24mm \leq Hr \leq 2.48mm$$

De acuerdo a los valores asumiremos un valor de Hr de 2.00 mm

El diámetro del desplazador es:

$$Dd = Dp - Hr = 62mm - 2 mm$$

$$Dd = 60mm$$

Este último se vio modificada respecto al material que usaremos en el desplazador que no es un cilindro hueco como se realiza comúnmente, en este caso al modificar el material del desplazador por lana de acero de manera comprimida se aligera el peso del elemento y la holgura tiene como la finalidad que el aire caliente pase a la zona fría, al no ser un material solido este aire podrá pasar libremente por las fibras sin dejar de cumplir su función de transportar el aire caliente a la zona fría reduciendo la temperatura.

3.2.3 *Dimensionamiento del Pistón de Fuerza*

Bardales (2018) menciona que este componente que se encuentra en la parte fría, tiene la función de desplazar el aire a la zona caliente, indica que la longitud del pistón de fuerza debe estar entre 0.5 a .0.75 el diámetro del cilindro.

$$0.5 Dp \leq Lp \leq 0.75 Dp$$

$$0.5(62)mm \leq Lp \leq 0.75(62)mm$$

$$31mm \leq Lp \leq 46.5mm$$

Consideramos la longitud del pistón de:

$$Lp=42 \text{ mm.}$$

3.2.4 *Longitudes de los Vástagos.*

La longitud del vástago del pistón de fuerza es recomendable que sea mayor a la longitud del pistón de fuerza:

$$Lvp \geq Lp$$

$$56\text{mm} \geq 43\text{mm}$$

La longitud del vástago del pistón desplazador debe ser mayor a la suma de:

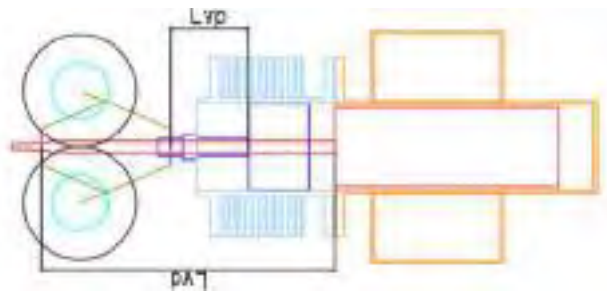
$$L_{vd} \geq L_{vp} + L_p + L_{clc} + (L + R_m)\text{sen}\theta_{3max}$$

$$209\text{mm} \geq 56 + 43 + 7 + (50 + 20)\text{sen}90\text{ mm}$$

$$209\text{mm} \geq 176\text{mm}$$

Figura 43

Gráfico de Longitudes de Vástago de Pistón de Fuerza y Desplazador



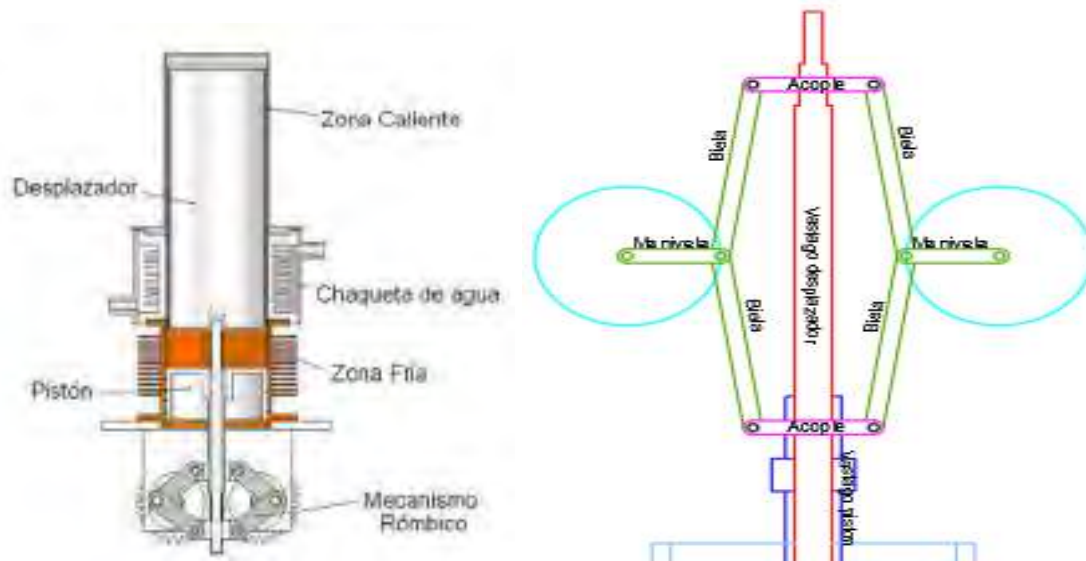
3.3 Diseño Cinemático del Mecanismo Rómbico

Se han aplicado muchos componentes mecánicos para lograr el ciclo, en general depende del movimiento alternativo de dos pistones en diferentes cámaras con diferentes características, dependiendo de la configuración que sea.

Básicamente el mecanismo rómbico de un motor Stirling consiste en la sincronización de cuatro mecanismos biela - manivela, ubicados uno opuesto del otro, unidos en pares por unos acoples los cuales son usados como guía para el desplazamiento de los pistones. El mecanismo biela - manivela permite mediante un movimiento rotatorio a partir de un movimiento lineal o viceversa.

Figura 44

Esquema general de un Motor Stirling Rómbico



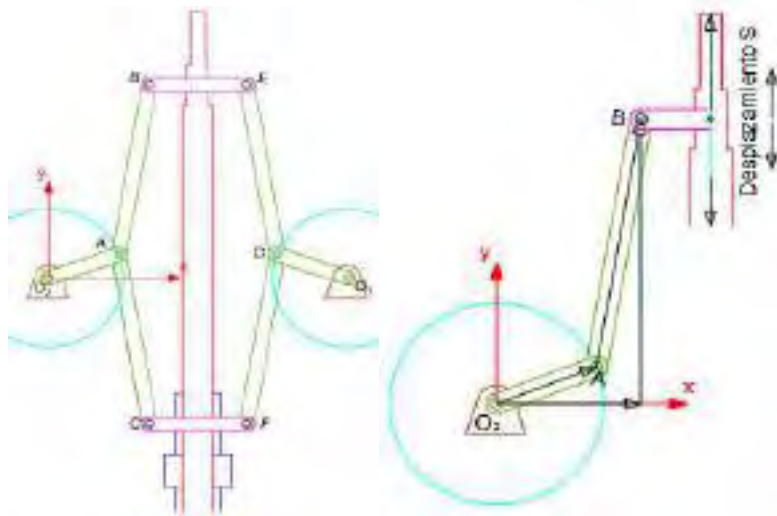
Nota: Esquema de un motor Stirling tipo Beta, [Ilustración] por G, Camacho, 2007, Tomado de Cloudfront (<https://goo.su/Xb1Vo0l>).

3.3.1 Para el mecanismo O2AB.

El mecanismo rómbico consta de 4 mecanismos manivela biela, se determinará ecuaciones generales de posicionamiento, velocidad y aceleración utilizando el mecanismo O2AB, esto servirá como referencia para los demás mecanismos, finalmente obtendremos sus representaciones graficas de cada uno.

Figura 45

Mecanismo Rómbico / Mecanismo de Referencia O2AB.

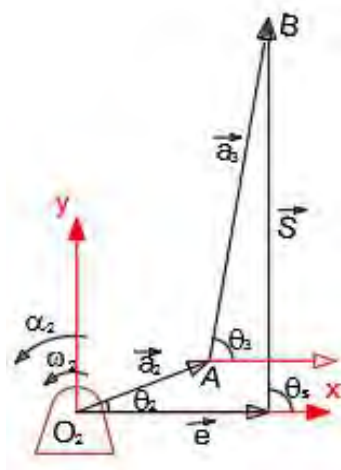


3.3.1.1 Determinación de las Posiciones:

Para determinar el posicionamiento de los pistones se realiza por el método de lazo vectorial, cuyas ecuaciones generales resultan de:

Figura 46

Diagrama Lazo Vectorial Mecanismo O2AB



Donde:

$$\vec{a}_2 + \vec{a}_3 - \vec{S} - \vec{e} = \mathbf{0}$$

Representando vectorialmente en sus componentes:

$$a_2 \begin{Bmatrix} \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 \end{Bmatrix} + a_3 \begin{Bmatrix} \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 \end{Bmatrix} - S \begin{Bmatrix} \cos \theta_S \\ \sin \theta_S \end{Bmatrix} - e \begin{Bmatrix} \cos \theta_e \\ \sin \theta_e \end{Bmatrix} = \mathbf{0}$$

Separando componentes X y Y, obtenemos un sistema de ecuación no lineal para el posicionamiento del pistón.

$$f_1(\theta_3, S): a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_3 - S \cos \theta_S - e \cos \theta_e = 0$$

$$f_2(\theta_3, S): a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3 - S \sin \theta_S - e \sin \theta_e = 0$$

Donde la variable de entrada es θ_2 , partiendo de allí es que podemos obtener las variables θ_3 y S .

Se sabe que $\theta_e = 0^\circ$ y $\theta_S = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$; entonces las funciones f_1 y f_2 quedan de la siguiente manera:

$$f_1(\theta_3, S): a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_3 - e = 0$$

$$f_2(\theta_3, S): a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3 - S = 0$$

Obtenemos:

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{e - a_2 \cos \theta_2}{a_3} \right)$$

$$S = a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3$$

El ángulo del eslabón θ_3 no varía; debemos de aclarar que el desplazamiento S es el mismo en todo el sistema al cual está conectado el mecanismo O2AB, pese a que existe excentricidad constante que solo influye en las coordenadas de posición respecto al punto de referencia O_2 y que no afecta al desplazamiento determinado.

3.3.1.2 Determinación de la Velocidad.

Derivando las funciones f_1 y f_2 en función del tiempo “t”, obtenemos las ecuaciones generales de velocidad del pistón.

$$\begin{aligned} \dot{f}_1 &= -a_2 w_2 \sin \theta_2 - a_3 w_3 \sin \theta_3 = 0 \\ \dot{f}_2 &= a_2 w_2 \cos \theta_2 + a_3 w_3 \cos \theta_3 - \dot{S} = 0 \end{aligned}$$

Nuestra variable de entrada es w_2 , de allí obtenemos w_3 y \dot{S} .

Utilizando la regla de “Cramer”

$$[J(x)][x] = [b] \text{ donde } \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

Donde $x_1 = \frac{\begin{vmatrix} b_1 & j_{12} \\ b_2 & j_{22} \end{vmatrix}}{|J(x)|}$ y $x_2 = \frac{\begin{vmatrix} j_{11} & b_1 \\ j_{21} & b_2 \end{vmatrix}}{|J(x)|}$; $\begin{vmatrix} b_1 & j_{12} \\ b_2 & j_{22} \end{vmatrix}$ y $|J(x)|$ son las determinantes

respectivas.

Entonces:

$$\begin{bmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_3 \\ \dot{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_2 w_2 \sin \theta_2 \\ a_2 w_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

Hallando w_3 y \dot{S} :

$$\begin{aligned} w_3 &= \frac{\begin{vmatrix} -a_2 w_2 \sin \theta_2 & 0 \\ a_2 w_2 \cos \theta_2 & -1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & -1 \end{vmatrix}} \rightarrow w_3 = \frac{a_2 w_2 \sin \theta_2}{a_3 \sin \theta_3} \\ \dot{S} &= \frac{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & -a_2 w_2 \sin \theta_2 \\ a_3 \cos \theta_3 & a_2 w_2 \cos \theta_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & -1 \end{vmatrix}} \rightarrow \dot{S} = \frac{a_2 w_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{\sin \theta_3} \end{aligned}$$

3.3.1.3 Determinación de la Aceleración.

Para obtener la aceleración de desarrolla una segunda derivada de las funciones f_1 y f_2 .

$$\begin{aligned} \ddot{f}_1 &= -a_2\alpha_2 \sin \theta_2 - a_2w_2^2 \cos \theta_2 - a_3\alpha_3 \sin \theta_3 - a_3w_3^2 \cos \theta_3 = 0 \\ \ddot{f}_2 &= a_2\alpha_2 \cos \theta_2 - a_2w_2^2 \sin \theta_2 + a_3\alpha_3 \cos \theta_3 - a_3w_3^2 \sin \theta_3 - \ddot{S} = 0 \end{aligned}$$

Por la regla de Cramer:

$$\begin{bmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \ddot{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_2\alpha_2 \sin \theta_2 - a_2w_2^2 \cos \theta_2 - a_3w_3^2 \cos \theta_3 \\ a_2\alpha_2 \cos \theta_2 - a_2w_2^2 \sin \theta_2 - a_3w_3^2 \sin \theta_3 \end{bmatrix}$$

Hallando α_3 y \ddot{S} :

$$\alpha_3 = \frac{\begin{vmatrix} -a_2\alpha_2 \sin \theta_2 - a_2w_2^2 \cos \theta_2 - a_3w_3^2 \cos \theta_3 & 0 \\ a_2\alpha_2 \cos \theta_2 - a_2w_2^2 \sin \theta_2 - a_3w_3^2 \sin \theta_3 & -1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & -1 \end{vmatrix}}$$

$$\alpha_3 = \frac{a_2\alpha_2 \sin \theta_2 + a_2w_2^2 \cos \theta_2 + a_3w_3^2 \cos \theta_3}{a_3 \sin \theta_3}$$

Y

$$\ddot{S} = \frac{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & -a_2\alpha_2 \sin \theta_2 - a_2w_2^2 \cos \theta_2 - a_3w_3^2 \cos \theta_3 \\ a_3 \cos \theta_3 & a_2\alpha_2 \cos \theta_2 - a_2w_2^2 \sin \theta_2 - a_3w_3^2 \sin \theta_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & -1 \end{vmatrix}}$$

$$\ddot{S} = \frac{a_2\alpha_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + a_2w_2^2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_3w_3^2}{\sin \theta_3}$$

Reemplazamos nuestros datos iniciales en estas ecuaciones, donde:

- Longitud de la manivela $R_m = a_2 = 20 \text{ mm}$
- Longitud de la biela $L = a_3 = 50 \text{ mm}$

Los resultados se encuentran en el ANEXO A – tabla 1.

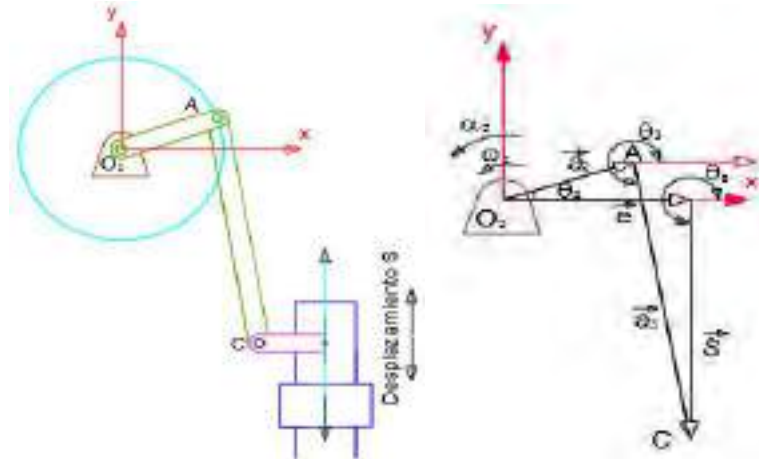
3.3.2 Para el mecanismo O2AC.

3.3.2.1 Determinación de la Posición.

Realizando el mismo análisis en el mecanismo O2AC.

Figura 47

Diagrama Lazo Vectorial Mecanismo O2AB



Donde:

$$\vec{a}_2 + \vec{a}_3 - \vec{S} - \vec{e} = \mathbf{0}$$

Determinando las ecuaciones no lineales, la variable de entrada es θ_2 , partiendo de allí es que podemos obtener las variables θ_3 y S .

$$f_1: a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_3 - S \cos \theta_S - e \cos \theta_e = 0$$

$$f_2: a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3 - S \sin \theta_S - e \sin \theta_e = 0$$

Se sabe que $\theta_e = 0^\circ$ y $\theta_S = \frac{3\pi}{2} = 270^\circ$; entonces las funciones f_1 y f_2 quedan de la siguiente manera:

$$f_1: a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_3 - v = 0$$

$$f_2: a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3 + S = 0$$

Obtenemos:

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{e - a_2 \cos \theta_2}{a_3} \right)$$

$$S = -a_2 \sin \theta_2 - a_3 \sin \theta_3$$

3.3.2.2 Determinación de la Velocidad.

Derivando las funciones f_1 y f_2 en función del tiempo “t”, obtenemos las ecuaciones generales de velocidad del pistón.

$$\begin{aligned}\dot{f}_1 &= -a_2 w_2 \sin \theta_2 - a_3 w_3 \sin \theta_3 = 0 \\ \dot{f}_2 &= a_2 w_2 \cos \theta_2 + a_3 w_3 \cos \theta_3 + \dot{S} = 0\end{aligned}$$

Nuestra variable de entrada es w_2 , de allí obtenemos w_3 y \dot{S} .

Utilizando la regla de “Cramer” se tiene:

$$\begin{bmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_3 \\ \dot{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_2 w_2 \sin \theta_2 \\ a_2 w_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

Hallando w_3 y \dot{S} :

$$\begin{aligned}w_3 &= \frac{\begin{vmatrix} -a_2 w_2 \sin \theta_2 & 0 \\ a_2 w_2 \cos \theta_2 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & 1 \end{vmatrix}} \rightarrow w_3 = \frac{a_2 w_2 \sin \theta_2}{a_3 \sin \theta_3} \\ \dot{S} &= \frac{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & -a_2 w_2 \sin \theta_2 \\ a_3 \cos \theta_3 & a_2 w_2 \cos \theta_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & 1 \end{vmatrix}} \rightarrow \dot{S} = \frac{a_2 w_2 * \sin(\theta_3 - \theta_2)}{\sin \theta_3}\end{aligned}$$

3.3.2.3 Determinación de la Aceleración.

Para obtener la aceleración de desarrolla una segunda derivada de las funciones f_1 y f_2 .

$$\begin{aligned}\ddot{f}_1 &= -a_2 \alpha_2 \sin \theta_2 - a_2 w_2^2 \cos \theta_2 - a_3 \alpha_3 \sin \theta_3 - a_3 w_3^2 \cos \theta_3 = 0 \\ \ddot{f}_2 &= a_2 \alpha_2 \cos \theta_2 - a_2 w_2^2 \sin \theta_2 + a_3 \alpha_3 \cos \theta_3 - a_3 w_3^2 \sin \theta_3 + \ddot{S} = 0\end{aligned}$$

Por la regla de Cramer:

$$\begin{bmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \ddot{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_2 \alpha_2 \sin \theta_2 - a_2 w_2^2 \cos \theta_2 - a_3 w_3^2 \cos \theta_3 \\ a_2 \alpha_2 \cos \theta_2 - a_2 w_2^2 \sin \theta_2 - a_3 w_3^2 \sin \theta_3 \end{bmatrix}$$

Hallando α_3 y \bar{S} :

$$\alpha_3 = \frac{\begin{vmatrix} -a_2\alpha_2 \sin \theta_2 - a_2w_2^2 \cos \theta_2 - a_3w_3^2 \cos \theta_3 & 0 \\ a_2\alpha_2 \cos \theta_2 - a_2w_2^2 \sin \theta_2 - a_3w_3^2 \sin \theta_3 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & 1 \end{vmatrix}}$$

$$\alpha_3 = \frac{a_2\alpha_2 \sin \theta_2 + a_2w_2^2 \cos \theta_2 + a_3w_3^2 \cos \theta_3}{a_3 \sin \theta_3}$$

Y

$$\bar{S} = \frac{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & -a_2\alpha_2 \sin \theta_2 - a_2w_2^2 \cos \theta_2 - a_3w_3^2 \cos \theta_3 \\ a_3 \cos \theta_3 & a_2\alpha_2 \cos \theta_2 - a_2w_2^2 \sin \theta_2 - a_3w_3^2 \sin \theta_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \sin \theta_3 & 0 \\ a_3 \cos \theta_3 & 1 \end{vmatrix}}$$

$$\bar{S} = \frac{a_2\alpha_2 \sin(\theta_3 - \theta_2) - a_2w_2^2 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_3w_3^2}{\sin \theta_3}$$

Reemplazamos nuestros datos iniciales en estas ecuaciones, donde:

- Longitud de la manivela $R_m = a_2 = 20 \text{ mm}$
- Longitud de la biela $L = a_3 = 50 \text{ mm}$

Los resultados se encuentran en el ANEXO A – tabla 2.

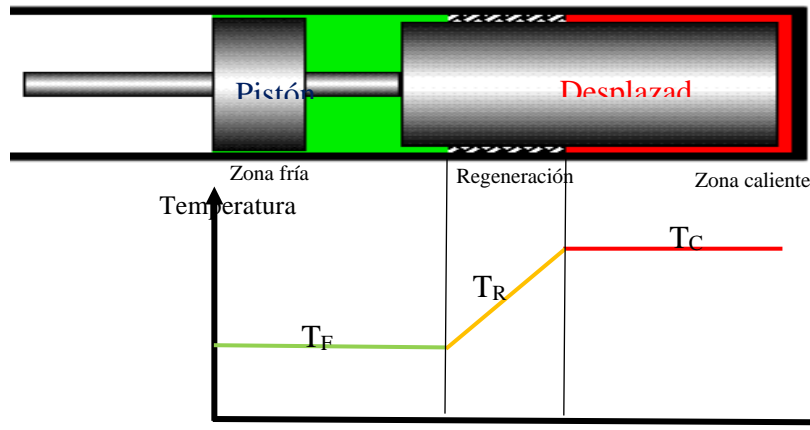
3.4 Diseño termodinámico

3.4.1 Análisis termodinámico del ciclo Stirling

En la Figura 46, se mostrará la distribución de la temperatura del gas en el interior

Figura 48

Distribución de la Temperatura del Gas en el Interior



Como se observa se tiene una temperatura fría (T_F), temperatura del regenerador (T_R), y la temperatura del caliente (T_C). Tomando en cuenta que en el sistema se tiene una masa total m y que cada componente tiene una masa que es constante a lo largo del tiempo y en varios ángulos de manivela, tendremos que:

$$M = m_C + m_R + m_F$$

Al tratar al gas como ideal, la presión P es función de la variación de volumen:

$$P = \frac{MR}{\frac{V_C}{T_C} + \frac{V_R}{T_R} + \frac{V_F}{T_F}}$$

La siguiente ecuación muestra la variación del cilindro de compresión y expansión con el ángulo del cigüeñal θ , donde V_d es el volumen muerto y A es el área de cada cilindro.

$$V_C(\theta) = V_{DC} + x(\theta).A_C$$

$$V_E(\theta) = V_{DE} + x(\theta).A_E$$

3.4.1.1 Volúmenes muertos

Para el siguiente calculo se tendrá a los volúmenes muertos del espacio caliente, del regenerador y el frío serán respectivamente VMC , VMR y VMF , entonces, el volumen muerto total VM es:

$$V_M = V_{MC} + V_{MR} + V_{MF}$$

Al relacionar los volúmenes muertos parciales respecto al volumen muerto total:

$$V_{MC} + V_{MR} + V_{MF} = (k_{MC} + k_{MR} + k_{MF})V_M$$

Donde:

$$k_{MC} = \frac{V_{MC}}{V_M}$$

$$k_{MR} = \frac{V_{MR}}{V_M}$$

$$k_{MF} = \frac{V_{MF}}{V_M}$$

Relacionamos el volumen muerto total y el volumen total mediante la relación:

$$k_{MT} = \frac{V_M}{V_1}$$

El volumen muerto total será:

$$V_M = k_{MT} V_1 = k_{MT} (V_M + V_D + V_P)$$

Donde el volumen de barrido en el desplazador V_D y el volumen de barrido en el pistón V_P expresando en m representan los volúmenes de barrido en el desplazador y en el pistón de potencia respectivamente, en m^3

$$V_M = k_{MDP} (V_D + V_P)$$

Donde:

$$k_{MDP} = \frac{V_M}{V_D + V_P}$$

Al relacionar estas dos últimas expresiones tendremos:

$$k_{MDP} = k_{MT} (1 - k_{MT})$$

3.4.1.2 *Regenerador imperfecto*

Se define como ε , y estará definida por:

$$\varepsilon = \frac{T_{3'} - T_1}{T_3 - T_1}$$

Despejando la temperatura a la salida del regenerador del fluido.

$$T_3 = T_1 + \varepsilon(T_3 - T_1)$$

Considerando que el regenerador es tan eficiente para calentar como para enfriar, podemos considerar que $Q_{2-3'} = Q_{4-1'}$, la temperatura del fluido a la entrada del regenerador estará dada por:

$$T_1 = T_3 - \varepsilon(T_3 - T_1)$$

La temperatura media de trabajo en el espacio muerto del regenerador será determinada como el promedio:

$$T_R = \frac{(T_3 + T_1)}{2}$$

3.4.1.3 *Relación de temperaturas (τ):*

Este parámetro se obtiene al relacionar la temperatura caliente $T_1 = T_2$ y la temperatura fría $T_3 = T_4$

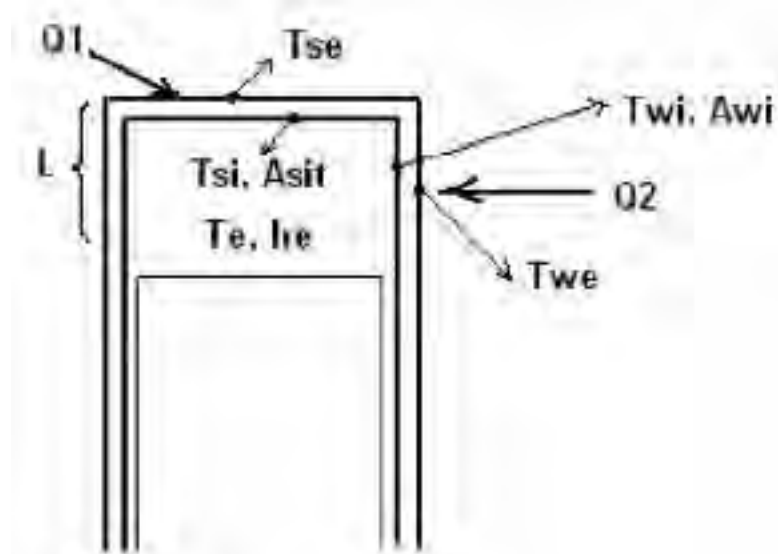
$$\tau = \frac{T_1}{T_3} = \frac{T_2}{T_4} = \frac{T_c}{T_f}$$

Cuando menor sea el valor de τ mayor será la potencia indicada ya que se produce un mayor gradiente de temperatura entre la zona caliente y la zona fría.

3.4.1.4 Análisis Térmico en el Foco Caliente.

Figura 49

Esquema de Cálculo para la Transferencia de Calor en la Zona Caliente



Nota: Esquema de transferencia de calor en la zona caliente, [Ilustración] por Israel Urieli, 2007, Tomada de Ohio (<https://www.ohio.edu/mechanical/stirling/isothermal/energy.html>)

Esquema de cálculo para la transferencia de calor en la zona caliente

Donde:

$Q1$ = Calor que ingresa al del motor por la tapa de la zona caliente.

$Q2$ = Calor que ingresa al del motor por el cilindro de la zona caliente.

T_{se} = Temperatura promedio exterior de la tapa.

T_{si} = Temperatura promedio interior de la tapa.

T_{we} = Temperatura promedio exterior de las paredes del cilindro.

T_{wi} = Temperatura promedio interior de las paredes del cilindro.

A_{sit} = Área interior de la tapa.

A_{wi} = Área interior de las paredes del cilindro en una longitud igual a la carrera.

T_e = Temperatura interior del fluido de trabajo en la zona caliente.

h_e = Coeficiente de convección del fluido de trabajo en la zona caliente.

3.4.1.4.1 Cálculo del Foco Caliente.

Para el foco caliente se debe calcular el calor que ingresa por la tapa y el que ingresa por las paredes:

$$Q_1 = \frac{T_{se} - T_{si}}{R_{m1}} = \frac{T_{si} - T_e}{R_e}$$

$$T_{si} = \frac{T_{se} \cdot R_e + T_e \cdot R_{m1}}{R_{m1} + R_e}$$

$$Q_1 = A_{sit} \cdot h_e (T_{si} - T_e)$$

Para la pared los cálculos son los siguientes:

$$Q_2 = \frac{T_{we} - T_{wi}}{R_{m2}} = \frac{T_{wi} - T_e}{R_C}$$

$$T_{wi} = \frac{T_{we} \cdot R_w + T_e \cdot R_{m2}}{R_{m2} + R_w}$$

$$Q_2 = A_{wi} \cdot h_e (T_{wi} - T_e)$$

El calor total entregado por el foco caliente hacia el fluido de trabajo será:

$$Q_e = Q_1 + Q_2$$

$$Q_e = A_{sit} \cdot h_e (T_{si} - T_e) + A_{wi} \cdot h_e (T_{wi} - T_e)$$

3.4.1.5 Análisis Térmico en el Foco Frío.

El foco frío tendrá diferentes configuraciones dependiendo del método de refrigeración con el cual cuente el motor.

En una configuración sin aletas el calor disipado se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Q_{ff} = \frac{T_{ext} - T_{zona\ fría}}{R_{conv.\ ext} + R_{cond} + R_{cons.\ int}}$$

Si la zona fría esté refrigerada por aletas se debe añadir la resistencia de las aletas a la formula anterior.

$$Q_{ff} = \frac{T_{ext} - T_{zona\ fría}}{R_{conv.\ ext} + R_{cond} + \frac{1}{\frac{1}{R_{base}} + \frac{1}{R_{aleta}}}}$$

3.4.1.6 Ecuación de estado

Considerando que V_C es el volumen del espacio caliente y V_F el volumen del espacio frío, y las temperaturas del fluido de trabajo en el espacio caliente (T_3), del regenerador (T_R) y espacio frío T_1 , la ecuación de estado con los volúmenes muertos V_{MC} , V_{MR} y V_{MF} en el proceso de compresión isotérmica 1 – 2 será:

$$P = \frac{MR}{\frac{V_C}{T_3} + \frac{V_{MC}}{T_3} + \frac{V_{MR}}{T_R} + \frac{V_{MF}}{T_1} + \frac{V_F}{T_1}} = \frac{MR}{\frac{V_C}{T_3} + K + \frac{V_F}{T_1}}$$

Se realizó un reemplazo quedando:

$$K = \frac{V_{MC}}{T_3} + \frac{V_{MR}}{T_R} + \frac{V_{MF}}{T_1}$$

$$K = \left(\frac{k_{MC}}{T_3} + \frac{k_{MR}}{T_3 + T_1} + \frac{k_{MF}}{T_1} \right) V_M$$

3.4.1.7 Proceso de compresión isotérmica

Se comprime el fluido de trabajo desde el lado frío desde $V_{F1} = V_D + V_P$ hasta $V_{F2} = V_D$. el calor que es rechazado en el proceso 1 – 2 de compresión isotérmica es:

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = \int_{V_{F1}}^{V_{F2}} p dV_F = MRT_1 \int_{V_{F1}}^{V_{F2}} \frac{dV_F}{V_F + KT_1} = MRT_1 \ln \left(\frac{V_{F2} + KT_1}{V_{F1} + KT_1} \right) = MRT_1 \ln \left(\frac{V_D + KT_1}{V_D + V_P + KT_1} \right)$$

3.4.1.7.1 Proceso 2-3 de calentamiento isocórico

En el proceso 2-3 para calcular el calor que es suministrado en el proceso de calentamiento usamos la siguiente relación:

$$Q_{2-3} = MC_v(T_3 - T_2) = MC_v(T_3 - T_1)$$

C_v = calor específico a volumen constante en J/kg K

Para el proceso 2-3' el calor liberado del regenerador es,

$$Q_{2-3'} = MC_v(T_3 - T_2) = \varepsilon MC_v(T_3 - T_1)$$

El calor que se suministra durante el proceso por la fuente externa es,

$$Q_{3-3'} = MC_v(T_3 - T_3') = (1 - \varepsilon) MC_v(T_3 - T_1)$$

Por lo que se deduce que el calor suministrado a este proceso solo depende de la eficiencia del regenerador.

3.4.1.7.2 Proceso de Expansión Isotérmica

Para este proceso, tomando el volumen del lado caliente del fluido de trabajo que varía de $V_{C3} = V_D$ a $V_{C4} = V_D + V_P$. tomando en cuenta que el volumen de barrido del espacio frío V_F , es cero en este proceso. El ciclo suministrara un calor en el proceso 3 – 4 de expansión isotérmica:

$$Q_{3-4} = W_{3-4} = \int_{V_{C3}}^{V_{C4}} p dV_C = MRT_3 \int_{V_{C3}}^{V_{C4}} \frac{dV_C}{V_C + KT_{31}} = MRT_3 \ln \left(\frac{V_{C4} + KT_3}{V_{C3} + KT_3} \right) = MRT_3 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_3}{V_D + KT_1} \right)$$

3.4.1.7.3 Proceso de Enfriamiento Isocórico

Para el cálculo del calor rechazado en el proceso de enfriamiento isocórico 4 – 1 está determinado por:

$$Q_{2-3} = MC_V(T_1 - T_4) = -MC_V(T_3 - T_1)$$

Sin tener un regenerador esta cantidad de calor es rechazado hacia el sumidero externo y al contar con un regenerador este absorbe esta cantidad total de calor. Al considerar al regenerador como imperfecto el calor absorbido por este es,

$$Q_{4-1} = MC_V(T_1 - T_2) = -\varepsilon MC_V(T_3 - T_1)$$

Para el calor que es rechazado al sumidero externo durante el proceso 1' – 1 es,

$$Q_{1-1'} = MC_V(T_1 - T_{1'}) = -(1 - \varepsilon) MC_V(T_3 - T_1)$$

3.4.1.8 Calor suministrado y rechazado

3.4.1.8.1 Calor total suministrado

El calor total que se suministra a la fuente en una regeneración imperfecta es:

$$Q_{ENT} = Q_{3-3'} + Q_{3-4}$$

$$Q_{ENT} = MC_v \left[(T_3 - T_2) + (k-1)T_3 \ln \left(\frac{V_{C4} + KT_3}{V_{C1} + KT_3} \right) \right]$$

$$Q_{ENT} = MC_v \left[(1-\varepsilon)(T_3 - T_1) + (k-1)T_3 \ln \left(\frac{V_D + V_F + KT_3}{V_D + KT_3} \right) \right]$$

K =relación de calores específicos

A la entrada del motor el calor dependerá de la eficiencia que tenga regenerador y de los volúmenes muertos.

Si se considera que no se tiene regeneración, una fuente externa suministra una cantidad de calor total de:

$$Q_{ENT} = Q_{2-3} + Q_{3-4}$$

En una regeneración ideal, la fuente suministra un calor total de:

$$Q_{ENT} = Q_{3-4}$$

3.4.1.8.2 Calor total rechazado

En el caso de una regeneración imperfecta, el calor total que es rechazado hacia un sumidero externo es:

$$Q_{SAR} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{SAR} = -MC_v \left[(T_1 - T_2) + (k-1)T_2 \ln \left(\frac{V_{F1} + KT_1}{V_{F2} + KT_1} \right) \right]$$

$$Q_{SAR} = -MC_v \left[(1-\varepsilon)(T_3 - T_1) + (k-1)T_1 \ln \left(\frac{V_D + V_F + KT_1}{V_D + KT_1} \right) \right]$$

El calor rechazado del motor dependerá de la eficiencia del regenerador y de los volúmenes muertos, si se considera sin regeneración, el calor total rechazado al sumidero externo será:

$$Q_{SAL} = Q_{4-1} + Q_{1-2}$$

Con una regeneración ideal, el calor rechazado al sumidero será:

$$Q_{SAL} = Q_{1-2}$$

3.4.1.9 Trabajo y Eficiencia

3.4.1.9.1 Trabajo Neto.

La diferencia entre dos procesos isotérmicos 1-2 y 3-4 será convertido en trabajo mecánico útil. Para el trabajo neto con regeneración imperfecta y volúmenes muertos se puede determinar por:

$$\begin{aligned} W_{neto} &= Q_{ENT} - Q_{SAL} = Q_{3-3'} + Q_{1-1'} + Q_{1-2} = Q_{3-4} + Q_{1-2} \\ &= MR \left[T_3 \ln \left(\frac{V_{C4} + KT_3}{V_{C3} + KT_3} \right) - T_1 \ln \left(\frac{V_{F1} + KT_1}{V_{F2} + KT_1} \right) \right] \end{aligned}$$

Como se mencionó anteriormente $V_{C4} = V_{F1} = V_D + V_P$ y $V_{C3} = V_{F2} = V_D = V_2$, tendremos que

$$W_{neto} = MR \left[T_3 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_3}{V_D + KT_3} \right) - T_1 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_1}{V_D + KT_1} \right) \right]$$

Para el caso donde los volúmenes muertos se consideren cero, entonces el trabajo neto en el ciclo será:

$$W_{neto} = MR(T_3 - T_1) \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right)$$

3.4.1.9.2 Presión media efectiva

Con la relación anterior del trabajo neto del motor, tomado en cuenta la relación de este con la presión media efectiva del ciclo p_M :

$$W_{neto} = p_M V_P$$

Considerando el cambio total del volumen, $V_{C4} - V_{C3} = V_{F1} - V_{F2} = V_1 - V_2 = V_P$,

$$p_M = \left(\frac{MR}{V_F} \right) \left[T_3 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_3}{V_D + KT_3} \right) - T_1 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_1}{V_D + KT_1} \right) \right],$$

3.4.1.9.3 Eficiencia térmica

Podemos determinar la eficiencia térmica del motor Stirling a partir de,

$$E_S = \frac{W_{neto}}{Q_{ENT}} = \frac{Q_{ent} - Q_{sal}}{Q_{ent}}$$

$$E_S = \frac{\left[T_3 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_3}{V_D + KT_3} \right) - T_1 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_1}{V_D + KT_1} \right) \right]}{\left[T_3 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_3}{V_D + KT_3} \right) + \frac{(T_3 - T_1)(1 - \varepsilon)}{k - 1} \right]}$$

Para el caso que el volumen muerto sea igual a cero ($V_M = 0$), K se hace cero y si no hay regeneración ($\varepsilon = 0$), la eficiencia térmica será,

$$E_S = \frac{T_3 - T_1}{\left[T_3 + \frac{T_3 - T_1}{(k - 1) \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)} \right]}$$

Si se considera una regeneración ideal, la eficiencia será ($\varepsilon = 1$), la eficiencia térmica es,

$$E_s = \frac{T_3 - T_1}{T_3}$$

3.4.1.9.4 Eficiencia del regenerador

Para la eficiencia del regenerador consideramos la diferencia de temperaturas de entrada y salida en el proceso de calentamiento y enfriamiento, asumiremos que el regenerador tiene la capacidad de absorber calor igual al de rechazarlo

$$\varepsilon = \frac{T_3 - T_1}{T_3 - T_1} = \frac{T_3 - T_1}{T_3 - T_1}$$

El calor máximo que absorbe el regenerador se usara una eficiencia de regenerador de 100% para asumir que las temperaturas del fluido en la entrada y la salida para cada proceso es igual a la diferencia máxima en todo el ciclo.

$$Q_{1-4'} = -\varepsilon MC_V (T_3 - T_1) = -1MC_V (T_3 - T_1)$$

Para el calor Absorbido la relación que usaremos es:

$$Q_{ABS} = \frac{1}{\tau} \int_0^L hA_L (T - T_1) dx dt$$

τ = Periodo o frecuencia de operación de motor

El flujo de calor del sistema

$$Q' = hA(T_3 - T_1)$$

La eficiencia termodinámica del regenerador podemos calcularla con:

$$\varepsilon = \frac{Q_{4-1'}}{Q_{teorico}} = \frac{Q_{ideal}}{Q_{teorico}}$$

3.4.1 *Calculo Termodinámico*

Con las relaciones y formulas indicadas en la teoría del cálculo del regenerador se procede a realizar el cálculo del comportamiento del regenerador en el motor Stirling experimental, para lo cual debemos considerar los datos de diseño inicial del motor.

El aire presenta sus propiedades físicas como fluido de trabajo se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Propiedades del Aire

P	T	P	μ	Cp	Cv	K
MPa	K	kg/m ³	kg/s.m	J/kg*K	J/kg*K	W/m.K
0.74	700	2.639	4.18x10 ⁻⁵	1135	1136.516	6.71x10 ⁻²

Para el valor de un flujo másico de trabajo, se procede a calcular la velocidad del fluido μ :

$$M' = 7.84 \times 10^{-3} \text{ kg / s}$$

$$M' = \rho \cdot A_{ff} \cdot \mu$$

$$\mu = 3.26 \text{ m / s}$$

Obtenemos el radio hidráulico del medio poroso:

$$r_h = \frac{d_w \cdot \phi_v}{4(1 - \phi_v)} \text{ (m)}$$

Siendo el diámetro de la lana de acero de $d_w = 0.2 \times 10^{-3}$ (m) y el índice de porosidad obtenido de tablas $\phi_v = 0.685$

$$r_h = \frac{0.2 \times 10^{-3} \times 0.685}{4(1 - 0.685)} = 0.0001087 \text{ m} = 0.1087 \times 10^{-3}$$

Calculamos el área de flujo del regenerador:

$$A_{ff} = (0.031^2)\pi = 0.003019 m^2$$

Con el radio hidráulico podemos determinar el número de Reynolds Re al que está sometido el fluido de trabajo:

$$Re = \frac{4M'.r_h}{A_{ff}\mu} = \frac{4 \times 7.84 \times 10^{-3} \times 0.1087 \times 10^{-3}}{0.003019 \times 4.18 \times 10^{-5}} = 27.02$$

Los valores obtenidos del cálculo del número Reynolds (Re) indica que el flujo tiene un comportamiento laminar al ser este menor que 2000, siendo apropiado para el motor, favoreciendo al ciclo debido que el fluido es ordenado y suave, disminuyendo las pérdidas de energía por fricción y mejorando la eficiencia.

3.4.1.1 Cálculo de flujo de calor del fluido al regenerador.

Para el siguiente cálculo se determina el número de Peclet en la siguiente secuencia:

3.4.1.1.1 Número de Prandtl (Pr)

Es un parámetro a considerarse es el que involucra la difusividad de momento con respecto a la difusividad térmica del fluido, se calcula mediante la siguiente relación:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{1135 \times 4.18 \times 10^{-5}}{6.71 \times 10^{-2}} = 0.707$$

El número de Prandtl se considera una propiedad del fluido y el rango para los gases va desde $0.2 < Pr < 1$, con lo cual vemos que el valor obtenido se encuentra en el rango.

3.4.1.1.2 Número de Peclet, (Pe)

Se define como:

$$Pe = Re \times Pr$$

$$Pe = 27.02 \times 0.707 = 19.10$$

Este valor representa la relación entre la energía térmica transportada al líquido (cambio de entalpía del líquido) y la energía térmica transferida por conducción dentro del líquido. Para los regeneradores, un número de Peclet bajo significa que la transferencia de calor está dominada por la difusión molecular a lo largo del campo de flujo, y un Pe alto significa que la transferencia de calor está dominada por efectos convectivos significativos, lo que indica que se debe a la convección.

3.4.1.1.3 Número de Nusselt (Un)

Es una representación adimensional de h , que relaciona los efectos de la transferencia de calor por convección, con la de por conducción pura en el fluido

$$Nu = (1 + 0.99Pe^{0.66})\phi_v^{1.79}$$

$$Nu = (1 + 0.99 \times 19.10^{0.66})0.69^{1.79} = 4.03$$

Al calcular el número de Nusselt se calcula el coeficiente de convección h mediante la ecuación

$$h = \frac{kNu}{L_{reg}} = \frac{6.71 \times 10^{-2} \times 4.03}{0.156} = 1.73 \frac{W}{m^2k}$$

Determinamos el flujo de calor teórico transferido del fluido a la malla con:

$$Q' = -hA_{wg}(T_3 - T_1) = -1.73 \times 0.033(772 - 323) = -25.56 \text{ Watts}$$

Este valor es negativo puesto que se extrae calor del fluido de trabajo.

Obtenemos el calor retenido teórico dividiendo el flujo de calor con la velocidad de operación del motor.

$$Q_{teorico} = \frac{Q'}{\omega} = \frac{-25.56}{26.59} = -0.9612J$$

3.4.1.1.4 Cálculo termodinámico ideal de calor

Calculamos el volumen muerto total del regenerador con la siguiente relación:

$$V_{MR} = A_{ff} \cdot L_{reg} \cdot \phi_v = 0.003019 \times 0.156 \times 0.685 = 0.3226 \times 10^{-3}$$

Con el valor calculado del volumen muerto de compresión y de expansión podemos calcular el volumen muerto total:

$$\begin{aligned} V_M &= V_{MC} + V_{ME} + V_{MR} \\ V_M &= 0.021 \times 10^{-3} + 0.031 \times 10^{-3} + 0.322 \times 10^{-3} = 0.374 \times 10^{-3} m^3 \end{aligned}$$

Calculamos las relaciones de los volúmenes muertos:

$$\begin{aligned} k_{MC} &= \frac{0.0213 \times 10^{-3}}{0.374 \times 10^{-3}} = 0.056 \\ k_{MF} &= \frac{0.0311 \times 10^{-3}}{0.374 \times 10^{-3}} = 0.083 \\ k_{MR} &= \frac{0.322 \times 10^{-3}}{0.374 \times 10^{-3}} = 0.861 \end{aligned}$$

La temperatura efectiva del regenerador se obtiene como el promedio de las temperaturas de frío y caliente:

$$T_R = \frac{(772 + 323)}{2} = 547.5$$

Se procede a calcular el factor K

$$K = \left(\frac{k_{MC}}{T_3} + \frac{k_{MR}}{T_R} + \frac{k_{MF}}{T_1} \right) V_M$$

$$K = \left(\frac{0.056}{772} + \frac{0.861}{547.5} + \frac{0.083}{323} \right) \times 0.374 \times 10^{-3} = 0.713 \times 10^{-6}$$

Calculamos el producto del factor K con las temperaturas de la zona caliente y fría

$$KT_1 = (0.713 \times 10^{-6}) 323 = 0.23 \times 10^{-3}$$

$$KT_3 = (0.713 \times 10^{-6}) 772 = 0.55 \times 10^{-3}$$

Con los datos obtenidos calculamos la ecuación de la masa total en el motor Stirling (m), tomando en cuenta la constante específica del gas R toma el valor de 287J/kg*K,

$$M = \frac{p}{R} \left(\frac{V_C}{T_3} + K + \frac{V_F}{T_1} \right) = \frac{0.4758 \times 10^6}{287} \left(\frac{3.1113 \times 10^{-4}}{772} + 0.713 \times 10^{-6} + \frac{3.0649 \times 10^{-4}}{323} \right)$$

$$= 0.0034 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

Con los datos obtenidos calculamos el calor retenido en el regenerador ideal:

$$Q_{IDEAL} = -MC_V(T_3 - T_1) = -(0.0034 \times 10^{-3})(1136.516)(772 - 323)$$

$$Q_{IDEAL} = -0.175859 \text{ J}$$

3.4.1.1.5 Caída de presión en el regenerador.

Se calcula el factor de fricción f_d en el ducto y en el medio poroso, usando el número de Re

$$f_d = \frac{16}{\text{Re}}$$

$$f_d = \frac{16}{27.02} = 0.59$$

Obtenemos la caída de presión en el ducto ΔP_d , mediante:

$$\Delta p_d = f_d \frac{4L_{reg}}{D_{hd}} \left(\frac{1}{2} \rho \mu^2 \right)$$

Donde D_h es el diámetro hidráulico del ducto del regenerador, en este caso por ser un ducto circular equivale al diámetro del ducto es decir 0.061 m; ρ es la densidad del fluido en condiciones del motor, μ velocidad del fluido en el regenerador:

$$\Delta p_d = 0.59 \times \frac{4(0.156)}{0.061} \left(\frac{1}{2} (2.639)(0.98)^2 \right) = 7.7397 \text{ kgf} / \text{m}^2 = 0.0759 \text{ KPa}$$

Calculamos el coeficiente de fricción según GEDEON y WOOD

$$f = 0.5274 + \frac{68.556}{\text{Re}} = 0.5274 + \frac{68.556}{5.49} = 13.02$$

Calculamos el número de resistores del regenerador

$$n = \frac{L_{reg}}{2d_w} = \frac{0.15}{2(0.2 \times 10^{-3})} = 390$$

Calculamos la caída de presión en el regenerador:

$$\Delta p = \frac{1}{2} f \cdot n \cdot \rho \cdot \mu^2 = \frac{1}{2} \times 13.02 \times 390 \times 2.639 \times 0.984^2 = 1527.14 \text{ kgf} / \text{m}^2 = 14.981 \text{ KPa}$$

Sumando la caída de presión en ambas partes se obtiene la caída de presión total del regenerador

ΔP_T ,

$$\Delta p_T = \Delta p_d + \Delta p = 0.0759 \text{ KPa} + 14.981 \text{ KPa} = 15.057 \text{ KPa}$$

3.4.1.1.6 Eficiencia en el regenerador del motor Stirling.

Determinamos la eficiencia térmica del regenerador del motor Stirling en las condiciones de trabajo:

$$\varepsilon = \frac{Q_{IDEAL}}{Q_{TEORICO}} = \frac{-0.17585}{-0.9612} = 0.1829$$

$$\varepsilon(\%) = 18.29\%$$

Mediante la eficiencia térmica del regenerador calculamos la cantidad de calor que se tiene en cada parte del ciclo termodinámico. Iniciamos con la compresión isotérmica:

$$Q_{1-2} = MRT_1 \ln \left(\frac{V_D + KT_1}{V_D + V_P + KT_1} \right) = 0.003525 \times 287.08 \times 323 \times \ln \left(\frac{3.1113 \times 10^{-4} + 0.055 \times 10^{-2}}{3.1113 \times 10^{-4} + 3.0649 \times 10^{-4} + 0.055 \times 10^{-2}} \right) = -143.35 J$$

Para el proceso de 2-3' el regenerador cede calor al fluido de trabajo para ayudar al suministro de calor que lleva a cabo la fuente:

$$Q_{2-3'} = \varepsilon MC_V (T_3 - T_1) = 0.034(0.0035)(1136.52)(772 - 323) = 6.041 J$$

Para el proceso 3'-3, de la ecuación, la fuente termina suministra calor necesario para mantener la tensión térmica en el motor.

$$Q_{3-3'} = (1 - \varepsilon) MC_V (T_3 - T_1) = (1 - 0.034)(0.0035)(1136.52)(772 - 323) = 1752.54 J$$

Determinamos en el proceso de calentamiento la cantidad de calor que se suministra:

$$Q_{3-4} = MRT_3 \ln \left(\frac{V_D + V_P + KT_3}{V_D + KT_3} \right) = 0.0035 \times 284.08 \times 772 \times \ln \left(\frac{3.1113 \times 10^{-4} + 3.0649 \times 10^{-4} + 0.055 \times 10^{-2}}{3.1113 \times 10^{-4} + 11.08 \times 10^{-2}} \right) = 232.47 J$$

Para el siguiente proceso donde el regenerador imperfecto absorbe calor del fluido de trabajo:

$$Q_{4-1'} = -\varepsilon MC_V (T_3 - T_1) = 0.034(0.0035)(1136.52)(772 - 323) = -6.04 J$$

Se procede a calcular el calor excedente del sistema con el fin de garantizar la tensión térmica en el sistema:

$$Q_{1'-1} = -(1 - \varepsilon) MC_V (T_3 - T_1) = (1 - 0.03)(0.0035)(1136.52)(772 - 323) = -1752.55 J$$

3.4.1.1.7 Desempeño del motor Stirling.

Se procede a calcular las cantidades totales de calor suministrado y rechazado que tiene el motor.

$$Q_{ENT} = Q_{3-3'} + Q_{3-4'} = 1752.54J + 232.46J = 1985.01J$$

Se procede a calcular el calor total rechazado por el motor en el sumidero:

$$Q_{SAL} = Q_{1-1'} + Q_{1-2} = -124512.58J + -152.26J = -1895.90J$$

3.4.1.1.8 Eficiencia térmica teórica del motor Stirling

Viene dado por:

$$E_S = \frac{W_{neto}}{Q_{ENT}} = \frac{Q_{ent} - Q_{sal}}{Q_{ent}} = \frac{1985.01 - 1895.9}{1985.01}$$

$$E_S = 0.0448 = 4.48\%$$

La potencia indicada que necesita nuestro motor Stirling para que tenga una velocidad nominal de 254 RPM esta dado por:

$$P_{ing} = W_{neto} * w$$

$$P_{ing} = 89.11 \frac{J}{rev} * 254 \frac{rev}{60 seg}$$

$$P_{ing} = 377.23 Watts$$

3.5 Análisis de la Fuerzas.

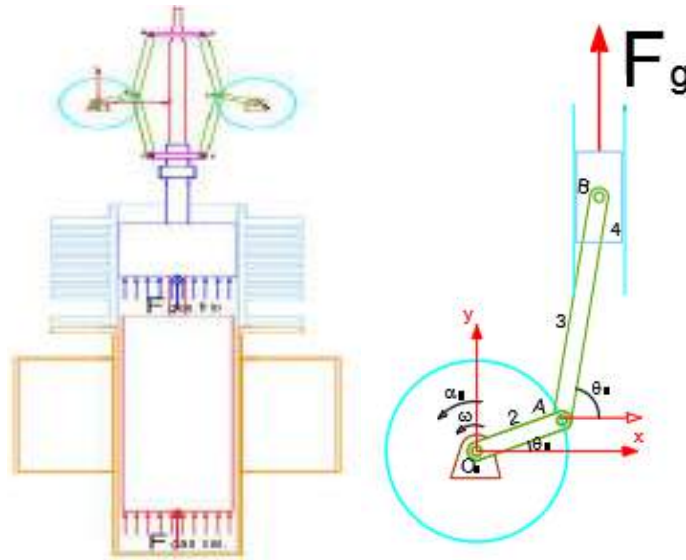
3.5.1 Fuerzas que Ejerce el Fluido de Trabajo.

3.5.1.1 Fuerzas del Gas y Pares de Torsión para el mecanismo O2AB

Primero se analizará el mecanismo O2AB para obtener el par torsión de salida generada por el fluido de trabajo interior.

Figura 50

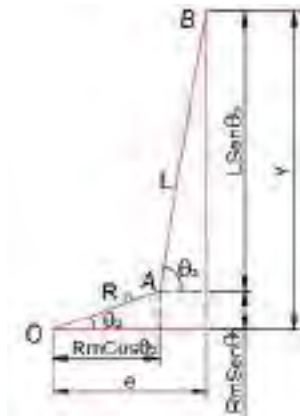
Fuerza del Gas Sobre Mecanismo O2AB



En seguida se desarrollará un método de solución alternativo con el cual se determinará la posición, velocidad y aceleración del mecanismo sometido a un fluido de trabajo.

Figura 51

Representación Geométrica Alternativa para Determinar Posición, Velocidad y Aceleración



Del análisis geométrico se tiene que:

$$Y = Rm * \text{sen}\theta_2 + L * \text{sen}\theta_3$$

Despejando $\text{sen}\theta_3$ queda.

$$\text{sen}\theta_3 = \frac{Y - Rm * \text{sen}\theta_2}{L}$$

Y:

$$e = L * \text{cos}\theta_3 + Rm * \text{cos}\theta_2$$

Despejando $\text{cos}\theta_3$:

$$\text{cos}\theta_3 = \frac{e - Rm * \text{cos}\theta_2}{L}$$

Despejando θ_3 :

$$\theta_3 = \text{cos}^{-1}\left(\frac{e - Rm * \text{cos}\theta_2}{L}\right)$$

Reemplazando θ_3 en Y:

$$Y = Rm * \text{sen}\theta_2 + L * \text{sen}\left(\text{cos}^{-1}\left(\frac{e - Rm * \text{cos}\theta_2}{L}\right)\right)$$

Derivando una y dos veces podremos obtener las velocidades y la aceleración del mecanismo.

La Fuerza del gas en el cilindro está dado por:

$$F_{gas} = -P_g * A_p \hat{i}$$

Donde el área del pistón $A_p = \frac{\pi}{4} * B^2$, por lo tanto, la fuerza del gas resulta:

$$F_g = -\frac{\pi}{4} * P_g * B^2 \hat{j}$$

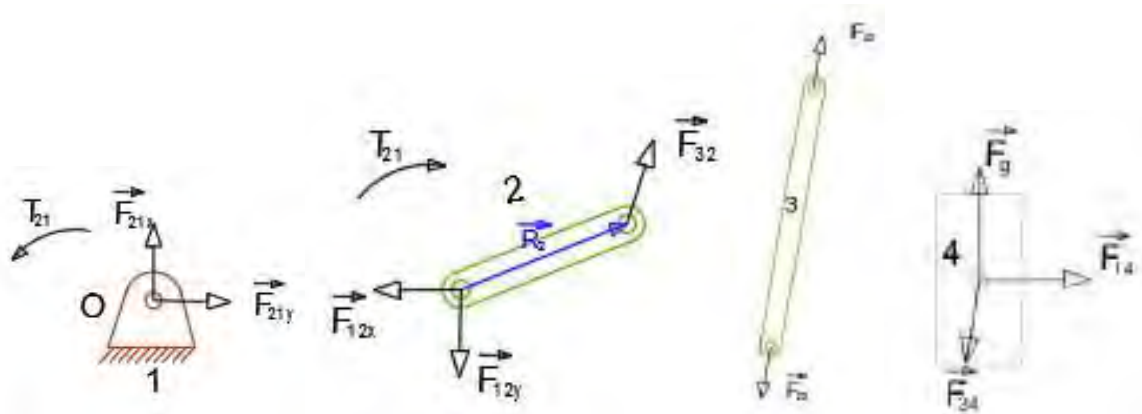
Analizando el mecanismo la fuerza del gas que llegará a nuestro mecanismo solo será la mitad.

$$F_{gas} = 2 * F_g$$

F_g Se presenta en el DCL del mecanismo obteniendo el siguiente análisis.

Figura 52

Diagrama de Cuerpo Libre de Fuerzas del Fluido Interior Sobre el Mecanismo OAB



$$F_g = F_{g34} * \text{sen}\theta_3$$

$$F_{g34} * \text{cos}\theta_3 = F_{g14}$$

$$F_{g34} = -F_{g43}$$

$$F_{g43} = -F_{g23}$$

$$F_{g23} = -F_{g32}$$

Entonces $F_{g34} = -F_{g32}$; reemplazando en F_g .

$$F_g = F_{g34} * \text{sen}\theta_3$$

$$F_g = -F_{g32} * \text{sen}\theta_3$$

$$F_{g32} = -\frac{F_g}{\text{sen}\theta_3}$$

Determinando el torque par de torsión del gas:

$$\overrightarrow{T_{g21}} = \overrightarrow{R_m} * \overrightarrow{F_{g32}}$$

$$\overrightarrow{T_{g21}} = Rm \cos\theta_2 * F_{g32} \text{sen}\theta_3 \hat{k} - Rm \text{sen}\theta_2 * F_{g32} \cos\theta_3 \hat{k}$$

Entonces tenemos que el par de torsión resulta como sigue.

$$T_{g21} = Rm \cos\theta_2 * F_{g32} \frac{Y - Rm * \text{sen}\theta_2}{L} - Rm \text{sen}\theta_2 * F_{g32} \frac{e - Rm * \cos\theta_2}{L}$$

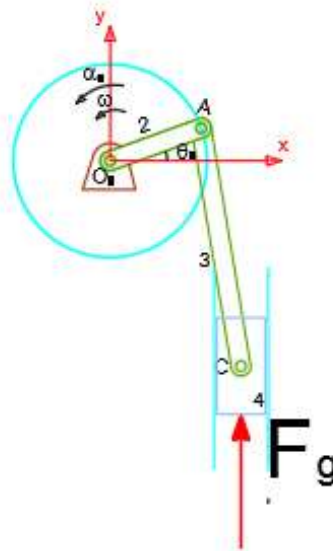
$$T_{g21} = \frac{Rm * F_{g32} * (y * \cos\theta_2 - e * \text{sen}\theta_2)}{L}$$

3.5.1.2 Fuerzas del Gas y Pares de Torsión para el mecanismo O2AC

Del mismo modo se realiza el análisis de la fuerza del gas para el mecanismo O2AC.

Figura 53

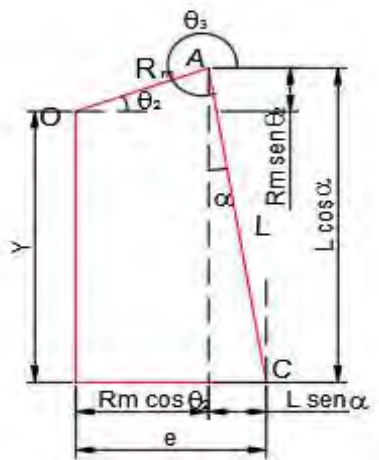
Fuerza del Gas Sobre Mecanismo OAC



En seguida se desarrollará un método de solución alternativo con el cual se determinará la posición, velocidad y aceleración del mecanismo sometido a un fluido de trabajo.

Figura 54

Representación Geométrica Alternativa Para Determinar Posición, Velocidad y Aceleración



Del análisis geométrico se tiene que:

$$\alpha = \theta_3 - 270$$

$$Y = L * \cos\alpha - Rm * \text{sen}\theta_2$$

Despejando $\text{sen}\theta_3$ queda.

$$\cos\alpha = \frac{Y + Rm * \text{sen}\theta_2}{L}$$

Y:

$$e = L * \text{sen}\alpha + Rm * \cos\theta_2$$

Despejando $\text{sen}\alpha$:

$$\text{sen}\alpha = \frac{e - Rm * \cos\theta_2}{L}$$

Despejando α :

$$\alpha = \text{sen}^{-1}\left(\frac{e - Rm * \cos\theta_2}{L}\right)$$

Reemplazando α en Y:

$$Y = L * \cos\left(\text{sen}^{-1}\left(\frac{e - Rm * \cos\theta_2}{L}\right)\right) - Rm * \text{sen}\theta_2$$

Derivando una y dos veces podremos obtener las velocidades y la aceleración del mecanismo.

La Fuerza del gas en el cilindro está dado por $F_{gas} = -P_g * A_p \hat{i}$;

donde el área del pistón $A_p = \frac{\pi}{4} * B^2$, por lo tanto, la Fuerza del gas resulta:

$$F_g = -\frac{\pi}{4} * P_g * B^2 \hat{j}$$

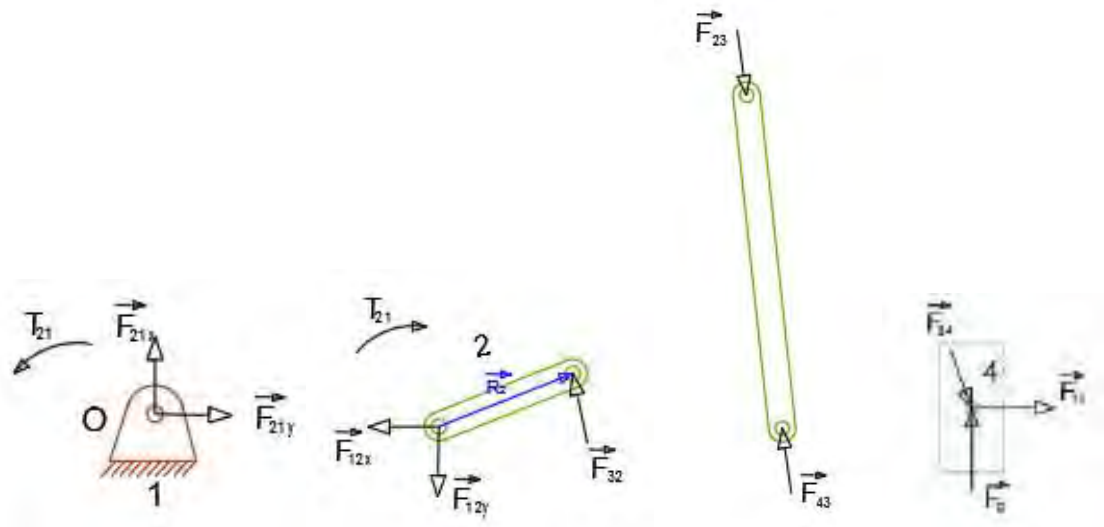
Analizando el mecanismo, la fuerza del gas que llegará a nuestro mecanismo solo será la mitad.

$$F_{gas} = 2 * F_g$$

F_g Se presenta en el DCL del mecanismo obteniendo el siguiente análisis.

Figura 55

Diagrama de Cuerpo Libre de Fuerzas del Fluido Interior Sobre el Mecanismo OAC



$$F_g = F_{g34} * \cos\alpha$$

$$F_{g34} * \text{sen}\alpha = F_{g14}$$

$$F_{g34} = -F_{g43}$$

$$F_{g43} = -F_{g23}$$

$$F_{g23} = -F_{g32}$$

Entonces $F_{g34} = -F_{g32}$; reemplazando en F_g .

$$F_g = F_{g34} * \cos\alpha$$

$$F_g = -F_{g32} * \cos\alpha$$

$$F_{g32} = -\frac{F_g}{\cos\alpha}$$

Determinando el torque par de torsión del gas:

$$\overrightarrow{T_{g21}} = \overrightarrow{R_m} * \overrightarrow{F_{g32}}$$

$$\overrightarrow{T_{g21}} = R_m \cos\theta_2 * F_{g32} \cos\alpha \hat{k} + R_m \text{sen}\theta_2 * F_{g32} \text{sen}\alpha \hat{k}$$

Entonces tenemos que el par de torsión resulta como sigue.

$$T_{g21} = Rm \cos\theta_2 F_{g32} \frac{Y + Rm * \text{sen}\theta_2}{L} + Rm \text{sen}\theta_2 F_{g32} \frac{e - Rm * \text{cos}\theta_2}{L}$$

$$T_{g21} = \frac{Rm * F_{g32} * (y * \text{cos}\theta_2 + e * \text{sen}\theta_2)}{L}$$

La siguiente Tabla 5 muestra un resumen del análisis térmico en base a la teoría desarrollada anteriormente.

Tabla 5

Resultados del Diseño del Motor Stirling Rómbico

Variable	Relación	Resultado
X_{pa} : Longitud efectiva del volumen comprimido del pistón.	$X_{pa} = \frac{X_{pmax} - X_{pmin}}{2} - \frac{L_p}{2}$	$X_{pa} = 4.2525$
X_{da} : Longitud efectiva del volumen recorrido del desplazador.	$X_{da} = \frac{X_{dmax} - X_{dmin}}{2} - \frac{L_d}{2}$	$X_{da} = -54.2475$
A_p : Área de la sección del pistón en zona de compresión.	$A_p = \frac{\pi}{4} D_p^2$	$A_p = 30.1907$
A_d : Área de la sección del desplazador en zona de compresión.	$A_d = \frac{\pi}{4} D_d^2$	$A_d = 28.2743$
A_e : Área de la sección del desplazador en la zona de expansión.	$A_e = \frac{\pi}{4} D_d^2$	$A_e = 28.2743$
V_{da} : Amplitud del volumen del espacio de expansión debido al desplazador.	$V_{da} = A_d * X_{da}$	$V_{da} = -153.2468$
V_{ea} : Amplitud del volumen del espacio de expansión	$V_{ea} = -A_e * X_{da}$	$V_{ea} = 153.2468$
V_{pa} : Amplitud del volumen del espacio de compresión debido al pistón	$V_{pa} = -A_p * X_{pa}$	$V_{pa} = 12.8401$
V_{clc} : Volumen muerto en la zona de compresión	$V_{clc} = A_p * L_{clc}$	$V_{clc} = 21.1334$
V_{cle} : Volumen muerto en la zona de expansión	$V_{cle} = A_p * L_{cle}$	$V_{cle} = 31.1017$
V_d : Volumen del desplazador	$V_d = A_p * L_{cl}$	$V_d = 452.3893$
V_r : Volumen del regenerador	$V_r = L_d * \frac{\pi}{4} (D_c^2 - D_d^2)$	$V_r = 30.6619$
δ : Angulo Rho	$\delta = \arctan\left(\frac{V_{da} * \text{sen}\phi}{V_{da} * \text{cos}\phi - V_{pa}}\right)$	$\delta = 1.3485$
α : Angulo alfa	$\alpha = \pi + \phi - \delta$	$\alpha = 5.9204$

V_{swc} : Volumen de barrido en la zona de compresión.	$V_{swc} = 2 * V_{ca}$	$V_{swc} = 311.1297$
V_{swe} : Volumen de barrido en la zona de expansión	$V_{swe} = 2 * V_{ea}$	$V_{swe} = -306.4937$
V_{ca} : Volumen en la zona de compresión	$V_{ca} = \sqrt{V_{pa}^2 - 2 * V_{pa} * V_{da} * \cos \emptyset + V_{da}^2}$	$V_{ca} = 155.5648$
V_c : Volumen de compresión	$V_c = V_{c1c} + \frac{V_{swc}(1 + \cos(\theta + \delta))}{2}$	$V_c \rightarrow \text{Tabla}$
V_e : Volumen de expansión	$V_e = V_{c1e} + \frac{V_{swe}(1 + \cos(\theta + \delta + \alpha))}{2}$	$V_e \rightarrow \text{Tabla}$
V_{max} : Volumen total máximo	$V = V_c + V_e + V_r$	$V_{max} \rightarrow \text{Tabla}$
m_g : masa del gas	$m_g = \frac{P_{atm} * V_{max}}{R * T_{min}}$	$m_g = 0.0247 \text{ mol}$
P_g : Presión del gas	$P_g = \frac{m * R}{V_c + \frac{V_r * \ln(\frac{T_h}{T_k})}{(T_h - T_k)} + \frac{V_e}{T_h}}$	$P_g \rightarrow \text{Tabla}$
s : Parámetro S (Schmidt)	$s = \frac{V_{swc}}{2 * T_k} + \frac{V_{c1c}}{T_k} + \frac{V_r * \ln(\frac{T_h}{T_k})}{(T_h - T_k)} + \frac{V_{swe}}{T_h} + \frac{V_e}{T_h}$	$s = 0.3497$
c : Parametro c (Schmidt)	$c = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{V_{swc}}{T_k}\right)^2 - 2\left(\frac{V_{swc}}{T_k} \text{sen} \delta\right)\left(\frac{V_{swe}}{T_h}\right) + \left(\frac{V_e}{T_h}\right)^2}$	$c = 0.5997$
b : Parametro b (Schmidt)	$b = \frac{c}{s}$	$b = 1.7148$
P_{min} : Presión mínima (Schmidt)	$P_{min} = \frac{m * R}{s(1 + b)}$	$P_{min} = 0.2441$
P_{max} : Presión máxima (Schmidt)	$P_{max} = \frac{m * R}{s(1 - b)}$	$P_{max} = 0.9272$
P_m : Presion media (Schmidt)	$P_m = \frac{m * R}{s\sqrt{1 - b^2}}$	$P_m = 0.4758$
W_e : Trabajo de expansión	$W_e = \frac{\pi * V_{swe} * P_m * \text{sen}(\beta - \delta - \alpha)(\sqrt{1 - b^2} - 1)}{b}$	$W_e = -122.9 \text{ J}$
W_c : Trabajo de compresión	$W_c = \frac{\pi * V_{swc} * P_m * \text{sen}(\beta - \delta)(\sqrt{1 - b^2} - 1)}{b}$	$W_c = 145.96 \text{ J}$
W : Trabajo neto	$W = W_e + W_c$	$W = 23.06 \text{ J}$
F_g : Fuerza del gas	$F_g = \frac{\pi * D d^2 * m * R}{4 * P_g}$	$F_g \rightarrow \text{Tabla}$
$F_{g32(AB)}$: Fuerza del gas en la biela del mecanismo O2AB	$F_{g32(AB)} = -\frac{F_g}{\text{sen} \theta_3}$	$F_{g32(AB)} \rightarrow \text{Tabla}$
$F_{g32(O2AC)}$: Fuerza del gas en la biela del mecanismo O2AC	$F_{g32(O2AC)} = -\frac{F_g}{\text{sen}(-\theta_3)}$	$F_{g32(O2AC)} \rightarrow \text{Tabla}$
T_{g12} : Par de torsión del gas mecanismo O2AB.	$T_{g12} = -(R_m \cos \theta_2 (F_{g32B} \text{sen} \theta_3 + F_{g32C} \text{sen}(-\theta_3)) + R_m \text{sen} \theta_2 (F_{g32C} \cos(-\theta_3) - F_{g32B} \cos \theta_3))$	$T_{g12} \rightarrow \text{Tabla}$

Los resultados se muestran en el ANEXO A – Tabla 3.

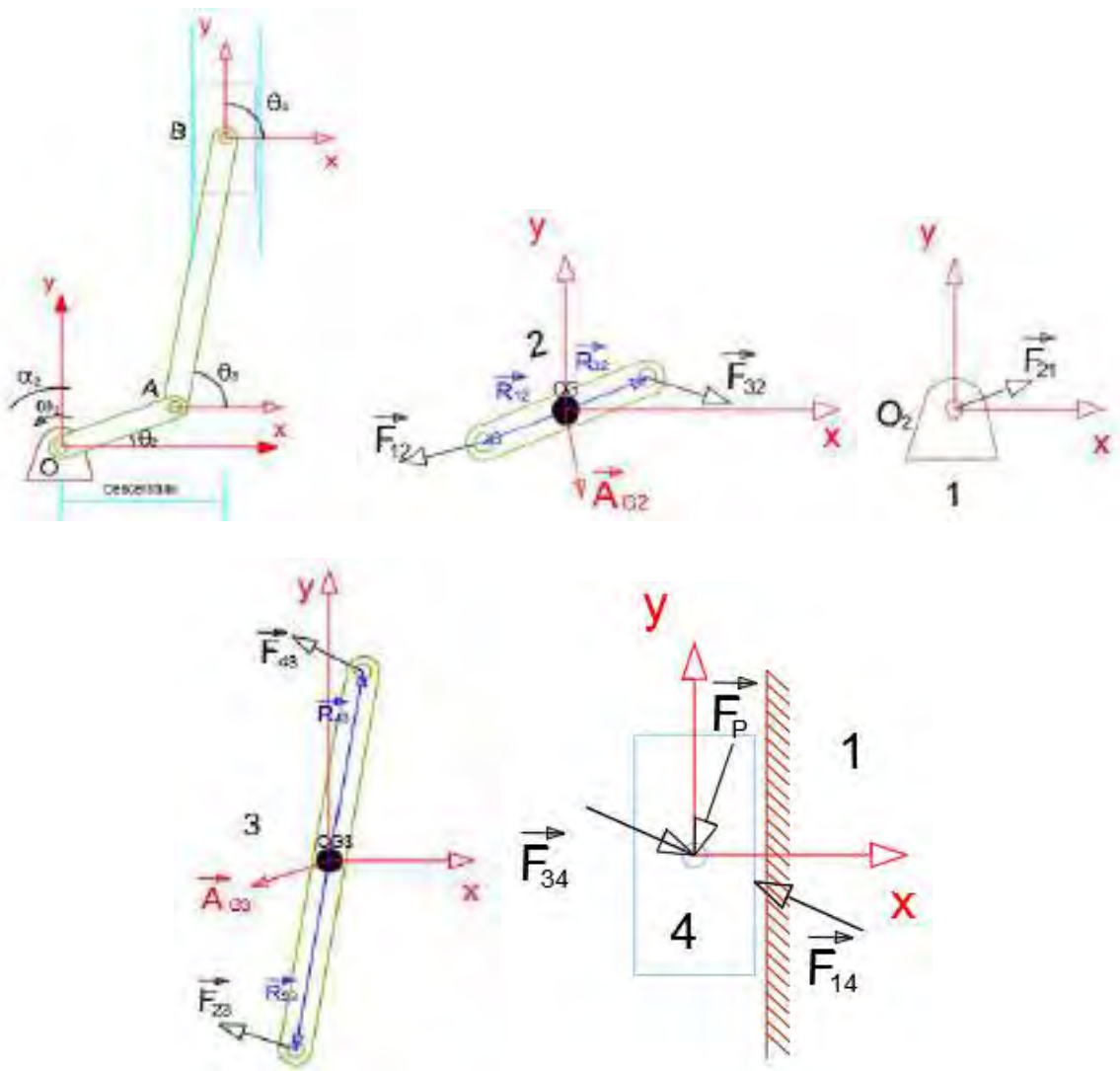
3.5.2 Fuerzas dinámicas.

En esta situación la corredera no presenta aceleración angular, necesitamos determinar las fuerzas y el par de torsión motriz para que genere las aceleraciones específicas, el análisis cinemático realizado anteriormente nos facilitara la información sobre la posición, velocidad y aceleración del mecanismo.

Se toma como referencia al mecanismo OAB.

Figura 56

Diagrama de Cuerpo Libre de Fuerzas del Mecanismo



Determinando los componentes X y Y del vector de posición.

$$R_{12_x} = R_{12} * \cos (180 + \theta_2)$$

$$R_{12_y} = R_{12} * \text{sen} (180 + \theta_2)$$

$$R_{32_x} = R_{32} * \cos\theta_2$$

$$R_{32_y} = R_{32} * \text{sen}\theta_2$$

$$R_{23_x} = R_{23} * \cos (180 + \theta_3)$$

$$R_{23_y} = R_{23} * \text{sen} (180 + \theta_3)$$

$$R_{43_x} = R_{43} * \cos\theta_3$$

$$R_{43_y} = R_{43} * \text{sen}\theta_3$$

Determinando las componentes X y Y de la aceleración, se sabe que $a_{G4_x} = 0$

$$a_{G2_x} = a_{G2} * \cos\theta_{AG2}$$

$$a_{G2_y} = a_{G2} * \text{sen}\theta_{AG2}$$

$$a_{G3_x} = a_{G3} * \cos\theta_{AG3}$$

$$a_{G3_y} = a_{G3} * \text{sen}\theta_{AG2}$$

$$a_{G4_y} = a_{G4} * \text{sen}\theta_{AG4}$$

Sabemos que los escalares de ambas fuerzas son las mismas:

$$\|\vec{F}_{12}\| = \|\vec{-F}_{12}\| ; \|\vec{F}_{23}\| = \|\vec{-F}_{32}\| ; \|\vec{F}_{34}\| = \|\vec{-F}_{43}\| ; \|\vec{F}_{14}\| = \|\vec{-F}_{34}\|.$$

Entonces para el eslabón 2.

$$F_{12_x} + F_{32_x} = m_2 a_{G2_x}$$

$$F_{12_y} + F_{32_y} = m_2 a_{G2_y}$$

$$T_{12} + (R_{12_x} * F_{12_y} - R_{12_y} * F_{12_x}) + (R_{32_x} * F_{32_y} - R_{32_y} * F_{32_x}) = I_{G2} \alpha_2$$

Para el eslabón 3.

$$F_{43_x} - F_{32_x} = m_3 a_{G3_x}$$

$$F_{43y} - F_{32y} = m_3 a_{G_{3y}}$$

$$\left(R_{43x} * F_{43y} - R_{43y} * F_{43x} \right) - \left(R_{23x} * F_{32y} - R_{23y} * F_{32x} \right) = I_{G_3} \alpha_3$$

Para el eslabón 4.

$$F_{14x} - F_{43x} + F_{p_x} = m_4 a_{G_{4x}}$$

$$F_{14y} - F_{43y} + F_{p_y} = m_4 a_{G_{4y}}$$

$$\left(R_{14x} * F_{14y} - R_{14y} * F_{14x} \right) - \left(R_{34x} * F_{43y} - R_{34y} * F_{43x} \right) + \left(R_{p_x} * F_{p_y} - R_{p_y} * F_{p_x} \right) = I_{G_4} \alpha_4$$

Donde:

$$\alpha_4 = 0; a_{G_{4x}} = 0$$

Considerando que existe fricción, entonces:

$$F_{14y} = \pm \mu F_{14x}$$

Sustituyendo tenemos:

$$F_{14x} - F_{43x} + F_{p_x} = 0$$

$$\pm \mu F_{14x} - F_{43y} + F_{p_y} = m_4 a_{G_{4x}}$$

Sustituyendo reducimos a cuatro incógnitas: $F_{12x}, F_{12y}, F_{32x}, F_{32y}, F_{43x}, F_{43y}, F_{14x}, F_{14y}, T_{12}$ cuyos

valores obtendremos cuando resolvamos esta ecuación matricial.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -R_{12y} & R_{12x} & -R_{32y} & R_{32x} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{23y} & -R_{23x} & -R_{43y} & -R_{43x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & \pm \mu & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ F_{32x} \\ F_{32y} \\ F_{43x} \\ F_{43y} \\ F_{14x} \\ T_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{G_{2x}} \\ m_2 a_{G_{2y}} \\ I_{G_2} \alpha_2 \\ m_3 a_{G_{3x}} \\ m_3 a_{G_{3y}} \\ I_{G_3} \alpha_3 \\ -F_{p_x} \\ m_4 a_{G_{4y}} - F_{p_y} \end{bmatrix}$$

El coeficiente de fricción posee ambos signos, esto se debe a que siempre se opondrá al movimiento del eslabón 4.

La fuerza F_p es la mitad de la fuerza ejercidas por el peso del pistón y su respectivo vástago (W_{pv}) al cual esté conectado el mecanismo.

$$F_p = \frac{W_{pv}}{2}$$

El análisis general para el mecanismo O2AC resulta el mismo que el análisis ya realizado del mecanismo O2AB, las direcciones de posición de los vectores de fuerza son diferentes, el ángulo que varía directamente en este análisis del mecanismo O2AC es del eslabón 3.

Fuerza de sacudimiento

$$F_s = F_{21} + F_{41}$$

Momento de sacudimiento.

$$M_s = T_{21} + (R_1 * F_{41})$$

Los resultados se muestran en el ANEXO A – Tabla 5 para el mecanismo O2AB y en el ANEXO A – Tabla 6 para el mecanismo O2AC.

3.6 Diseño mecánico.

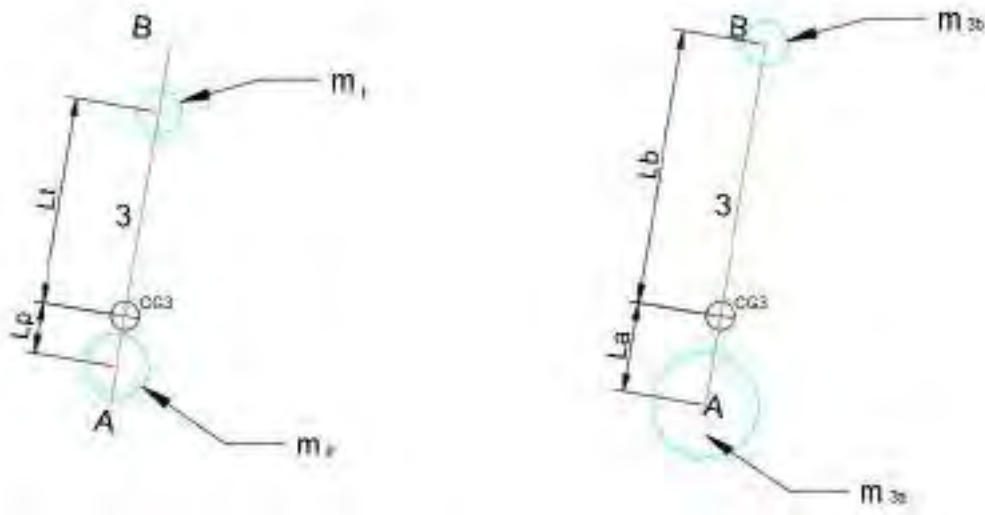
3.6.1 Balanceo.

Con las características de los componentes ya definidos y sus propiedades, se procede a realizar el diseño de contrapesos mediante el método de balanceo.

3.6.1.1 Modelo Aproximado Para Balanceo.

Figura 57

Modelado Aproximado de un Eslabón



Se crearon dos masas m_p y m_t , ubicados dentro de la biela a una distancia l_p y l_t del centro de gravedad, expresando matemáticamente estas variables tenemos:

$$m_p + m_t = m_3$$

$$m_p l_p = m_t l_t$$

$$m_p l_p^2 + m_t l_t^2 = I_{G3}$$

Para realizar el cálculo de las variables igualamos $l_t = l_b$, quedando:

$$m_p = m_3 \frac{l_b}{l_p + l_b}$$

$$m_b = m_3 \frac{l_p}{l_p + l_b}$$

Reemplazando estas variables en la última relación. -

$$m_3 \frac{l_b}{l_p + l_b} l_p^2 + m_3 \frac{l_p}{l_p + l_b} l_t^2 = I_{G3} = m_3 l_p l_b$$

$$l_p = \frac{I_{G3}}{m_3 l_b}$$

Si $l_p = l_a$ entonces:

$$m_{3a} = m_3 \frac{l_b}{l_a + l_b}$$

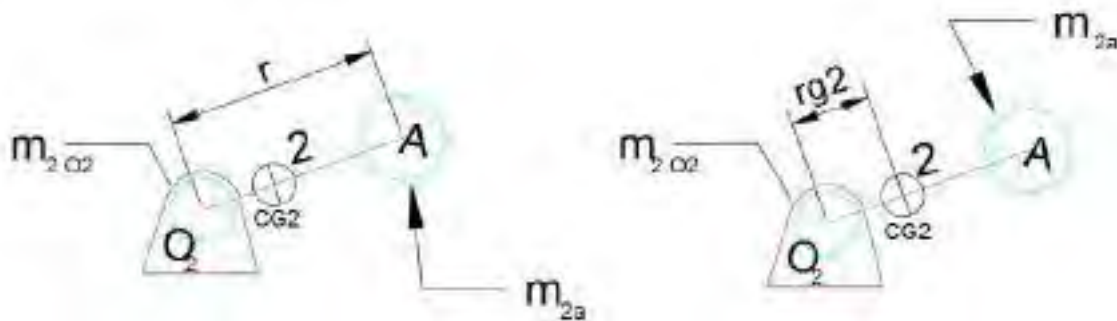
$$m_{3b} = m_3 \frac{l_a}{l_a + l_b}$$

Estas masas definen las cantidades totales que se colocaran en los extremos para modelar dinámicamente.

3.6.1.2 Modelo Estático Aproximado.

Figura 58

Modelo Estático



Se tendrá:

$$m_2 = m_{2a} + m_{2\ O2}$$

$$m_{2a}r = m_2r_{G2}$$

$$m_{2a} = m_2 \frac{r_{G2}}{r}$$

La masa m_{2a} puede colocarse en A y la otra masa en el pivote fijo O_2 .

El muñón en la manivela en el punto A y en el pasador del pistón se concentra dos masas, entonces queda así las relaciones:

$$m_A = m_{2a} + m_{3a}$$

$$m_B = m_{3b} + m_4$$

Determinando la masa de balanceo:

Para realizar el balanceo de nuestro mecanismo se debe conocer los valores de la fuerza de sacudimiento máximo, de allí podemos obtener el ángulo de manivela donde se ejerce más fuerza sobre uno de los ejes principales, además se debe considerar algunos datos característicos de los componentes del mecanismo.

Según el ANEXO A – Tabla 7 se tiene que el ángulo de manivela donde se ejerce la fuerza de sacudimiento máximo de 1.7 Newton se encuentra a 180° tal como se muestra a continuación:

Tabla 6

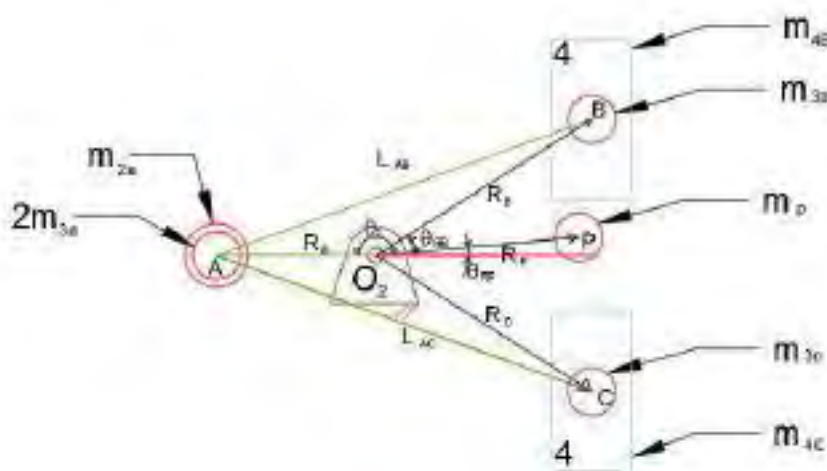
Resultado de la Fuerza de Sacudimiento para 180°

	MECANISMO O2AB		MECANISMO O2AC		FUERZA DEL GAS		FUERZA TOTAL	
(°)	FsxAB	FsyAB	FsxAC	FsyAC	FgyAB	FgyAC	Fsx	Fsy
180	-37	1.2	37	-1	-417	417	0	0.17

La siguiente imagen ayudara a realizar el análisis de mejor manera.

Figura 59

Gráfico de Análisis para Balanceo



Se sabe que:

$$m_p R_{Px} = m_A R_{Ax} + m_B R_{Bx} + m_C R_{Cx}$$

$$m_p R_{Py} = m_A R_{Ay} + m_B R_{By} + m_C R_{Cy}$$

Calculando el ángulo del contrapeso:

$$\theta_p = \arctan \frac{m_p R_{py}}{m_p R_{px}}$$

$$\theta_p = \arctan \frac{m_A R_{Ay} + m_B R_{By} + m_C R_{Cy}}{m_A R_{Ax} + m_B R_{Bx} + m_C R_{Cx}}$$

$$\theta_p = \arctan \frac{m_A R_A \sin \theta_2 + m_B R_B \sin \theta_{RB} + m_C R_C \sin \theta_{RC}}{m_A R_A \cos \theta_2 + m_B R_B \cos \theta_{RB} + m_C R_C \cos \theta_{RC}}$$

Entonces:

θ_p

$$= \arctan \frac{53.15 * 20 * \sin(180^\circ) + 129.53 * 31.94 * \sin(32^\circ) + 112.53 * 31.94 * \sin(-32^\circ)}{53.15 * 20 * \cos(180^\circ) + 129.53 * 31.94 * \cos(32^\circ) + 112.53 * 31.94 * \cos(-32^\circ)}$$

$$\theta_p = 2.998^\circ$$

Definiendo la masa del contrapeso:

$$m_{p(AB)} = \frac{m_A R_{Ax} + m_B R_{Bx} + m_C R_{Cx}}{R_{Px}}$$

$$m_p = \frac{m_A R_A \sin \theta_2 + m_B R_B \sin \theta_{RB} + m_C R_C \sin \theta_{RC}}{R_p * \cos \theta_p}$$

El centro de gravedad del contrapeso estará ubicado a una distancia de $R_{Px} = 15mm$ por lo que:

$$m_p = \frac{53.15 * 20 * \cos(180^\circ) + 129.53 * 31.94 * \cos(32^\circ) + 112.53 * 31.94 * \cos(-32^\circ)}{15 * \cos(2.998^\circ)}$$

$$m_p = 366.74 \text{ gr}$$

Tabla 7

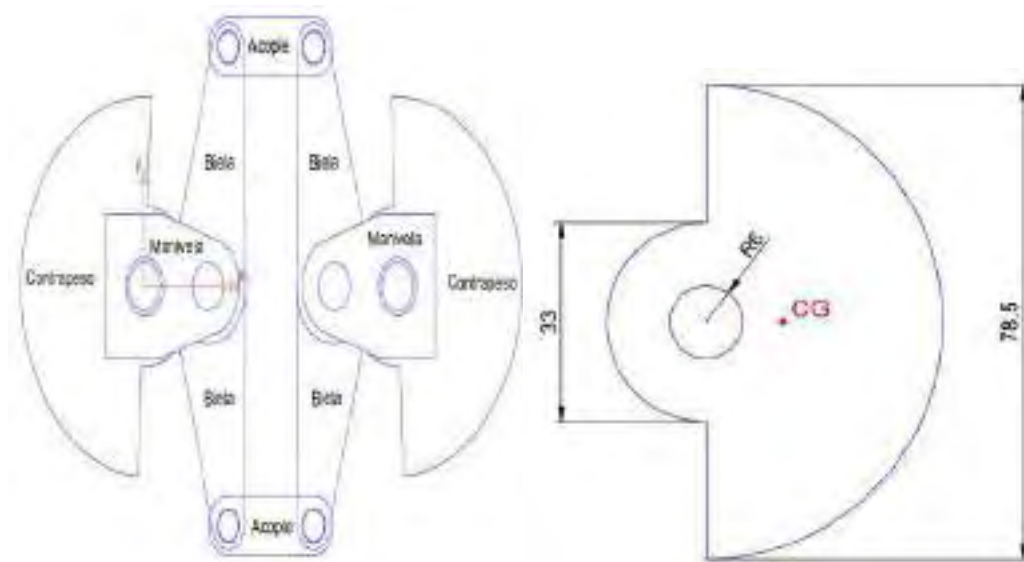
Resultados del Análisis de Balanceo del Mecanismo

Variable	Relación	Resultado
L : Longitud de biela	<i>Dato</i>	$L = 50mm$
Rm = r : Longitud de manivela	<i>Dato</i>	$r = 20mm$
m ₂ : Masa de la manivela.	<i>Dato</i>	$m_2 = 80.03gr$
m ₃ : Masa de la biela.	<i>Dato</i>	$m_3 = 20.79gr$
m _{4AB} : Masa del desplazador.	<i>Dato</i>	$m_{4(AB)} = 121gr$
m _{4AC} : Masa del pistón	<i>ato</i>	$m_{4(AC)} = 104gr$
L _a : Longitud del punto A al CG3	<i>Dato</i>	$L_A = 20.53mm$
L _b : Longitud del punto B al CG3	<i>Dato</i>	$L_B = 29.47mm$
r _{G2} : Longitud de O2 al CG2	<i>Dato</i>	$r_{G2} = 7.16mm$
w : Velocidad angular de la manivela	<i>Dato</i>	$w = 254 RPM$
θ : Angulo de manivela.	<i>Dato: tabla de resultados cuando Fs es maximo</i>	$\theta = 190^\circ = 3.3161rad$
Fs : Fuerza de sacudimiento total	<i>Dato: tabla de resultados cuando Fs es maximo</i>	$F_s = 1.604N$
m _{3a} : Masa de la biela concentrada en el pasador A.	$m_{3a} = m_{3a(AB)} = m_{3a(AC)} = m_3 \frac{L_b}{L_a + L_b}$	$m_{3a} = 12.25gr$
m _{3b} : Masa de la biela concentrado e el pasador B.	$m_{3b} = m_{3c} = m_3 \frac{L_a}{L_a + L_b} =$	$m_{3b} = 8.53gr$
m _{2a} : Masa de la biela concentrado e el pasador B.	$m_{2a} = m_2 \frac{r_{G2}}{r}$	$m_{2a} = 28.65gr$
m _A : Masa concentrada en el pasador A	$m_A = m_{2a} + 2 * m_{3a}$	$m_A = 53.15gr$
m _B : Masa concentrada en el pasador B	$m_B = m_{3b} + m_{4(AB)}$	$m_B = 129.53gr$
m _C : Masa concentrada en el pasador B	$m_C = m_{3b} + m_{4(AC)}$	$m_C = 112.53gr$
θ _p : Angulo de posicionamiento de contrapeso	$arctan \frac{m_A R_A sen\theta_2 + m_B R_B sen\theta_{RB} + m_C R_C sen\theta_{RC}}{m_A R_A cos\theta_2 + m_B R_B cos\theta_{RB} + m_C R_C cos\theta_{RC}}$	$\theta_p = 2.998^\circ$
m _p : Masa del contrapeso	$m_p = \frac{m_A R_A sen\theta_2 + m_B R_B sen\theta_{RB} + m_C R_C sen\theta_{RC}}{R_p * cos\theta_p}$	$m_p = 366.74gr$

Quiere decir que nuestro contrapeso debe tener una masa aproximada a 366.74gr, y estará posicionado a 2.998° con la horizontal cuando nuestro ángulo de manivela este a 180°.

Figura 60

Gráfico de contrapeso y dimensiones.



3.6.1.3 Fuerzas de Sacudimiento sin Balanceo.

La fuerza inercial total es la sumatoria de las fuerzas de inerciales en B y C y la fuerza centrífuga en el punto A.

$$\vec{F}_i = -m_A \vec{a}_A - m_B \vec{a}_B - m_C \vec{a}_C$$

Donde la aceleración de A resulta de derivar dos veces el vector de posición:

$$\vec{R}_A = r_A \cos \omega t \hat{i} + r_A \sin \omega t \hat{j} \rightarrow \vec{a}_A = -r_A \omega^2 \cos \omega t \hat{i} - r_A \omega^2 \sin \omega t \hat{j}$$

Y las aceleraciones de B y C se determinaron anteriormente y son las siguientes:

$$a_B = \ddot{Y}_B = \ddot{S}_B = \frac{a_2 \alpha_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + a_2 \omega_2^2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_3 \omega_3^2}{\sin \theta_3}$$

$$a_C = \ddot{Y}_C = \ddot{S}_C = \frac{a_2 \alpha_2 \sin(\theta_3 - \theta_2) - a_2 \omega_2^2 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_3 \omega_3^2}{\sin \theta_3}$$

Solo hay aceleraciones en el eje Y por el desplazamiento de los pistones B y C, entonces desarrollando la fuerza inercial y descomponiendo en sus componentes:

$$F_{ix} = -m_A r_A \omega^2 x$$

$$F_{iy} = -m_A r_A w^2 y - m_B \ddot{Y}_B - m_C \ddot{Y}_C$$

Desarrollando:

$$F_{ix} = -m_A (r_A w^2 \cos wt)$$

$$F_{iy} = -m_A (r w^2 \sen wt) - m_B \ddot{Y}_B - m_C \ddot{Y}_C$$

Entonces:

$$F_{ix} = -m_A r_A w^2 \cos wt$$

$$F_{iy} = -m_A r w^2 \sen wt - m_B \ddot{Y}_B - m_C \ddot{Y}_C$$

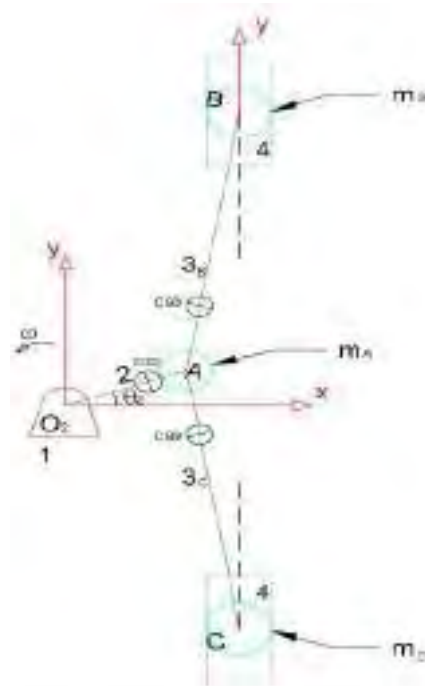
La fuerza de sacudimiento es la sumatoria de las fuerzas en la bancada y es misma que las fuerzas inerciales con dirección contraria.

$$\vec{F}_S = -\vec{F}_I$$

El siguiente diagrama ayuda a determinar las fuerzas de sacudimiento en la bancada.

Figura 61

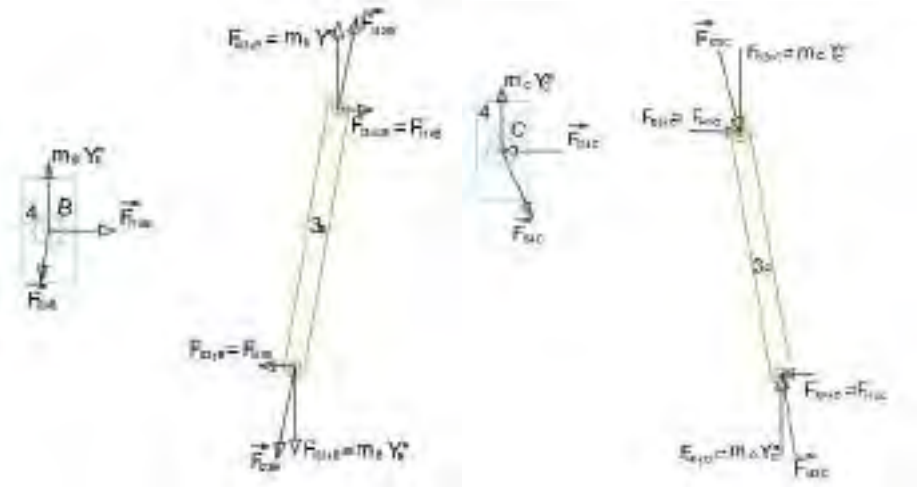
Diagrama de Fuerzas de Sacudimiento en la Bancada



Analizando la Figura 59:

Figura 62

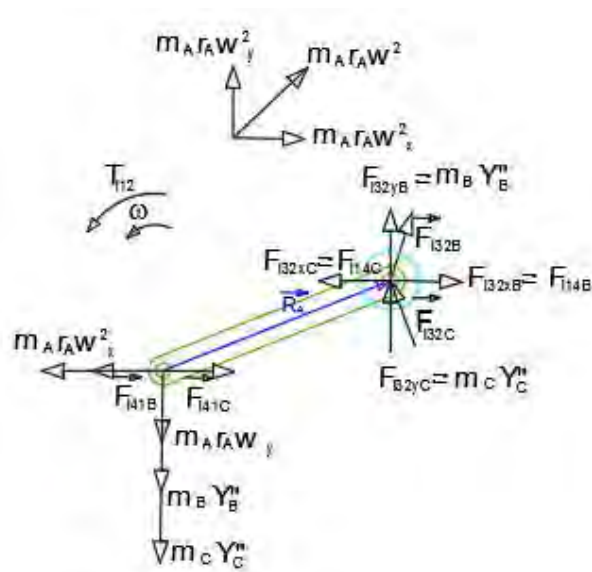
Diagrama de Cuerpo Libre de la Biela y los Pistones



Tenemos el análisis de fuerzas en la manivela.

Figura 63

Diagrama de Cuerpo Libre de Análisis de Fuerzas en la Manivela



Análisis de fuerzas inerciales en la bancada:

Figura 64

Diagrama Análisis de Fuerzas Inerciales en la Bancada



Entonces la fuerza de sacudimiento en la bancada es:

$$F_{Sx} = m_A r_A w^2 \cos wt$$

$$F_{Sy} = +m_B \ddot{Y}_B + m_C \ddot{Y}_C + m_A r w^2 \text{ sen } wt$$

Por lo que queda demostrado que $\vec{F}_S = -\vec{F}_I$.

Los resultados muestran en el ANEXO A – Tabla 7.

3.6.1.4 Fuerzas de Sacudimiento Balanceado.

La fuerza inercial total es la sumatoria de la fuerza centrífuga en el punto A, en el punto P, y la fuerza de inercia en B y C.

$$\vec{F}_I = -m_A \vec{a}_A - m_P \vec{a}_P - m_B \vec{a}_B - m_C \vec{a}_C$$

Donde las aceleraciones de A y P resultan de derivar dos veces el vector de posición:

$$\vec{R}_A = r_A \cos wt \hat{i} + r_A \text{ sen } wt \hat{j} \rightarrow \vec{a}_A = -r_A w^2 \cos wt \hat{i} - r_A w^2 \text{ sen } wt \hat{j}$$

$$\begin{aligned} \vec{R}_P &= r_P \cos (wt - \theta_p) \hat{i} + r_P \text{ sen}(wt - \theta_p) \hat{j} \rightarrow \vec{a}_P \\ &= -r_P w^2 \cos (wt - \theta_p) \hat{i} - r_P w^2 \text{ sen}(wt - \theta_p) \hat{j} \end{aligned}$$

Y las aceleraciones de B y C se determinaron anteriormente y son las siguientes:

$$a_B = \ddot{Y}_B = \dot{S}_B = \frac{a_2 \alpha_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + a_2 w_2^2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_3 w_3^2}{\sin \theta_3}$$

$$a_C = \ddot{Y}_C = \dot{S}_C = \frac{a_2 \alpha_2 \sin(\theta_3 - \theta_2) - a_2 w_2^2 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_3 w_3^2}{\sin \theta_3}$$

Solo hay aceleraciones en el eje Y por el desplazamiento de los pistones B y C, entonces desarrollando la fuerza inercial y descomponiendo en sus componentes:

$$F_{ix} = -m_A r_A w^2_x - m_P r_P w^2_{xP}$$

$$F_{iy} = -m_A r_A w^2_y - m_P r_P w^2_{yP} - m_B \ddot{Y}_B - m_C \ddot{Y}_C$$

Desarrollando:

$$F_{ix} = -m_A (r_A w^2 \cos wt) - m_P (-r_P w^2 \cos wt)$$

$$F_{iy} = -m_A (r w^2 \sen wt) - m_P (-r_P w^2 \sen wt) - m_B \ddot{Y}_B - m_C \ddot{Y}_C$$

Entonces:

$$F_{ix} = -m_A r_A w^2 \cos wt + m_P r_P w^2 \cos wt$$

$$F_{iy} = -m_A r w^2 \sen wt + m_P r_P w^2 \sen wt - m_B \ddot{Y}_B - m_C \ddot{Y}_C$$

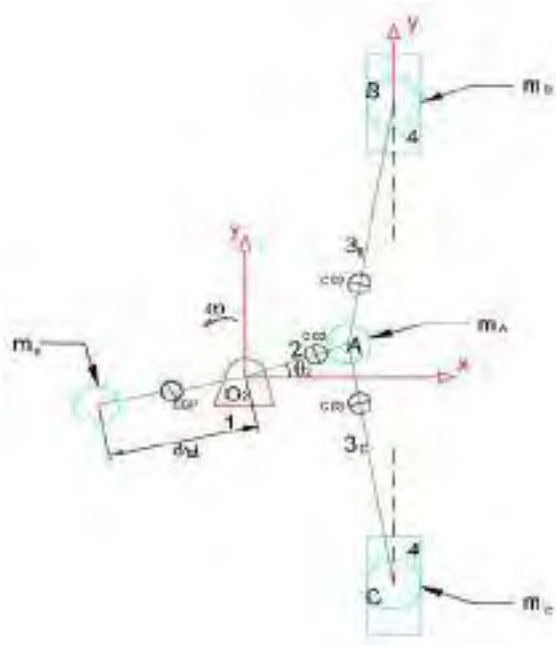
La fuerza de sacudimiento es la sumatoria de las fuerzas en la bancada y es la misma que las fuerzas inerciales en dirección contraria.

$$\vec{F}_S = -\vec{F}_I$$

El siguiente diagrama ayuda a determinar las fuerzas de sacudimiento en la bancada.

Figura 65

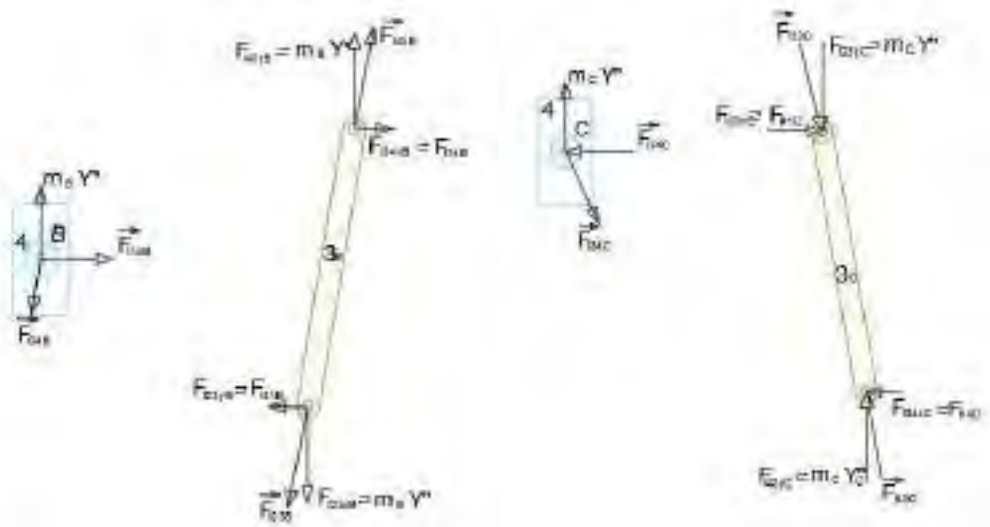
Diagrama de Fuerzas de Sacudimiento en la Bancada



Analizando la figura 63.

Figura 66

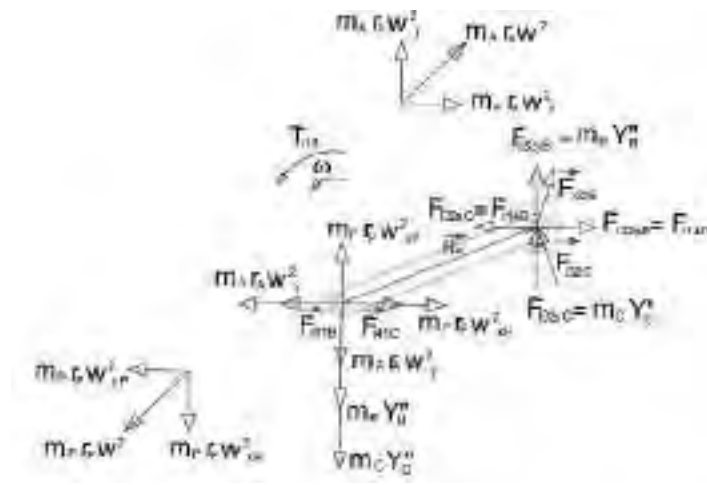
Diagrama de Cuerpo Libre de la Biela y los Pistones



Obteniendo las fuerzas en la manivela:

Figura 67

Fuerzas en la Manivela

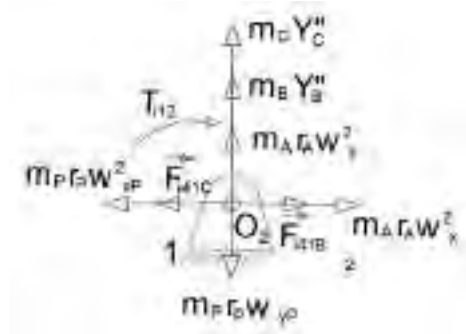


8/

Finalmente, la manifestación de las fuerzas en la bancada del eje principal:

Figura 68

Modelo Dinámico y DCL de Mecanismo Biela Manivela Balanceado



Obteniendo las fuerzas de sacudimiento en la bancada en sus componentes X y Y:

$$F_{Sx} = m_A r_A w^2 \cos wt - m_P r_P w^2 \cos wt$$

$$F_{Sy} = m_A r w^2 \sen wt - m_P r_P w^2 \sen wt + m_B \ddot{Y}_B + m_C \ddot{Y}_C$$

Por lo que queda demostrado que $\vec{F}_S = -\vec{F}_l$.

Los resultados muestran en el ANEXO A – Tabla 7.

3.6.2 Pares de Torsión de Inercia y Sacudimiento

Analizando el par en la bancada.

Figura 69

Diagrama de fuerzas en la Bancada



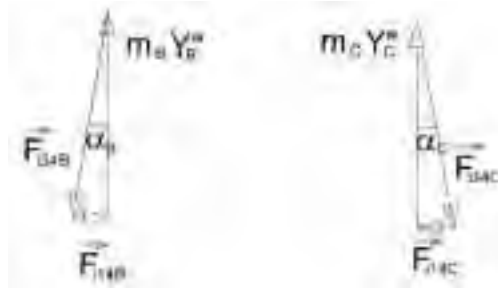
Tenemos:

$$\overline{T}_{i21} = (F_{i41B} * y_B) \hat{k} + (F_{i41C} * y_C) \hat{k}$$
$$\overline{T}_{i21} = (-F_{i14B} * y_B) \hat{k} + (-F_{i14C} * y_C) \hat{k}$$

Desarrollando tenemos.

Figura 70

Ángulos para el Torque



$$\text{Tan}\alpha_B = \frac{F_{i14B}}{m_B \ddot{Y}_B} \text{ y } \text{Tan}\alpha_C = \frac{F_{i14C}}{m_C \ddot{Y}_C}$$

Entonces:

$$F_{i14B} = m_B \ddot{Y}_B \text{Tan}\alpha_B$$

$$F_{i14C} = m_C \ddot{Y}_C \text{Tan}\alpha_C$$

Se sabe que:

$$\text{Tan}\alpha_B = \frac{\cos \theta_3}{\text{sen} \theta_3}$$

$$\text{Tan}\alpha_C = \frac{\cos -\theta_3}{\text{sen}-\theta_3}$$

Reemplazando en $\overrightarrow{T_{i21}}$.

$$\overrightarrow{T_{i21}} = \left(-m_B y_B \ddot{Y}_B \frac{\cos \theta_3}{\text{sen} \theta_3} \right) \hat{k} + \left(-m_C y_C \ddot{Y}_C \frac{\cos -\theta_3}{\text{sen}-\theta_3} \right) \hat{k}$$

Donde:

$$y_B = S_B = a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_{3B}$$

$$y_C = S_C = -a_2 \sin \theta_2 - a_3 \sin \theta_{3C}$$

Y

$$\ddot{\gamma}_B = S_B = \frac{a_2 a_3 \sin(\theta_2 - \theta_3) + a_2 w_2^2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 w_2^2}{\sin \theta_2}$$

$$\ddot{\gamma}_C = S_C = \frac{a_2 a_3 \sin(\theta_2 - \theta_3) - a_2 w_2^2 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_2 w_2^2}{\sin \theta_3}$$

El par torsión de sacudimiento es igual al par de torsión de inercia.

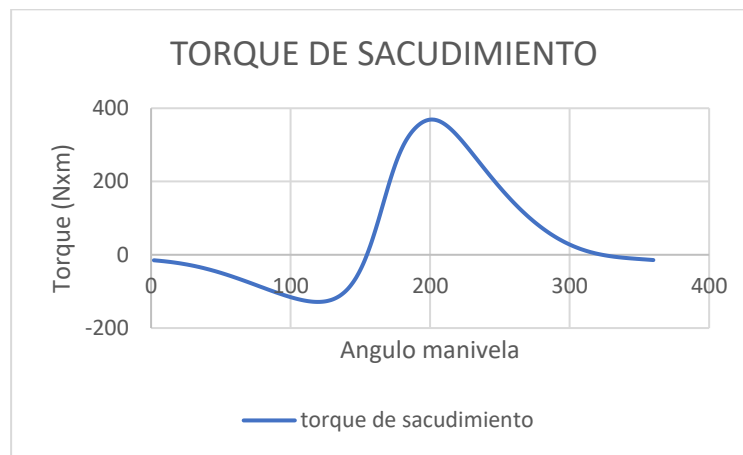
$$\vec{T}_{Sac} = \vec{T}_{i21}$$

$$\vec{T}_{Sac} = \left(-m_B y_B \ddot{\gamma}_B \frac{\cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right) \hat{k} + \left(-m_C y_C \ddot{\gamma}_C \frac{\cos -\theta_3}{\sin -\theta_3} \right) \hat{k}$$

La representación gráfica del torque de sacudimiento es como sigue:

Figura 71

Gráfica del Torque de Sacudimiento vs Ángulo de Manivela



Los resultados muestran en el ANEXO A – Tabla 7.

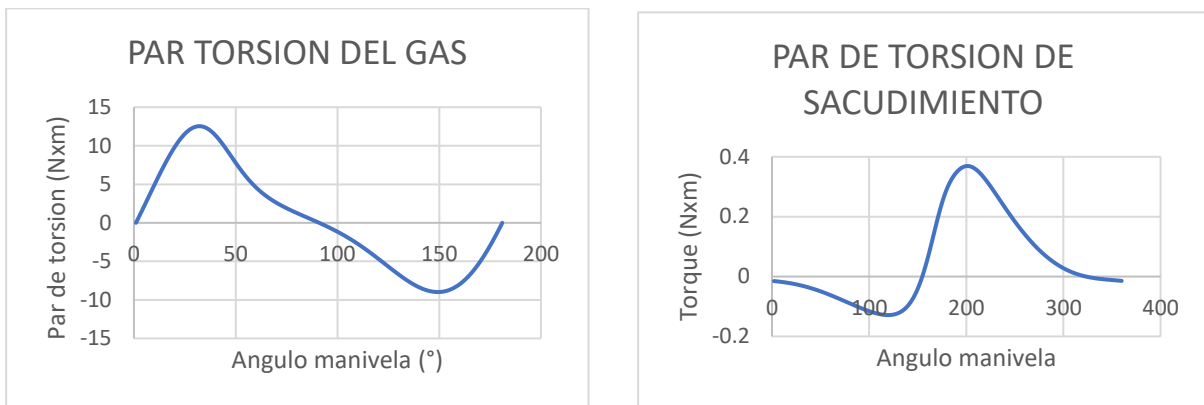
3.6.3 Par de Torsión Total del Motor.

Se obtiene de la suma del par torsión de sacudimiento y par torsión del gas.

$$\vec{T}_{total} = \vec{T}_g + \vec{T}_i$$

Figura 72

Diagrama de Torque vs Ángulo de Manivela



3.6.4 *Determinando la Masa de la Volante.*

El motor Stirling produce una velocidad angular:

$$w = w_{prom} = 254 \text{ RPM} = 26.6 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Se obtiene el valor del torque promedio del sistema:

$$T_{prom} = 0.5411 \text{ Nxm}$$

Se escoge un coeficiente de fluctuación de: $k = 5\%$

Analizando el diagrama del par de torsión total.

Figura 73

Diagrama Torque vs Ángulo en la Manivela



Obtenemos el valor de las energías determinando el valor de las áreas debajo de la curva del par de torsión proyectadas sobre la línea del torque promedio.

Área superior positiva = Energía entregada por el motor

$$E(+)=23.8 J$$

Área negativa = Energía entregada por la volante

$$E(-)=11.05 J$$

Sabemos que:

$$m_v = \frac{E}{0.9 R_v k w_{prom}^2}$$

Asumiremos un radio de volante $R_v = 0.152 m$.

Reemplazando la Energía entregada por la volante y demás valores tenemos:

$$m_v = \frac{11.05 J}{0.9 * 0.15m * 0.05 * 26.6^2 \frac{rad}{seg}}$$

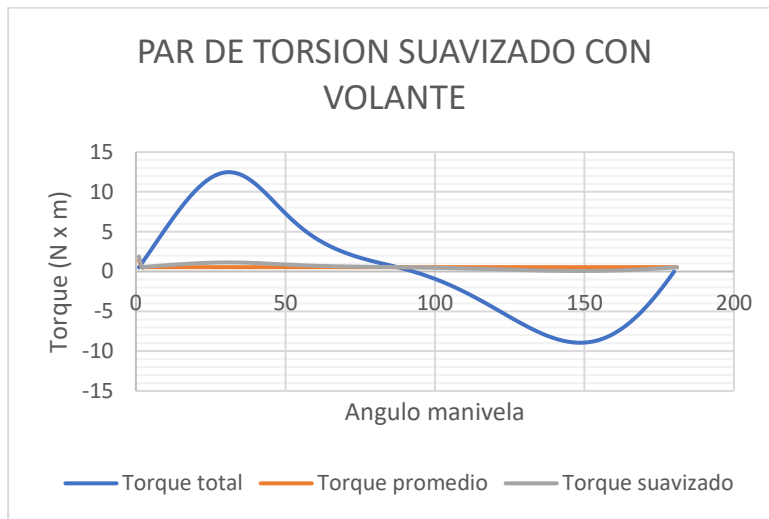
$$m_v = 2.315 kg$$

La masa de nuestra volante debe ser aproximado a $m_v = 2.315 \text{ kg}$ y podrá tener un radio de volante de $R_v = 0.15 \text{ m}$.

Considerando estos resultados obtenemos el siguiente diagrama del par de torsión suavizado con volante.

Figura 74

Diagrama Torque vs Ángulo en la Manivela



3.6.5 Determinación de las Fuerzas del Pasador

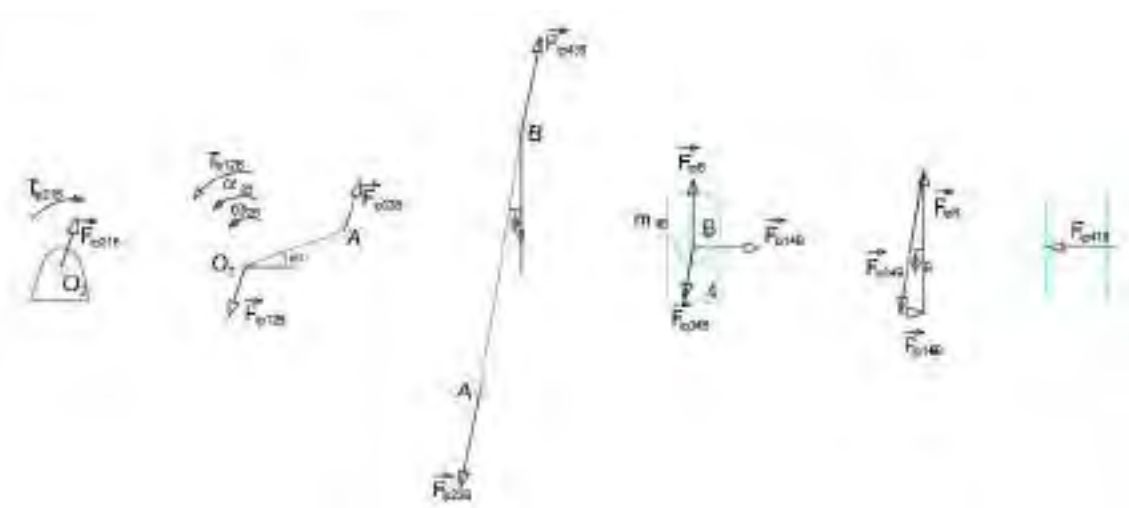
Se realiza un análisis alternativo de fuerzas inerciales específicos en cada pasador de conexión.

3.6.5.1 Fuerzas en el pasador del pistón m_4 en el mecanismo O2AB

Son las fuerzas que se manifiestan en el pasador que conecta el desplazador con la biela del mecanismo O2AB.

Figura 75

Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AB



Tenemos:

$$F_{ipB} = m_{4B} a_B \hat{j}$$

$$\tan\phi = \frac{F_{ip14B}}{F_{ipB}} \rightarrow F_{ip14B} = F_{ipB} \tan\phi \hat{i} \rightarrow F_{ip14B} = m_{4B} a_B \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{ip34B} = -F_{ipB} - F_{ip14B} = -m_{4B} a_B \hat{j} - m_{4B} a_B \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{ip32B} = -F_{ip34B} = m_{4B} a_B \hat{j} + m_{4B} a_B \tan\phi \hat{i}$$

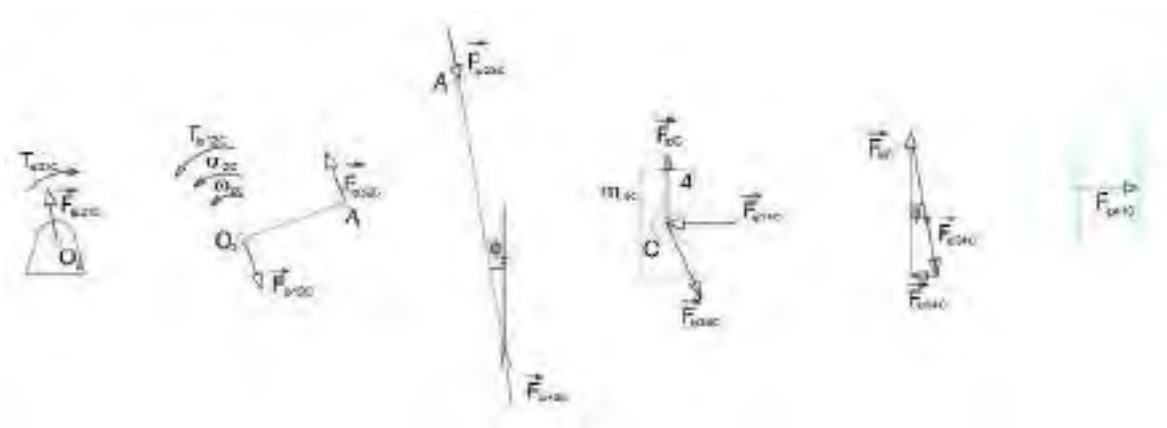
$$F_{ip12B} = -F_{ip32B} = F_{ip34B}$$

3.6.5.2 Fuerzas en el pasador del pistón m_4 en el mecanismo O2AC.

Realizando el mismo análisis en el pasador que conecta el pistón de fuerza con la biela del mecanismo O2AC.

Figura 76

Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AC



$$F_{ipB} = m_{4C} a_C \hat{j}$$

$$\tan\phi = \frac{-F_{ip14C}}{F_{ipC}} \rightarrow F_{ip14C} = -F_{ipC} \tan\phi \hat{i} \rightarrow F_{ip14C} = -m_{4C} a_C \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{ip34C} = -F_{ipC} - F_{ip14C} = -m_{4C} a_C \hat{j} + m_{4C} a_C \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{ip32C} = -F_{ip34C} = m_{4B} a_B \hat{j} - m_{4B} a_B \tan\phi \hat{i}$$

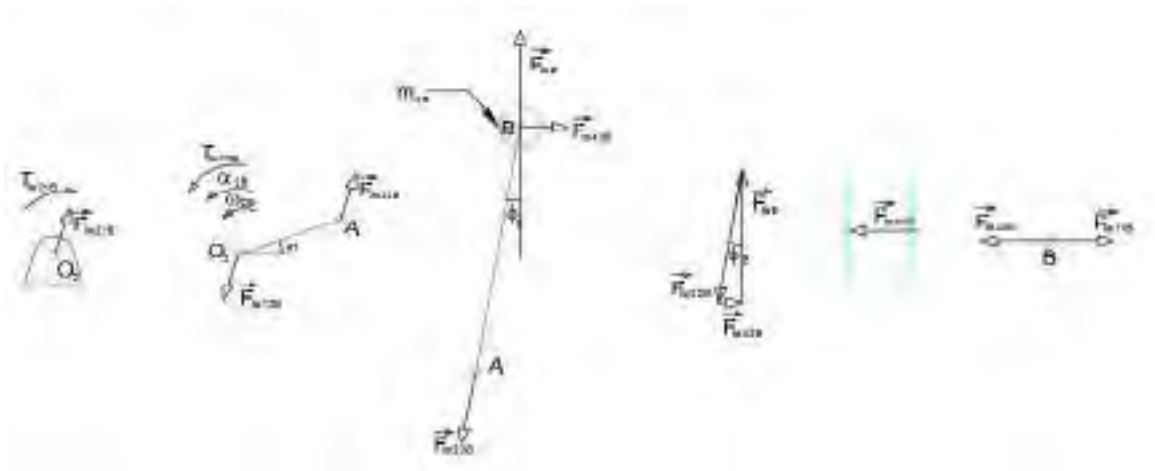
$$F_{ip12C} = -F_{ip32C} = F_{ip34C}$$

3.6.5.3 Fuerzas en el pasador que conecta la manivela y bielas

Este componente soporta las fuerzas inerciales de las manivelas y bielas. Primero se realiza el análisis de fuerzas de inercia en el pasador del pistón m_{3b} debido a las fuerzas producidas por la aceleración de la masa de la biela en el mecanismo O2AB.

Figura 77

Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AB



$$F_{iwB} = m_{3b} a_B \hat{j}$$

$$F_{iw41B} = F_{iw34B}$$

$$\tan\phi = \frac{F_{iw43B}}{F_{iwB}} \rightarrow F_{iw43B} = F_{iwB} \tan\phi \hat{i} \rightarrow F_{iw34B} = -m_{3b} a_B \tan\phi \hat{i}$$

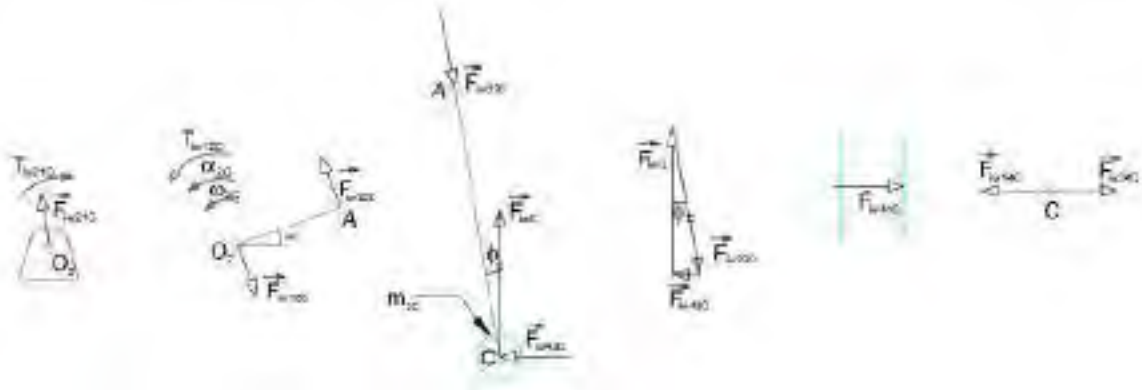
$$F_{iw23B} = -F_{iwB} - F_{iw43B} = -m_{3b} a_B \hat{j} + m_{3b} a_B \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{iw12B} = -F_{iw32B} = F_{iw23B}$$

Mismo análisis para el mecanismo O2AC.

Figura 78

Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AC



$$F_{iwC} = m_{3c}a_C\hat{j}$$

$$F_{iw34C} = F_{iw41C}$$

$$\tan\phi = \frac{-F_{iw43C}}{F_{iwC}} \rightarrow F_{iw43C} = -F_{iwC} \tan\phi \hat{i} \rightarrow F_{iw34C} = m_{3c}a_C \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{iw23C} = -F_{iwC} - F_{iw43C} = -m_{3c}a_B\hat{j} - m_{3c}a_C \tan\phi\hat{i}$$

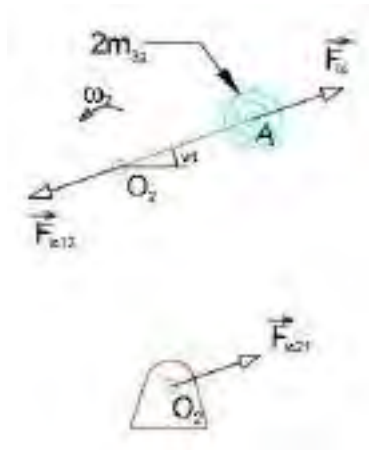
$$F_{iw12C} = -F_{iw32C} = F_{iw23C}$$

3.6.5.4 Análisis en el muñón de la manivela.

En el muñón de la manivela m_{3a} se realiza el análisis de fuerzas de inercia debido a la masa concentrada de la biela que produce fuerzas debido a la aceleración la manivela es la misma para ambos mecanismos por lo que la masa concentrada de las bielas en el punto A es el doble.

Figura 79

Diagrama de Fuerza de Inercia en el Muñón de la Manivela m_{3a}



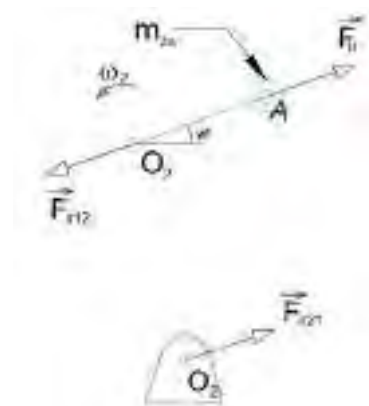
$$F_{ic} = -F_{ic12} = F_{ic21} = -2 m_{3a} a_A$$

$$F_{ic21} = -F_{ic12} = 2 m_{3a} r \omega^2 (\cos \omega t \hat{i} + \sin \omega t \hat{j})$$

En el muñón de la manivela m_{2a} se realiza el análisis de fuerzas de inercia debido a la masa concentrada de la manivela que produce fuerzas debido a la aceleración, estas fuerzas solo afectan al eje principal.

Figura 80

Diagrama de Fuerza de Inercia en el Muñón de la Manivela m_{2a}



$$F_{ir} = -F_{ir12} = F_{ir21} = -m_{2a} a_A$$

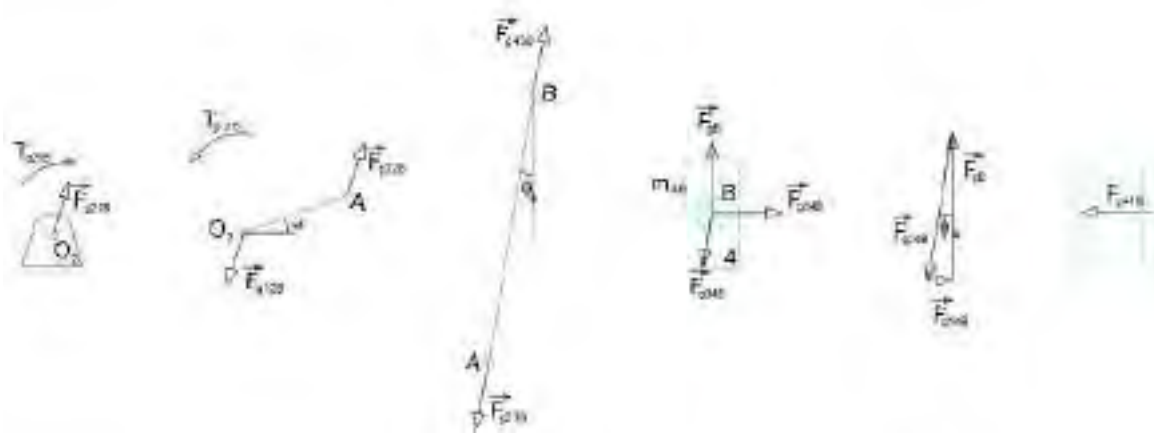
$$F_{ir21} = m_{2a} r \omega^2 (\cos \omega t \hat{i} + \sin \omega t \hat{j})$$

3.6.5.5 Analizando las componentes de la fuerza del gas:

Se realiza el mismo análisis para el mecanismo O2AB.

Figura 81

Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AB



$$\tan\theta = \frac{F_{g14B}}{F_{gB}} \rightarrow F_{g14B} = F_{gB} \tan\theta$$

$$F_{g34B} = -F_{g14B} - F_{gB} = -F_{gB} \tan\theta \hat{i} - F_{gB} \hat{j}$$

$$F_{g41B} = -F_{g14B}$$

$$F_{g34B} = -F_{g43B}$$

$$F_{g43B} = -F_{g23B}$$

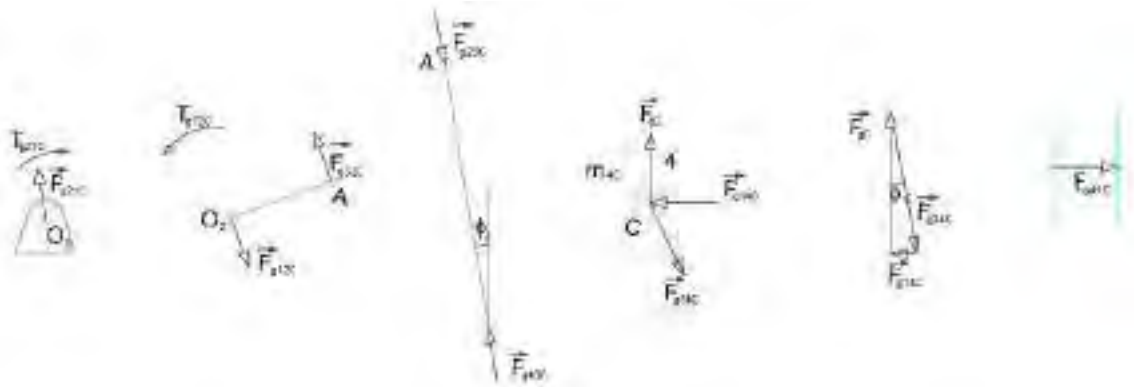
$$F_{g23B} = -F_{g32B}$$

$$F_{g32B} = -F_{g34B}$$

Y para el mecanismo O2AC.

Figura 82

Diagrama de Fuerza y Torque en el Mecanismo O2AC



$$\tan\phi = \frac{-F_{g14c}}{F_{gc}} \rightarrow F_{g14c} = -F_{gc} \tan\phi \hat{i}$$

$$F_{g34c} = -F_{g14c} - F_{gc} = F_{gc} \tan\phi \hat{i} - F_{gc} \hat{j}$$

$$F_{g41c} = -F_{g14c}$$

$$F_{g34c} = -F_{g43c}$$

$$F_{g43c} = -F_{g23c}$$

$$F_{g23c} = -F_{g32c}$$

$$F_{g32c} = -F_{g34c}$$

Al sumar las fuerzas F_{41} que se ejerce en las paredes del cilindro estas se anulan, ya que existe una fuerza opuesta de la misma magnitud provocado por lo mecanismo del otro lado.

Las fuerzas F_{34} son las fuerzas que actúan en el pasador del pistón, esta fuerza es diferente para cada mecanismo.

Fuerzas para el pasador del pistón B:

$$\mathbf{F}_{34B} = \mathbf{F}_{g34B} + \mathbf{F}_{ip34B} + \mathbf{F}_{iw34B}$$

$$\mathbf{F}_{34B} = (-F_{gB} \tan\phi \hat{i} - F_{gB} \hat{j}) + (-m_{4B} a_B \hat{j} - m_{4B} a_B \tan\phi \hat{i}) + (m_{3C} a_C \tan\phi \hat{i})$$

$$\mathbf{F}_{34B} = (-F_{gB} \tan\phi - m_{4B} a_B \tan\phi + m_{3C} a_C \tan\phi) \hat{i} + (-F_{gB} - m_{4B} a_B) \hat{j}$$

Fuerzas para el pasador del pistón C:

$$F_{34C} = F_{g34C} + F_{ip34C} + F_{iw34C}$$

$$F_{34C} = (F_{gC} \tan\phi \hat{i} - F_{gC} \hat{j}) + (-m_{4C} a_C \hat{j} + m_{4C} a_C \tan\phi \hat{i}) + (m_{3C} a_C \tan\phi \hat{i})$$

$$F_{34C} = (F_{gC} \tan\phi + m_{4C} a_C \tan\phi + m_{3C} a_C \tan\phi) \hat{i} + (-F_{gC} - m_{4C} a_C) \hat{j}$$

Las fuerzas F_{32} son las fuerzas actuantes en el pasador de la manivela, se suma las fuerza tanto del mecanismo del pistón B y C para determinar dichas fuerzas.

$$\begin{aligned} F_{32} &= F_{32B} + F_{32C} \\ &= (F_{g32B} + F_{ip32B} + F_{iw32B} + F_{ic32B}) + (F_{g32C} + F_{ip32C} + F_{iw32C} + F_{ic32C}) \\ F_{32} &= ((F_{gB} \tan\phi \hat{i} + F_{gB} \hat{j}) + (m_{4B} a_B \hat{j} + m_{4B} a_B \tan\phi \hat{i}) + (m_{3B} a_B \hat{j} - m_{3B} a_B \tan\phi \hat{i})) \\ &\quad + ((-F_{gC} \tan\phi \hat{i} + F_{gC} \hat{j}) + (m_{4C} a_C \hat{j} - m_{4C} a_C \tan\phi \hat{i})) \\ &\quad + (m_{3B} a_B \hat{j} + m_{3C} a_C \tan\phi \hat{i}) + 2 m_{3a} r w^2 (\cos wt \hat{i} + \sin wt \hat{j}) \\ F_{32} &= (F_{gB} \tan\phi + m_{4B} a_B \tan\phi - m_{3B} a_B \tan\phi + 2 m_{3a} r w^2 \cos wt - F_{gC} \tan\phi - m_{4C} a_C \tan\phi \\ &\quad + m_{3C} a_C \tan\phi) \hat{i} + (F_{gB} + m_{4B} a_B + m_{3B} a_B + F_{gC} + m_{4C} a_C + m_{3B} a_B \\ &\quad + 2 m_{3a} r w^2 \sin wt) \hat{j} \end{aligned}$$

Las fuerzas F_{21} actúan en el muñón principal, dichas fuerzas es el resultado de:

$$F_{21} = F_{32} + F_{ir21} + F_P$$

$$\begin{aligned} F_{21} &= (F_{gB} \tan\phi + m_{4B} a_B \tan\phi - m_{3B} a_B \tan\phi + 2 m_{3a} r w^2 \cos wt - F_{gC} \tan\phi - m_{4C} a_C \tan\phi \\ &\quad + m_{3C} a_C \tan\phi) \hat{i} \\ &\quad + (F_{gB} + m_{4B} a_B + m_{3B} a_B + F_{gC} + m_{4C} a_C + m_{3B} a_B + 2 m_{3a} r w^2 \sin wt) \hat{j} \\ &\quad + m_{2a} r w^2 (\cos wt \hat{i} + \sin wt \hat{j}) + m_P r_P w^2 (\cos (wt + \pi + \theta_P) \hat{i} + \sin (wt + \pi \\ &\quad + \theta_P) \hat{j}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{21} = & (F_{gB} \tan\phi + m_{4B} a_B \tan\phi - m_{3b} a_B \tan\phi + 2 m_{3a} r w^2 \cos\omega t - F_{gC} \tan\phi - m_{4C} a_C \tan\phi \\
& + m_{3C} a_C \tan\phi + m_{2a} r w^2 \cos\omega t + m_P r_P w^2 \cos(\omega t + \pi + \theta_P)) \hat{i} + (F_{gB} \\
& + m_{4B} a_B + m_{3b} a_B + F_{gC} + m_{4C} a_C + m_{3b} a_B + 2 m_{3a} r w^2 \sin\omega t \\
& + m_{2a} r w^2 \sin\omega t + m_P r_P w^2 \sin(\omega t + \pi + \theta_P)) \hat{j}
\end{aligned}$$

La fuerza F_{21} en el eje principal es la sumatoria resultante de las fuerzas de ambos mecanismos.

3.6.5.6 *Determinando los diámetros del Pasador en el Desplazador y en el Pistón de Fuerza.*

Para determinar los diámetros en los pasadores del desplazador y el pistón fuerza se toman las fuerzas resultantes máximas aplicadas en cada una de ellas.

La fuerza máxima aplicada en el pasador del desplazador se muestra en el ANEXO A – Tabla 9, es de $F_{34 \max} = 418.63$ N, en base a este resultado determinamos el diámetro.

Tabla 8

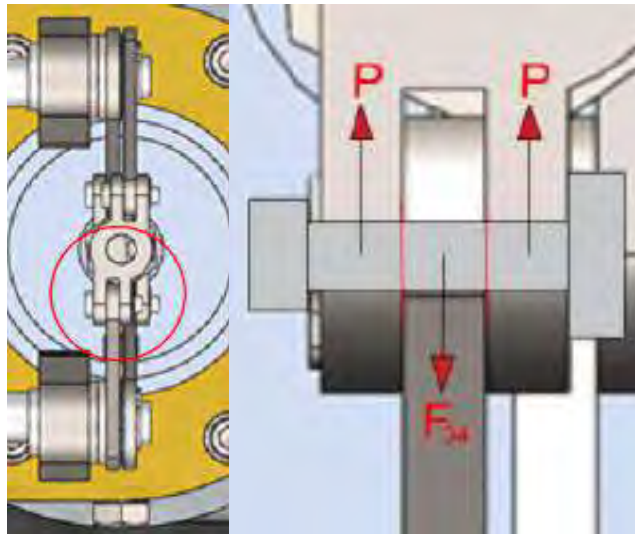
Resultados de Fuerza Máxima en el Pasador a 184°

Fuerza pasador desplazador			
(°)	x	y	F 34 B
184	-392.652	-145.182	418.6326

Nota: Anexo A tabla 9.

Figura 83

Pasadores en el Mecanismo



La sección del pasador es circular, por lo tanto, el área del pasador estará dado por $A_p = \pi \frac{D_p^2}{4}$.

Por el diagrama de cuerpo libre:

$$\sum F = 0$$

$$F_{34} = 2P \rightarrow P = \frac{F_{34}}{2}$$

Tenemos que el esfuerzo cortante permisible es:

$$\tau_{perm} = \frac{P}{A_p} = \frac{F_{34}}{2 \pi \frac{D_p^2}{4}}$$

Despejando D_p :

$$D_p = \sqrt{\frac{2 F_{34}}{\pi \tau_{perm}}}$$

Según AISC, por el método de esfuerzos permisibles tenemos que $\tau_{perm} = 0.4 S_y$; esfuerzo de fluencia para el acero A-36 $S_y = 250 \text{ Mpa}$

Sustituyendo los datos en la ecuación:

$$D_p = \sqrt{\frac{2 * 418.63 \text{ N}}{\pi * 0.4 * 250 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1\text{m}^2}{1000^2\text{mm}^2}}}$$

$$D_p = 1.632 \text{ mm}$$

Entonces el diámetro del pasador que se conecta al pistón y al desplazador debe ser como mínimo 1.632mm este diámetro se aplicara para los otros tres pasadores.

3.6.5.7 Determinando el diámetro del Pasador de la Manivela.

Para determinar los diámetros del pasador en la manivela se toma la fuerza máxima resultante actuante sobre el pasador es $F_{32} = 614.73 \text{ N}$, en base a este resultado determinamos el diámetro.

Los resultados se muestran en el ANEXO A – Tabla 9.

Tabla 9

Resultados de Fuerza en el Pasador a 48°

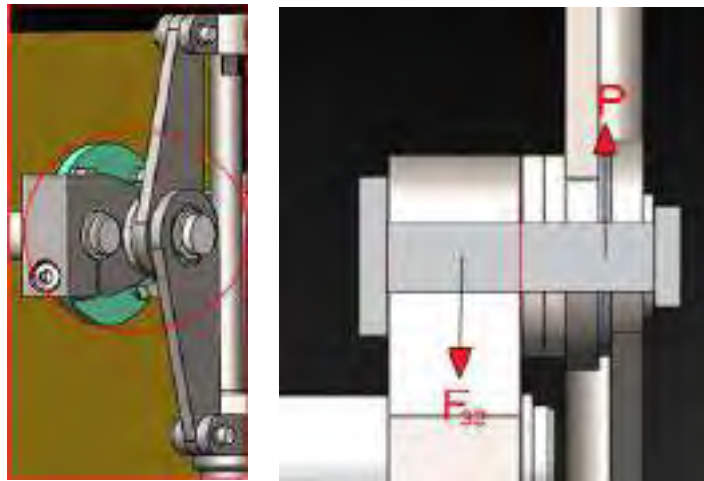
(°)	Fuerzas pasador manivela (O2AB)			Fuerzas pasador manivela (O2AC)			Fuerza resultante 32
	x	y	F 32	x	y	F 32	
48	86.60181	307.4407	319.4052	-86.65781	307.2937	319.2789	614.7345

Nota: Anexo A tabla 9.

Se considera la sumatoria del as fuerzas porque las dos fuerzas se manifiestan en este pasador.

Figura 84

Fuerzas Actuantes en el Pasador



La sección del pasador es circular, por lo tanto, el área del pasador estará dado por $A_p = \pi \frac{D_p^2}{4}$.

Por el diagrama de cuerpo libre:

$$\sum F = 0$$

$$F_{34} = P \rightarrow P = F_{34}$$

Tenemos que el esfuerzo cortante permisible es:

$$\tau_{perm} = \frac{P}{A_p} = \frac{F_{34}}{\pi \frac{D_p^2}{4}}$$

Despejando D_p :

$$D_p = \sqrt{\frac{4 F_{34}}{\pi \tau_{perm}}}$$

Según AISC, por el método de esfuerzos permisibles tenemos que $\tau_{perm} = 0.4 S_y$; esfuerzo de fluencia para el acero A-36 $S_y = 250 \text{ Mpa}$

Sustituyendo los datos en la ecuación:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * 614.73 \text{ N}}{\pi * 0.4 * 250 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1\text{m}^2}{1000^2\text{mm}^2}}}$$

$$D_p = 2.8 \text{ mm}$$

Entonces el diámetro del pasador de la manivela debe ser mayor a 2.8mm.

3.6.5.8 Determinando el diámetro del Eje Principal.

Se debe tener en cuenta que este sirve para transmitir la potencia generada por el motor Stirling y está sometido a pares de torsión debido a los componentes instalados en sí mismo.

Según los resultados en el ANEXO A – Tabla 7 el torque máximo total es $T_{total} = 12.47 \text{ Nm}$.

Tenemos que el esfuerzo de torsión máximo permisible es:

$$\tau_{perm} = \frac{T_{total} * c}{J}$$

Donde $c = \frac{D_{eje}}{2}$ y $J = \frac{\pi c^4}{2} = \frac{\pi D_{eje}^4}{32}$; (J es el momento polar de inercia).

Según AISC, por el método de esfuerzos permisibles tenemos que $\tau_{perm} = 0.4 S_y$; esfuerzo de fluencia para el acero A-36 $S_y = 250 \text{ Mpa}$.

Reemplazando en la ecuación:

$$\tau_{perm} = \frac{T_{total} * \frac{D_{eje}}{2}}{\frac{\pi D_{eje}^4}{32}}$$

$$\tau_{perm} = \frac{16 T_{total}}{\pi D_{eje}^3}$$

Despejando D_{eje} :

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 T_{total}}{\pi \tau_{perm}}}$$

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 * 12.47 N * m * \frac{1000 mm}{1 m}}{\pi * 0.4 * 250 * 10^6 \frac{N}{m^2} * \frac{1 m^2}{1000^2 mm^2}}}$$

$$D_{eje} = 8.6 mm$$

Entonces el diámetro del eje principal debe ser mayor a 8.6mm.

3.7 Determinación de la potencia del motor Stirling experimental.

3.7.1 Potencia mecánica entregada por el calor suministrado.

En la página 118 se determinó la eficiencia térmica teórica del motor Stirling de un $E_S = 4.48\%$ y una potencia de ingreso entregado por el calor de $Pot_{ing} = 377.23 Watts$. Ahora determinamos la potencia mecánica efectiva.

3.7.2 Potencia mecánica efectiva.

Existen dos maneras de determinar la potencia mecánica efectiva que se entrega al eje de un motor Stirling.

La primera consiste en una ecuación que deriva del parámetro de Beale y está dado por:

$$Pot_{mec} = F p_m f V_p \frac{T_H - T_C}{T_H + T_C}$$

Donde

- F : Factor de experiencia [0.25 – 0.35; por recomendación de Beale es 0.15].
- p_m : Presión media según Schmith [bar].
- f : Frecuencia [Hertz].
- V_p : Desplazamiento del pistón potencia [cm³].
- T_H : Temperatura de la zona caliente.
- T_C : Temperatura de la zona fría.

Entonces con los datos obtenidos podemos determinar sus valores.

$$Pot_{mec} = 0.15 * 4.76 \text{ bar} * 4.23\text{Hz} * 311.13\text{cm}^3 * \frac{758\text{K} - 388\text{K}}{758\text{K} + 388\text{K}}$$

$$Pot_{mec} = 303.51 \text{ Watts}$$

Y la segunda ecuación la potencia mecánica para un motor Stirling está dado por las siguientes ecuaciones.

$$Pot_{mec} = \frac{W}{t} = F * v = T * w$$

Entonces expresándola de otra manera

$$Pot_{mec} = T * w$$

Donde:

- W : Trabajo [J]
- t : Tiempo [seg]
- F : Fuerza [N]
- v : Velocidad [m/seg]
- T : Torque [N x m]
- w : Velocidad angular [rad/seg]

Para poder determinar la potencia mecánica de esta manera es necesario expresar la w en $\frac{rad}{seg}$ y

conocer el torque de sacudimiento máximo, entonces tenemos:

Velocidad angular máxima:

$$w = 254 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi}{rev} * \frac{1 min}{60 seg} \rightarrow w = 26.6 \frac{rad}{seg}$$

El par de torsión total máximo en el ANEXO A – Tabla 7, tenemos un valor de $12.473 N \times m$, entonces multiplicando tenemos:

$$Pot_{mec} = 12.473 Nxm * 26.6 \frac{rad}{seg}$$

$$Pot_{mec} = 331.78 \text{ Watts}$$

Para los cálculos utilizaremos la potencia mecánica efectiva de $Pot_{mec} = 331.78 \text{ Watts}$

3.7.3 *Determinación de la eficiencia mecánica del motor Stirling.*

La eficiencia mecánica se basa únicamente en la relación que existe entre la potencia de ingreso y la potencia de efectiva que requiere el motor Stirling experimental,

$$n_{mecanica} = \frac{Pot_{mec}}{Pot_{ing}} = \frac{303.51 \text{ Watts}}{377.23 \text{ Watts}}$$

$$n_{mecanica} = 0.8045 = 80.45\%$$

El motor Stirling experimental con mecanismo rómbico y lana de acero en el desplazador teóricamente tiene una eficiencia mecánica de 80.45%.

3.7.4 *Determinación de la eficiencia térmica del motor Stirling experimental*

La eficiencia térmica del motor Stirling experimental se determinó en la página 118 y está dado por:

$$E_S = \frac{W_{neto}}{Q_{ENT}} = \frac{Q_{ent} - Q_{sal}}{Q_{ent}} = \frac{1985.01 - 1895.9}{1985.01}$$

$$E_S = 0.0448 = 4.48\%$$

El motor Stirling tiene una eficiencia térmica teórica de 4.48%.

CAPÍTULO IV. CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACION DEL MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL.

4.1 Adquisición de Materiales.

Los materiales utilizados para la elaboración del motor Stirling son:

- Acero ASTM A36: este acero fue utilizado para elaborar las piezas de biela manivela, placas de soporte, cilindro caliente, contrapesos, soporte del motor, chumaceras, lana de acero.
- Acero inoxidable 304: para la elaboración del cilindro de enfriamiento.
- Aluminio: El material del pistón de fuerza es de aleaciones de aluminio, la elaboración del cilindro frio fue realizado con material Alumold.

Figura 85

Materiales para la Elaboración del Motor



4.2 Mecanizado y Cortes.

El mecanizado y corte de las piezas del motor Stirling requirió de gran precisión y dedicación, se utilizaron las siguientes maquinas:

- Para la elaboración de bielas, manivelas, acoples y planchas de soporte se utilizó una máquina de corte por láser TY-301500, a inicios los cortes se realizaron con cortadora plasma y cortadora autógena no siendo satisfactorios los resultados.

Figura 86

Máquina de Corte por Láser TY-301500



- El cilindro frío, bridas de fijación, chumaceras, ejes, vástagos, y otros se utilizó torno convencional MASTER- 34 1000.

Figura 87

Torno Convencional MASTER- 34 1000



- Para el proceso de unión de las piezas de acero se utilizó máquinas de soldadura por arco eléctrico, para la soldadura de aceros inoxidables se utilizó soldadura TIG.

Figura 88

Soldadura TIG



- Para la rectificación del cilindro frío se utilizó una maquina rectificadora BM-160.

Figura 89

Maquina Rectificadora BM-160



4.3 Elaboración de Piezas.

Cualquier diseño sin importar cuan simple sea, siempre generara conflictos que se deberán modificar para lograr un mejor resultado.

En la elaboración de las piezas se tomó en cuenta la resistencia de los materiales, su mecanizado y características mecánicas de los materiales, como también se adaptaron algunas de las piezas

debido a que su mecanizado es complicado y es más económico encontrarlos en el mercado y ser adaptados al motor.

En el desarrollo del motor se realizaron diferentes modificaciones debido a que las medidas que se obtienen en la parte analítica no fueron los adecuados para el funcionamiento del motor y se vieron modificadas para mejorar el rendimiento del mismo.

4.3.1 *Cilindro de la Zona Caliente*

Hecho de acero inoxidable, de diámetro interior de 62mm, presenta 1.2 mm de espesor en su pared y en la cabecera una platina de acero de 2mm de espesor, debido a que se redujo la longitud del pistón de fuerza, también se redujo la longitud inicial de este cilindro, de 222mm a 190mm.

Figura 90

Elaboración del Cilindro de la Zona Caliente



Se acoplo un contenedor para agua fría, con niples de entrada y salida, con la finalidad de mejorar el enfriamiento en el sistema.

Figura 91

Cilindro de la Zona Caliente con Acoplamiento de un Sistema de Enfriamiento.



4.3.2 *Cilindro de Aluminio de la Zona Fría.*

Construida por una barra de Alumold (aleaciones de aluminio tratado) de 120mm de alto por 100mm de diámetro, a la cual se le dio forma con 10 aletas de refrigeración, por medio va el pistón de fuerza, para evitar el desgaste de la pared interior del cilindro se encamisó a las medidas del diámetro del pistón de fuerza.

Figura 92

Cilindro de Aluminio antes del mecanizado



Para evitar el desgaste por fricción de encamisetado con aleaciones de acero con estructura austenítico para posteriormente rectificarla y dejar a la medida requerida. El diametro interior de este cilindro debe encajar con el piston de fuerza de tal forma que de hermetisidad dentro a la camara del prototipo. El diametro interior es de 6.3mm.

Figura 93

Cilindro de Aluminio de la Zona Fría



4.3.3 *Empaque de Unión.*

Cumple dos funciones principales, una de hermetizar en la unión de los cilindros frío y caliente, y otra, evitar la transferencia de calor por conducción entre el cilindro caliente y cilindro frío para mantener una diferencia de temperaturas elevadas. Su material es butadieno de nitrilo VB-72, capaz de soportar temperaturas elevadas.

Figura 94

Empaque de Unión



4.3.4 Cilindro Externo de Agua Para Enfriamiento.

Este hecho de plancha de acero inoxidable de 1mm de espesor, fue acoplado por el exterior al cilindro caliente de tal forma que reduzca la temperatura del fluido interior al atravesar el fluido de una zona a otra, se hace circular agua por dentro de este cilindro, contiene un volumen de 2 litros aproximadamente.

Figura 95

Cilindro Externo de Agua para Enfriamiento



4.3.5 Cilindro Contenedor de Agua.

Es un recipiente que contiene agua que alimenta el cilindro de enfriamiento, está conectado al cilindro de enfriamiento. Su capacidad es de 0.03 metros cúbicos aproximadamente.

Figura 96

Cilindro Contenedor de Agua



4.3.6 Desplazador

Basandonos en la recomendaciones de Agüero (2006) se diseñó el desplazador con una longitud inicial de 190mm y un diámetro de 60mm, inicialmente fue un tubo de acero inoxidable de espesor 1/16", su masa era de 643gr, debido al peso excesivo es que se redimensiona a una longitud de 155mm consiguiendo una nueva masa de 486gr, el peso seguía siendo excesivo.

Figura 97

Pistón de Acero de la Zona Caliente



Buscando alternativas para sustituir al pistón desplazador encontramos la lana de acero o hilos de viruta de acero, utilizando este material se pudo reducir el peso hasta los 242 gr, el nuevo pistón desplazador tiene una longitud de 160mm. La lana de acero se envuelve sobre el vástago adoptando la forma de un pistón esponjoso, la lana de acero cumple también otra función de regenerador del fluido de trabajo interior.

Figura 98

Desplazador del Motor Stirling



4.3.7 *Pistón Fuerza.*

Se adaptó un pistón de moto, con un diámetro de 62mm, y una longitud de 42mm. El material del pistón es de aleaciones de aluminio, se realizó modificaciones en el interior del pistón para aligerarlo. Se adecuó platinas de acero negro de un espesor de 2mm en sus caras opuestas de tal forma que le diera estabilidad y rigidez al momento del funcionamiento, tenía una masa inicial de 305gr y posteriormente para educir el peso se volvió a mecanizar y se redujo su masa a 208gr.

Figura 99

Pistón de la zona fría



4.3.8 *Vástago del Desplazador*

Se realizó se mecanizado en base a una vara de acero de 5/16" de diámetro, de una longitud de 210mm, se adecuó de forma que pueda conectarse el pistón desplazador y por el otro extremo asegurase en al acople del mecanismo por medio de tuerca M6, esta varilla pasa por medio del vástago del pistón de fuerza, de esta manera son concéntricos y permiten su desplazamiento en un mismo eje.

Figura 100

Vástago del Desplazador



4.3.9 *Vástago del Pistón de Fuerza o Vástago Guía*

Se fabricó de una varilla de acero de 5/8" de diámetro exterior, tiene una longitud de 78mm, a lo largo presenta un agujero de 5/16" que sirve de guía para la varilla del vástago desplazador, se adaptó de forma que se conecte por un extremo al pistón de fuerza y por el otro se asegure al acople del mecanismo por una tuerca M10.

Figura 101

Vástago Guía



4.3.10 *Bielas.*

Se fabricaron de una plancha de acero negro de 6mm de espesor, estas piezas necesitaron gran precisión por lo que elaborarlas demandó mucha dedicación y paciencia, fueron hechas en una máquina de corte por láser, se adaptaron a estas bielas rodamientos 627-RS que a su vez soporta pines que se unen a la manivela, son piezas fundamentales dentro del mecanismo rómbico.

Figura 102

Bielas y Cojinetes del Mecanismo



4.3.11 *Bujes de Bronce.*

Se encuentran instalados estratégicamente en lugares donde existe fricción por el movimiento del mecanismo rómbico, están ubicados en un extremo tanto de la biela como la manivela, también está instalado en medio del vástago guía del pistón de fuerza, ayuda a hermetizar el cilindro del motor Stirling y a su vez alinear los vástagos de los pistones.

Figura 103

Buje de Bronce



4.3.12 *Plancha Soporte.*

Consistía de una plancha de acero de 320mm x 220mm x 1/2", se dividió en un pedazo de 150mm x 187mm y dos de 180mm x 113mm, dos de las planchas iguales presentan agujeros por donde se instalan las chumaceras con rodamientos en su interior, por allí pasan los ejes donde están sujetos los engranajes, las manivelas y la volante de inercia. La otra plancha tiene agujero donde se instala el cilindro frio, es fundamental la unión de estas planchas porque estará sujeto todo el motor Stirling, además permite la alineación y sincronización del motor Stirling.

Figura 104

Plancha para el Soporte del Motor



4.3.13 Soportes de los Ejes.

Se fabricó con plancha de acero de 4" x 5 1/4" x 3/4". Primero, se procedió a cepillar ligeramente los soportes para dejarlos en forma rectangular, luego se hicieron los agujeros para instalar los rodamientos (SKF 6303), después se colocaron los rodamientos y se hizo pasar un eje por todos para darles las dimensiones finales.

4.3.14 Muñón o Eje Principal.

El eje principal permite conectar la biela, el engranaje y la volante de inercia, se obtuvo de una varilla de acero de ½”, maquinándola para que esté sujeta a la manivela, el engranaje y la volante; presentan una longitud de 134mm y 175mm, al más largo va conectado a la volante de inercia.

Figura 105

Eje del Motor



4.3.15 Chumaceras.

Sirve para soportar a los ejes principales del motor Stirling, dentro están acoplados rodamientos 61801 SKF que permitirán la rotación del eje principal, de esta forma se mejora la eficiencia y la firmeza del motor Stirling experimental,

Figura 106

Chumaceras del Motor



4.3.16 Engranajes.

Los engranajes se hicieron de acero negro y su función es importante porque sincroniza la potencia del motor Stirling experimental, las características de los engranajes empleados se obtuvieron gracias al programa computacional de SolidWorks cuyas especificaciones técnicas es: ISO - 2.75M 29T 20PA 15FW -S29C30H20L12.0S1.

Figura 107

Engranajes del Motor



4.3.17 Rodamientos.

Los rodamientos sirven como soporte y guía para los ejes y pines de conexión están instalados en las chumaceras y en las bielas. Se ha utilizado rodamientos SKF-627RS y SKF-61801.

Figura 108

Rodamiento Marca SKF



4.3.18 Manivelas.

De igual manera necesitaron gran precisión en su elaboración y se cortaron en una máquina de corte por láser, fabricaron de una plancha de acero negro de $\frac{1}{2}$ " , va conectado a la manivela por medio de un pin y se sujeta por prisioneros M5 al eje de los engranajes.

Figura 109

Manivela del Mecanismo Rómbico



4.3.19 Elaboración de Contrapesos.

Pese a que se requería una disminución del peso en algunos componentes, era necesario aumentar algunos contrapesos dentro del mecanismo, esto para equilibrar el peso del pistón de fuerza y pistón desplazador, están hechos de una plancha de acero de espesor de $\frac{5}{8}$ " , se adecuo de forma que pueda contrapesar el peso de los pistones y de sus vástagos, tienen un peso 350 gr cada uno, se instala en los ejes principales ajustándose por medio de prisioneros M5.

Figura 110

Contrapesos del Mecanismo Rómbico



4.3.20 *La Volante.*

Inicialmente se adaptó una volante de inercia de aluminio cuyo diámetro era 252mm y tenía una masa de 1020gr, se puso a prueba con el motor Stirling no dando resultados por el peso que presentaba.

Figura 111

Volante de inercia inicial



Se recalculo con las dimensiones nuevas del pistón desplazador, del pistón de fuerza y los contrapesos resultando una volante con peso aproximado a los 2300 gr, se consiguió una volante de acero con una masa de 2500gr, con esta volante se logró el funcionamiento del motor Stirling.

Figura 112

Volante de inercia final

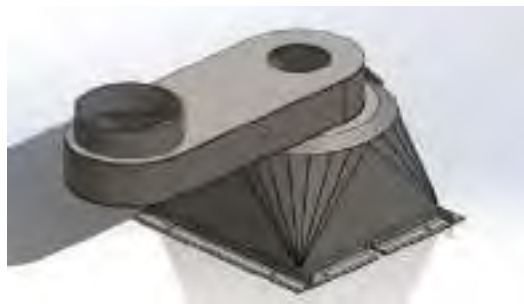


4.3.21 *Quemador.*

Realizado de plancha de acero para colocar el soplete que brinda el calor para generar y concentrar temperatura necesaria.

Figura 113

Quemador del prototipo



4.3.22 *Soporte del Motor.*

Se adecuó perfiles angulares y tubos de acero ASTM A36 de forma que soporte los componentes del motor Stirling.

Figura 114

Soporte del Motor



4.3.23 Sistema Eléctrico.

Consta de un generador RS385-ST de 12 V, una placa protoboard, diodos emisores de luz (leds) de 5 V instalados sobre un tablero de madera, se adaptó poleas de 30mm y 50mm de diámetro conectándose por medio de una faja a la volante de inercia, se instala el circuito eléctrico en serie para que al girar la volante de inercia permita tomar las mediciones respectivas.

Figura 115

Prueba de Funcionamiento del Sistema Eléctrico



4.3.24 *Faja de Unión.*

Consiste de un cordel elástico de 8 mm de diámetro con una longitud de 1 metro, se adaptó a la volante con una ligera tensión de tal forma que no patine ni desplazamiento en la polea.

Figura 116

Faja de Unión



4.4 Lubricación.

Se utiliza como lubricador del pistón de fuerza aceite multigrado 20W-50, y para los engranajes grasa multipropósito EP2.

4.5 Tolerancias.

Las tolerancias de ajuste y holgura utilizadas en el ensamble del motor Stirling se basan en la norma DIN 7168, esto implica que por los diámetros que tenemos dentro del motor Stirling se utilice una tolerancia de $\pm 0.3\text{mm}$.

4.6 Herramientas de medición.

Para realizar las mediciones experimentales del funcionamiento del motor Stirling se utilizó:

- Para medir la RPM se utilizó un tacómetro 6236P.

Figura 117

Tacómetro 6236P



- Para medir la temperatura se utilizó un pirómetro infrarrojo PM550E.

Figura 118

Infrarrojo PM550E



- Para medir la intensidad de corriente y voltaje se utilizó dos multímetros digitales DT-830L.

Figura 119

Multímetros Digitales DT-830L



- Para determinar el peso de los componentes de utilizo una balanza digital.

Figura 120

Balanza Digital



- Para la medición de longitudes y diámetros se utilizó flexómetro y vernier.

Figura 121

Instrumento Vernier



Las partes de un motor no siempre tendrán las dimensiones que se plantean en el diseño computacional y en el cálculo, estos errores influyen en el montaje y alineación de las partes del motor, muchas de las piezas se debieron fabricar en varias ocasiones, esto implica demora en el tiempo de construcción y elevó el costo de fabricación del motor Stirling.

4.7 Ensamblaje del Motor Stirling

Con los materiales y los componentes del motor se procede a realizar el ensamblaje del motor por partes:

4.7.1 *Ensamblaje del mecanismo rómbico*

Este mecanismo este compuesto por 4 bielas, 2 manivelas, 2 ejes de transmisión de potencia o cigüeñales, 2 contrapesos, 4 chumacera, 8 rodamientos para biela, 4 rodamiento para la chumacera, 2 acoples, pasadores, 2 planchas de soporte, 2 engranajes y 1 volante de inercia.

Se instala las chumaceras con sus respectivos rodamientos dentro de las planchas de soporte, por medio se instala los ejes o cigüeñales, sobre estos ejes están instalados los engranajes y por uno de los extremos la volante de inercia; se arma el rombo de bielas, manivelas con los acoples y se instala en los ejes asegurándolas con tornillos prisioneros Allen; las bielas tienen rodamientos instalados en sus extremos y por medio pasan los pasadores quienes conectan cada componente del mecanismo; los acoples presenta agujeros con roscas por donde se sujetan instala los vástagos del desplazador y el pistón de fuerza.

La volante de inercia también se puede colocar al final de la instalación.

4.7.2 *Pistón de fuerza y desplazador.*

El pistón fuerza y el desplazador cada uno tiene un vástago que calza roscada dentro de ellos; una vez instalado el pistón de fuerza con su vástago, por medio pasa el vástago del desplazador; el desplazador consta de una varilla y lana de acero, la cual se extiende tratando de formar una sábana que se encuentre distribuida de manera equilibrada y envuelve la varilla formando un cilindro el cual actuara como desplazador.

4.7.3 *Cámara del motor Stirling experimental*

Está conformado por el cilindro caliente, cilindro frío, cilindro de refrigeración, empaque y pernos.

Se procede a la unión del cilindro caliente y el cilindro frío, por medio se instala el empaque, estos se aseguran con los 6 pernos a la plancha de soporte; el cilindro de refrigeración se encuentra unido al cilindro caliente.

4.7.4 *Inserción del mecanismo al cilindro*

El pistón de fuerza y el desplazador ya deben estar instalados en los acoples del mecanismo que están en la plancha de soporte, todo esto se inserta a la cámara del motor Stirling y se asegura con los 6 pernos.

Todo el motor ensamblado se procede a colocar en el soporte del motor Stirling experimental donde está adecuado la cámara de combustión.

4.8 Evaluación para el Funcionamiento del Motor Stirling Experimental

Con el ensamble del motor Stirling experimental, se realiza el análisis de los componentes del motor y evaluar su funcionamiento.

4.8.1 *Posiciones del Motor Stirling Experimental.*

4.8.1.1 En Posición Horizontal.

- El motor Stirling experimental en posición horizontal desalinea el mecanismo rómbico provocado por el peso del pistón desplazador.

- El pistón desplazador produce un aplastamiento en el pistón de fuerza, por lo que al momento de revolucionar se produce fricción, limitando el movimiento.
- Los vástagos de los pistones se desalinean, por lo que traba al mecanismo rómbico.
- Se utilizó como fuente de calor el GLP.
- Se observó fugas del fluido de trabajo interior por medio del vástago guía del pistón frío.

Figura 122

Prueba del Prototipo



4.8.1.2 En Posición Vertical (Cilindro Caliente Hacia Arriba).

- Se comprobó desalineación en los vástagos de los pistones, debido a que existía una diferencia de longitudes en las bielas y manivelas, esto también provocaba que el desplazador roce con el cilindro caliente, frenando las revoluciones del motor Stirling.
- Se evidencio el que el peso de los componentes del pistón desplazador y del pistón de fuerza son elevados por lo que era imposible lograr el funcionamiento del motor.
- Se realizó pruebas con GLP y brasa de bosta de cuy, se pudo comprobar que la temperatura máxima con la brasa de bosta de cuy es de 180°C aproximadamente y la del GLP bordea los 400°C, la bosta de cuy requiere de ventilación permanente para permanecer encendida.
- Existe perdida de temperatura y Calor por que se disipa en el ambiente.

Figura 123

Prueba con GLP, con bosta de cuy y calor residual de ladrilleras



4.8.1.3 En Posición Vertical (Cilindro Caliente Hacia Abajo).

- Se observó una vez más que el peso de los componentes del pistón desplazador y del pistón de fuerza son elevados por lo que era imposible lograr el funcionamiento del motor.
- Se realizó pruebas con GLP adecuando una cámara para concentrar el calor.
- Se evidencia fugas del fluido de trabajo interior por medio del vástago guía del pistón de fuerza.

Figura 124

Posición Vertical del Prototipo



Considerando todos estos detalles observados en el diseño inicial del motor Stirling, es que se replantea con otras alternativas para reducir el peso de los componentes del pistón de fuerza y desplazador, se volvió a rediseñar y como consecuencia a volver a fabricar algunos componentes del motor Stirling, quedando el diseño final tal como la Figura 122.

Figura 125

Diseño 3D del Prototipo



4.8.2 *Funcionamiento del Motor Stirling Experimental.*

La presencia de temperatura en el exterior del cilindro caliente del motor Stirling experimental genera una diferencia de presión en el cilindro caliente y en el cilindro frío, el cual permite que mediante un impulso inicial que estas presiones internas cambien por la circulación del aire caliente en el interior del cilindro, provocando el desplazamiento de los pistones del motor Stirling.

La fuerza ejercida a causa de las presiones interiores, se transmite al mecanismo rómbico, y este a su vez está conectado por medio del eje a los engranajes y a la volante de inercia, el movimiento del mecanismo rómbico permite la rotación de los engranajes y de la volante estabilizándose y agarrando continuidad.

La volante está conectado por medio de una faja a un generador que transforma las revoluciones en bajas potencias eléctricas, queda claro que nuestro motor Stirling experimental puede transformar la energía calorífica entregada por el gas en energía mecánica, con la finalidad que produzca energía eléctrica.

4.9 Mantenimiento del motor Stirling Experimental.

El mantenimiento del motor Stirling se basa en un mantenimiento mecánico que involucra un mantenimiento estratégico de acuerdo a las necesidades que requiera el motor Stirling, lo que realmente se desea es que la maquina no presente fallas y por lo general se requiere realizar un mantenimiento sistemático o preventivo que involucra la limpieza de las piezas, la lubricación del motor en general, ajustes de pernos y tuercas, especialmente en el sistema de transmisión rómbico, también se debe realizar un mantenimiento predictivo evaluando diagnósticos de las posibles fallas que se puedan presentar durante el funcionamiento, comúnmente esto sucede en la unión de los pernos de sujeción de los vástagos con el mecanismo rómbico. Por otra parte, la lana de acero es recomendable ser cambiado después de 15 horas de uso, lo que corresponde a un mantenimiento predictivo.

CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

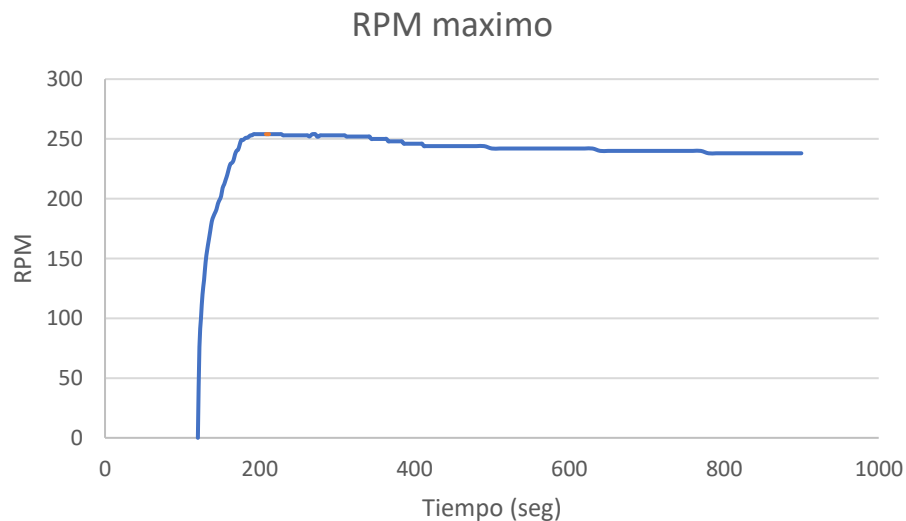
5.1 Resultados Experimentales del Motor Stirling Experimental.

5.1.1 *Apreciaciones en las revoluciones.*

Después de varias pruebas en el motor Stirling experimental, se observa que después de pasar un precalentamiento de 2min es posible iniciar el funcionamiento y posteriormente llegar a un máximo de 254 RPM en la volante de inercia después de 72 segundos de iniciado el funcionamiento. Para las pruebas realizadas se utilizó 60 gr de lana de acero. Las RPM influyen directamente en la obtención de la potencia.

Figura 126

Resultados del Prototipo sin el generador



5.1.2 *Comportamiento de la Temperatura*

Se observó que a mayores temperaturas este expuesto el Motor Stirling experimental, mayor será las RPM. La temperatura depende directamente del flujo de GLP que se combustiona. Se realizaron dos pruebas de calentamiento con diferentes flujos de gas combustible obteniendo los siguientes resultados de calentamiento:

La primera prueba se realizó sin hacer circular agua por el cilindro de enfriamiento, el precalentamiento fue de 2min.

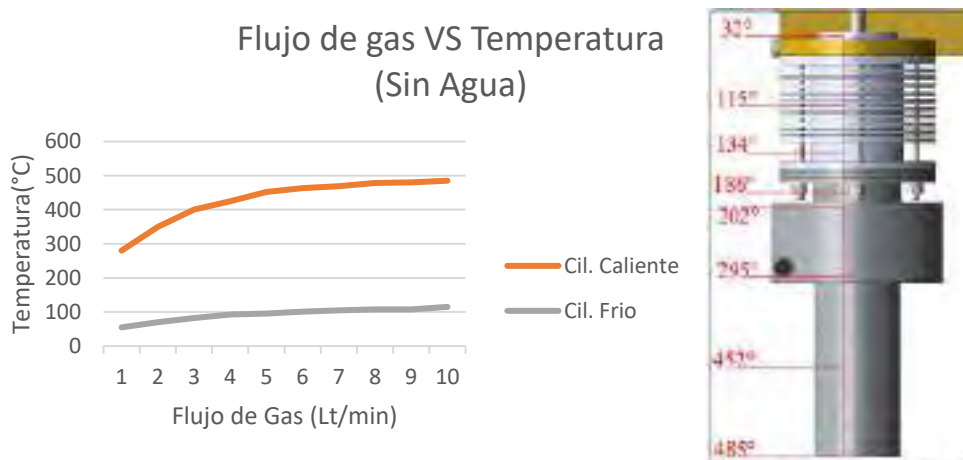
Tabla 10

Resultado de Temperaturas Respecto al Flujo de Gas sin Flujo en el Enfriador

FLUJO DE GAS Lt/ min	TEMPERATURA Cilindro caliente Th (°C)	TEMPERATURA Cilindro frio Tk (°C)
1	280	55
2	350	70
3	400	82
4	425	93
5	452	95
6	463	101
7	469	105
8	478	108
9	480	108
10	485	115

Figura 127

Grafica de Temperaturas en el Prototipo sin Refrigeración



Esta segunda prueba se hizo circular agua por el cilindro de enfriamiento, se precalentó el motor por un tiempo de 6min.

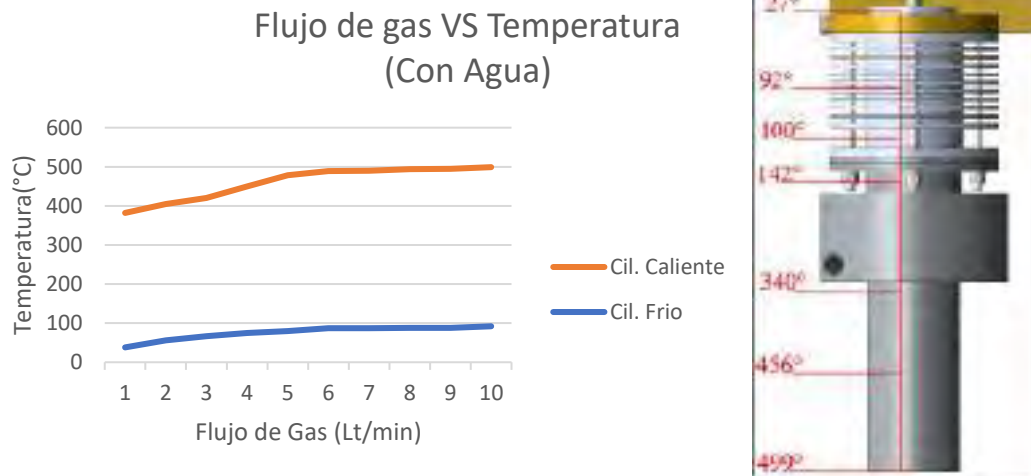
Tabla 11

Resultado de Temperaturas Respecto al Flujo de Gas con Flujo en el Enfriador

FLUJO DE GAS Lt/ min	TEMPERATURA Cilindro caliente Th (°C)	TEMPERATURA Cilindro frio Tk (°C)
1	382	38
2	405	56
3	420	67
4	450	75
5	478	80
6	489	87
7	490	87
8	494	88
9	495	88
10	499	92

Figura 128

Grafica de Temperaturas en el Prototipo con Refrigeración



El motor Stirling experimental inicia el funcionamiento cuando la temperatura en el cilindro caliente está a 350°C aproximadamente.

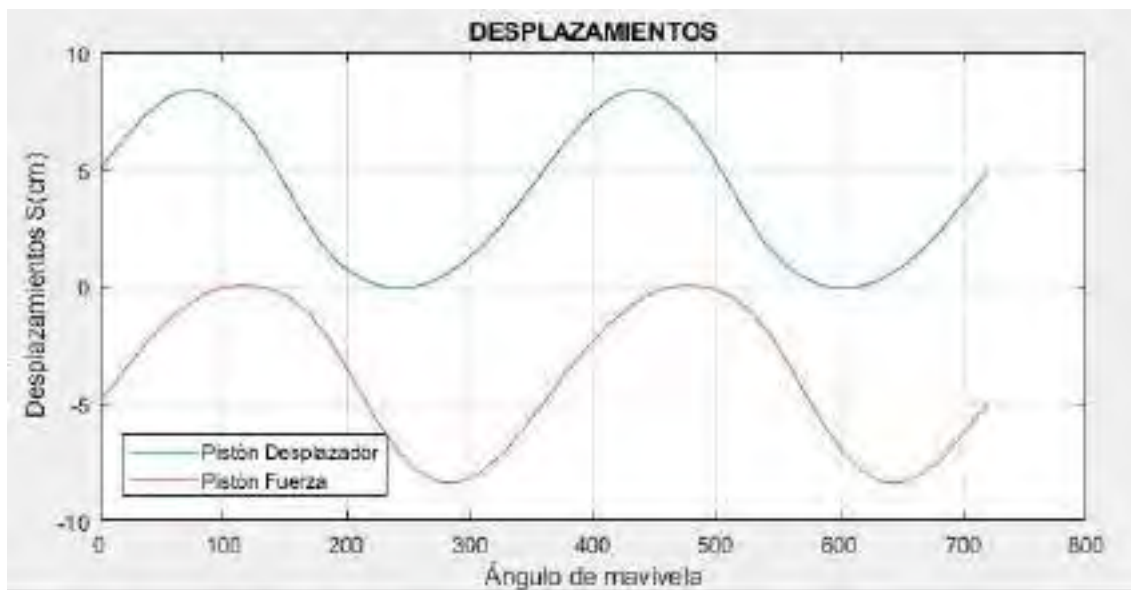
5.1.3 Resultados Cinemáticos.

5.1.3.1 Desplazamientos

En el siguiente grafico se observa el desplazamiento de los pasadores que conectan las bielas con los vástagos, se observa un alejamiento máximo de 99.1mm cuando la manivela se encuentra a 0°, y el acercamiento máximo es de 33.12mm cuando la manivela está a 180°.

Figura 129

Grafica Desplazamiento vs Ángulo de Manivela



El siguiente grafico se observa las distancias que existe entre la cabeza del pistón de fuerza y el desplazador, se tiene una aproximación máxima de 10.98mm a 0° y un distanciamiento máximo de 75.88mm a 180°. La manivela del desplazador nunca se llega a cruzar con la manivela del pistón de fuerza y el diagrama de desplazamiento siempre mantendrá la misma forma.

Figura 130

Grafica de Distancia Entre Pistón de Fuerza y Desplazador

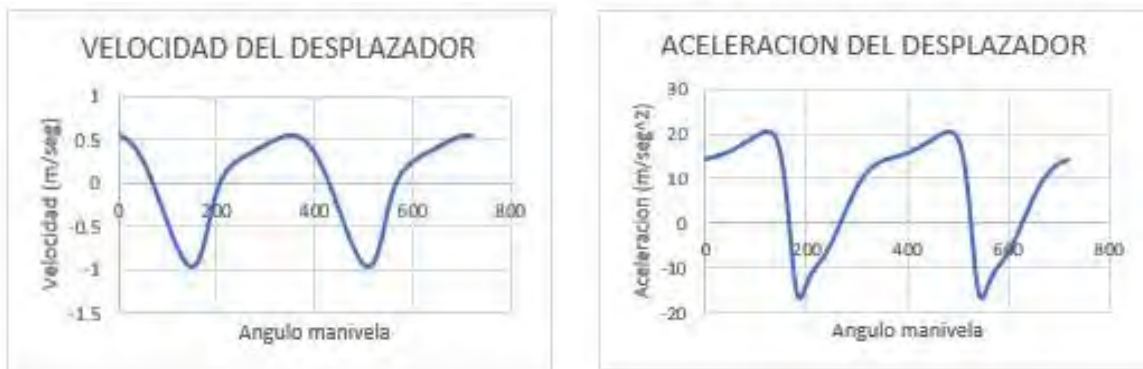


5.1.3.2 Velocidades y aceleración para el mecanismo del desplazador (O2AB).

Se observa una velocidad máxima a 0.971m/seg. a 148°, y una aceleración máxima de $20.42 \frac{m}{seg^2}$ a 124°.

Figura 131

Grafica Velocidad y aceleración del desplazador.

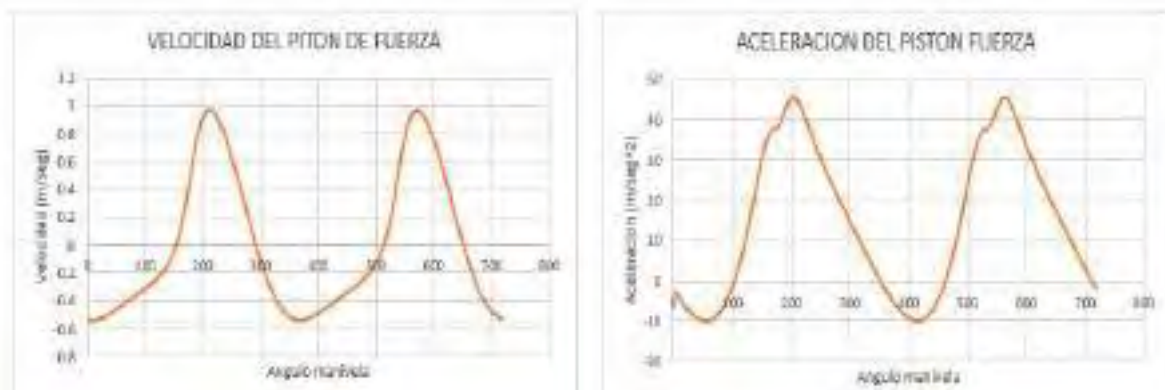


5.1.3.3 Velocidades y aceleración para el mecanismo del Pistón de fuerza (O2AC).

Se observa una velocidad máxima de 0.971m/seg, a 212°, y una aceleración máxima de $45.56 \frac{m}{seg^2}$ a 204°.

Figura 132

Grafica Aceleraciones vs Ángulo de Manivela



5.1.4 Resultado de las Fuerzas Dinámicas.

Los resultados de las fuerzas dinámicas se encuentran en el anexo A – Tabla 5 y Tabla 6

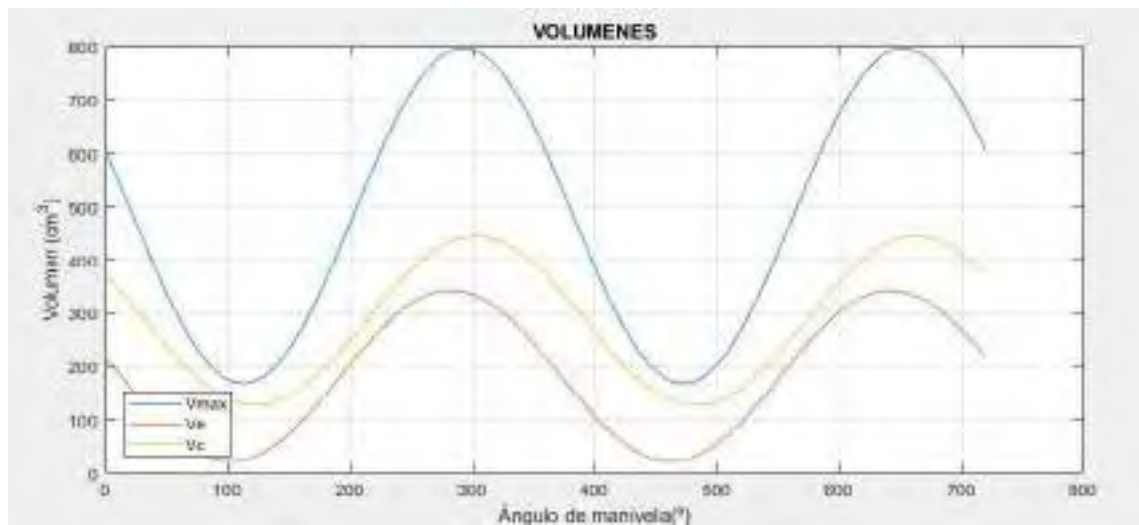
5.1.5 Resultado de la masa, presión, fuerza y torque de fluido interior de trabajo.

Se obtuvo una masa de fluido de trabajo (aire) de 0.016 g/mol, el calentamiento de esta provoca una presión máxima de 0.2532 Mpa y una fuerza máxima de empuje de 716.04 KN, ambos se dan a un ángulo de 56°, todo esto contribuye a que exista un par de torsión máximo del fluido de trabajo de 14.97 KN*m a 64°. Los resultados obtenidos podemos representarlos mediante gráficas.

Los diagramas a continuación corresponden a los volúmenes de compresión, expansión y el volumen total versus la presión que ejercen dentro del motor Stirling experimental.

Figura 133

Diagrama de Volúmenes y Ángulo de Manivela



Los diagramas de fuerza del gas y presión del gas presentan la misma forma en su curva siendo el pico más alto a 48°.

Figura 134

Diagrama Presión vs Volumen

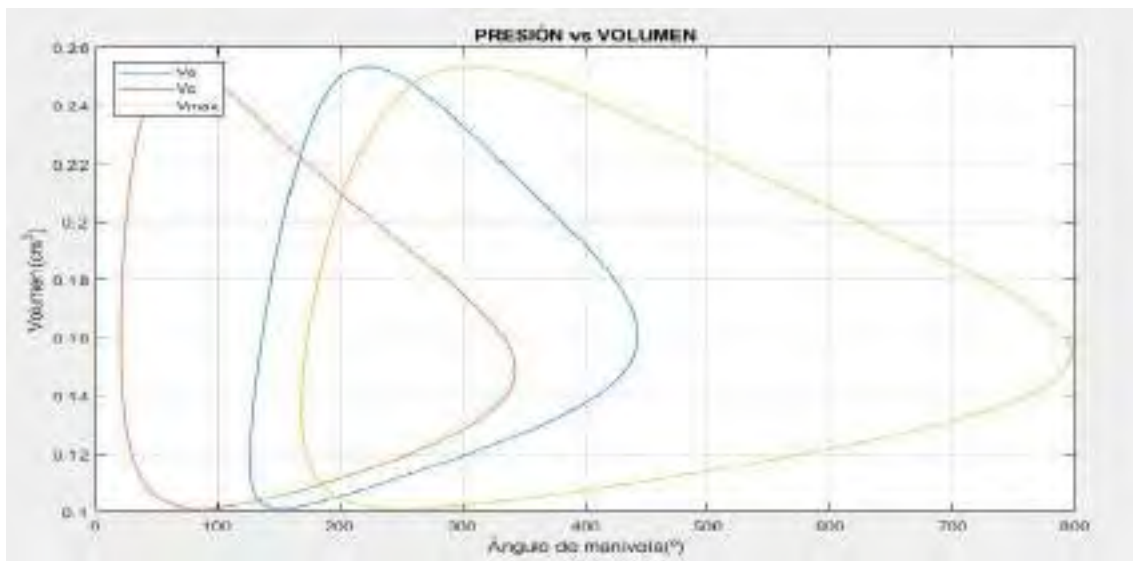


Figura 135

Diagrama Fuerza de gas vs Ángulo de Manivela

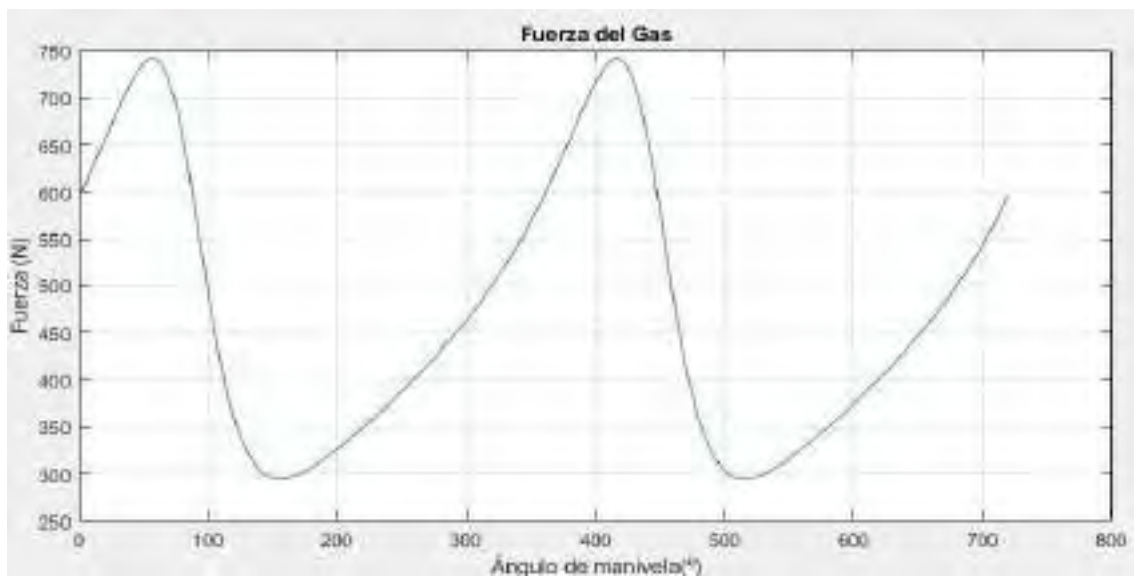
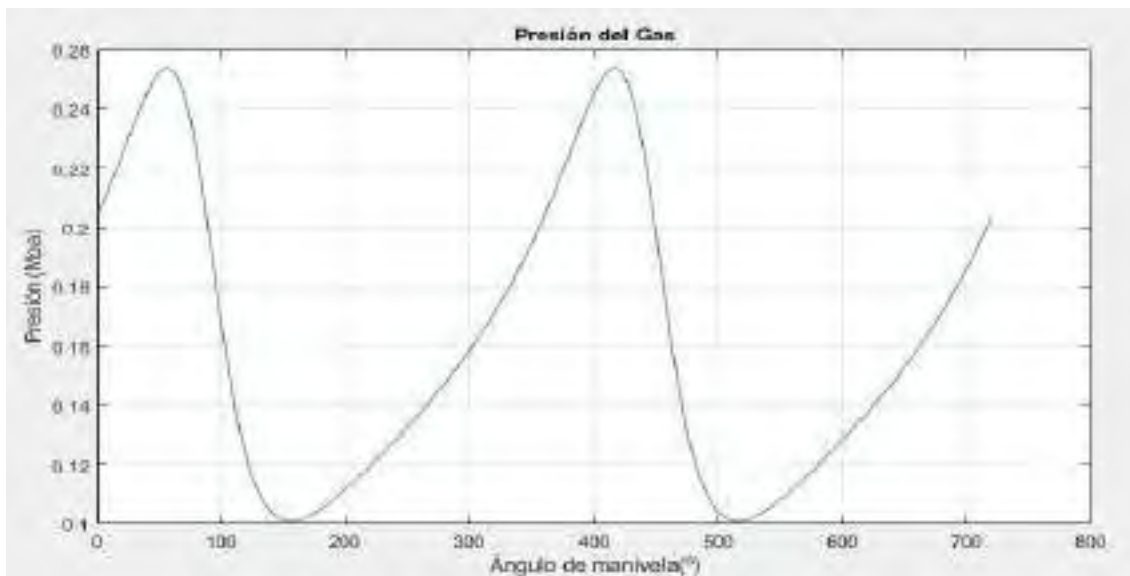


Figura 136

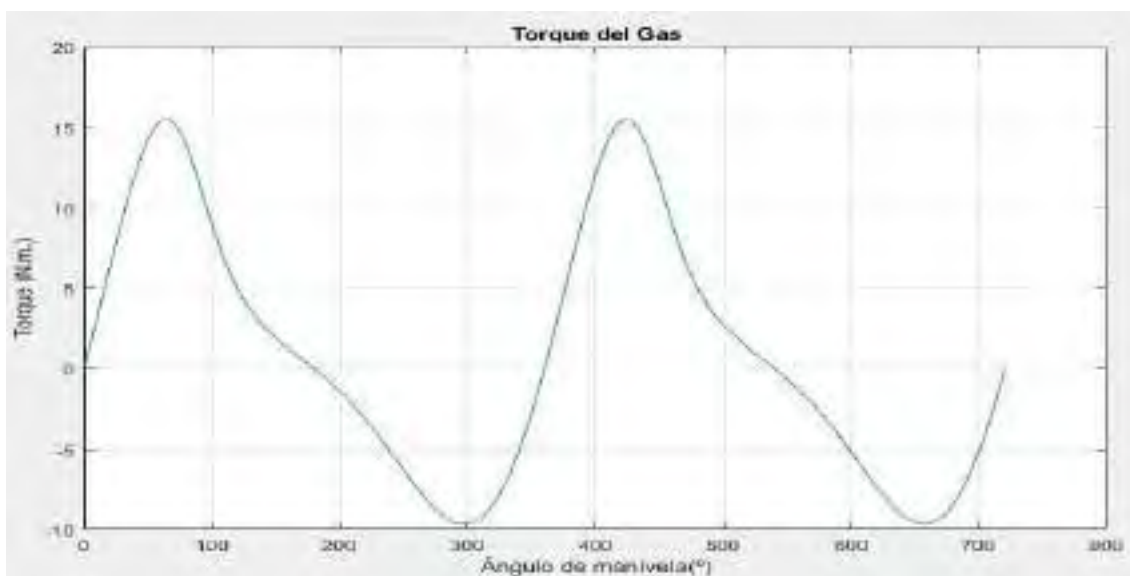
Diagrama Presión del gas vs Ángulo de Manivela



El torque máximo producido por el fluido de trabajo es de 6.035 Nm y se da cuando el ángulo de manivela está a los 74°, este dato es importante para la determinación de la potencia del motor.

Figura 137

Diagrama del Torque de gas vs Ángulo de Manivela

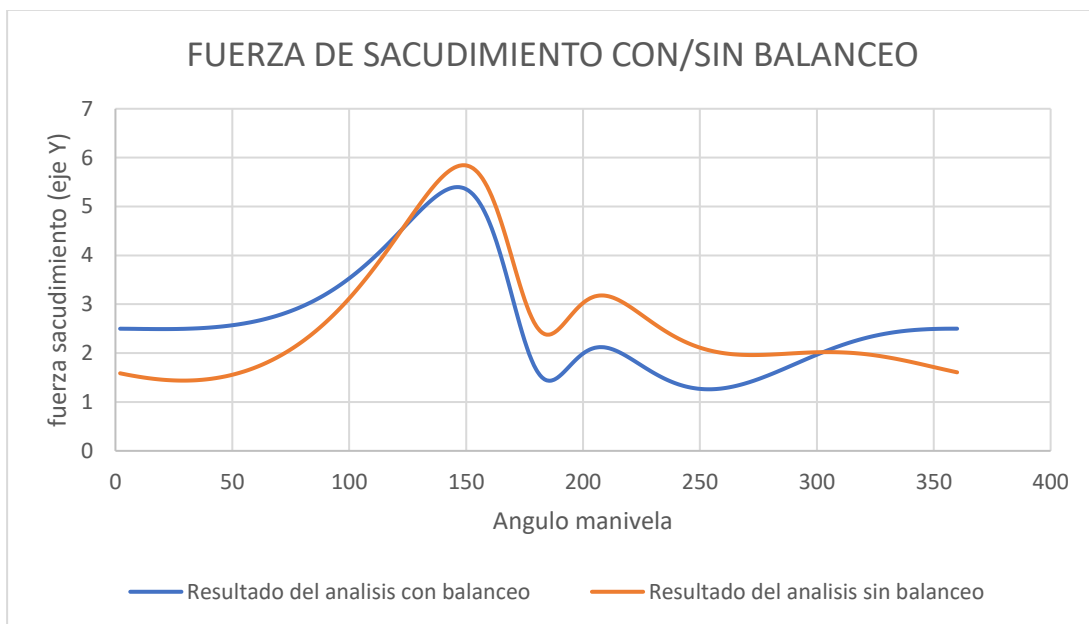


5.1.6 Resultados de Fuerzas de Sacudimiento con/sin balanceo

La fuerza de sacudimiento solo se da de forma vertical, esto a causa del desplazamiento de los pistones. Se tiene una concentración de fuerza de sacudimiento máximo sin balanceo de 5.84 N a 148° en la manivela, y la fuerza de sacudimiento máximo con balanceo es 5.40 N a 146° en la manivela, su representación gráfica es como sigue:

Figura 138

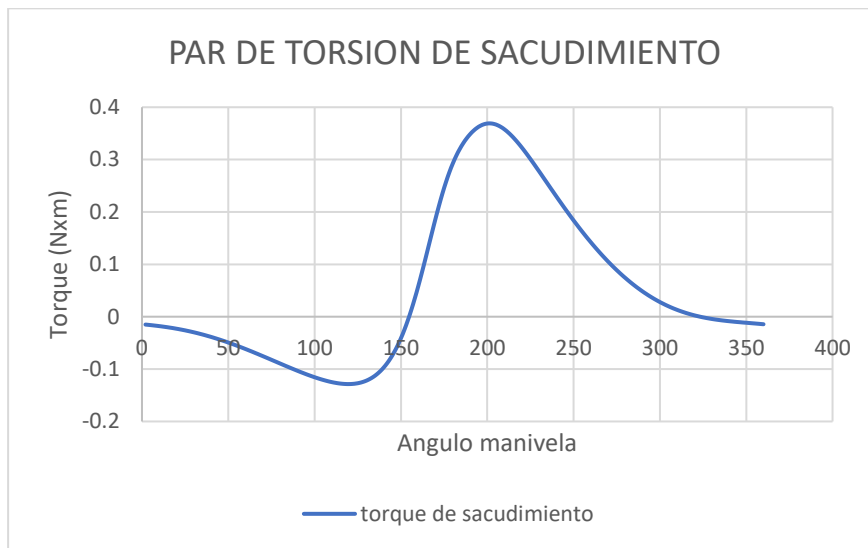
Diagrama de Fuerza de Sacudimiento con/sin Balanceo vs Ángulo en la Manivela



Las fuerzas de inercia dan como resultado un diagrama de par torsión donde el mayor par torsión es de 0.369 Nm a 202 ° de giro en la manivela, con este resultado máximo junto con el par torsión del gas contribuyen a la determinación de la potencia del motor Stirling experimental.

Figura 139

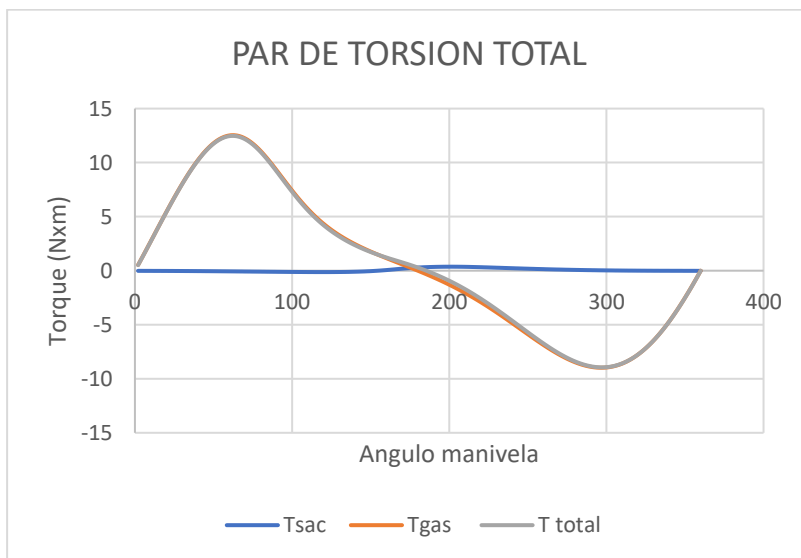
Diagrama de Ángulo en la Manivela vs Torque



La sumatoria de los pares de torsión de sacudimiento y gas da como resultado el par torsión total, el diagrama muestra que los valores del par torsión del gas son casi los mismos que el par de torsión total, esto porque los valores obtenidos en el par torsión por sacudimiento son mínimos en comparación a los del gas.

Figura 140

Diagrama de Ángulo en la Manivela vs Torque



Para la determinación de las potencias, se considerará el valor máximo del par de torsión total que es de 12.47 Nm.

5.1.7 *Potencia del motor Stirling experimental.*

5.1.7.1 *Potencia mecánica efectiva real.*

Para obtener el par torsión real se debe determinar la fuerza que resulta en la volante, debido a que este es complicado determinar, se adaptó imanes a 5cm de la volante de inercia donde no existía campo magnético de atracción, los imanes están conectados a un dinamómetro.

Figura 141

Toma de Datos del Torque del Motor Experimental



A medida que los imanes se aproximan a la volante se produce una atracción magnética el cual generaba un arrastre y de esta forma empezaba a disminuir las revoluciones en la volante, con la fuerza obtenida se puede obtener el par de torsión que genera el motor Stirling.

El siguiente cuadro muestra los valores aproximados obtenidos al acercar los imanes a la volante de inercia.

Tabla 12

Resultado de Medición con el Uso de Imanes

Dist. a la volante (mm)	Atracción (gr)	RPM
50	190	254
40	205	250
30	270	243
20	335	234
10	415	222
5	510	205
2	610	181

El peso inicial de los componentes que soporta a los imanes es 190 gr y está considerado como primer valor en la tabla a 50 mm de distancia, (a 50mm el imán no ejerce atracción). A medida que se acerca el imán a la volante de inercia se empieza a disminuir las revoluciones y existe una mayor atracción, la diferencia de valor a una cierta distancia menos el valor inicial dado por el peso de los componentes que soportan los imanes, es la masa fuerza de atracción que genera el motor Stirling experimental.

Se pudo aproximar el imán hasta 2mm de la volante obteniendo una atracción de 420 gr, las revoluciones obtenidas en la volante fueron de 181 rpm, empezando a detenerse desde entonces.

Figura 142

Toma de Datos del Torque del Motor Experimental



Entonces

$$T = F * r$$

Donde “ r ” Es el radio de la volante $r = 152 \text{ mm}$ y F es la fuerza de arrastre de los imanes y está dado por:

$$F = (0.610 - 0.190)kg * 9.81 \frac{m}{seg^2}$$

$$F = 4.12 \text{ N}$$

Obteniendo el par torsión en la volante de inercia:

$$T = F * d$$

$$T = 4.12 \text{ N} * 0.152 \text{ m}$$

$$T = 0.63 \text{ Nxm}$$

Entonces la potencia mecánica efectiva real obtenida es:

$$Pot_{mec} = T * w = 0.63 \text{ Nxm} * 26.6 \frac{rad}{seg}$$

$$Pot_{mec} = 16.66 \text{ Watts}$$

Se sabe que existen dos maneras de determinar la potencia mecánica que se entrega al eje de un motor Stirling. La primera es con la fórmula que deriva del parámetro de Beale donde la potencia mecánica determinada es 303.51 W, y la segunda es con la potencia en función del par torsión y resulta 331.78W, nos podemos dar cuenta que la potencia teórica determinada por sus dos formas se aproximan, sin embargo, la potencia real del motor se ha calculado con 16.66W, la diferencia entre la potencia teórica y real es porque existe perdidas de potencia dentro del motor Stirling experimental, ya sea por la fricción, por la alineación o inclusive nuevamente por el mismo peso de los componentes pese a haber reducido su masa.

5.1.7.2 Potencia eléctrica

La potencia eléctrica está dada por la siguiente ecuación.

$$Pot_{electrica} = V * I$$

Donde:

V : Voltaje [V : voltios]

I : Corriente [A : amperios]

La siguiente tabla muestra los voltajes y corrientes medidos a 210 RPM con 242gr de masa en el desplazador y 208gr en el pistón de fuerza. Cabe resaltar que la polea instalada en el generador eléctrico tiene un diámetro de 10mm.

Tabla 13

Resultados de Voltaje en el Motor Stirling

RPM	RPM POLEA	VOLTAGE (V)	CORRIENTE (mA)
210.1	6387.04	10.23	1020.09

Se tiene un voltaje máximo de 10.23 V y una corriente máxima de 1020.09 mA , la potencia máxima obtenida es:

$$Pot_{electrica} = V * I$$

$$Pot_{electrica} = 10.23 V * 1020.09 mA \cdot \frac{1 A}{1000 mA}$$

$$Pot_{electrica} = 10.44 W$$

Otra forma de poder obtener la potencia real es mediante la obtención potencia eléctrica, se obtuvo un valor de 10.44 W, y comparando con la potencia mecánica real se observa una disminución 6.22 W, está pérdida de potencia se podría explicar cómo la pérdida de potencia debido a la resistencia que ofrece el pequeño generador.

5.1.7.3 Eficiencia mecánica del motor Stirling.

La eficiencia mecánica real es la relación que existe entre la potencia de ingreso entregado por el calor y la potencia de efectiva real que se manifiesta en la Volante de inercia.

$$n_{mecanica} = \frac{Pot_{mec}}{Pot_{ing}} = \frac{16.66 \text{ Watts}}{377.23 \text{ Watts}}$$

$$n_{mecanica} = 0.04416 = 4.416\%$$

Se obtiene una eficiencia mecánica efectiva de 4.42%, se observa que existe una gran diferencia entre la eficiencia mecánica inicial de 80.45% con la eficiencia mecánica efectiva, que quiere decir que existe demasiada perdida de energía calorífica a consecuencia del peso de los componentes mecánicos, la fricción de los componentes dentro del cilindro y la desalineación que se presenta en el mecanismo rómbico.

5.2 Diseño mecánico

Para el diseño mecánico de nuestro motor es necesario aplicar los parámetros de diseño y conocer los resultados termodinámicos, es así que se determinó las dimensiones de algunos componentes, las fuerzas inerciales y las fuerzas del gas contribuyeron a la determinación del par de torsión y con este resultado tenemos:

Se ha decidido las longitudes de la biela y manivela de 50mm y 20mm respectivamente, se emplea un pistón de fuerza de 62 mm diámetro, la carrera del pistón es de 37.5mm y se utiliza 60gr lana de acero en el desplazador.

Se ha calculado la masa de los contrapesos para 366.74 gr cada uno, en nuestro motor se están usando contrapeso de 350 gr y estará posicionado a 3° aproximadamente con la horizontal cuando nuestro ángulo de manivela este a 180°.

Se calculó que la masa de nuestra volante debe ser aproximado a 2.315 Kg y podrá tener un radio de volante 0.15 m, para nuestro motor Stirling experimental se utilizó una volante de 0.15m de radio y un peso de 2.5 Kg

Se calculó el diámetro de pasador que conecta la biela con el acople de 1.63 mm de diámetro, en el motor Stirling experimental se está usando un pasador de 5 mm de diámetro. Así mismo se calculó el diámetro del pasador que conecta la biela con la manivela obteniendo un resultado de 2.8 mm de diámetro, en el motor Stirling experimental se está usando un pasador con diámetro de 7mm. También se calculó el diámetro del eje principal o cigüeñal hallando un diámetro de 8.6mm, para este motor Stirling se está usando un diámetro de 12.5mm.

5.3 Análisis estadístico de resultados.

Las masas de la lana de acero toman los siguientes valores:

Tabla 14

Masa de la Lana de Acero

Masas (gr)	
Masa 1	45
Masa 2	60
Masa 3	75

Los resultados obtenidos se dan en la siguiente tabla:

Tabla 15

Resultados de RPM con las Distintas Masas sin Refrigeración

RPM (Sin flujo de agua)		
lana de acero N°1	lana de acero N°2	lana de acero N°4

flujo gas (lt/min)	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3
1	185	235	225	205	248	245	189	205	238
2	189	244	235	206	250	247	189	211	238
3	187	246	235	209	254	249	189	215	240
4	193	245	237	208	252	250	190	221	240
5	207	254	242	210	254	252	190	229	240
7	204	253	249	214	254	251	192	234	241
10	211	254	252	224	254	250	193	234	244

Tabla 16

Resultados de RPM con las Distintas Masas con Refrigeración

flujo gas (lt/min)	RPM (Con flujo de agua)								
	lana de acero N°1			lana de acero N°2			lana de acero N°4		
	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3
1	182	225	240	187	240	237	185	228	220
2	181	240	245	189	241	240	185	228	223
3	185	238	246	196	246	243	186	230	223
4	188	229	243	193	252	242	188	230	223
5	188	248	250	198	254	242	190	232	225
7	200	251	250	200	253	245	192	239	230
10	209	253	254	202	254	252	192	240	239

5.3.1 Gráficos de dispersión.

Se usa para averiguar la intensidad de relación entre una variable independiente y otra variable dependiente, en este caso, los gráficos muestran las RPM generadas con diferentes medidas de diámetro de lana de acero y un determinado peso cuando está sometido a diferentes flujos de gas.

Figura 143

Grafico de Dispersión para una Masa de 45 gr. con Refrigeración

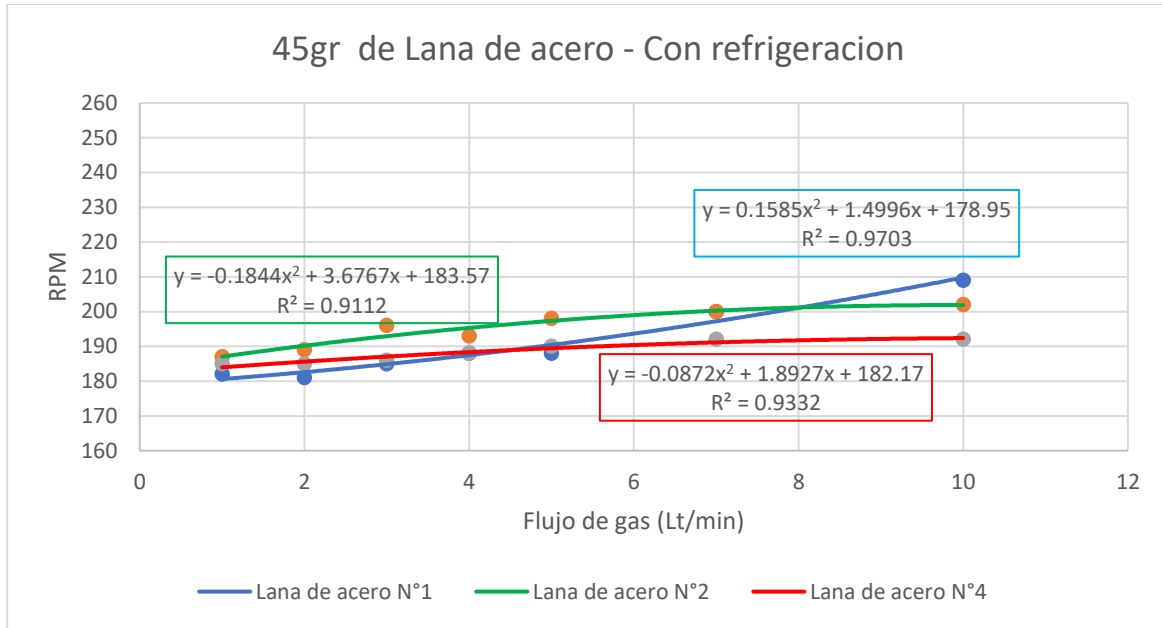


Figura 144

Grafico de Dispersión para una Masa de 45 gr. sin Refrigeración

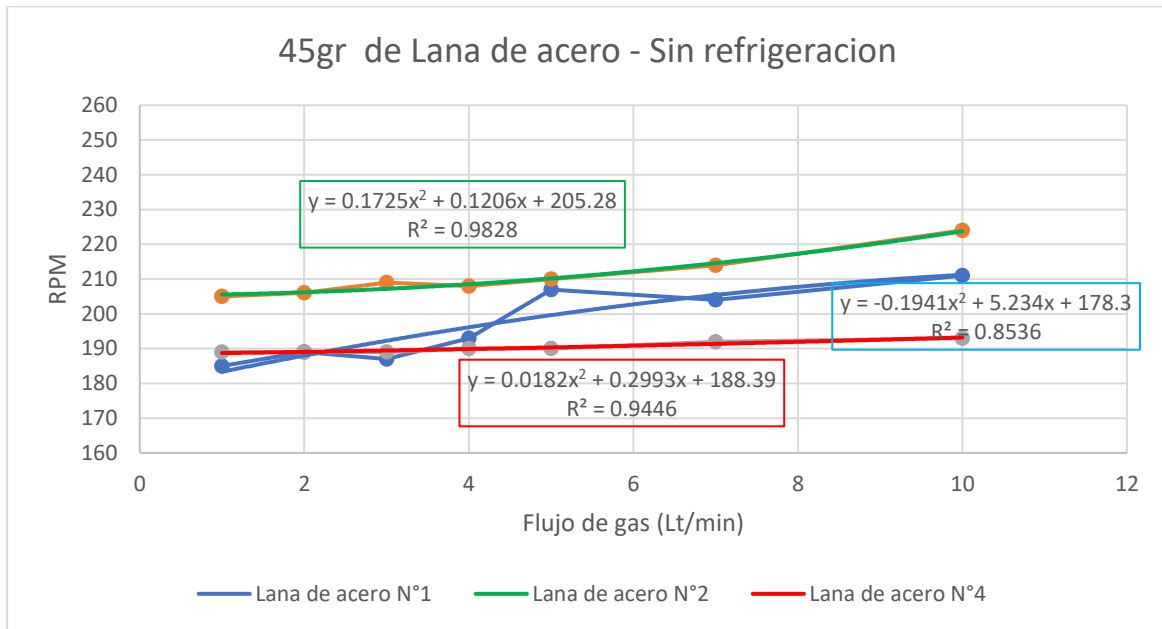


Figura 145

Grafico de Dispersión para una Masa de 55 gr. con Refrigeración

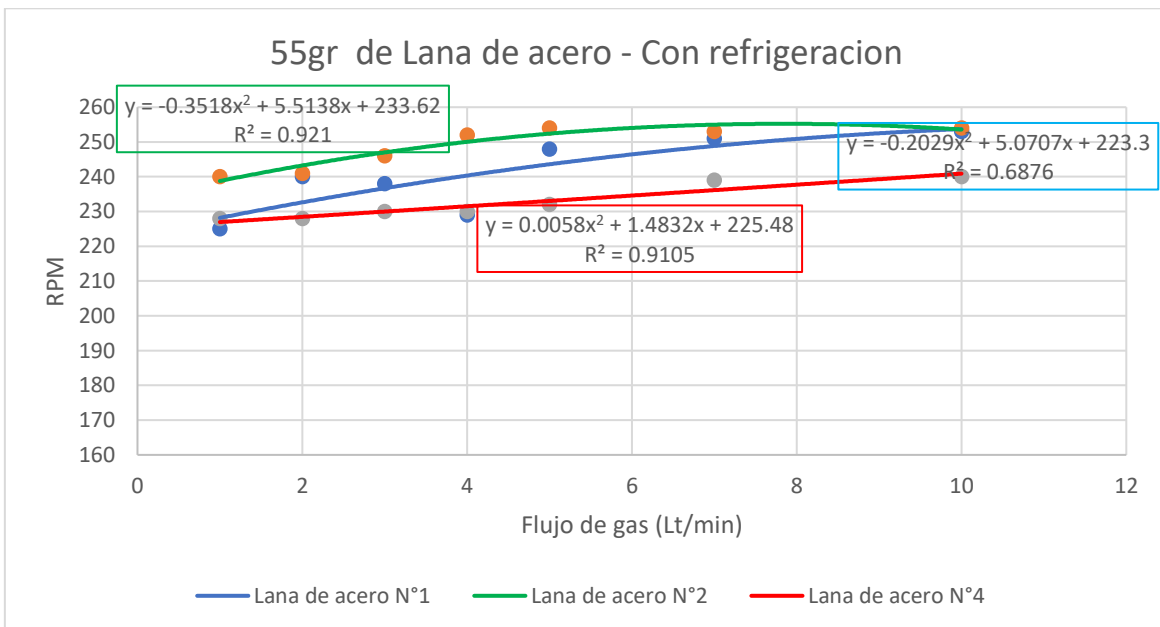


Figura 146

Grafico de Dispersión para una Masa de 45 gr. sin Refrigeración

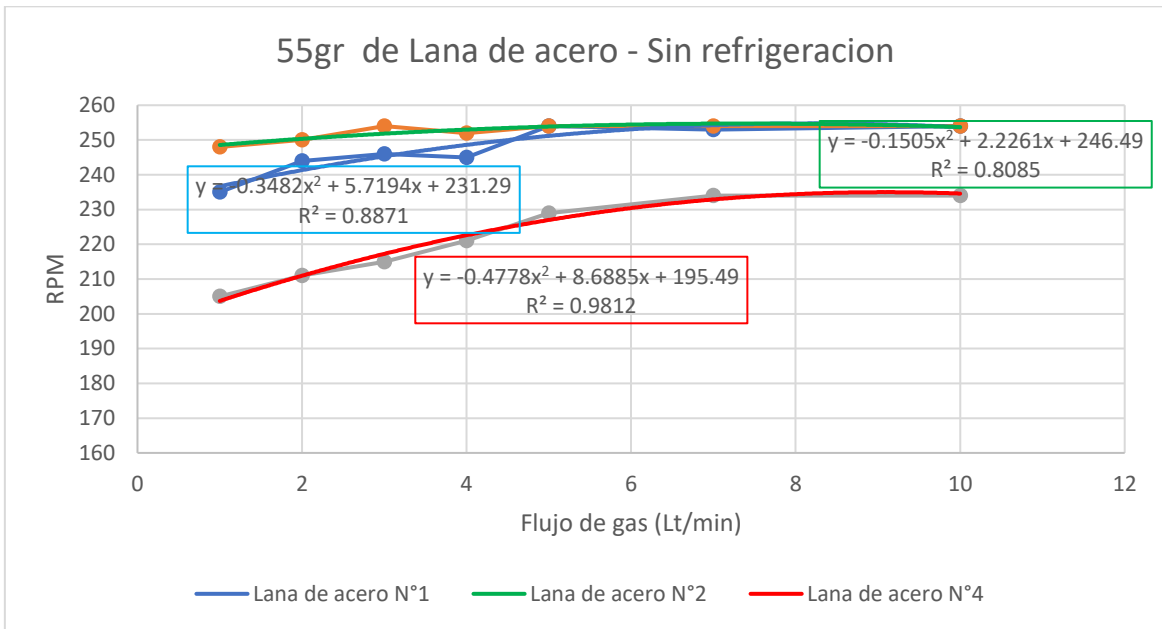


Figura 147

Grafico de Dispersión para una Masa de 70 gr. con Refrigeración

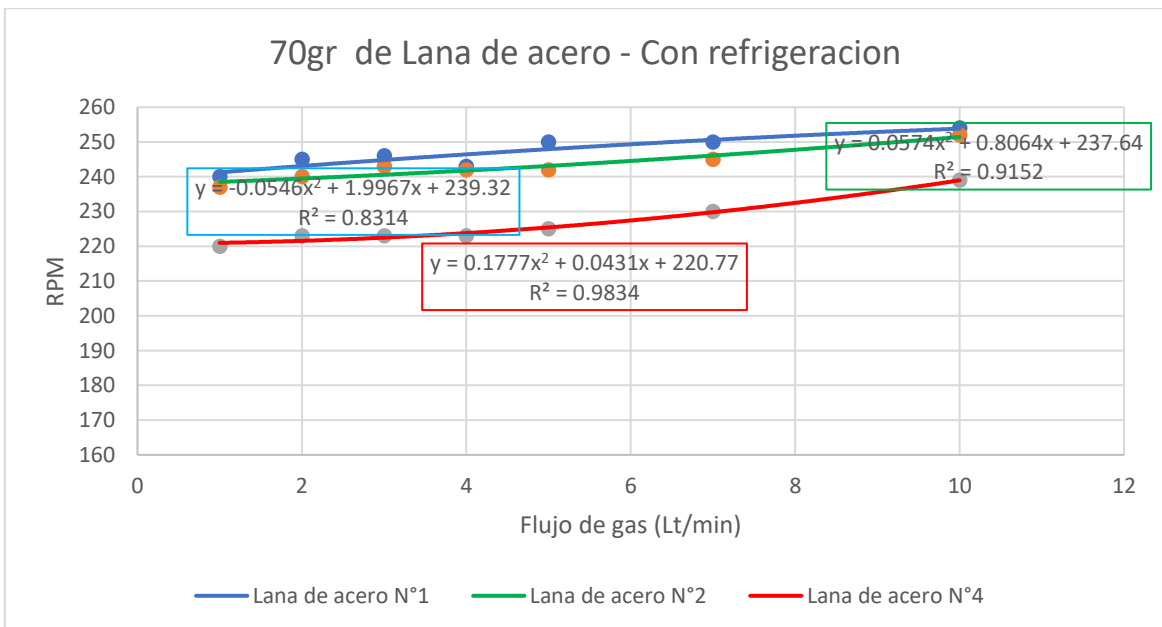
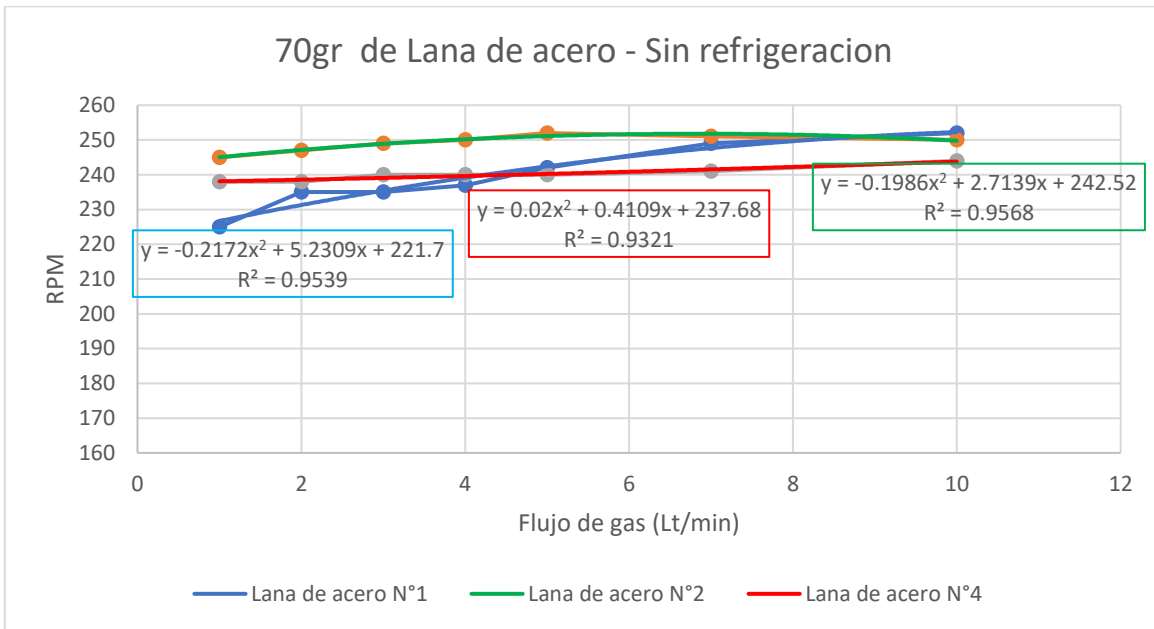


Figura 148

Grafico de Dispersión para una Masa de 70 gr. sin Refrigeración



Con los gráficos de dispersión se puede observar que el motor Stirling experimental genera más revoluciones con una masa de lana de acero de 60gr y 75gr sin agua de refrigeración.

Para demostrar estadísticamente estos resultados y ver la relación óptima de flujo de gas con lana de acero, analizaremos por medio de la correlación de Pearson y posteriormente con el análisis de varianza.

5.3.2 Coeficiente de correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson nos da una correlación directa entre el flujo de gas y las masas de la lana de acero empleada. Si el resultado es más cercano a 1 quiere decir que existe una correlación directa, o a -1 es una correlación directa inversa, sin importar el signo la aproximación a 1 es muy importante para definir la relación ideal para el motor Stirling.

Tabla 17*Coefficiente de Correlación de Pearson*

r = Coeficiente de correlación de Pearson	
r = -1	correlación inversa perfecta
$(-1) < r < 0$	correlación inversa
r = 0	no hay correlación
$0 < r < 1$	correlación directa
r=1	correlación directa perfecta

De las tablas anteriores tenemos:

Tabla 18*Coefficiente de Pearson y Coeficiente de Determinación, sin Agua.*

Coeficientes	Sin agua								
	lana de acero N°1			lana de acero N°2			lana de acero N°4		
	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3
coef. Pearson ® coef.	0.91038	0.83936	0.95561	0.96497	0.72663	0.67841	0.96705	0.9246	0.96178
Determinación (r ²)	0.82879	0.70453	0.9132	0.93116	0.52799	0.46024	0.93519	0.85489	0.92502

Tabla 19*Coefficiente de Pearson y Coeficiente de Determinación, con Agua.*

Coeficientes	Con agua								
	lana de acero N°1			lana de acero N°2			lana de acero N°4		
	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3	masa 1	masa 2	masa 3
coef. Pearson ® coef.	0.97622	0.81351	0.90658	0.91202	0.82619	0.95093	0.93549	0.95417	0.963156
Determinación (r ²)	0.95302	0.6618	0.82189	0.83178	0.68259	0.90427	0.87514	0.91045	0.927669

Que el coeficiente de determinación sea bajo no indica que las variables sean independientes, simplemente que hay una debilidad en la relación lineal entre X y Y.

De aquí podemos concluir estadísticamente que en el motor Stirling experimental trabajaría de mejor manera con refrigeración y con una lana de acero de 45gr de masa.

5.3.3 Análisis de Varianza.

Supondremos una hipótesis nula H_0 es verdadera y en caso de ser rechazado por los datos obtenidos estaríamos aceptando la hipótesis alterna H_a .

Entonces para todos los casos:

H_0 : Las RPM "no" produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad.

H_a : Las RPM "si" produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad

De los datos:

Tabla 20

Resultados de Rpm con Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, sin Agua.

LANA DE ACERO N°1							
<u>1</u>	FLUJO DE GAS						
	1	2	3	4	5	7	10
MASA 1	185	189	187	193	207	204	211
MASA 2	235	244	246	245	254	253	254
MASA 3	225	235	235	237	242	249	252

Tabla 21*Análisis de Varianza para Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, sin Agua.*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
MASA 1	7	1376	196.571	111.286
MASA 2	7	1731	247.286	48.5714
MASA 3	7	1675	239.286	84.9048
1	3	645	215	700
2	3	668	222.667	870.333
3	3	668	222.667	984.333
4	3	675	225	784
5	3	703	234.333	596.333
7	3	706	235.333	740.333
10	3	717	239	589

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	10407.7	2	5203.86	516.288	2.3E-12	3.88529
Columnas	1347.62	6	224.603	22.2835	7.5E-06	2.99612
Error	120.952	12	10.0794			
Total	11876.3	20				

Tabla 22*Resultados de Rpm con Lana de Acero N°2 y Masas Diferentes de Lana de Acero, sin Agua*

LANA DE ACERO N°2								
<u>2</u>	FLUJO DE GAS							
	1	2	3	4	5	7	10	
MASA 1	205	206	209	208	210	214	224	
MASA 2	248	250	254	252	254	254	254	
MASA 3	245	247	249	250	252	251	250	

Tabla 23*Resultados de Rpm con Lana de Acero N°4 y Masas Diferentes de Lana de Acero, sin Agua.*

LANA DE ACERO N°3								
<u>3</u>	FLUJO DE GAS							
	1	2	3	4	5	7	10	
MASA 1	189	189	189	190	190	192	193	
MASA 2	205	211	215	221	229	234	234	
MASA 3	238	238	240	240	240	241	244	

Tabla 24*Análisis de Varianza para Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, con Agua*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
MASA 1	7	1332	190.2857	2.571429
MASA 2	7	1549	221.2857	132.2381
MASA 3	7	1681	240.1429	4.142857
1	3	632	210.6667	624.3333
2	3	638	212.6667	602.3333
3	3	644	214.6667	650.3333
4	3	651	217	637
5	3	659	219.6667	690.3333
7	3	667	222.3333	702.3333
10	3	671	223.6667	730.3333

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	8872.095	2	4436.048	132.4507	6.62424E-09	3.885294
Columnas	431.8095	6	71.96825	2.148815	0.122247101	2.99612
Error	401.9048	12	33.49206			
Total	9705.81	20				

Tabla 25*Resultados de RPM con Lana de Acero N°1 y Masas Diferentes de Lana de Acero, con Agua*

LANA DE ACERO N°1								
4	FLUJO DE GAS							
	1	2	3	4	5	7	10	
MASA 1	182	181	185	188	188	200	209	
MASA 2	225	240	238	229	248	251	253	
MASA 3	240	245	246	243	250	250	254	

Tabla 26*Análisis de Varianza para Lana de Acero N°1 con Masas Diferentes, con Agua.*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
MASA 1	7	1333	190.429	106.286
MASA 2	7	1684	240.571	116.952
MASA 3	7	1728	246.857	22.8095

1	3	647	215.667	906.333
2	3	666	222	1267
3	3	669	223	1099
4	3	660	220	817
5	3	686	228.667	1241.33
7	3	701	233.667	850.333
10	3	716	238.667	660.333

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	13388.7	2	6694.33	273.238	9.8E-11	3.88529
Columnas	1182.29	6	197.048	8.04276	0.0012	2.99612
Error	294	12	24.5			
Total	14865	20				

Tabla 27

Resultados de RPM con Lana de Acero N°2 y Masas Diferentes de Lana de Acero, con Agua.

LANA DE ACERO N°2							
5	FLUJO DE GAS						
	1	2	3	4	5	7	10
MASA 1	187	189	196	193	198	200	202
MASA 2	240	241	246	252	254	253	254
MASA 3	237	240	243	242	242	245	252

Tabla 28

Análisis de Varianza para Lana de Acero N°2 con Masas Diferentes, con Agua.

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
MASA 1	7	1365	195	31.33333
MASA 2	7	1740	248.5714	37.95238
MASA 3	7	1701	243	22
1	3	664	221.3333	886.3333
2	3	670	223.3333	884.3333
3	3	685	228.3333	786.3333
4	3	687	229	997
5	3	694	231.3333	869.3333
7	3	698	232.6667	816.3333
10	3	708	236	868

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	12144.9	2	6072.429	1033.954	3.69E-14	3.885294
Columnas	477.238	6	79.53968	13.54324	0.000101	2.99612
Error	70.4762	12	5.873016			
Total	12692.6	20				

Tabla 29

Resultados de RPM con Lana de Acero N°4 y Masas Diferentes de Lana de Acero, con Agua.

LANA DE ACERO N°4							
<u>6</u>	FLUJO DE GAS						
	1	2	3	4	5	7	10
MASA 1	185	185	186	188	190	192	192
MASA 2	228	228	230	230	232	239	240
MASA 3	220	223	223	223	225	230	239

Tabla 30

Análisis de Varianza para Lana de Acero N°4 con Masas Diferentes, con Agua.

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
MASA 1	7	1365	195	31.33333
MASA 2	7	1740	248.5714	37.95238
MASA 3	7	1701	243	22
1	3	664	221.3333	886.3333
2	3	670	223.3333	884.3333
3	3	685	228.3333	786.3333
4	3	687	229	997
5	3	694	231.3333	869.3333
7	3	698	232.6667	816.3333
10	3	708	236	868

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	12144.9	2	6072.429	1033.95	3.69E-14	3.885294
Columnas	477.238	6	79.53968	13.5432	0.000101	2.99612
Error	70.4762	12	5.873016			
Total	12692.6	20				

Concluimos:

- Que F es mayor en todos los casos que el F crítico, por lo que se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, que quiere decir que las RPM si influyen en la potencia del motor.
- Como se acepta la hipótesis alterna se procede a realizar el test de TUKEY.

Por el test de TUKEY podemos comparar los pares de medias a fin de determinar si existen o no diferencias significativas entre sí.

Resultados TUKEY:

Tabla 31

Resultados de Test de Tukey

		TUKEY
Sin Agua	Lana de acero N°1	15.71527
	Lana de acero N°2	15.82624
	Lana de acero N°4	28.6468
Con Agua	Lana de acero N°1	24.50125
	Lana de acero N°2	11.99598
	Lana de acero N°4	11.99598

A continuación, los resultados de la diferencia muestral de los datos obtenidos.

Tabla 32

Diferencia Muestral de Resultados, sin Agua.

DIFERENCIA MUESTRAL - SIN AGUA																				
LANA DE ACERO N°1																				
4	2	8	22	19	26	2	4	18	15	22	6	20	17	24	14	11	18	3	4	7
9	11	10	19	18	19	2	1	10	9	10	1	8	7	8	9	8	9	1	0	1
10	10	12	17	24	27	0	2	7	14	17	2	7	14	17	5	12	15	7	10	3
LANA DE ACERO N°2																				
1	4	3	5	9	19	3	2	4	8	18	1	1	5	15	2	6	16	4	14	10
2	6	4	6	6	6	4	2	4	4	4	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0
2	4	5	7	6	5	2	3	5	4	3	1	3	2	1	2	1	0	1	2	1
LANA DE ACERO N°3																				
0	0	1	1	3	4	0	1	1	3	4	1	1	3	4	0	2	3	2	3	1
6	10	16	24	29	29	4	10	18	23	23	6	14	19	19	8	13	13	5	5	0
0	2	2	2	3	6	2	2	2	3	6	0	0	1	4	0	1	4	1	4	3

Tabla 33*Diferencia Muestral de Resultados, con Agua*

DIFERENCIA MUESTRAL - CON AGUA																				
LANA DE ACERO N°1																				
1	3	6	6	18	27	4	7	7	19	28	3	3	15	24	0	12	21	12	21	9
15	13	4	23	26	28	2	11	8	11	13	9	10	13	15	19	22	24	3	5	2
5	6	3	10	10	14	1	2	5	5	9	3	4	4	8	7	7	11	0	4	4
LANA DE ACERO N°2																				
2	9	6	11	13	15	7	4	9	11	13	3	2	4	6	5	7	9	2	4	2
1	6	12	14	13	14	5	11	13	12	13	6	8	7	8	2	1	2	1	0	1
3	6	5	5	8	15	3	2	2	5	12	1	1	2	9	0	3	10	3	10	7
LANA DE ACERO N°3																				
0	1	3	5	7	7	1	3	5	7	7	2	4	6	6	2	4	4	2	2	0
0	2	2	4	11	12	2	2	4	11	12	0	2	9	10	2	9	10	7	8	1
3	3	3	5	10	19	0	0	2	7	16	0	2	7	16	2	7	16	5	14	9

La diferencia muestral obtenidos debe ser mayor al valor obtenido por TUKEY, eso quiere decir que nuestros resultados serán significativos, y podrán ser considerados como alternativa para realizar los trabajos utilizando una determinada masa de lana de acero y en los diferentes flujos de gas.

Entonces estadísticamente se utilizaría:

- Un desplazador con 45gr de lana de acero sin agua de refrigerante.
- Un desplazador con 60gr de lana de acero con agua de refrigerante.

5.4 Costos en la Fabricación del Motor Stirling

A continuación, se muestra los costos realizados para la construcción del motor Stirling.

Tabla 34*Costos de Materiales y Elaboración del Motor Stirling*

PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACION	
--	--

PARTIDA PRESUPUESTARIA	CANTIDAD	PRECIO UNI. (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
Banco de pruebas	1	200.00	200.00
Ejes	2	25.00	50.00
Pistón de fuerza	1	60.00	60.00
Vástago pistón de fuerza	1	35.00	35.00
vástago pistón desplazador	1	35.00	35.00
Lana de acero	10	7.00	70.00
Engranajes	2	100.00	200.00
Chumaceras	4	25.00	100.00
Acoples de vástago	2	25.00	50.00
Bielas	12	20.00	240.00
Manivelas	6	30.00	180.00
Cilindro de zona fría	1	500.00	500.00
Cilindro de zona fría y caliente	1	250.00	250.00
Plancha de soporte	1	140.00	140.00
Pines de conectores	10	5.00	50.00
Generador eléctrico	1	25.00	25.00
Materiales eléctricos	1	150.00	150.00
Armazón del prototipo	1	200.00	200.00
Plancha de soporte de motor	1	120.00	120.00
Mano de obra principal	1	2500.00	2500.00
Mano de obra secundaria	1	2000.00	2000.00
Alquiler de máquinas de medición	1	200.00	200.00
Manufactura de piezas en maquina	1	1000.00	500.00
GLP	4	50.00	200.00
Rodamientos	10	10.00	100.00
Bujes de bronce	6	15.00	90.00
Otros gastos	1	1000.00	1000.00
COSTO TOTAL			9745.00

El costo invertido es de 9745 soles aproximadamente, cabe resaltar que este aumenta por las veces que se volvieron a elaborar los componentes.

Lo que ocasiono más gasto fue la mano de obra ya que en la elaboración de las piezas por su precisión iba a demandar mucho tiempo.

Se empleó materiales especialmente el acero para elaborar los componentes y disminuir el costo de manufactura, sin embargo, para la elaboración del cilindro frío se utilizó un material especial de aleaciones de aluminio cuyo costo de adquisición son muy elevados.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido un motor Stirling experimental utilizando una transmisión rómbica logrando su funcionamiento y generando una potencia mecánica de 16.66 Watts. Al utilizar lana de acero se disminuyó en más de un 62% el peso inicial del desplazador comprobando la importancia del peso de los componentes y su influencia en el funcionamiento del motor Stirling experimental. Se realizó pruebas con diferentes fuentes de calor obteniendo mejores resultados al usar GLP logrando alcanzar temperaturas de hasta 499°C, además de comprobar que funciona en posición vertical con el cilindro caliente hacia abajo.

Las referencias bibliográficas y estudios realizados sobre el motor Stirling permitieron conocer los criterios generales para el análisis y diseño inicial del motor Stirling. Se logró conocer el comportamiento termodinámico, cinemático y dinámico del motor Stirling, además se definieron los parámetros de diseño de relación biela manivela, distancia entre ejes principales, relación diámetro interno del cilindro de fuerza sobre carrera recorrida del pistón; que determinaron las dimensiones de los componentes del motor Stirling.

Se ha diseñado los componentes del motor Stirling experimental en base a los resultados de fuerzas dinámicas y fuerzas de gas, el cual ha permitido determinar las dimensiones y materiales de los componentes, se utilizó el programa SolidWorks para su diseño computacional, se ha observado que en el diseño inicial existe sobredimensionamiento en algunos de los componentes sobre todo en el pistón de fuerza y desplazador, por lo que se tuvo que volver a diseñar, analizar y adicionar contrapesos además de aumentar la masa de la volante de inercia. Se analizó que a mayor diferencia de temperatura se obtiene una mejor eficiencia, así mismo la eficiencia

aumentaría si el fluido de trabajo tuviera mejores propiedades térmicas. Se puede mejorar las potencias mecánicas cuando la masa de los pistones aumenta o cuando se incrementa las revoluciones. La velocidad y la aceleración del pistón de fuerza y el desplazador tienen diferentes comportamientos dependiendo directamente del ángulo que se produce en la manivela.

Se ha construido un motor Stirling experimental de acuerdo al diseño realizado, la construcción ha servido para validar los resultados y se ha enmendado los errores encontrados hasta lograr el funcionamiento del motor Stirling. El detalle más relevante es la alineación en el sistema de transmisión rómbico ya que una desviación mínima provocó exceso de fricción entre las paredes del cilindro con el pistón de fuerza y desplazador. La pérdida de presión a causa de la falta de hermeticidad en el cilindro provoca una disminución en la fuerza del fluido de trabajo, es muy importante la consideración de tolerancia en la fabricación de las piezas y la lubricación para el funcionamiento. La elaboración de cada uno de los componentes demandó dedicación y paciencia, utilizando máquinas que permitan realizar las piezas a la medida indicada.

El uso de la lana de acero en vez del pistón desplazador resultó ser una buena alternativa ya que se reduce el peso considerablemente, su tiempo de vida es muy corto comparado con otros pistones ya que este necesita ser cambiada después de 15 horas de uso aproximadamente, pese a reducirse el peso del desplazador se obtuvo una eficiencia mecánica efectiva de 4.42% debido a que en el motor Stirling experimental existen pérdidas significativas de calor y pérdidas mecánicas debido a al peso de los componentes del motor y alineaciones del mecanismo rómbico, la eficiencia térmica de la lana de acero usado como regenerador es de 18.29%, la eficiencia térmica del motor Stirling en general es de 4.48%. Estadísticamente se demostró que la masa de la lana de acero sí influye directamente en la potencia del motor Stirling y se recomienda usar una masa de

45gr de lana de acero cuando el motor Stirling funciona sin enfriamiento y 60gr cuando funciona con enfriamiento.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios complementarios termodinámicos y de transferencia de calor para un estudio a profundidad de los componentes del motor Stirling experimental.
- Realizar la investigación de los materiales utilizados y otros que sean alternativos para que no se vean afectados por las condiciones de calor y fuerza en las que estarán sometidos.
- Evaluar los métodos para hermetizar el cilindro interior del motor Stirling experimental.
- Realizar análisis de resultados comparativos con otros motores Stirling que no utilicen mecanismo rómbico.

BIBLIOGRAFÍA:

- Agüero Zamora, V. R. (2006). *Diseño y construcción de un motor stirling para la generación de energía eléctrica [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/756>
- Alfarawi, S. A.-D. (2016). *Influence of phase angle and dead volume on gamma-type Stirling engine power using CFD simulation. Energy Conversion and Management*,. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890416305866>
- Ane Miren Mancisidor, E. G. (2018). *Stirling engine regenerator based on lattice structures manufactured by selective laser melting*. Sciencedirect. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.033>
- Bancha Kongtragool, S. W. (2006). *Thermodynamic analysis of a Stirling engine including dead volumes of hot space, cold space and regenerator [Renewable Energy]*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.012>
- Bardales Tomás, C. E. (2018). *Diseño Para La Construcción De Un Motor Stirling Para La Generación De Energía Eléctrica [Tesis, Universidad Ancio0nal de Trujillo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10136>
- CNCCookbook: Stirling engine models*. (s/f). Cnccookbook.com. Recuperado el 8 de agosto de 2023, de <http://www.cnccookbook.com/CCStirlingModels.htm>
- Correa Zea, S. A. (2021). *Modelado, simulación y rediseño de un motor para aplicación dish-stirling para cubrir la necesidad energética de 1 kw*. [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80554>

- Nielsen, A. S., York, B. T., & MacDonald, B. D. (2019). Stirling engine regenerators: How to attain over 95% regenerator effectiveness with sub-regenerators and thermal mass ratios. *Applied Energy*, 253, 113557. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113557>
- Organ, A. J. (1994). The wire mesh regenerator of the Stirling cycle machine. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37(16), 2525-2534. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(94\)90290-9](https://doi.org/10.1016/0017-9310(94)90290-9)
- Prieto, J. M. Á. (s. f.). *MODELIZACIÓN TEÓRICA Y NUMÉRICA DE UN MOTOR STIRLING*.
- Salcedo Joya, Y. S., & Serrato Pinzón, X. C. (2019). *Construcción y evaluación operacional de un motor stirling a escala*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32596>
- Senft, J. R. (1993). *An Introduction to Stirling Engines*. Moriya Press.
- Senft, J. R. (1996). *An Introduction to Low Temperature Differential Stirling Engines*. Moriya Press.
- Wang, K., Sanders, S. R., Dubey, S., Choo, F. H., & Duan, F. (2016). Stirling cycle engines for recovering low and moderate temperature heat: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 89-108. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.031>
- Fano Suárez, M. J. (1997). *Aplicación de la teoría de la semejanza a los motores de ciclo Stirling [Tesis, Universidad de Oviedo]*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10651/15671>
- Iwamoto, I., Toda, F., Hirata, K., & Yamamoto, T. (1997). *Camparison of low and high temperature differential Stirling engines [Publicacion, Saitama University, Japan]*. Obtenido de <https://www.nmri.go.jp/archives/eng/khirata/list/ecoboy/lowtemp.pdf>
- J497: *Descripción motor Stirling configuración beta y algunas simulaciones mecánicas en Matlab/Simulink*. (2012, agosto 1). Matlab/Simulink and Renewable Energy [Jorge Mírez]. <https://jmirez.wordpress.com/2012/08/01/j497-descripcion-motor-stirling-configuracion-beta-y-algunas-simulaciones-mecanicas-en-matlab/>

- Medina, J. R. V. (2017). *Motor Stirling*. Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente.
- Miranda Morales, J. A. (2008). *Análisis termodinámico de un motor Stirling [Tesis, Instituto Politécnico Nacional de México]*. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/16877>
- Correa Zea, S. A. (2021). *Modelado, simulación y rediseño de un motor para aplicación dish-stirling para cubrir la necesidad energética de 1 kw*. [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80554>
- Nielsen, A. S., York, B. T., & MacDonald, B. D. (2019). Stirling engine regenerators: How to attain over 95% regenerator effectiveness with sub-regenerators and thermal mass ratios. *Applied Energy*, 253, 113557. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113557>
- Organ, A. J. (1994). The wire mesh regenerator of the Stirling cycle machine. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37(16), 2525-2534. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(94\)90290-9](https://doi.org/10.1016/0017-9310(94)90290-9)
- Prieto, J. M. Á. (s. f.). *MODELIZACIÓN TEÓRICA Y NUMÉRICA DE UN MOTOR STIRLING*.
- Salcedo Joya, Y. S., & Serrato Pinzón, X. C. (2019). *Construcción y evaluación operacional de un motor stirling a escala*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32596>
- Senft, J. R. (1993). *An Introduction to Stirling Engines*. Moriya Press.
- Senft, J. R. (1996). *An Introduction to Low Temperature Differential Stirling Engines*. Moriya Press.
- Wang, K., Sanders, S. R., Dubey, S., Choo, F. H., & Duan, F. (2016). Stirling cycle engines for recovering low and moderate temperature heat: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 89-108. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.031>
- Omaña Velázquez, D. (2007). *Estudio teórico del regenerador para un motor Stirling [Tesis, Instituto Politecnico Nacional de México]*. Obtenido de

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16343/Estudio%20te%C3%83%C2%B3rico%20del%20regenerador%20para%20un%20motor%20stirling.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Organ, A. J. (1994). The wire mesh regenerator of the Stirling cycle machine. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37(16), 2525-2534. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(94\)90290-9](https://doi.org/10.1016/0017-9310(94)90290-9)

Rodríguez Alemán, J. A. (2015). *Diseño y construcción de un motor Stirling tipo beta acoplado a un concentrador solar parabólico cóncavo* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

Santos Ráez, I. M. (2015). *Estudio de un motor Stirling con absorbedor interno alimentado* [Tesis Doctoral, Universidad de Málaga]. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/62909722.pdf>

Salcedo Joya, Y. S., & Serrato Pinzón, X. C. (2019). *Construcción y evaluación operacional de un motor stirling a escala*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32596>

Senft, J. R. (1993). *An Introduction to Stirling Engines*. Moriya Press.

Senft, J. R. (1996). *An Introduction to Low Temperature Differential Stirling Engines*. Moriya Press.

USACH. (2015). *Ciclo termodinámico real del motor Stirling*. Obtenido de Proyecto Motor Stirling: <https://proyecto-motorstirling.webnode.cl/fisica-del-motor/ciclo-real/>

Vives Albesa, M. A. (2016). *Diseño de un motor Stirling*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106191/TFG.pdf>

Youssef Timoumi, I. T. (2008). *Design and performance optimization of GPU-3 Stirling engines*. [Energy]. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544208000546>

Wang, K., Sanders, S. R., Dubey, S., Choo, F. H., & Duan, F. (2016). Stirling cycle engines for recovering low and moderate temperature heat: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 89-108. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.031>

Zegarra, F., (2004). Estudio, diseño y construcción de un motor Stirling experimental tipo beta (β) [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/7>

ANEXOS

Anexo A

TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 1. Resultados Cinemáticos Para el mecanismo O2AB:

MECANISMO O2AB							
teta 2 (°)	Teta 2 (rad)	teta 3 (AB)	S (mm)	w3 (rad/seg)	V (m/seg)	alfa 3 (rad/seg^2)	A (m/seg^2)
0	0	1.430335	49.50758	0	0.531976	14.14994	14.14994
2	0.034907	1.430089	50.20384	0.37502	0.529023	14.16124	14.21837
4	0.069813	1.429351	50.89579	0.749663	0.525396	14.1955	14.28441
6	0.10472	1.428122	51.58253	1.12355	0.521074	14.25377	14.34866
8	0.139626	1.426402	52.26313	1.496308	0.516034	14.33779	14.41171
10	0.174533	1.424195	52.93663	1.867567	0.510254	14.44999	14.47407
12	0.20944	1.421501	53.60204	2.236966	0.503715	14.59341	14.53626
14	0.244346	1.418325	54.25837	2.604146	0.496398	14.77172	14.59871
16	0.279253	1.414667	54.90458	2.968761	0.488287	14.98914	14.66184
18	0.314159	1.410534	55.53961	3.330473	0.479366	15.25041	14.72602
20	0.349066	1.405927	56.1624	3.688955	0.469622	15.56075	14.79157
22	0.383972	1.400853	56.77185	4.043892	0.459043	15.92576	14.85879
24	0.418879	1.395315	57.36687	4.394981	0.44762	16.35141	14.92791
26	0.453786	1.389319	57.94633	4.741933	0.435345	16.84395	14.99916
28	0.488692	1.382871	58.50913	5.084473	0.422213	17.40988	15.07271
30	0.523599	1.375976	59.05413	5.42234	0.40822	18.05585	15.1487
32	0.558505	1.368641	59.5802	5.75529	0.393364	18.78861	15.22724
34	0.593412	1.360873	60.0862	6.083091	0.377647	19.61499	15.30843
36	0.628319	1.352678	60.57102	6.405528	0.361072	20.5418	15.39232
38	0.663225	1.344063	61.03353	6.722401	0.343645	21.57581	15.47895
40	0.698132	1.335036	61.4726	7.033524	0.325372	22.72366	15.56835
42	0.733038	1.325605	61.88716	7.338728	0.306265	23.99187	15.66051
44	0.767945	1.315777	62.27609	7.637857	0.286334	25.38677	15.75542
46	0.802851	1.305561	62.63833	7.930768	0.265595	26.91446	15.85306
48	0.837758	1.294964	62.97284	8.217334	0.244063	28.58081	15.9534
50	0.872665	1.283996	63.27858	8.497438	0.221758	30.39139	16.05639
52	0.907571	1.272664	63.55455	8.770978	0.1987	32.35149	16.16198
54	0.942478	1.260978	63.79978	9.037861	0.174912	34.46608	16.27012
56	0.977384	1.248946	64.01333	9.298005	0.150419	36.73981	16.38075
58	1.012291	1.236576	64.19429	9.55134	0.125247	39.17698	16.49382
60	1.047198	1.223879	64.34178	9.7978	0.099426	41.78154	16.60925
62	1.082104	1.210863	64.45498	10.03733	0.072985	44.55712	16.72698
64	1.117011	1.197538	64.53308	10.26989	0.045957	47.50696	16.84696
66	1.151917	1.183911	64.57535	10.49542	0.018375	50.63396	16.9691
68	1.186824	1.169994	64.58109	10.71389	-0.009723	53.94066	17.09334
70	1.22173	1.155794	64.54962	10.92527	-0.038302	57.42924	17.2196
72	1.256637	1.141322	64.48036	11.12952	-0.067323	61.10151	17.34781
74	1.291544	1.126586	64.37275	11.32661	-0.096745	64.95892	17.47787
76	1.32645	1.111596	64.22628	11.51651	-0.126527	69.00253	17.60971
78	1.361357	1.096362	64.04052	11.69919	-0.156626	73.23301	17.7432
80	1.396263	1.080893	63.81507	11.8746	-0.186997	77.65062	17.87825
82	1.43117	1.065198	63.54961	12.04271	-0.217596	82.25521	18.01471
84	1.466077	1.049288	63.24387	12.20347	-0.248375	87.04614	18.15244
86	1.500983	1.033171	62.89765	12.35682	-0.279286	92.02228	18.29124

88	1.53589	1.016859	62.5108	12.5027	-0.310281	97.18194	18.43093
90	1.570796	1.000359	62.08325	12.64105	-0.341308	102.5228	18.57125
92	1.605703	0.983683	61.61499	12.77176	-0.372318	108.042	18.71192
94	1.640609	0.966841	61.10607	12.89474	-0.403257	113.7355	18.8526
96	1.675516	0.949842	60.55663	13.00988	-0.434071	119.5989	18.9929
98	1.710423	0.932698	59.96685	13.11702	-0.464707	125.6264	19.13236
100	1.745329	0.915418	59.33702	13.21602	-0.495108	131.811	19.27041
102	1.780236	0.898014	58.66748	13.30668	-0.525217	138.1444	19.40642
104	1.815142	0.880496	57.95866	13.38879	-0.554975	144.6167	19.53962
106	1.850049	0.862876	57.21104	13.46209	-0.584322	151.2161	19.66913
108	1.884956	0.845166	56.42521	13.52632	-0.613198	157.9285	19.79389
110	1.919862	0.827378	55.60183	13.58114	-0.641538	164.7371	19.91269
112	1.954769	0.809525	54.74164	13.62618	-0.669278	171.6222	20.02409
114	1.989675	0.791619	53.84549	13.66101	-0.69635	178.5604	20.12641
116	2.024582	0.773674	52.91428	13.68515	-0.722686	185.5243	20.2177
118	2.059489	0.755704	51.94903	13.69805	-0.748212	192.4814	20.29566
120	2.094395	0.737726	50.95085	13.69909	-0.772854	199.3935	20.35764
122	2.129302	0.719754	49.92096	13.68755	-0.796534	206.2158	20.40054
124	2.164208	0.701806	48.86067	13.66262	-0.819169	212.8959	20.42076
126	2.199115	0.683901	47.7714	13.62341	-0.840673	219.3723	20.41412
128	2.234021	0.666056	46.65471	13.56886	-0.860953	225.5733	20.37579
130	2.268928	0.648294	45.51226	13.49781	-0.879913	231.4156	20.30018
132	2.303835	0.630637	44.34585	13.40895	-0.89745	236.8027	20.18089
134	2.338741	0.613108	43.15742	13.30078	-0.913453	241.623	20.01053
136	2.373648	0.595736	41.94906	13.17163	-0.927803	245.7488	19.78072
138	2.408554	0.578547	40.72302	13.01962	-0.940374	249.0344	19.48193
140	2.443461	0.561574	39.48172	12.84264	-0.95103	251.3155	19.10344
142	2.478368	0.544851	38.22778	12.63836	-0.959622	252.4084	18.6333
144	2.513274	0.528416	36.964	12.40416	-0.965994	252.1113	18.0584
146	2.548181	0.512309	35.69341	12.1372	-0.969977	250.206	17.36452
148	2.583087	0.496575	34.41925	11.83435	-0.971391	246.4632	16.53663
150	2.617994	0.481265	33.14503	11.49224	-0.970047	240.65	15.55932
152	2.6529	0.466431	31.87449	11.10728	-0.965747	232.5421	14.41746
154	2.687807	0.452132	30.61165	10.67573	-0.958288	221.9417	13.09719
156	2.722714	0.438433	29.36077	10.19381	-0.947468	208.7008	11.58725
158	2.75762	0.4254	28.12641	9.657805	-0.933092	192.7516	9.880703
160	2.792527	0.413109	26.91335	9.064272	-0.914982	174.1433	7.97706
162	2.827433	0.401636	25.72658	8.410299	-0.892991	153.082	5.884613
164	2.86234	0.391062	24.57128	7.6938	-0.867016	129.9707	3.622847
166	2.897247	0.38147	23.45271	6.913874	-0.837019	105.4413	1.224488
168	2.932153	0.372943	22.37612	6.071181	-0.803044	80.36749	-1.263346
170	2.96706	0.365562	21.34666	5.168305	-0.765234	55.85017	-3.779486
172	3.001966	0.359402	20.3692	4.210048	-0.723852	33.16246	-6.251136
174	3.036873	0.354533	19.44819	3.203589	-0.67928	13.65234	-8.598647
176	3.071779	0.351011	18.58749	2.158447	-0.632022	-1.392321	-10.74243
178	3.106686	0.34888	17.79024	1.086206	-0.582691	-10.89785	-12.61119
180	3.141593	0.348166	17.05872	3.82E-15	-0.531976	-14.14994	-14.14994
182	3.176499	0.34888	16.39426	-1.086206	-0.480614	-10.89785	-15.32631
184	3.211406	0.351011	15.79723	-2.158447	-0.429339	-1.392321	-16.13358
186	3.246312	0.354533	15.26705	-3.203589	-0.378844	13.65234	-16.58987
188	3.281219	0.359402	14.80228	-4.210048	-0.329746	33.16246	-16.73388
190	3.316126	0.365562	14.40074	-5.168305	-0.282554	55.85017	-16.6182
192	3.351032	0.372943	14.05966	-6.071181	-0.237659	80.36749	-16.3019
194	3.385939	0.38147	13.77583	-6.913874	-0.19533	105.4413	-15.84369
196	3.420845	0.391062	13.54579	-7.6938	-0.155721	129.9707	-15.29677
198	3.455752	0.401636	13.3659	-8.410299	-0.118888	153.082	-14.70561
200	3.490659	0.413109	13.23254	-9.064272	-0.084806	174.1433	-14.10464
202	3.525565	0.4254	13.14215	-9.657805	-0.053388	192.7516	-13.51838
204	3.560472	0.438433	13.09131	-10.19381	-0.024501	208.7008	-12.96257
206	3.595378	0.452132	13.0768	-10.67573	0.002013	221.9417	-12.44568
208	3.630285	0.466431	13.09563	-11.10728	0.026332	232.5421	-11.97066
210	3.665191	0.481265	13.14503	-11.49224	0.048637	240.65	-11.53646
212	3.700098	0.496575	13.22248	-11.83435	0.069108	246.4632	-11.13941
214	3.735005	0.512309	13.32569	-12.1372	0.08792	250.206	-10.77429
216	3.769911	0.528416	13.45259	-12.40416	0.105238	252.1113	-10.43511

218	3.804818	0.544851	13.60132	-12.63836	0.121216	252.4084	-10.1157
220	3.839724	0.561574	13.77022	-12.84264	0.135994	251.3155	-9.810118
222	3.874631	0.578547	13.9578	-13.01962	0.149703	249.0344	-9.512854
224	3.909538	0.595736	14.16273	-13.17163	0.16246	245.7488	-9.218989
226	3.944444	0.613108	14.38383	-13.30078	0.174369	241.623	-8.92425
228	3.979351	0.630637	14.62006	-13.40895	0.185527	236.8027	-8.625019
230	4.014257	0.648294	14.87048	-13.49781	0.196018	231.4156	-8.31831
232	4.049164	0.666056	15.13428	-13.56886	0.205918	225.5733	-8.00173
234	4.08407	0.683901	15.41072	-13.62341	0.215297	219.3723	-7.67342
236	4.118977	0.701806	15.69916	-13.66262	0.224214	212.8959	-7.332006
238	4.153884	0.719754	15.99904	-13.68755	0.232725	206.2158	-6.976539
240	4.18879	0.737726	16.30984	-13.69909	0.240878	199.3935	-6.606442
242	4.223697	0.755704	16.63112	-13.69805	0.248717	192.4814	-6.22146
244	4.258603	0.773674	16.96251	-13.68515	0.256279	185.5243	-5.821615
246	4.29351	0.791619	17.30367	-13.66101	0.263602	178.5604	-5.407167
248	4.328417	0.809525	17.65429	-13.62618	0.270714	171.6222	-4.978577
250	4.363323	0.827378	18.01412	-13.58114	0.277645	164.7371	-4.536474
252	4.39823	0.845166	18.38295	-13.52632	0.284418	157.9285	-4.081628
254	4.433136	0.862876	18.76057	-13.46209	0.291057	151.2161	-3.61493
256	4.468043	0.880496	19.14683	-13.38879	0.297581	144.6167	-3.137364
258	4.502949	0.898014	19.54158	-13.30668	0.304008	138.1444	-2.649993
260	4.537856	0.915418	19.94471	-13.21602	0.310355	131.811	-2.153942
262	4.572763	0.932698	20.35613	-13.11702	0.316634	125.6264	-1.650383
264	4.607669	0.949842	20.77575	-13.00988	0.322858	119.5989	-1.140525
266	4.642576	0.966841	21.20351	-12.89474	0.329039	113.7355	-0.6256
268	4.677482	0.983683	21.63935	-12.77176	0.335186	108.042	-0.106855
270	4.712389	1.000359	22.08325	-12.64105	0.341308	102.5228	0.414458
272	4.747296	1.016859	22.53517	-12.5027	0.347412	97.18194	0.937087
274	4.782202	1.033171	22.99509	-12.35682	0.353504	92.02228	1.459792
276	4.817109	1.049288	23.463	-12.20347	0.359588	87.04614	1.981345
278	4.852015	1.065198	23.93889	-12.04271	0.365669	82.25521	2.500542
280	4.886922	1.080893	24.42276	-11.8746	0.371751	77.65062	3.016207
282	4.921828	1.096362	24.91461	-11.69919	0.377834	73.23301	3.527194
284	4.956735	1.111596	25.41445	-11.51651	0.383921	69.00253	4.032396
286	4.991642	1.126586	25.92228	-11.32661	0.39001	64.95892	4.530747
288	5.026548	1.141322	26.4381	-11.12952	0.396103	61.10151	5.021227
290	5.061455	1.155794	26.96192	-10.92527	0.402196	57.42924	5.502867
292	5.096361	1.169994	27.49373	-10.71389	0.408287	53.94066	5.974752
294	5.131268	1.183911	28.03354	-10.49542	0.414373	50.63396	6.436023
296	5.166175	1.197538	28.58132	-10.26989	0.42045	47.50696	6.885884
298	5.201081	1.210863	29.13707	-10.03733	0.426511	44.55712	7.323602
300	5.235988	1.223879	29.70076	-9.7978	0.432551	41.78154	7.74851
302	5.270894	1.236576	30.27236	-9.55134	0.438562	39.17698	8.160013
304	5.305801	1.248946	30.85183	-9.298005	0.444536	36.73981	8.557583
306	5.340708	1.260978	31.4391	-9.037861	0.450464	34.46608	8.940772
308	5.375614	1.272664	32.03412	-8.770978	0.456335	32.35149	9.3092
310	5.410521	1.283996	32.6368	-8.497438	0.462138	30.39139	9.66257
312	5.445427	1.294964	33.24705	-8.217334	0.46786	28.58081	10.00066
314	5.480334	1.305561	33.86474	-7.930768	0.473489	26.91446	10.32331
316	5.51524	1.315777	34.48975	-7.637857	0.47901	25.38677	10.63047
318	5.550147	1.325605	35.12193	-7.338728	0.484406	23.99187	10.92215
320	5.585054	1.335036	35.7611	-7.033524	0.489663	22.72366	11.19841
322	5.61996	1.344063	36.40707	-6.722401	0.494761	21.57581	11.45943
324	5.654867	1.352678	37.05961	-6.405528	0.499684	20.5418	11.70542
326	5.689773	1.360873	37.71849	-6.083091	0.50441	19.61499	11.9367
328	5.72468	1.368641	38.38342	-5.75529	0.508919	18.78861	12.15361
330	5.759587	1.375976	39.05413	-5.42234	0.513191	18.05585	12.35659
332	5.794493	1.382871	39.73027	-5.084473	0.517202	17.40988	12.54612
334	5.8294	1.389319	40.41149	-4.741933	0.520929	16.84395	12.72274
336	5.864306	1.395315	41.0974	-4.394981	0.524349	16.35141	12.88703
338	5.899213	1.400853	41.78759	-4.043892	0.527436	15.92576	13.03962
340	5.934119	1.405927	42.48159	-3.688955	0.530166	15.56075	13.18117
342	5.969026	1.410534	43.17893	-3.330473	0.532513	15.25041	13.31238
344	6.003933	1.414667	43.87908	-2.968761	0.53445	14.98914	13.43396
346	6.038839	1.418325	44.5815	-2.604146	0.53595	14.77172	13.54667

348	6.073746	1.421501	45.28558	-2.236966	0.536988	14.59341	13.65124
350	6.108652	1.424195	45.9907	-1.867567	0.537535	14.44999	13.74843
352	6.143559	1.426402	46.6962	-1.496308	0.537565	14.33779	13.83901
354	6.178466	1.428122	47.40139	-1.12355	0.53705	14.25377	13.92372
356	6.213372	1.429351	48.10553	-0.749663	0.535965	14.1955	14.0033
358	6.248279	1.430089	48.80786	-0.37502	0.534282	14.16124	14.07848
360	6.283185	1.430335	49.50758	-2.63E-15	0.531976	14.14994	14.14994

Tabla 2.Resultados Cinemáticos Para el mecanismo O2AC:

MECANISMO O2AC							
teta 2 (°)	Teta 2 (rad)	teta 3 (AC)	S (mm)	w3 (rad/seg)	V (m/seg)	alfa 3 (rad/seg^2)	A (m/seg^2)
0	0	4.85285	49.50758	0	-0.531976	14.14994	-2.000696
2	0.034907	4.853096	48.80786	-0.37502	-0.534282	14.1214	-2.48975
4	0.069813	4.853835	48.10553	-0.749663	-0.535965	14.03545	-2.96866
6	0.10472	4.855064	47.40139	-1.12355	-0.53705	13.89109	-3.436822
8	0.139626	4.856783	46.6962	-1.496308	-0.537565	13.68668	-3.89363
10	0.174533	4.85899	45.9907	-1.867567	-0.537535	13.41996	-4.33848
12	0.20944	4.861684	45.28558	-2.236966	-0.536988	13.08806	-4.770765
14	0.244346	4.864861	44.5815	-2.604146	-0.53595	12.68754	-5.189877
16	0.279253	4.868518	43.87908	-2.968761	-0.53445	12.21446	-5.595208
18	0.314159	4.872652	43.17893	-3.330473	-0.532513	11.66438	-5.986143
20	0.349066	4.877258	42.48159	-3.688955	-0.530166	11.03244	-6.362068
22	0.383972	4.882332	41.78759	-4.043892	-0.527436	10.31344	-6.72236
24	0.418879	4.88787	41.0974	-4.394981	-0.524349	9.501823	-7.066394
26	0.453786	4.893866	40.41149	-4.741933	-0.520929	8.591813	-7.393536
28	0.488692	4.900314	39.73027	-5.084473	-0.517202	7.577432	-7.703144
30	0.523599	4.907209	39.05413	-5.42234	-0.513191	6.452572	-7.994569
32	0.558505	4.914544	38.38342	-5.75529	-0.508919	5.211052	-8.26715
34	0.593412	4.922312	37.71849	-6.083091	-0.50441	3.846676	-8.520217
36	0.628319	4.930508	37.05961	-6.405528	-0.499684	2.353284	-8.753088
38	0.663225	4.939122	36.40707	-6.722401	-0.494761	0.724807	-8.96507
40	0.698132	4.948149	35.7611	-7.033524	-0.489663	-1.044687	-9.155456
42	0.733038	4.95758	35.12193	-7.338728	-0.484406	-2.960955	-9.323531
44	0.767945	4.967408	34.48975	-7.637857	-0.47901	-5.029533	-9.468563
46	0.802851	4.977625	33.86474	-7.930768	-0.473489	-7.255708	-9.589812
48	0.837758	4.988221	33.24705	-8.217334	-0.46786	-9.644487	-9.686525
50	0.872665	4.99919	32.6368	-8.497438	-0.462138	-12.20057	-9.757939
52	0.907571	5.010521	32.03412	-8.770978	-0.456335	-14.92834	-9.80328
54	0.942478	5.022208	31.4391	-9.037861	-0.450464	-17.83183	-9.821767
56	0.977384	5.03424	30.85183	-9.298005	-0.444536	-20.91471	-9.81261
58	1.012291	5.046609	30.27236	-9.55134	-0.438562	-24.18032	-9.775013
60	1.047198	5.059306	29.70076	-9.7978	-0.432551	-27.6316	-9.708176
62	1.082104	5.072322	29.13707	-10.03733	-0.426511	-31.27113	-9.611293
64	1.117011	5.085648	28.58132	-10.26989	-0.42045	-35.10111	-9.48356
66	1.151917	5.099274	28.03354	-10.49542	-0.414373	-39.12336	-9.324169
68	1.186824	5.113191	27.49373	-10.71389	-0.408287	-43.33934	-9.132315
70	1.22173	5.127391	26.96192	-10.92527	-0.402196	-47.75011	-8.907199
72	1.256637	5.141864	26.4381	-11.12952	-0.396103	-52.35637	-8.648025
74	1.291544	5.156599	25.92228	-11.32661	-0.39001	-57.15842	-8.354005
76	1.32645	5.171589	25.41445	-11.51651	-0.383921	-62.15617	-8.02436
78	1.361357	5.186823	24.91461	-11.69919	-0.377834	-67.34913	-7.658324
80	1.396263	5.202292	24.42276	-11.8746	-0.371751	-72.7364	-7.255145
82	1.43117	5.217987	23.93889	-12.04271	-0.365669	-78.31663	-6.814087
84	1.466077	5.233897	23.463	-12.20347	-0.359588	-84.08799	-6.334434
86	1.500983	5.250014	22.99509	-12.35682	-0.353504	-90.04818	-5.815491
88	1.53589	5.266327	22.53517	-12.5027	-0.347412	-96.19429	-5.256589
90	1.570796	5.282826	22.08325	-12.64105	-0.341308	-102.5228	-4.657088
92	1.605703	5.299502	21.63935	-12.77176	-0.335186	-109.0296	-4.01638
94	1.640609	5.316344	21.20351	-12.89474	-0.329039	-115.7096	-3.333897

96	1.675516	5.333343	20.77575	-13.00988	-0.322858	-122.5571	-2.609111
98	1.710423	5.350488	20.35613	-13.11702	-0.316634	-129.5649	-1.841547
100	1.745329	5.367767	19.94471	-13.21602	-0.310355	-136.7252	-1.030783
102	1.780236	5.385172	19.54158	-13.30668	-0.304008	-144.0283	-0.176465
104	1.815142	5.402689	19.14683	-13.38879	-0.297581	-151.4631	0.721683
106	1.850049	5.420309	18.76057	-13.46209	-0.291057	-159.0166	1.663851
108	1.884956	5.438019	18.38295	-13.52632	-0.284418	-166.6736	2.650124
110	1.919862	5.455807	18.01412	-13.58114	-0.277645	-174.4162	3.680463
112	1.954769	5.473661	17.65429	-13.62618	-0.270714	-182.2235	4.754688
114	1.989675	5.491567	17.30367	-13.66101	-0.263602	-190.071	5.872449
116	2.024582	5.509512	16.96251	-13.68515	-0.256279	-197.9302	7.033196
118	2.059489	5.527481	16.63112	-13.69805	-0.248717	-205.7674	8.236142
120	2.094395	5.545459	16.30984	-13.69909	-0.240878	-213.5434	9.480224
122	2.129302	5.563431	15.99904	-13.68755	-0.232725	-221.2125	10.76405
124	2.164208	5.581379	15.69916	-13.66262	-0.224214	-228.721	12.08583
126	2.199115	5.599285	15.41072	-13.62341	-0.215297	-236.0065	13.44333
128	2.234021	5.617129	15.13428	-13.56886	-0.205918	-242.9965	14.83377
130	2.268928	5.634891	14.87048	-13.49781	-0.196018	-249.6064	16.25374
132	2.303835	5.652549	14.62006	-13.40895	-0.185527	-255.739	17.69911
134	2.338741	5.670077	14.38383	-13.30078	-0.174369	-261.2817	19.1649
136	2.373648	5.68745	14.16273	-13.17163	-0.16246	-266.106	20.64515
138	2.408554	5.704638	13.9578	-13.01962	-0.149703	-270.0653	22.13282
140	2.443461	5.721611	13.77022	-12.84264	-0.135994	-272.9944	23.61965
142	2.478368	5.738334	13.60132	-12.63836	-0.121216	-274.709	25.09606
144	2.513274	5.754769	13.45259	-12.40416	-0.105238	-275.0064	26.55104
146	2.548181	5.770876	13.32569	-12.1372	-0.08792	-273.6677	27.97215
148	2.583087	5.78661	13.22248	-11.83435	-0.069108	-270.4629	29.34557
150	2.617994	5.801921	13.14503	-11.49224	-0.048637	-265.1584	30.6563
152	2.6529	5.816754	13.09563	-11.10728	-0.026332	-257.5294	31.88848
154	2.687807	5.831053	13.0768	-10.67573	-0.002013	-247.3775	33.02603
156	2.722714	5.844753	13.09131	-10.19381	0.024501	-234.5541	34.05355
158	2.75762	5.857785	13.14215	-9.657805	0.053388	-218.9908	34.95748
160	2.792527	5.870076	13.23254	-9.064272	0.084806	-200.7365	35.72772
162	2.827433	5.881549	13.3659	-8.410299	0.118888	-179.9967	36.35942
164	2.86234	5.892123	13.54579	-7.6938	0.155721	-157.1743	36.85486
166	2.897247	5.901715	13.77583	-6.913874	0.19533	-132.9005	37.22521
168	2.932153	5.910242	14.05966	-6.071181	0.237659	-108.049	37.49158
170	2.96706	5.917624	14.40074	-5.168305	0.282554	-83.72011	37.685
172	3.001966	5.923783	14.80228	-4.210048	0.329746	-61.18694	37.84474
174	3.036873	5.928652	15.26705	-3.203589	0.378844	-41.79719	38.01482
176	3.071779	5.932174	15.79723	-2.158447	0.429339	-26.83863	38.23891
178	3.106686	5.934306	16.39426	-1.086206	0.480614	-17.3848	38.55424
180	3.141593	5.935019	17.05872	-3.82E-15	0.531976	-14.14994	38.98576
182	3.176499	5.934306	17.79024	1.086206	0.582691	-17.3848	39.5419
184	3.211406	5.932174	18.58749	2.158447	0.632022	-26.83863	40.21301
186	3.246312	5.928652	19.44819	3.203589	0.67928	-41.79719	40.97296
188	3.281219	5.923783	20.3692	4.210048	0.723852	-61.18694	41.78332
190	3.316126	5.917624	21.34666	5.168305	0.765234	-83.72011	42.59923
192	3.351032	5.910242	22.37612	6.071181	0.803044	-108.049	43.37546
194	3.385939	5.901715	23.45271	6.913874	0.837019	-132.9005	44.07157
196	3.420845	5.892123	24.57128	7.6938	0.867016	-157.1743	44.65536
198	3.455752	5.881549	25.72658	8.410299	0.892991	-179.9967	45.10456
200	3.490659	5.870076	26.91335	9.064272	0.914982	-200.7365	45.40686
202	3.525565	5.857785	28.12641	9.657805	0.933092	-218.9908	45.5588
204	3.560472	5.844753	29.36077	10.19381	0.947468	-234.5541	45.56415
206	3.595378	5.831053	30.61165	10.67573	0.958288	-247.3775	45.43188
208	3.630285	5.816754	31.87449	11.10728	0.965747	-257.5294	45.17447
210	3.665191	5.801921	33.14503	11.49224	0.970047	-265.1584	44.80624
212	3.700098	5.78661	34.41925	11.83435	0.971391	-270.4629	44.34223
214	3.735005	5.770876	35.69341	12.1372	0.969977	-273.6677	43.79724
216	3.769911	5.754769	36.964	12.40416	0.965994	-275.0064	43.18529
218	3.804818	5.738334	38.22778	12.63836	0.959622	-274.709	42.51921
220	3.839724	5.721611	39.48172	12.84264	0.95103	-272.9944	41.81047
222	3.874631	5.704638	40.72302	13.01962	0.940374	-270.0653	41.06914
224	3.909538	5.68745	41.94906	13.17163	0.927803	-266.106	40.3039

226	3.944444	5.670077	43.15742	13.30078	0.913453	-261.2817	39.52213
228	3.979351	5.652549	44.34585	13.40895	0.89745	-255.739	38.73003
230	4.014257	5.634891	45.51226	13.49781	0.879913	-249.6064	37.93271
232	4.049164	5.617129	46.65471	13.56886	0.860953	-242.9965	37.13438
234	4.08407	5.599285	47.7714	13.62341	0.840673	-236.0065	36.33842
236	4.118977	5.581379	48.86067	13.66262	0.819169	-228.721	35.5475
238	4.153884	5.563431	49.92096	13.68755	0.796534	-221.2125	34.76371
240	4.18879	5.545459	50.95085	13.69909	0.772854	-213.5434	33.98864
242	4.223697	5.527481	51.94903	13.69805	0.748212	-205.7674	33.22346
244	4.258603	5.509512	52.91428	13.68515	0.722686	-197.9302	32.46896
246	4.29351	5.491567	53.84549	13.66101	0.69635	-190.071	31.72568
248	4.328417	5.473661	54.74164	13.62618	0.669278	-182.2235	30.99388
250	4.363323	5.455807	55.60183	13.58114	0.641538	-174.4162	30.27366
252	4.39823	5.438019	56.42521	13.52632	0.613198	-166.6736	29.56491
254	4.433136	5.420309	57.21104	13.46209	0.584322	-159.0166	28.86745
256	4.468043	5.402689	57.95866	13.38879	0.554975	-151.4631	28.18094
258	4.502949	5.385172	58.66748	13.30668	0.525217	-144.0283	27.505
260	4.537856	5.367767	59.33702	13.21602	0.495108	-136.7252	26.83916
262	4.572763	5.350488	59.96685	13.11702	0.464707	-129.5649	26.18293
264	4.607669	5.333343	60.55663	13.00988	0.434071	-122.5571	25.53574
266	4.642576	5.316344	61.10607	12.89474	0.403257	-115.7096	24.89705
268	4.677482	5.299502	61.61499	12.77176	0.372318	-109.0296	24.26626
270	4.712389	5.282826	62.08325	12.64105	0.341308	-102.5228	23.6428
272	4.747296	5.266327	62.5108	12.5027	0.310281	-96.19429	23.02606
274	4.782202	5.250014	62.89765	12.35682	0.279286	-90.04818	22.41546
276	4.817109	5.233897	63.24387	12.20347	0.248375	-84.08799	21.81042
278	4.852015	5.217987	63.54961	12.04271	0.217596	-78.31663	21.21038
280	4.886922	5.202292	63.81507	11.8746	0.186997	-72.7364	20.6148
282	4.921828	5.186823	64.04052	11.69919	0.156626	-67.34913	20.02314
284	4.956735	5.171589	64.22628	11.51651	0.126527	-62.15617	19.4349
286	4.991642	5.156599	64.37275	11.32661	0.096745	-57.15842	18.84959
288	5.026548	5.141864	64.48036	11.12952	0.067323	-52.35637	18.26676
290	5.061455	5.127391	64.54962	10.92527	0.038302	-47.75011	17.68599
292	5.096361	5.113191	64.58109	10.71389	0.009723	-43.33934	17.10688
294	5.131268	5.099274	64.57535	10.49542	-0.018375	-39.12336	16.52906
296	5.166175	5.085648	64.53308	10.26989	-0.045957	-35.10111	15.95221
298	5.201081	5.072322	64.45498	10.03733	-0.072985	-31.27113	15.37602
300	5.235988	5.059306	64.34178	9.7978	-0.099426	-27.6316	14.80024
302	5.270894	5.046609	64.19429	9.55134	-0.125247	-24.18032	14.22465
304	5.305801	5.03424	64.01333	9.298005	-0.150419	-20.91471	13.64906
306	5.340708	5.022208	63.79978	9.037861	-0.174912	-17.83183	13.07332
308	5.375614	5.010521	63.55455	8.770978	-0.1987	-14.92834	12.49733
310	5.410521	4.99919	63.27858	8.497438	-0.221758	-12.20057	11.92103
312	5.445427	4.988221	62.97284	8.217334	-0.244063	-9.644487	11.34439
314	5.480334	4.977625	62.63833	7.930768	-0.265595	-7.255708	10.76742
316	5.51524	4.967408	62.27609	7.637857	-0.286334	-5.029533	10.19019
318	5.550147	4.95758	61.88716	7.338728	-0.306265	-2.960955	9.612788
320	5.585054	4.948149	61.4726	7.033524	-0.325372	-1.044687	9.035359
322	5.61996	4.939122	61.03353	6.722401	-0.343645	0.724807	8.458079
324	5.654867	4.930508	60.57102	6.405528	-0.361072	2.353284	7.881166
326	5.689773	4.922312	60.0862	6.083091	-0.377647	3.846676	7.304877
328	5.72468	4.914544	59.5802	5.75529	-0.393364	5.211052	6.729504
330	5.759587	4.907209	59.05413	5.42234	-0.40822	6.452572	6.155373
332	5.794493	4.900314	58.50913	5.084473	-0.422213	7.577432	5.582847
334	5.8294	4.893866	57.94633	4.741933	-0.435345	8.591813	5.012317
336	5.864306	4.88787	57.36687	4.394981	-0.44762	9.501823	4.444206
338	5.899213	4.882332	56.77185	4.043892	-0.459043	10.31344	3.878963
340	5.934119	4.877258	56.1624	3.688955	-0.469622	11.03244	3.317063
342	5.969026	4.872652	55.53961	3.330473	-0.479366	11.66438	2.759002
344	6.003933	4.868518	54.90458	2.968761	-0.488287	12.21446	2.205298
346	6.038839	4.864861	54.25837	2.604146	-0.496398	12.68754	1.656484
348	6.073746	4.861684	53.60204	2.236966	-0.503715	13.08806	1.113112
350	6.108652	4.85899	52.93663	1.867567	-0.510254	13.41996	0.575743
352	6.143559	4.856783	52.26313	1.496308	-0.516034	13.68668	0.044953
354	6.178466	4.855064	51.58253	1.12355	-0.521074	13.89109	-0.478678

356	6.213372	4.853835	50.89579	0.749663	-0.525396	14.03545	-0.99456
358	6.248279	4.853096	50.20384	0.37502	-0.529023	14.1214	-1.502099
360	6.283185	4.85285	49.50758	2.63E-15	-0.531976	14.14994	-2.000696

Tabla 3.Resultados del Modelo Isotérmico

(°)	teta 2	Vc	Ve	Vmax	Pg	Fg	Fg32AB	Fg32AC	Tg (max)
0	0	210.9931	360.0172	601.6722	0.190069	537.4063	-271.3758	271.3758	10.74813
2	0.034907	205.6766	355.5068	591.8453	0.191511	541.4848	-273.4448	273.4448	10.76956
4	0.069813	200.3248	350.8988	581.8856	0.192958	545.5756	-275.5396	275.5396	10.77655
6	0.10472	194.9443	346.1988	571.805	0.194407	549.673	-277.6577	277.6577	10.76816
8	0.139626	189.5415	341.4125	561.616	0.195856	553.77	-279.7968	279.7968	10.74349
10	0.174533	184.1231	336.5458	551.3309	0.197302	557.8588	-281.9538	281.9538	10.70159
12	0.20944	178.6956	331.6046	540.9622	0.198742	561.9304	-284.1258	284.1258	10.64155
14	0.244346	173.2657	326.595	530.5226	0.200173	565.9748	-286.309	286.309	10.56246
16	0.279253	167.84	321.5229	520.0248	0.201589	569.9806	-288.4994	288.4994	10.4634
18	0.314159	162.425	316.3946	509.4816	0.202988	573.9348	-290.6925	290.6925	10.3435
20	0.349066	157.0275	311.2164	498.9058	0.204363	577.823	-292.883	292.883	10.2019
22	0.383972	151.6539	305.9945	488.3104	0.205709	581.6291	-295.0652	295.0652	10.03778
24	0.418879	146.3109	300.7354	477.7082	0.20702	585.3351	-297.2322	297.2322	9.85036
26	0.453786	141.0048	295.4453	467.1121	0.208288	588.921	-299.3768	299.3768	9.638927
28	0.488692	135.7423	290.1309	456.5351	0.209506	592.3649	-301.4905	301.4905	9.402829
30	0.523599	130.5296	284.7984	445.99	0.210665	595.6426	-303.564	303.564	9.141495
32	0.558505	125.3732	279.4545	435.4897	0.211757	598.7277	-305.5867	305.5867	8.854449
34	0.593412	120.2793	274.1057	425.047	0.212769	601.5913	-307.5473	307.5473	8.541328
36	0.628319	115.2542	268.7584	414.6746	0.213693	604.2023	-309.4327	309.4327	8.201894
38	0.663225	110.3039	263.4193	404.3851	0.214515	606.5272	-311.2292	311.2292	7.836058
40	0.698132	105.4346	258.0947	394.1912	0.215224	608.5303	-312.9215	312.9215	7.443897
42	0.733038	100.652	252.7911	384.1051	0.215805	610.1736	-314.493	314.493	7.025672
44	0.767945	95.96209	247.5151	374.1392	0.216245	611.4174	-315.9262	315.9262	6.581854
46	0.802851	91.37054	242.2731	364.3056	0.216529	612.2202	-317.2024	317.2024	6.113143
48	0.837758	86.88296	237.0714	354.6163	0.216642	612.5395	-318.3019	318.3019	5.620485
50	0.872665	82.5048	231.9165	345.0832	0.216568	612.3321	-319.2043	319.2043	5.105095
52	0.907571	78.2414	226.8144	335.7178	0.216293	611.5549	-319.8888	319.8888	4.568472
54	0.942478	74.09796	221.7716	326.5315	0.215802	610.1657	-320.3343	320.3343	4.012409
56	0.977384	70.07952	216.7941	317.5356	0.21508	608.1241	-320.5203	320.5203	3.438999
58	1.012291	66.19098	211.888	308.7409	0.214114	605.3927	-320.4267	320.4267	2.850642
60	1.047198	62.43707	207.0592	300.1583	0.212892	601.9381	-320.035	320.035	2.250026
62	1.082104	58.82238	202.3137	291.7981	0.211405	597.7322	-319.3285	319.3285	1.640121
64	1.117011	55.35129	197.6573	283.6705	0.209644	592.7538	-318.2933	318.2933	1.024141
66	1.151917	52.02805	193.0955	275.7855	0.207605	586.9894	-316.9185	316.9185	0.405513
68	1.186824	48.85671	188.6341	268.1527	0.205287	580.4346	-315.1973	315.1973	-0.212182
70	1.22173	45.84111	184.2783	260.7813	0.202691	573.0955	-313.1274	313.1274	-0.825261
72	1.256637	42.98495	180.0335	253.6804	0.199824	564.989	-310.7119	310.7119	-1.43002
74	1.291544	40.2917	175.9049	246.8586	0.196696	556.1438	-307.9593	307.9593	-2.022808
76	1.32645	37.76463	171.8975	240.3241	0.19332	546.6004	-304.8839	304.8839	-2.600109
78	1.361357	35.40684	168.0162	234.085	0.189717	536.4108	-301.5064	301.5064	-3.158633
80	1.396263	33.22119	164.2658	228.1489	0.185907	525.6384	-297.8532	297.8532	-3.695391
82	1.43117	31.21034	160.6507	222.523	0.181916	514.3563	-293.9566	293.9566	-4.207774
84	1.466077	29.37675	157.1754	217.2141	0.177775	502.6465	-289.8539	289.8539	-4.693618
86	1.500983	27.72265	153.8441	212.2287	0.173513	490.5976	-285.5874	285.5874	-5.151245
88	1.53589	26.25005	150.661	207.573	0.169165	478.3032	-281.2027	281.2027	-5.579502
90	1.570796	24.96075	147.6298	203.2525	0.164764	465.8593	-276.7486	276.7486	-5.97777
92	1.605703	23.85631	144.7542	199.2725	0.160344	453.3624	-272.2755	272.2755	-6.345955
94	1.640609	22.9381	142.0378	195.6379	0.155939	440.9071	-267.8346	267.8346	-6.684461
96	1.675516	22.20721	139.4839	192.3531	0.151581	428.584	-263.4769	263.4769	-6.994148
98	1.710423	21.66455	137.0956	189.4221	0.147299	416.478	-259.2521	259.2521	-7.276274
100	1.745329	21.31078	134.8758	186.8485	0.143122	404.6666	-255.208	255.208	-7.532428
102	1.780236	21.14631	132.8271	184.6354	0.139073	393.2191	-251.3897	251.3897	-7.764452
104	1.815142	21.17137	130.9522	182.7855	0.135174	382.1954	-247.8393	247.8393	-7.974369
106	1.850049	21.38591	129.2532	181.3011	0.131443	371.6457	-244.5951	244.5951	-8.164305
108	1.884956	21.78968	127.7323	180.1839	0.127894	361.6106	-241.692	241.692	-8.336416
110	1.919862	22.38218	126.3913	179.4354	0.124537	352.1212	-239.161	239.161	-8.492825
112	1.954769	23.16269	125.2318	179.0564	0.121382	343.1994	-237.0295	237.0295	-8.635561
114	1.989675	24.13026	124.2552	179.0474	0.118432	334.8587	-235.3216	235.3216	-8.766514
116	2.024582	25.2837	123.4628	179.4085	0.11569	327.105	-234.0584	234.0584	-8.88739

118	2.059489	26.62163	122.8555	180.1391	0.113155	319.9374	-233.258	233.258	-8.999687
120	2.094395	28.1424	122.4341	181.2384	0.110825	313.3492	-232.9363	232.9363	-9.104664
122	2.129302	29.84416	122.199	182.7051	0.108695	307.3286	-233.1073	233.1073	-9.203333
124	2.164208	31.72484	122.1505	184.5373	0.106761	301.8601	-233.7832	233.7832	-9.296445
126	2.199115	33.78215	122.2888	186.7329	0.105016	296.9245	-234.975	234.975	-9.384487
128	2.234021	36.01359	122.6135	189.2891	0.103451	292.5004	-236.6929	236.6929	-9.46768
130	2.268928	38.41642	123.1244	192.2028	0.102059	288.5646	-238.9462	238.9462	-9.545982
132	2.303835	40.98773	123.8209	195.4705	0.100831	285.0926	-241.7436	241.7436	-9.619089
134	2.338741	43.72438	124.702	199.0883	0.099758	282.0594	-245.0932	245.0932	-9.686444
136	2.373648	46.62304	125.7667	203.0516	0.098832	279.4396	-249.0026	249.0026	-9.747236
138	2.408554	49.68018	127.0136	207.3558	0.098042	277.2079	-253.4782	253.4782	-9.800405
140	2.443461	52.89207	128.4414	211.9954	0.097381	275.3395	-258.5253	258.5253	-9.844648
142	2.478368	56.2548	130.0482	216.9649	0.096841	273.8103	-264.1473	264.1473	-9.878423
144	2.513274	59.76427	131.8321	222.2583	0.096411	272.5969	-270.3444	270.3444	-9.89995
146	2.548181	63.4162	133.7908	227.869	0.096086	271.6769	-277.1133	277.1133	-9.907219
148	2.583087	67.20616	135.9221	233.7902	0.095857	271.029	-284.4449	284.4449	-9.898
150	2.617994	71.12951	138.2234	240.0148	0.095717	270.6328	-292.3228	292.3228	-9.869857
152	2.6529	75.18148	140.6917	246.5351	0.095659	270.4694	-300.7212	300.7212	-9.820168
154	2.687807	79.35714	143.3241	253.3432	0.095677	270.5206	-309.602	309.602	-9.746168
156	2.722714	83.65139	146.1175	260.4308	0.095765	270.7697	-318.9122	318.9122	-9.644999
158	2.75762	88.059	149.0684	267.7893	0.095918	271.2009	-328.5805	328.5805	-9.513782
160	2.792527	92.57461	152.1731	275.4097	0.096129	271.7996	-338.5149	338.5149	-9.349731
162	2.827433	97.19271	155.428	283.2826	0.096396	272.5521	-348.5991	348.5991	-9.150279
164	2.86234	101.9077	158.829	291.3987	0.096712	273.4459	-358.6921	358.6921	-8.913253
166	2.897247	106.7138	162.3721	299.7478	0.097074	274.4692	-368.6273	368.6273	-8.637072
168	2.932153	111.6051	166.0529	308.3199	0.097478	275.6112	-378.2151	378.2151	-8.320963
170	2.96706	116.5758	169.8668	317.1045	0.09792	276.8621	-387.2479	387.2479	-7.96518
172	3.001966	121.6197	173.8094	326.091	0.098398	278.2126	-395.5088	395.5088	-7.571191
174	3.036873	126.7307	177.8756	335.2683	0.098907	279.6543	-402.7833	402.7833	-7.141803
176	3.071779	131.9026	182.0608	344.6253	0.099447	281.1795	-408.8728	408.8728	-6.681189
178	3.106686	137.129	186.3596	354.1505	0.100013	282.7811	-413.6101	413.6101	-6.194785
180	3.141593	142.4037	190.7669	363.8325	0.100605	284.4526	-416.8727	416.8727	-5.689053
182	3.176499	147.7202	195.2772	373.6594	0.101218	286.1881	-418.5933	418.5933	-5.171131
184	3.211406	153.0719	199.8852	383.6191	0.101853	287.9821	-418.7647	418.7647	-4.648396
186	3.246312	158.4525	204.5852	393.6997	0.102506	289.8296	-417.4387	417.4387	-4.128016
188	3.281219	163.8553	209.3715	403.8887	0.103177	291.7262	-414.7199	414.7199	-3.616539
190	3.316126	169.2737	214.2382	414.1738	0.103864	293.6677	-410.7539	410.7539	-3.119579
192	3.351032	174.7012	219.1794	424.5425	0.104565	295.6503	-405.7142	405.7142	-2.641623
194	3.385939	180.1311	224.1891	434.9821	0.105279	297.6707	-399.7882	399.7882	-2.185959
196	3.420845	185.5568	229.2611	445.4799	0.106006	299.7257	-393.1647	393.1647	-1.754722
198	3.455752	190.9717	234.3894	456.0231	0.106744	301.8126	-386.0239	386.0239	-1.349005
200	3.490659	196.3693	239.5676	466.5988	0.107493	303.9289	-378.5305	378.5305	-0.969031
202	3.525565	201.7428	244.7895	477.1943	0.108251	306.0722	-370.8297	370.8297	-0.614334
204	3.560472	207.0859	250.0487	487.7965	0.109018	308.2405	-363.0452	363.0452	-0.283935
206	3.595378	212.3919	255.3387	498.3926	0.109793	310.4319	-355.2792	355.2792	0.023497
208	3.630285	217.6545	260.6532	508.9696	0.110576	312.6449	-347.614	347.614	0.309509
210	3.665191	222.8671	265.9856	519.5147	0.111365	314.8779	-340.1139	340.1139	0.575763
212	3.700098	228.0236	271.3295	530.015	0.112162	317.1296	-332.8274	332.8274	0.823952
214	3.735005	233.1174	276.6783	540.4577	0.112964	319.3988	-325.7902	325.7902	1.055745
216	3.769911	238.1426	282.0256	550.8301	0.113773	321.6846	-319.0265	319.0265	1.272744
218	3.804818	243.0928	287.3648	561.1195	0.114587	323.9861	-312.5523	312.5523	1.476465
220	3.839724	247.9622	292.6894	571.3135	0.115406	326.3024	-306.3761	306.3761	1.668319
222	3.874631	252.7448	297.9929	581.3996	0.11623	328.633	-300.5011	300.5011	1.849612
224	3.909538	257.4347	303.2689	591.3655	0.117059	330.9772	-294.9266	294.9266	2.021536
226	3.944444	262.0262	308.5109	601.1991	0.117893	333.3346	-289.6484	289.6484	2.185183
228	3.979351	266.5138	313.7126	610.8883	0.118731	335.7048	-284.66	284.66	2.341541
230	4.014257	270.892	318.8676	620.4215	0.119574	338.0875	-279.9537	279.9537	2.491507
232	4.049164	275.1554	323.9696	629.7869	0.120421	340.4825	-275.5204	275.5204	2.635891
234	4.08407	279.2988	329.0124	638.9732	0.121272	342.8897	-271.3502	271.3502	2.775427
236	4.118977	283.3173	333.9899	647.9691	0.122128	345.3089	-267.4332	267.4332	2.910776
238	4.153884	287.2058	338.896	656.7638	0.122988	347.7401	-263.7592	263.7592	3.042537
240	4.18879	290.9597	343.7248	665.3464	0.123852	350.1834	-260.3181	260.3181	3.17125
242	4.223697	294.5744	348.4703	673.7066	0.12472	352.6389	-257.0998	257.0998	3.297407
244	4.258603	298.0455	353.1267	681.8342	0.125593	355.1066	-254.0948	254.0948	3.42145
246	4.29351	301.3687	357.6885	689.7191	0.12647	357.5867	-251.2937	251.2937	3.543782
248	4.328417	304.5401	362.15	697.352	0.127352	360.0795	-248.6877	248.6877	3.664771
250	4.363323	307.5557	366.5057	704.7233	0.128238	362.5853	-246.2681	246.2681	3.784749
252	4.39823	310.4118	370.7505	711.8243	0.129129	365.1043	-244.0271	244.0271	3.90402
254	4.433136	313.1051	374.8791	718.6461	0.130025	367.6369	-241.9567	241.9567	4.02286
256	4.468043	315.6321	378.8865	725.1806	0.130926	370.1834	-240.05	240.05	4.141524
258	4.502949	317.9899	382.7678	731.4197	0.131831	372.7443	-238.2999	238.2999	4.260243

260	4.537856	320.1756	386.5183	737.3558	0.132742	375.32	-236.7002	236.7002	4.379227
262	4.572763	322.1864	390.1333	742.9817	0.133659	377.911	-235.2446	235.2446	4.49867
264	4.607669	324.02	393.6086	748.2906	0.134581	380.5178	-233.9276	233.9276	4.618748
266	4.642576	325.6741	396.9399	753.276	0.135508	383.1409	-232.7438	232.7438	4.739622
268	4.677482	327.1467	400.1231	757.9317	0.136442	385.7808	-231.6881	231.6881	4.861437
270	4.712389	328.436	403.1543	762.2522	0.137382	388.4382	-230.7558	230.7558	4.984326
272	4.747296	329.5405	406.0298	766.2322	0.138328	391.1137	-229.9425	229.9425	5.108406
274	4.782202	330.4587	408.7462	769.8668	0.139281	393.8078	-229.2439	229.2439	5.233783
276	4.817109	331.1896	411.3001	773.1516	0.140241	396.5213	-228.6562	228.6562	5.360551
278	4.852015	331.7322	413.6884	776.0826	0.141207	399.2547	-228.1756	228.1756	5.488788
280	4.886922	332.086	415.9083	778.6562	0.142182	402.0089	-227.7985	227.7985	5.618564
282	4.921828	332.2505	417.9569	780.8693	0.143163	404.7845	-227.5217	227.5217	5.749934
284	4.956735	332.2254	419.8319	782.7192	0.144153	407.5823	-227.3421	227.3421	5.88294
286	4.991642	332.0109	421.5308	784.2036	0.14515	410.4029	-227.2567	227.2567	6.017613
288	5.026548	331.6071	423.0517	785.3208	0.146156	413.2472	-227.2625	227.2625	6.153969
290	5.061455	331.0146	424.3928	786.0693	0.147171	416.116	-227.3571	227.3571	6.292011
292	5.096361	330.2341	425.5522	786.4483	0.148194	419.01	-227.5378	227.5378	6.431728
294	5.131268	329.2665	426.5288	786.4572	0.149227	421.9301	-227.8021	227.8021	6.573093
296	5.166175	328.1131	427.3212	786.0962	0.15027	424.8771	-228.1479	228.1479	6.716065
298	5.201081	326.7751	427.9285	785.3656	0.151322	427.8517	-228.5727	228.5727	6.860584
300	5.235988	325.2544	428.3499	784.2663	0.152384	430.855	-229.0745	229.0745	7.006577
302	5.270894	323.5526	428.585	782.7996	0.153456	433.8876	-229.6512	229.6512	7.153949
304	5.305801	321.6719	428.6335	780.9674	0.15454	436.9505	-230.3008	230.3008	7.302588
306	5.340708	319.6146	428.4953	778.7718	0.155634	440.0445	-231.0214	231.0214	7.452364
308	5.375614	317.3832	428.1705	776.2156	0.156739	443.1704	-231.8112	231.8112	7.603122
310	5.410521	314.9803	427.6596	773.3019	0.157857	446.3292	-232.6682	232.6682	7.754688
312	5.445427	312.409	426.9631	770.0341	0.158986	449.5215	-233.5908	233.5908	7.906865
314	5.480334	309.6724	426.0821	766.4164	0.160127	452.7483	-234.5771	234.5771	8.059433
316	5.51524	306.7737	425.0174	762.453	0.161281	456.0103	-235.6257	235.6257	8.212145
318	5.550147	303.7166	423.7704	758.1489	0.162447	459.3084	-236.7347	236.7347	8.364729
320	5.585054	300.5047	422.3426	753.5093	0.163627	462.6431	-237.9026	237.9026	8.516888
322	5.61996	297.142	420.7358	748.5398	0.164819	466.0153	-239.1279	239.1279	8.668295
324	5.654867	293.6325	418.952	743.2464	0.166025	469.4256	-240.409	240.409	8.818597
326	5.689773	289.9806	416.9932	737.6357	0.167245	472.8746	-241.7443	241.7443	8.967409
328	5.72468	286.1906	414.8619	731.7145	0.168479	476.3627	-243.1325	243.1325	9.114318
330	5.759587	282.2673	412.5607	725.4899	0.169727	479.8905	-244.5719	244.5719	9.258881
332	5.794493	278.2153	410.0923	718.9696	0.170988	483.4583	-246.0613	246.0613	9.400621
334	5.8294	274.0396	407.4599	712.1615	0.172264	487.0664	-247.5992	247.5992	9.539032
336	5.864306	269.7454	404.6665	705.0739	0.173555	490.7148	-249.1842	249.1842	9.673576
338	5.899213	265.3378	401.7157	697.7154	0.174859	494.4035	-250.8149	250.8149	9.803682
340	5.934119	260.8222	398.6109	690.095	0.176178	498.1323	-252.4899	252.4899	9.928749
342	5.969026	256.2041	395.356	682.222	0.177511	501.9009	-254.208	254.208	10.04814
344	6.003933	251.4891	391.955	674.106	0.178858	505.7085	-255.9677	255.9677	10.1612
346	6.038839	246.683	388.4119	665.7569	0.180218	509.5545	-257.7677	257.7677	10.26722
348	6.073746	241.7917	384.7312	657.1848	0.181591	513.4376	-259.6066	259.6066	10.36549
350	6.108652	236.821	380.9172	648.4002	0.182977	517.3563	-261.483	261.483	10.45524
352	6.143559	231.7771	376.9747	639.4137	0.184375	521.309	-263.3956	263.3956	10.5357
354	6.178466	226.6661	372.9084	630.2364	0.185784	525.2932	-265.3427	265.3427	10.60606
356	6.213372	221.4942	368.7233	620.8794	0.187204	529.3064	-267.3229	267.3229	10.66549
358	6.248279	216.2677	364.4245	611.3541	0.188632	533.3454	-269.3345	269.3345	10.71314
360	6.283185	210.9931	360.0172	601.6722	0.190069	537.4063	-271.3758	271.3758	10.74813

Tabla 4. Datos de entrada para determinar las Fuerzas Dinámicas en el mecanismo O2AB.

(°)	Teta 2 (rad)	R12x	R12y	R32x	R32y	R23x	R23y	R43x	R43y	a2x	a2y	a3x	a3y	a4y=S"
0	0	-7.16	9E-16	-0.53	0	-2.874	-20.33	4.126	29.18	5E+05	6E-11	0	0	2.001
2	0.035	-7.156	-0.25	-0.53	-0.018	-2.879	-20.33	4.133	29.18	5E+05	16121	2.887	290.7	1.502
4	0.07	-7.143	-0.499	-0.529	-0.037	-2.894	-20.32	4.155	29.18	5E+05	32223	11.54	291.4	0.995
6	0.105	-7.121	-0.748	-0.527	-0.055	-2.919	-20.32	4.19	29.17	5E+05	48285	25.92	292.6	0.479
8	0.14	-7.09	-0.996	-0.525	-0.074	-2.954	-20.32	4.241	29.16	5E+05	64289	45.97	294.4	-0.045

10	0.175	-7.051	-1.243	-0.522	-0.092	-2.999	-20.31	4.305	29.15	-	-	71.6	296.7	-0.576
12	0.209	-7.004	-1.489	-0.518	-0.11	-3.054	-20.3	4.383	29.14	5E+05	80214	102.7	299.6	-1.113
14	0.244	-6.947	-1.732	-0.514	-0.128	-3.118	-20.29	4.476	29.13	4E+05	1E+05	139.2	303.3	-1.656
16	0.279	-6.883	-1.974	-0.509	-0.146	-3.192	-20.28	4.582	29.11	4E+05	1E+05	180.9	307.7	-2.205
18	0.314	-6.81	-2.213	-0.504	-0.164	-3.276	-20.27	4.703	29.09	4E+05	1E+05	227.7	313.1	-2.759
20	0.349	-6.728	-2.449	-0.498	-0.181	-3.369	-20.25	4.837	29.07	4E+05	2E+05	279.4	319.5	-3.317
22	0.384	-6.639	-2.682	-0.491	-0.199	-3.472	-20.23	4.984	29.05	4E+05	2E+05	335.7	327	-3.879
24	0.419	-6.541	-2.912	-0.484	-0.216	-3.584	-20.21	5.145	29.02	4E+05	2E+05	396.6	335.7	-4.444
26	0.454	-6.435	-3.139	-0.476	-0.232	-3.705	-20.19	5.319	28.99	4E+05	2E+05	461.6	345.8	-5.012
28	0.489	-6.322	-3.361	-0.468	-0.249	-3.835	-20.17	5.506	28.95	4E+05	2E+05	530.7	357.4	-5.583
30	0.524	-6.201	-3.58	-0.459	-0.265	-3.974	-20.14	5.705	28.91	4E+05	2E+05	603.6	370.7	-6.155
32	0.559	-6.072	-3.794	-0.449	-0.281	-4.122	-20.11	5.917	28.87	4E+05	2E+05	680	385.7	-6.73
34	0.593	-5.936	-4.004	-0.439	-0.296	-4.278	-20.08	6.141	28.82	4E+05	3E+05	759.7	402.7	-7.305
36	0.628	-5.793	-4.209	-0.429	-0.312	-4.443	-20.04	6.377	28.77	4E+05	3E+05	842.4	421.7	-7.881
38	0.663	-5.642	-4.408	-0.418	-0.326	-4.615	-20	6.625	28.72	4E+05	3E+05	927.8	443	-8.458
40	0.698	-5.485	-4.602	-0.406	-0.341	-4.795	-19.96	6.884	28.65	4E+05	3E+05	1016	466.5	-9.035
42	0.733	-5.321	-4.791	-0.394	-0.355	-4.983	-19.92	7.154	28.59	3E+05	3E+05	1106	492.6	-9.613
44	0.768	-5.15	-4.974	-0.381	-0.368	-5.179	-19.87	7.434	28.52	3E+05	3E+05	1198	521.2	-10.19
46	0.803	-4.974	-5.15	-0.368	-0.381	-5.382	-19.81	7.725	28.44	3E+05	3E+05	1291	552.6	-10.77
48	0.838	-4.791	-5.321	-0.355	-0.394	-5.591	-19.75	8.026	28.36	3E+05	3E+05	1386	586.8	-11.34
50	0.873	-4.602	-5.485	-0.341	-0.406	-5.808	-19.69	8.337	28.27	3E+05	4E+05	1482	623.9	-11.92
52	0.908	-4.408	-5.642	-0.326	-0.418	-6.03	-19.62	8.656	28.17	3E+05	4E+05	1579	664.2	-12.5
54	0.942	-4.209	-5.793	-0.312	-0.429	-6.259	-19.55	8.985	28.07	3E+05	4E+05	1677	707.6	-13.07
56	0.977	-4.004	-5.936	-0.296	-0.439	-6.494	-19.48	9.322	27.96	3E+05	4E+05	1775	754.3	-13.65
58	1.012	-3.794	-6.072	-0.281	-0.449	-6.735	-19.39	9.667	27.84	2E+05	4E+05	1873	804.3	-14.22
60	1.047	-3.58	-6.201	-0.265	-0.459	-6.98	-19.31	10.02	27.71	2E+05	4E+05	1971	857.8	-14.8
62	1.082	-3.361	-6.322	-0.249	-0.468	-7.231	-19.21	10.38	27.58	2E+05	4E+05	2068	914.8	-15.38
64	1.117	-3.139	-6.435	-0.232	-0.476	-7.486	-19.12	10.75	27.44	2E+05	4E+05	2165	975.3	-15.95
66	1.152	-2.912	-6.541	-0.216	-0.484	-7.746	-19.01	11.12	27.29	2E+05	4E+05	2261	1040	-16.53
68	1.187	-2.682	-6.639	-0.199	-0.491	-8.01	-18.9	11.5	27.13	2E+05	4E+05	2357	1107	-17.11
70	1.222	-2.449	-6.728	-0.181	-0.498	-8.278	-18.79	11.88	26.97	2E+05	4E+05	2450	1179	-17.69
72	1.257	-2.213	-6.81	-0.164	-0.504	-8.549	-18.67	12.27	26.79	1E+05	4E+05	2543	1254	-18.27
74	1.292	-1.974	-6.883	-0.146	-0.509	-8.823	-18.54	12.66	26.61	1E+05	4E+05	2634	1334	-18.85
76	1.326	-1.732	-6.947	-0.128	-0.514	-9.1	-18.4	13.06	26.42	1E+05	4E+05	2723	1417	-19.43
78	1.361	-1.489	-7.004	-0.11	-0.518	-9.379	-18.26	13.46	26.22	96042	5E+05	2810	1503	-20.02
80	1.396	-1.243	-7.051	-0.092	-0.522	-9.66	-18.12	13.87	26	80214	5E+05	2895	1594	-20.61
82	1.431	-0.996	-7.09	-0.074	-0.525	-9.943	-17.96	14.27	25.78	64289	5E+05	2977	1689	-21.21
84	1.466	-0.748	-7.121	-0.055	-0.527	-10.23	-17.8	14.68	25.55	48285	5E+05	3057	1787	-21.81
86	1.501	-0.499	-7.143	-0.037	-0.529	-10.51	-17.63	15.09	25.31	32223	5E+05	3135	1889	-22.42
88	1.536	-0.25	-7.156	-0.018	-0.53	-10.8	-17.46	15.5	25.06	16121	5E+05	3209	1995	-23.03
90	1.571	-1E-15	-7.16	-3E-17	-0.53	-11.09	-17.28	15.91	24.8	-8E-11	5E+05	3281	2105	-23.64
92	1.606	0.25	-7.156	0.018	-0.53	-11.37	-17.09	16.33	24.54	16121	5E+05	3349	2218	-24.27
94	1.641	0.499	-7.143	0.037	-0.529	-11.66	-16.9	16.74	24.26	32223	5E+05	3414	2335	-24.9

96	1.676	0.748	-7.121	0.055	-0.527	-11.94	-16.7	17.15	23.97	48285	5E+05	3475	2455	-25.54
98	1.71	0.996	-7.09	0.074	-0.525	-12.23	-16.49	17.55	23.67	64289	5E+05	3532	2579	-26.18
100	1.745	1.243	-7.051	0.092	-0.522	-12.51	-16.28	17.96	23.36	80214	5E+05	3586	2706	-26.84
102	1.78	1.489	-7.004	0.11	-0.518	-12.79	-16.06	18.36	23.05	96042	5E+05	3635	2836	-27.5
104	1.815	1.732	-6.947	0.128	-0.514	-13.07	-15.83	18.77	22.72	1E+05	4E+05	3680	2969	-28.18
106	1.85	1.974	-6.883	0.146	-0.509	-13.35	-15.6	19.16	22.39	1E+05	4E+05	3721	3104	-28.87
108	1.885	2.213	-6.81	0.164	-0.504	-13.62	-15.36	19.56	22.05	1E+05	4E+05	3756	3242	-29.56
110	1.92	2.449	-6.728	0.181	-0.498	-13.89	-15.11	19.95	21.69	2E+05	4E+05	3787	3382	-30.27
112	1.955	2.682	-6.639	0.199	-0.491	-14.16	-14.86	20.33	21.34	2E+05	4E+05	3812	3523	-30.99
114	1.99	2.912	-6.541	0.216	-0.484	-14.43	-14.61	20.71	20.97	2E+05	4E+05	3831	3666	-31.73
116	2.025	3.139	-6.435	0.232	-0.476	-14.69	-14.35	21.08	20.59	2E+05	4E+05	3845	3809	-32.47
118	2.059	3.361	-6.322	0.249	-0.468	-14.94	-14.08	21.45	20.21	2E+05	4E+05	3852	3952	-33.22
120	2.094	3.58	-6.201	0.265	-0.459	-15.19	-13.81	21.81	19.82	2E+05	4E+05	3853	4094	-33.99
122	2.129	3.794	-6.072	0.281	-0.449	-15.44	-13.53	22.16	19.43	2E+05	4E+05	3846	4234	-34.76
124	2.164	4.004	-5.936	0.296	-0.439	-15.68	-13.25	22.51	19.03	3E+05	4E+05	3832	4371	-35.55
126	2.199	4.209	-5.793	0.312	-0.429	-15.91	-12.97	22.84	18.62	3E+05	4E+05	3810	4504	-36.34
128	2.234	4.408	-5.642	0.326	-0.418	-16.14	-12.69	23.17	18.21	3E+05	4E+05	3780	4631	-37.13
130	2.269	4.602	-5.485	0.341	-0.406	-16.36	-12.4	23.49	17.79	3E+05	4E+05	3740	4751	-37.93
132	2.304	4.791	-5.321	0.355	-0.394	-16.58	-12.11	23.8	17.38	3E+05	3E+05	3691	4862	-38.73
134	2.339	4.974	-5.15	0.368	-0.381	-16.79	-11.81	24.1	16.96	3E+05	3E+05	3632	4961	-39.52
136	2.374	5.15	-4.974	0.381	-0.368	-16.99	-11.52	24.39	16.54	3E+05	3E+05	3562	5045	-40.3
138	2.409	5.321	-4.791	0.394	-0.355	-17.19	-11.23	24.67	16.11	3E+05	3E+05	3480	5113	-41.07
140	2.443	5.485	-4.602	0.406	-0.341	-17.38	-10.93	24.94	15.69	4E+05	3E+05	3386	5160	-41.81
142	2.478	5.642	-4.408	0.418	-0.326	-17.56	-10.64	25.2	15.27	4E+05	3E+05	3279	5182	-42.52
144	2.513	5.793	-4.209	0.429	-0.312	-17.73	-10.35	25.45	14.86	4E+05	3E+05	3159	5176	-43.19
146	2.548	5.936	-4.004	0.439	-0.296	-17.89	-10.06	25.69	14.45	4E+05	3E+05	3024	5137	-43.8
148	2.583	6.072	-3.794	0.449	-0.281	-18.05	-9.781	25.91	14.04	4E+05	2E+05	2875	5060	-44.34
150	2.618	6.201	-3.58	0.459	-0.265	-18.2	-9.503	26.12	13.64	4E+05	2E+05	2711	4941	-44.81
152	2.653	6.322	-3.361	0.468	-0.249	-18.34	-9.232	26.32	13.25	4E+05	2E+05	2533	4774	-45.17
154	2.688	6.435	-3.139	0.476	-0.232	-18.47	-8.969	26.51	12.87	4E+05	2E+05	2340	4556	-45.43
156	2.723	6.541	-2.912	0.484	-0.216	-18.59	-8.715	26.68	12.51	4E+05	2E+05	2133	4285	-45.56
158	2.758	6.639	-2.682	0.491	-0.199	-18.7	-8.472	26.84	12.16	4E+05	2E+05	1915	3957	-45.56
160	2.793	6.728	-2.449	0.498	-0.181	-18.8	-8.242	26.99	11.83	4E+05	2E+05	1687	3575	-45.41
162	2.827	6.81	-2.213	0.504	-0.164	-18.9	-8.026	27.12	11.52	4E+05	1E+05	1452	3143	-45.1
164	2.862	6.883	-1.974	0.509	-0.146	-18.98	-7.825	27.25	11.23	4E+05	1E+05	1215	2668	-44.66
166	2.897	6.947	-1.732	0.514	-0.128	-19.05	-7.643	27.35	10.97	4E+05	1E+05	981.4	2165	-44.07
168	2.932	7.004	-1.489	0.518	-0.11	-19.12	-7.48	27.44	10.74	5E+05	96042	756.7	1650	-43.38
170	2.967	7.051	-1.243	0.522	-0.092	-19.17	-7.339	27.52	10.53	5E+05	80214	548.4	1147	-42.6
172	3.002	7.09	-0.996	0.525	-0.074	-19.22	-7.221	27.59	10.37	5E+05	64289	363.9	680.8	-41.78
174	3.037	7.121	-0.748	0.527	-0.055	-19.25	-7.127	27.64	10.23	5E+05	48285	210.7	280.3	-40.97
176	3.072	7.143	-0.499	0.529	-0.037	-19.28	-7.059	27.67	10.13	5E+05	32223	95.65	-28.58	-40.21
178	3.107	7.156	-0.25	0.53	-0.018	-19.29	-7.018	27.69	10.07	5E+05	16121	24.22	-223.7	-39.54
180	3.142	7.16	-2E-15	0.53	-6E-17	-19.3	-7.004	27.7	10.05	5E+05	-1E-10	2E-14	-290.5	-38.99
182	3.176	7.156	0.25	0.53	0.018	-19.29	-7.018	27.69	10.07	5E+05	16121	24.22	-223.7	-38.55

184	3.211	7.143	0.499	0.529	0.037	-19.28	-7.059	27.67	10.13	5E+05	32223	95.65	-28.58	-38.24
186	3.246	7.121	0.748	0.527	0.055	-19.25	-7.127	27.64	10.23	5E+05	48285	210.7	280.3	-38.01
188	3.281	7.09	0.996	0.525	0.074	-19.22	-7.221	27.59	10.37	5E+05	64289	363.9	680.8	-37.84
190	3.316	7.051	1.243	0.522	0.092	-19.17	-7.339	27.52	10.53	5E+05	80214	548.4	1147	-37.69
192	3.351	7.004	1.489	0.518	0.11	-19.12	-7.48	27.44	10.74	5E+05	96042	756.7	1650	-37.49
194	3.386	6.947	1.732	0.514	0.128	-19.05	-7.643	27.35	10.97	4E+05	1E+05	981.4	2165	-37.23
196	3.421	6.883	1.974	0.509	0.146	-18.98	-7.825	27.25	11.23	4E+05	1E+05	1215	2668	-36.85
198	3.456	6.81	2.213	0.504	0.164	-18.9	-8.026	27.12	11.52	4E+05	1E+05	1452	3143	-36.36
200	3.491	6.728	2.449	0.498	0.181	-18.8	-8.242	26.99	11.83	4E+05	2E+05	1687	3575	-35.73
202	3.526	6.639	2.682	0.491	0.199	-18.7	-8.472	26.84	12.16	4E+05	2E+05	1915	3957	-34.96
204	3.56	6.541	2.912	0.484	0.216	-18.59	-8.715	26.68	12.51	4E+05	2E+05	2133	4285	-34.05
206	3.595	6.435	3.139	0.476	0.232	-18.47	-8.969	26.51	12.87	4E+05	2E+05	2340	4556	-33.03
208	3.63	6.322	3.361	0.468	0.249	-18.34	-9.232	26.32	13.25	4E+05	2E+05	2533	4774	-31.89
210	3.665	6.201	3.58	0.459	0.265	-18.2	-9.503	26.12	13.64	4E+05	2E+05	2711	4941	-30.66
212	3.7	6.072	3.794	0.449	0.281	-18.05	-9.781	25.91	14.04	4E+05	2E+05	2875	5060	-29.35
214	3.735	5.936	4.004	0.439	0.296	-17.89	-10.06	25.69	14.45	4E+05	3E+05	3024	5137	-27.97
216	3.77	5.793	4.209	0.429	0.312	-17.73	-10.35	25.45	14.86	4E+05	3E+05	3159	5176	-26.55
218	3.805	5.642	4.408	0.418	0.326	-17.56	-10.64	25.2	15.27	4E+05	3E+05	3279	5182	-25.1
220	3.84	5.485	4.602	0.406	0.341	-17.38	-10.93	24.94	15.69	4E+05	3E+05	3386	5160	-23.62
222	3.875	5.321	4.791	0.394	0.355	-17.19	-11.23	24.67	16.11	3E+05	3E+05	3480	5113	-22.13
224	3.91	5.15	4.974	0.381	0.368	-16.99	-11.52	24.39	16.54	3E+05	3E+05	3562	5045	-20.65
226	3.944	4.974	5.15	0.368	0.381	-16.79	-11.81	24.1	16.96	3E+05	3E+05	3632	4961	-19.16
228	3.979	4.791	5.321	0.355	0.394	-16.58	-12.11	23.8	17.38	3E+05	3E+05	3691	4862	-17.7
230	4.014	4.602	5.485	0.341	0.406	-16.36	-12.4	23.49	17.79	3E+05	4E+05	3740	4751	-16.25
232	4.049	4.408	5.642	0.326	0.418	-16.14	-12.69	23.17	18.21	3E+05	4E+05	3780	4631	-14.83
234	4.084	4.209	5.793	0.312	0.429	-15.91	-12.97	22.84	18.62	3E+05	4E+05	3810	4504	-13.44
236	4.119	4.004	5.936	0.296	0.439	-15.68	-13.25	22.51	19.03	3E+05	4E+05	3832	4371	-12.09
238	4.154	3.794	6.072	0.281	0.449	-15.44	-13.53	22.16	19.43	2E+05	4E+05	3846	4234	-10.76
240	4.189	3.58	6.201	0.265	0.459	-15.19	-13.81	21.81	19.82	2E+05	4E+05	3853	4094	-9.48
242	4.224	3.361	6.322	0.249	0.468	-14.94	-14.08	21.45	20.21	2E+05	4E+05	3852	3952	-8.236
244	4.259	3.139	6.435	0.232	0.476	-14.69	-14.35	21.08	20.59	2E+05	4E+05	3845	3809	-7.033
246	4.294	2.912	6.541	0.216	0.484	-14.43	-14.61	20.71	20.97	2E+05	4E+05	3831	3666	-5.872
248	4.328	2.682	6.639	0.199	0.491	-14.16	-14.86	20.33	21.34	2E+05	4E+05	3812	3523	-4.755
250	4.363	2.449	6.728	0.181	0.498	-13.89	-15.11	19.95	21.69	2E+05	4E+05	3787	3382	-3.68
252	4.398	2.213	6.81	0.164	0.504	-13.62	-15.36	19.56	22.05	1E+05	4E+05	3756	3242	-2.65
254	4.433	1.974	6.883	0.146	0.509	-13.35	-15.6	19.16	22.39	1E+05	4E+05	3721	3104	-1.664
256	4.468	1.732	6.947	0.128	0.514	-13.07	-15.83	18.77	22.72	1E+05	4E+05	3680	2969	-0.722
258	4.503	1.489	7.004	0.11	0.518	-12.79	-16.06	18.36	23.05	96042	5E+05	3635	2836	0.176
260	4.538	1.243	7.051	0.092	0.522	-12.51	-16.28	17.96	23.36	80214	5E+05	3586	2706	1.031
262	4.573	0.996	7.09	0.074	0.525	-12.23	-16.49	17.55	23.67	64289	5E+05	3532	2579	1.842
264	4.608	0.748	7.121	0.055	0.527	-11.94	-16.7	17.15	23.97	48285	5E+05	3475	2455	2.609
266	4.643	0.499	7.143	0.037	0.529	-11.66	-16.9	16.74	24.26	32223	5E+05	3414	2335	3.334
268	4.677	0.25	7.156	0.018	0.53	-11.37	-17.09	16.33	24.54	16121	5E+05	3349	2218	4.016
270	4.712	2E-15	7.16	1E-16	0.53	-11.09	-17.28	15.91	24.8	1E-10	5E+05	3281	2105	4.657
272	4.747	-0.25	7.156	-0.018	0.53	-10.8	-17.46	15.5	25.06	-	5E+05	3209	1995	5.257
274	4.782	-0.499	7.143	-0.037	0.529	-10.51	-17.63	15.09	25.31	-	5E+05	3135	1889	5.815
276	4.817	-0.748	7.121	-0.055	0.527	-10.23	-17.8	14.68	25.55	-	5E+05	3057	1787	6.334
278	4.852	-0.996	7.09	-0.074	0.525	-9.943	-17.96	14.27	25.78	-	5E+05	2977	1689	6.814
280	4.887	-1.243	7.051	-0.092	0.522	-9.66	-18.12	13.87	26	-	5E+05	2895	1594	7.255
282	4.922	-1.489	7.004	-0.11	0.518	-9.379	-18.26	13.46	26.22	-	5E+05	2810	1503	7.658
284	4.957	-1.732	6.947	-0.128	0.514	-9.1	-18.4	13.06	26.42	-	4E+05	2723	1417	8.024
286	4.992	-1.974	6.883	-0.146	0.509	-8.823	-18.54	12.66	26.61	-	4E+05	2634	1334	8.354
288	5.027	-2.213	6.81	-0.164	0.504	-8.549	-18.67	12.27	26.79	-	4E+05	2543	1254	8.648
290	5.061	-2.449	6.728	-0.181	0.498	-8.278	-18.79	11.88	26.97	-	4E+05	2450	1179	8.907
292	5.096	-2.682	6.639	-0.199	0.491	-8.01	-18.9	11.5	27.13	-	4E+05	2357	1107	9.132
294	5.131	-2.912	6.541	-0.216	0.484	-7.746	-19.01	11.12	27.29	-	4E+05	2261	1040	9.324
296	5.166	-3.139	6.435	-0.232	0.476	-7.486	-19.12	10.75	27.44	-	4E+05	2165	975.3	9.484
298	5.201	-3.361	6.322	-0.249	0.468	-7.231	-19.21	10.38	27.58	-	4E+05	2068	914.8	9.611

300	5.236	-3.58	6.201	-0.265	0.459	-6.98	-19.31	10.02	27.71	2E+05	4E+05	1971	857.8	9.708
302	5.271	-3.794	6.072	-0.281	0.449	-6.735	-19.39	9.667	27.84	2E+05	4E+05	1873	804.3	9.775
304	5.306	-4.004	5.936	-0.296	0.439	-6.494	-19.48	9.322	27.96	3E+05	4E+05	1775	754.3	9.813
306	5.341	-4.209	5.793	-0.312	0.429	-6.259	-19.55	8.985	28.07	3E+05	4E+05	1677	707.6	9.822
308	5.376	-4.408	5.642	-0.326	0.418	-6.03	-19.62	8.656	28.17	3E+05	4E+05	1579	664.2	9.803
310	5.411	-4.602	5.485	-0.341	0.406	-5.808	-19.69	8.337	28.27	3E+05	4E+05	1482	623.9	9.758
312	5.445	-4.791	5.321	-0.355	0.394	-5.591	-19.75	8.026	28.36	3E+05	3E+05	1386	586.8	9.687
314	5.48	-4.974	5.15	-0.368	0.381	-5.382	-19.81	7.725	28.44	3E+05	3E+05	1291	552.6	9.59
316	5.515	-5.15	4.974	-0.381	0.368	-5.179	-19.87	7.434	28.52	3E+05	3E+05	1198	521.2	9.469
318	5.55	-5.321	4.791	-0.394	0.355	-4.983	-19.92	7.154	28.59	3E+05	3E+05	1106	492.6	9.324
320	5.585	-5.485	4.602	-0.406	0.341	-4.795	-19.96	6.884	28.65	4E+05	3E+05	1016	466.5	9.155
322	5.62	-5.642	4.408	-0.418	0.326	-4.615	-20	6.625	28.72	4E+05	3E+05	927.8	443	8.965
324	5.655	-5.793	4.209	-0.429	0.312	-4.443	-20.04	6.377	28.77	4E+05	3E+05	842.4	421.7	8.753
326	5.69	-5.936	4.004	-0.439	0.296	-4.278	-20.08	6.141	28.82	4E+05	3E+05	759.7	402.7	8.52
328	5.725	-6.072	3.794	-0.449	0.281	-4.122	-20.11	5.917	28.87	4E+05	2E+05	680	385.7	8.267
330	5.76	-6.201	3.58	-0.459	0.265	-3.974	-20.14	5.705	28.91	4E+05	2E+05	603.6	370.7	7.995
332	5.794	-6.322	3.361	-0.468	0.249	-3.835	-20.17	5.506	28.95	4E+05	2E+05	530.7	357.4	7.703
334	5.829	-6.435	3.139	-0.476	0.232	-3.705	-20.19	5.319	28.99	4E+05	2E+05	461.6	345.8	7.394
336	5.864	-6.541	2.912	-0.484	0.216	-3.584	-20.21	5.145	29.02	4E+05	2E+05	396.6	335.7	7.066
338	5.899	-6.639	2.682	-0.491	0.199	-3.472	-20.23	4.984	29.05	4E+05	2E+05	335.7	327	6.722
340	5.934	-6.728	2.449	-0.498	0.181	-3.369	-20.25	4.837	29.07	4E+05	2E+05	279.4	319.5	6.362
342	5.969	-6.81	2.213	-0.504	0.164	-3.276	-20.27	4.703	29.09	4E+05	1E+05	227.7	313.1	5.986
344	6.004	-6.883	1.974	-0.509	0.146	-3.192	-20.28	4.582	29.11	4E+05	1E+05	180.9	307.7	5.595
346	6.039	-6.947	1.732	-0.514	0.128	-3.118	-20.29	4.476	29.13	4E+05	1E+05	139.2	303.3	5.19
348	6.074	-7.004	1.489	-0.518	0.11	-3.054	-20.3	4.383	29.14	5E+05	96042	102.7	299.6	4.771
350	6.109	-7.051	1.243	-0.522	0.092	-2.999	-20.31	4.305	29.15	5E+05	80214	71.6	296.7	4.338
352	6.144	-7.09	0.996	-0.525	0.074	-2.954	-20.32	4.241	29.16	5E+05	64289	45.97	294.4	3.894
354	6.178	-7.121	0.748	-0.527	0.055	-2.919	-20.32	4.19	29.17	5E+05	48285	25.92	292.6	3.437
356	6.213	-7.143	0.499	-0.529	0.037	-2.894	-20.32	4.155	29.18	5E+05	32223	11.54	291.4	2.969
358	6.248	-7.156	0.25	-0.53	0.018	-2.879	-20.33	4.133	29.18	5E+05	16121	2.887	290.7	2.49
360	6.283	-7.16	3E-15	-0.53	1E-16	-2.874	-20.33	4.126	29.18	5E+05	2E-10	2E-14	290.5	2.001

Tabla 5.Resultados fuerzas dinámicas para el mecanismo O2AB:

(°)	F12x	F12y	F32x	F32y	F43x	F43y	F14x	T12AB	FsxAB	FsyAB
2	-36.91	-2.467	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.808	36.946	2.467
4	-36.84	-3.756	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.802	36.879	3.756
6	-36.73	-5.041	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.787	36.766	5.041
8	-36.57	-6.322	-0.036	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.762	36.608	6.322
10	-36.37	-7.597	-0.037	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.728	36.405	7.597
12	-36.12	-8.863	-0.038	1.177	-0.036	1.183	-0.036	-7.685	36.159	8.863
14	-35.83	-10.12	-0.039	1.177	-0.036	1.183	-0.036	-7.634	35.867	10.12
16	-35.5	-11.37	-0.041	1.177	-0.037	1.183	-0.037	-7.574	35.533	11.367
18	-35.12	-12.6	-0.042	1.177	-0.037	1.183	-0.037	-7.506	35.154	12.601
20	-34.7	-13.82	-0.044	1.177	-0.038	1.183	-0.038	-7.429	34.733	13.821
22	-34.23	-15.03	-0.046	1.176	-0.039	1.183	-0.039	-7.345	34.27	15.025
24	-33.73	-16.21	-0.048	1.176	-0.04	1.183	-0.04	-7.253	33.765	16.213

26	-33.18	-17.38	-0.05	1.176	-0.041	1.183	-0.041	-7.153	33.218	17.382
28	-32.59	-18.53	-0.053	1.176	-0.042	1.183	-0.042	-7.046	32.631	18.531
30	-31.96	-19.66	-0.055	1.175	-0.043	1.183	-0.043	-6.932	32.003	19.66
32	-31.29	-20.77	-0.058	1.175	-0.044	1.183	-0.044	-6.811	31.337	20.765
34	-30.59	-21.85	-0.061	1.175	-0.045	1.183	-0.045	-6.683	30.632	21.847
36	-29.84	-22.9	-0.064	1.174	-0.047	1.183	-0.047	-6.549	29.891	22.904
38	-29.06	-23.93	-0.068	1.174	-0.048	1.183	-0.048	-6.409	29.112	23.934
40	-28.25	-24.94	-0.071	1.173	-0.05	1.183	-0.05	-6.263	28.298	24.936
42	-27.4	-25.91	-0.075	1.173	-0.052	1.183	-0.052	-6.111	27.45	25.91
44	-26.51	-26.85	-0.079	1.172	-0.054	1.183	-0.054	-5.953	26.568	26.853
46	-25.6	-27.76	-0.083	1.171	-0.056	1.183	-0.056	-5.791	25.654	27.764
48	-24.65	-28.64	-0.087	1.171	-0.058	1.183	-0.058	-5.624	24.708	28.644
50	-23.67	-29.49	-0.092	1.17	-0.061	1.183	-0.061	-5.451	23.732	29.489
52	-22.66	-30.3	-0.096	1.169	-0.064	1.183	-0.064	-5.275	22.728	30.301
54	-21.63	-31.08	-0.101	1.168	-0.066	1.183	-0.066	-5.095	21.694	31.076
56	-20.57	-31.82	-0.106	1.167	-0.069	1.183	-0.069	-4.91	20.635	31.815
58	-19.48	-32.52	-0.111	1.166	-0.072	1.183	-0.072	-4.723	19.551	32.517
60	-18.37	-33.18	-0.117	1.165	-0.076	1.183	-0.076	-4.532	18.444	33.181
62	-17.23	-33.81	-0.122	1.164	-0.079	1.183	-0.079	-4.338	17.312	33.805
64	-16.08	-34.39	-0.128	1.162	-0.083	1.183	-0.083	-4.142	16.161	34.39
66	-14.9	-34.93	-0.134	1.161	-0.087	1.183	-0.087	-3.943	14.989	34.933
68	-13.71	-35.44	-0.14	1.16	-0.091	1.183	-0.091	-3.742	13.799	35.436
70	-12.5	-35.9	-0.147	1.158	-0.096	1.183	-0.096	-3.54	12.593	35.897
72	-11.27	-36.32	-0.153	1.156	-0.1	1.182	-0.1	-3.336	11.371	36.316
74	-10.03	-36.69	-0.16	1.155	-0.105	1.182	-0.105	-3.131	10.135	36.691
76	-8.776	-37.02	-0.167	1.153	-0.111	1.182	-0.111	-2.925	8.887	37.023
78	-7.512	-37.31	-0.175	1.151	-0.116	1.182	-0.116	-2.719	7.628	37.312
80	-6.237	-37.56	-0.182	1.149	-0.122	1.182	-0.122	-2.513	6.359	37.556
82	-4.955	-37.76	-0.19	1.147	-0.128	1.182	-0.128	-2.307	5.083	37.756
84	-3.666	-37.91	-0.198	1.145	-0.135	1.182	-0.135	-2.101	3.801	37.911
86	-2.372	-38.02	-0.207	1.143	-0.141	1.182	-0.141	-1.895	2.513	38.022
88	-1.075	-38.09	-0.215	1.141	-0.149	1.182	-0.149	-1.691	1.224	38.087
90	0.224	-38.11	-0.224	1.138	-0.156	1.182	-0.156	-1.488	-0.068	38.107
92	1.524	-38.08	-0.234	1.136	-0.164	1.182	-0.164	-1.286	-1.36	38.082
94	2.822	-38.01	-0.243	1.134	-0.172	1.182	-0.172	-1.086	-2.65	38.012
96	4.118	-37.9	-0.253	1.131	-0.181	1.182	-0.181	-0.888	-3.937	37.897
98	5.409	-37.74	-0.264	1.128	-0.19	1.182	-0.19	-0.691	-5.219	37.737
100	6.694	-37.53	-0.275	1.126	-0.2	1.182	-0.2	-0.498	-6.494	37.533
102	7.972	-37.28	-0.286	1.123	-0.21	1.182	-0.21	-0.306	-7.762	37.284
104	9.241	-36.99	-0.298	1.12	-0.221	1.182	-0.221	-0.118	-9.02	36.991
106	10.5	-36.65	-0.31	1.117	-0.232	1.182	-0.232	0.068	-10.268	36.654
108	11.746	-36.27	-0.322	1.114	-0.244	1.182	-0.244	0.251	-11.502	36.274
110	12.979	-35.85	-0.335	1.112	-0.257	1.182	-0.257	0.432	-12.722	35.851
112	14.197	-35.39	-0.349	1.109	-0.27	1.182	-0.27	0.609	-13.927	35.385
114	15.399	-34.88	-0.363	1.106	-0.283	1.182	-0.283	0.784	-15.116	34.878
116	16.583	-34.33	-0.377	1.103	-0.298	1.182	-0.298	0.955	-16.285	34.33
118	17.748	-33.74	-0.393	1.1	-0.312	1.182	-0.312	1.124	-17.436	33.741
120	18.893	-33.11	-0.408	1.097	-0.328	1.182	-0.328	1.291	-18.565	33.112
122	20.015	-32.45	-0.425	1.094	-0.345	1.182	-0.345	1.456	-19.67	32.445
124	21.114	-31.74	-0.441	1.091	-0.362	1.182	-0.362	1.619	-20.752	31.739
126	22.188	-31	-0.459	1.088	-0.379	1.182	-0.379	1.78	-21.809	30.996
128	23.237	-30.22	-0.477	1.085	-0.398	1.182	-0.398	1.941	-22.839	30.217
130	24.258	-29.4	-0.495	1.083	-0.417	1.182	-0.417	2.102	-23.841	29.403
132	25.25	-28.55	-0.514	1.081	-0.437	1.182	-0.437	2.264	-24.813	28.554
134	26.213	-27.67	-0.533	1.079	-0.457	1.182	-0.457	2.427	-25.756	27.672
136	27.145	-26.76	-0.552	1.077	-0.478	1.182	-0.478	2.594	-26.667	26.758
138	28.045	-25.81	-0.572	1.076	-0.499	1.182	-0.499	2.764	-27.546	25.812
140	28.911	-24.84	-0.591	1.075	-0.521	1.182	-0.521	2.94	-28.39	24.838
142	29.742	-23.84	-0.61	1.074	-0.542	1.182	-0.542	3.123	-29.2	23.835
144	30.537	-22.8	-0.629	1.075	-0.563	1.182	-0.563	3.315	-29.974	22.804
146	31.295	-21.75	-0.646	1.076	-0.583	1.182	-0.583	3.517	-30.712	21.748
148	32.014	-20.67	-0.663	1.077	-0.603	1.183	-0.603	3.731	-31.411	20.668
150	32.693	-19.57	-0.677	1.08	-0.621	1.183	-0.621	3.958	-32.072	19.565
152	33.331	-18.44	-0.689	1.084	-0.637	1.183	-0.637	4.2	-32.694	18.44
154	33.926	-17.3	-0.699	1.089	-0.65	1.184	-0.65	4.457	-33.276	17.295
156	34.478	-16.13	-0.705	1.095	-0.661	1.184	-0.661	4.73	-33.817	16.131
158	34.984	-14.95	-0.707	1.102	-0.668	1.184	-0.668	5.018	-34.316	14.951
160	35.445	-13.76	-0.706	1.111	-0.67	1.185	-0.67	5.319	-34.775	13.755
162	35.858	-12.54	-0.699	1.12	-0.669	1.185	-0.669	5.631	-35.189	12.544
164	36.225	-11.32	-0.688	1.131	-0.663	1.186	-0.663	5.948	-35.562	11.321

166	36.544	-10.09	-0.673	1.142	-0.653	1.187	-0.653	6.265	-35.891	10.085
168	36.816	-8.839	-0.655	1.153	-0.639	1.187	-0.639	6.575	-36.177	8.839
170	37.042	-7.584	-0.635	1.164	-0.623	1.188	-0.623	6.87	-36.419	7.584
172	37.223	-6.32	-0.614	1.174	-0.607	1.189	-0.607	7.144	-36.616	6.32
174	37.362	-5.048	-0.595	1.183	-0.591	1.189	-0.591	7.39	-36.771	5.048
176	37.459	-3.769	-0.58	1.19	-0.578	1.19	-0.578	7.605	-36.881	3.769
178	37.517	-2.485	-0.57	1.195	-0.57	1.19	-0.57	7.786	-36.947	2.485
180	37.536	-1.197	-0.567	1.197	-0.567	1.191	-0.567	7.934	-36.969	1.197
182	37.517	0.095	-0.571	1.196	-0.57	1.191	-0.57	8.054	-36.947	-0.095
184	37.459	1.387	-0.581	1.192	-0.579	1.191	-0.579	8.151	-36.88	-1.387
186	37.363	2.679	-0.596	1.185	-0.592	1.191	-0.592	8.23	-36.771	-2.679
188	37.224	3.968	-0.616	1.177	-0.608	1.191	-0.608	8.297	-36.616	-3.968
190	37.043	5.252	-0.636	1.167	-0.625	1.191	-0.625	8.355	-36.418	-5.252
192	36.818	6.529	-0.657	1.157	-0.641	1.191	-0.641	8.408	-36.177	-6.529
194	36.546	7.797	-0.675	1.146	-0.655	1.191	-0.655	8.456	-35.891	-7.797
196	36.227	9.054	-0.69	1.136	-0.665	1.191	-0.665	8.498	-35.562	-9.054
198	35.861	10.298	-0.701	1.125	-0.671	1.191	-0.671	8.534	-35.19	-10.298
200	35.447	11.528	-0.708	1.116	-0.673	1.191	-0.673	8.56	-34.774	-11.528
202	34.987	12.74	-0.71	1.108	-0.67	1.191	-0.67	8.576	-34.317	-12.74
204	34.48	13.935	-0.708	1.101	-0.663	1.19	-0.663	8.578	-33.817	-13.935
206	33.929	15.11	-0.701	1.096	-0.653	1.19	-0.653	8.567	-33.276	-15.11
208	33.333	16.265	-0.692	1.091	-0.639	1.19	-0.639	8.539	-32.694	-16.265
210	32.695	17.397	-0.68	1.087	-0.623	1.19	-0.623	8.496	-32.072	-17.397
212	32.016	18.506	-0.665	1.085	-0.605	1.19	-0.605	8.435	-31.411	-18.506
214	31.297	19.59	-0.649	1.083	-0.586	1.19	-0.586	8.357	-30.711	-19.59
216	30.539	20.647	-0.631	1.082	-0.565	1.19	-0.565	8.263	-29.974	-20.647
218	29.744	21.678	-0.612	1.082	-0.544	1.19	-0.544	8.151	-29.2	-21.678
220	28.913	22.681	-0.593	1.082	-0.523	1.19	-0.523	8.024	-28.39	-22.681
222	28.047	23.654	-0.574	1.083	-0.501	1.189	-0.501	7.882	-27.546	-23.654
224	27.147	24.596	-0.554	1.085	-0.48	1.189	-0.48	7.724	-26.667	-24.596
226	26.215	25.507	-0.535	1.086	-0.459	1.189	-0.459	7.552	-25.756	-25.507
228	25.252	26.385	-0.515	1.088	-0.439	1.189	-0.439	7.367	-24.813	-26.385
230	24.26	27.229	-0.497	1.09	-0.419	1.189	-0.419	7.169	-23.841	-27.229
232	23.238	28.039	-0.478	1.093	-0.4	1.189	-0.4	6.959	-22.838	-28.039
234	22.19	28.813	-0.46	1.095	-0.381	1.189	-0.381	6.737	-21.809	-28.813
236	21.115	29.55	-0.443	1.098	-0.363	1.189	-0.363	6.505	-20.752	-29.55
238	20.016	30.25	-0.426	1.101	-0.346	1.189	-0.346	6.262	-19.67	-30.25
240	18.894	30.912	-0.41	1.104	-0.33	1.189	-0.33	6.011	-18.564	-30.912
242	17.75	31.535	-0.394	1.106	-0.314	1.189	-0.314	5.75	-17.436	-31.535
244	16.585	32.118	-0.379	1.109	-0.299	1.189	-0.299	5.481	-16.286	-32.118
246	15.401	32.66	-0.364	1.112	-0.284	1.188	-0.284	5.204	-15.117	-32.66
248	14.199	33.162	-0.35	1.115	-0.271	1.188	-0.271	4.92	-13.928	-33.162
250	12.98	33.621	-0.336	1.118	-0.258	1.188	-0.258	4.63	-12.722	-33.621
252	11.747	34.039	-0.323	1.121	-0.245	1.188	-0.245	4.334	-11.502	-34.039
254	10.501	34.413	-0.311	1.123	-0.233	1.188	-0.233	4.033	-10.268	-34.413
256	9.242	34.744	-0.298	1.126	-0.222	1.188	-0.222	3.726	-9.02	-34.744
258	7.973	35.032	-0.287	1.129	-0.211	1.188	-0.211	3.416	-7.762	-35.032
260	6.695	35.276	-0.275	1.131	-0.201	1.188	-0.201	3.101	-6.494	-35.276
262	5.41	35.475	-0.265	1.134	-0.191	1.187	-0.191	2.784	-5.219	-35.475
264	4.118	35.63	-0.254	1.136	-0.182	1.187	-0.182	2.463	-3.936	-35.63
266	2.823	35.74	-0.244	1.139	-0.173	1.187	-0.173	2.141	-2.65	-35.74
268	1.525	35.805	-0.234	1.141	-0.165	1.187	-0.165	1.817	-1.36	-35.805
270	0.225	35.825	-0.225	1.143	-0.157	1.187	-0.157	1.491	-0.068	-35.825
272	-1.074	35.801	-0.216	1.145	-0.149	1.187	-0.149	1.165	1.223	-35.801
274	-2.372	35.731	-0.207	1.147	-0.142	1.187	-0.142	0.839	2.514	-35.731
276	-3.666	35.617	-0.199	1.149	-0.135	1.186	-0.135	0.513	3.801	-35.617
278	-4.955	35.458	-0.19	1.151	-0.129	1.186	-0.129	0.188	5.084	-35.458
280	-6.237	35.254	-0.183	1.153	-0.122	1.186	-0.122	-0.135	6.359	-35.254
282	-7.511	35.006	-0.175	1.155	-0.117	1.186	-0.117	-0.457	7.628	-35.006
284	-8.776	34.714	-0.168	1.156	-0.111	1.186	-0.111	-0.777	8.887	-34.714
286	-10.03	34.378	-0.16	1.158	-0.106	1.186	-0.106	-1.094	10.135	-34.378
288	-11.27	34	-0.154	1.16	-0.101	1.186	-0.101	-1.407	11.371	-34
290	-12.5	33.578	-0.147	1.161	-0.096	1.186	-0.096	-1.717	12.593	-33.578
292	-13.71	33.114	-0.141	1.162	-0.092	1.185	-0.092	-2.023	13.8	-33.114
294	-14.9	32.609	-0.134	1.164	-0.087	1.185	-0.087	-2.325	14.989	-32.609
296	-16.08	32.062	-0.128	1.165	-0.083	1.185	-0.083	-2.621	16.161	-32.062
298	-17.23	31.475	-0.123	1.166	-0.08	1.185	-0.08	-2.912	17.313	-31.475
300	-18.37	30.849	-0.117	1.167	-0.076	1.185	-0.076	-3.198	18.443	-30.849
302	-19.48	30.183	-0.112	1.168	-0.073	1.185	-0.073	-3.477	19.552	-30.183
304	-20.57	29.479	-0.106	1.169	-0.069	1.185	-0.069	-3.75	20.635	-29.479
306	-21.63	28.738	-0.101	1.17	-0.066	1.185	-0.066	-4.016	21.694	-28.738

308	-22.66	27.961	-0.096	1.171	-0.064	1.185	-0.064	-4.275	22.728	-27.961
310	-23.67	27.148	-0.092	1.172	-0.061	1.184	-0.061	-4.526	23.732	-27.148
312	-24.65	26.301	-0.087	1.172	-0.059	1.184	-0.059	-4.77	24.708	-26.301
314	-25.6	25.42	-0.083	1.173	-0.056	1.184	-0.056	-5.005	25.653	-25.42
316	-26.51	24.507	-0.079	1.173	-0.054	1.184	-0.054	-5.232	26.568	-24.507
318	-27.4	23.563	-0.075	1.174	-0.052	1.184	-0.052	-5.451	27.45	-23.563
320	-28.25	22.589	-0.071	1.174	-0.05	1.184	-0.05	-5.66	28.298	-22.589
322	-29.06	21.585	-0.068	1.175	-0.049	1.184	-0.049	-5.861	29.113	-21.585
324	-29.84	20.554	-0.064	1.175	-0.047	1.184	-0.047	-6.052	29.891	-20.554
326	-30.59	19.497	-0.061	1.176	-0.045	1.184	-0.045	-6.234	30.632	-19.497
328	-31.29	18.415	-0.058	1.176	-0.044	1.184	-0.044	-6.407	31.337	-18.415
330	-31.96	17.308	-0.055	1.176	-0.043	1.184	-0.043	-6.569	32.003	-17.308
332	-32.59	16.179	-0.053	1.176	-0.042	1.184	-0.042	-6.722	32.631	-16.179
334	-33.18	15.029	-0.05	1.176	-0.041	1.184	-0.041	-6.865	33.218	-15.029
336	-33.73	13.86	-0.048	1.177	-0.04	1.184	-0.04	-6.998	33.765	-13.86
338	-34.23	12.672	-0.046	1.177	-0.039	1.184	-0.039	-7.12	34.27	-12.672
340	-34.7	11.467	-0.044	1.177	-0.038	1.184	-0.038	-7.233	34.733	-11.467
342	-35.12	10.247	-0.042	1.177	-0.037	1.184	-0.037	-7.335	35.154	-10.247
344	-35.5	9.013	-0.041	1.177	-0.037	1.184	-0.037	-7.428	35.533	-9.013
346	-35.83	7.766	-0.039	1.177	-0.036	1.183	-0.036	-7.51	35.867	-7.766
348	-36.12	6.509	-0.038	1.177	-0.036	1.183	-0.036	-7.582	36.159	-6.509
350	-36.37	5.242	-0.037	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.644	36.405	-5.242
352	-36.57	3.968	-0.036	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.696	36.608	-3.968
354	-36.73	2.687	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.738	36.766	-2.687
356	-36.84	1.402	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.77	36.879	-1.402
358	-36.91	0.113	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.793	36.946	-0.113
360	-36.93	-1.177	-0.035	1.177	-0.035	1.183	-0.035	-7.805	36.969	1.177

Tabla 6. Resultado fuerzas dinámicas para el mecanismo O2AC.

(°)	F12x	F12y	F32x	F32y	F43x	F43y	F14x	T12AC	FsxAC	FsyAC
2	-36.977	-2.304	0.03	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.712	-36.946	-2.304
4	-36.909	-3.593	0.03	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.693	-36.878	-3.593
6	-36.797	-4.878	0.03	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.666	-36.766	-4.878
8	-36.639	-6.159	0.031	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.631	-36.608	-6.159
10	-36.438	-7.434	0.031	1.014	0.032	1.02	0.032	-6.588	-36.406	-7.434
12	-36.191	-8.701	0.031	1.014	0.033	1.02	0.033	-6.537	-36.158	-8.701
14	-35.901	-9.958	0.031	1.015	0.033	1.02	0.033	-6.478	-35.868	-9.958
16	-35.567	-11.205	0.031	1.015	0.034	1.02	0.034	-6.412	-35.533	-11.205
18	-35.19	-12.439	0.031	1.015	0.035	1.02	0.035	-6.338	-35.155	-12.439
20	-34.77	-13.659	0.031	1.015	0.036	1.02	0.036	-6.257	-34.734	-13.659
22	-34.307	-14.864	0.031	1.016	0.038	1.02	0.038	-6.168	-34.269	-14.864
24	-33.803	-16.053	0.031	1.016	0.039	1.02	0.039	-6.071	-33.764	-16.053
26	-33.258	-17.222	0.031	1.016	0.04	1.02	0.04	-5.968	-33.218	-17.222
28	-32.672	-18.373	0.031	1.017	0.042	1.02	0.042	-5.857	-32.63	-18.373
30	-32.047	-19.502	0.031	1.017	0.043	1.02	0.043	-5.739	-32.004	-19.502
32	-31.382	-20.608	0.031	1.018	0.045	1.02	0.045	-5.615	-31.337	-20.608
34	-30.679	-21.691	0.031	1.018	0.047	1.02	0.047	-5.484	-30.632	-21.691
36	-29.939	-22.749	0.031	1.019	0.048	1.02	0.048	-5.346	-29.891	-22.749
38	-29.163	-23.78	0.031	1.02	0.05	1.02	0.05	-5.202	-29.113	-23.78
40	-28.351	-24.784	0.031	1.021	0.052	1.02	0.052	-5.051	-28.299	-24.784
42	-27.504	-25.758	0.031	1.021	0.054	1.02	0.054	-4.895	-27.45	-25.758
44	-26.624	-26.703	0.031	1.022	0.056	1.02	0.056	-4.732	-26.568	-26.703
46	-25.712	-27.616	0.031	1.023	0.058	1.02	0.058	-4.564	-25.654	-27.616
48	-24.768	-28.497	0.031	1.024	0.06	1.02	0.06	-4.391	-24.708	-28.497
50	-23.794	-29.345	0.031	1.025	0.062	1.02	0.062	-4.212	-23.732	-29.345
52	-22.791	-30.158	0.031	1.027	0.064	1.02	0.064	-4.027	-22.727	-30.158
54	-21.761	-30.936	0.031	1.028	0.066	1.02	0.066	-3.838	-21.695	-30.936
56	-20.704	-31.677	0.031	1.029	0.068	1.02	0.068	-3.644	-20.636	-31.677
58	-19.622	-32.382	0.031	1.03	0.07	1.02	0.07	-3.445	-19.552	-32.382
60	-18.515	-33.048	0.031	1.032	0.072	1.02	0.072	-3.242	-18.443	-33.048
62	-17.387	-33.675	0.031	1.033	0.074	1.02	0.074	-3.035	-17.313	-33.675
64	-16.237	-34.262	0.031	1.035	0.076	1.02	0.076	-2.824	-16.161	-34.262
66	-15.067	-34.809	0.031	1.037	0.078	1.02	0.078	-2.608	-14.989	-34.809
68	-13.88	-35.315	0.031	1.039	0.08	1.02	0.08	-2.39	-13.8	-35.315
70	-12.675	-35.78	0.031	1.041	0.082	1.02	0.082	-2.168	-12.593	-35.78
72	-11.455	-36.202	0.031	1.042	0.084	1.02	0.084	-1.942	-11.371	-36.202

74	-10.22	-36.581	0.031	1.045	0.085	1.02	0.085	-1.714	-10.135	-36.581
76	-8.974	-36.917	0.03	1.047	0.087	1.02	0.087	-1.484	-8.887	-36.917
78	-7.716	-37.21	0.03	1.049	0.089	1.02	0.089	-1.25	-7.627	-37.21
80	-6.449	-37.458	0.03	1.051	0.09	1.02	0.09	-1.015	-6.359	-37.458
82	-5.175	-37.662	0.03	1.054	0.092	1.02	0.092	-0.777	-5.083	-37.662
84	-3.894	-37.822	0.029	1.056	0.093	1.02	0.093	-0.538	-3.801	-37.822
86	-2.608	-37.937	0.029	1.059	0.094	1.02	0.094	-0.297	-2.514	-37.937
88	-1.319	-38.007	0.029	1.061	0.095	1.02	0.095	-0.056	-1.224	-38.007
90	-0.028	-38.032	0.028	1.064	0.096	1.02	0.096	0.187	0.068	-38.032
92	1.262	-38.013	0.028	1.067	0.097	1.02	0.097	0.431	1.359	-38.013
94	2.552	-37.948	0.027	1.069	0.098	1.02	0.098	0.675	2.65	-37.948
96	3.838	-37.838	0.027	1.072	0.099	1.02	0.099	0.919	3.937	-37.838
98	5.119	-37.684	0.026	1.075	0.1	1.02	0.1	1.163	5.219	-37.684
100	6.394	-37.485	0.025	1.078	0.1	1.02	0.1	1.407	6.494	-37.485
102	7.662	-37.242	0.025	1.081	0.1	1.02	0.1	1.651	7.762	-37.242
104	8.92	-36.955	0.024	1.085	0.1	1.02	0.1	1.893	9.02	-36.955
106	10.167	-36.624	0.023	1.088	0.1	1.02	0.1	2.135	10.267	-36.624
108	11.402	-36.25	0.022	1.091	0.1	1.02	0.1	2.375	11.502	-36.25
110	12.623	-35.834	0.021	1.094	0.1	1.02	0.1	2.613	12.723	-35.834
112	13.829	-35.374	0.02	1.098	0.099	1.02	0.099	2.85	13.928	-35.374
114	15.017	-34.874	0.019	1.101	0.099	1.02	0.099	3.084	15.116	-34.874
116	16.188	-34.332	0.018	1.104	0.098	1.02	0.098	3.317	16.286	-34.332
118	17.339	-33.749	0.017	1.108	0.097	1.02	0.097	3.546	17.436	-33.749
120	18.469	-33.127	0.016	1.111	0.096	1.02	0.096	3.773	18.565	-33.127
122	19.576	-32.465	0.015	1.114	0.095	1.02	0.095	3.997	19.671	-32.465
124	20.659	-31.766	0.014	1.117	0.093	1.02	0.093	4.218	20.752	-31.766
126	21.717	-31.029	0.013	1.121	0.092	1.02	0.092	4.435	21.809	-31.029
128	22.748	-30.255	0.012	1.123	0.091	1.02	0.091	4.648	22.839	-30.255
130	23.752	-29.446	0.011	1.126	0.089	1.02	0.089	4.858	23.841	-29.446
132	24.726	-28.602	0.011	1.129	0.088	1.02	0.088	5.063	24.814	-28.602
134	25.669	-27.724	0.011	1.131	0.087	1.02	0.087	5.265	25.756	-27.724
136	26.581	-26.814	0.012	1.133	0.086	1.02	0.086	5.461	26.667	-26.814
138	27.459	-25.872	0.014	1.135	0.086	1.02	0.086	5.653	27.545	-25.872
140	28.303	-24.899	0.016	1.136	0.087	1.02	0.087	5.84	28.39	-24.899
142	29.112	-23.897	0.02	1.137	0.088	1.02	0.088	6.021	29.2	-23.897
144	29.883	-22.867	0.025	1.137	0.091	1.02	0.091	6.197	29.974	-22.867
146	30.616	-21.809	0.032	1.136	0.095	1.02	0.095	6.365	30.711	-21.809
148	31.31	-20.725	0.041	1.135	0.101	1.02	0.101	6.526	31.411	-20.725
150	31.963	-19.617	0.053	1.133	0.109	1.02	0.109	6.678	32.072	-19.617
152	32.574	-18.485	0.067	1.129	0.12	1.02	0.12	6.821	32.694	-18.485
154	33.142	-17.331	0.085	1.125	0.134	1.02	0.134	6.952	33.276	-17.331
156	33.666	-16.156	0.107	1.12	0.151	1.019	0.151	7.07	33.817	-16.156
158	34.144	-14.962	0.133	1.113	0.173	1.019	0.173	7.171	34.317	-14.962
160	34.576	-13.749	0.163	1.105	0.198	1.019	0.198	7.255	34.774	-13.749
162	34.962	-12.52	0.197	1.096	0.227	1.019	0.227	7.316	35.189	-12.52
164	35.302	-11.276	0.235	1.087	0.26	1.019	0.26	7.354	35.562	-11.276
166	35.595	-10.02	0.276	1.076	0.296	1.019	0.296	7.365	35.891	-10.02
168	35.843	-8.752	0.318	1.066	0.334	1.019	0.334	7.349	36.177	-8.752
170	36.047	-7.475	0.36	1.055	0.371	1.019	0.371	7.304	36.418	-7.475
172	36.21	-6.191	0.399	1.046	0.407	1.019	0.407	7.233	36.617	-6.191
174	36.333	-4.902	0.433	1.037	0.438	1.019	0.438	7.14	36.771	-4.902
176	36.419	-3.61	0.46	1.031	0.462	1.019	0.462	7.031	36.881	-3.61
178	36.469	-2.317	0.477	1.027	0.477	1.019	0.477	6.914	36.946	-2.317
180	36.486	-1.025	0.483	1.025	0.483	1.019	0.483	6.799	36.969	-1.025
182	36.469	0.263	0.477	1.027	0.477	1.019	0.477	6.693	36.946	0.263
184	36.419	1.548	0.46	1.031	0.462	1.019	0.462	6.605	36.881	1.548
186	36.333	2.827	0.433	1.037	0.438	1.019	0.438	6.539	36.771	2.827
188	36.21	4.1	0.399	1.046	0.407	1.019	0.407	6.496	36.617	4.1
190	36.047	5.364	0.36	1.055	0.371	1.019	0.371	6.475	36.418	5.364
192	35.843	6.621	0.318	1.065	0.334	1.019	0.334	6.471	36.177	6.621
194	35.595	7.867	0.276	1.076	0.296	1.019	0.296	6.48	35.891	7.867
196	35.302	9.104	0.235	1.086	0.26	1.019	0.26	6.495	35.562	9.104
198	34.962	10.328	0.197	1.096	0.227	1.019	0.227	6.508	35.189	10.328
200	34.576	11.539	0.163	1.105	0.198	1.019	0.198	6.515	34.774	11.539
202	34.144	12.736	0.133	1.113	0.173	1.019	0.173	6.511	34.317	12.736
204	33.666	13.917	0.107	1.119	0.151	1.019	0.151	6.492	33.817	13.917
206	33.142	15.081	0.085	1.125	0.134	1.019	0.134	6.456	33.276	15.081
208	32.574	16.226	0.067	1.129	0.12	1.019	0.12	6.402	32.694	16.226
210	31.963	17.352	0.053	1.133	0.109	1.019	0.109	6.328	32.072	17.352
212	31.31	18.456	0.041	1.135	0.101	1.019	0.101	6.236	31.411	18.456
214	30.616	19.536	0.032	1.136	0.095	1.019	0.095	6.126	30.711	19.536

216	29.883	20.593	0.025	1.137	0.091	1.019	0.091	6	29.974	20.593
218	29.112	21.624	0.02	1.137	0.088	1.019	0.088	5.857	29.2	21.624
220	28.303	22.627	0.016	1.136	0.087	1.019	0.087	5.7	28.39	22.627
222	27.459	23.602	0.014	1.135	0.086	1.019	0.086	5.529	27.545	23.602
224	26.581	24.548	0.012	1.133	0.086	1.019	0.086	5.347	26.667	24.548
226	25.669	25.462	0.011	1.131	0.087	1.019	0.087	5.154	25.756	25.462
228	24.726	26.344	0.011	1.129	0.088	1.019	0.088	4.952	24.814	26.344
230	23.752	27.194	0.011	1.126	0.089	1.019	0.089	4.741	23.841	27.194
232	22.748	28.009	0.012	1.123	0.09	1.019	0.09	4.523	22.838	28.009
234	21.717	28.788	0.013	1.12	0.092	1.019	0.092	4.298	21.809	28.788
236	20.659	29.531	0.014	1.117	0.093	1.019	0.093	4.067	20.752	29.531
238	19.576	30.237	0.015	1.114	0.094	1.019	0.094	3.832	19.67	30.237
240	18.469	30.905	0.016	1.111	0.096	1.019	0.096	3.592	18.565	30.905
242	17.339	31.534	0.017	1.107	0.097	1.02	0.097	3.349	17.436	31.534
244	16.188	32.123	0.018	1.104	0.098	1.02	0.098	3.102	16.286	32.123
246	15.018	32.672	0.019	1.101	0.099	1.02	0.099	2.853	15.117	32.672
248	13.829	33.179	0.02	1.097	0.099	1.02	0.099	2.602	13.928	33.179
250	12.623	33.645	0.021	1.094	0.1	1.02	0.1	2.35	12.723	33.645
252	11.402	34.069	0.022	1.091	0.1	1.02	0.1	2.096	11.502	34.069
254	10.167	34.449	0.023	1.087	0.1	1.02	0.1	1.841	10.267	34.449
256	8.92	34.786	0.024	1.084	0.1	1.02	0.1	1.586	9.02	34.786
258	7.662	35.08	0.025	1.081	0.1	1.02	0.1	1.331	7.762	35.08
260	6.394	35.329	0.025	1.078	0.1	1.02	0.1	1.076	6.494	35.329
262	5.119	35.534	0.026	1.075	0.099	1.02	0.099	0.821	5.218	35.534
264	3.838	35.694	0.027	1.072	0.099	1.02	0.099	0.567	3.937	35.694
266	2.552	35.81	0.027	1.069	0.098	1.02	0.098	0.314	2.65	35.81
268	1.262	35.88	0.028	1.066	0.097	1.02	0.097	0.063	1.359	35.88
270	-0.028	35.905	0.028	1.063	0.096	1.02	0.096	-0.187	0.068	35.905
272	-1.319	35.885	0.029	1.061	0.095	1.02	0.095	-0.435	-1.224	35.885
274	-2.608	35.82	0.029	1.058	0.094	1.02	0.094	-0.681	-2.514	35.82
276	-3.894	35.711	0.029	1.056	0.093	1.02	0.093	-0.925	-3.801	35.711
278	-5.175	35.556	0.03	1.053	0.092	1.02	0.092	-1.166	-5.083	35.556
280	-6.449	35.356	0.03	1.051	0.09	1.02	0.09	-1.405	-6.359	35.356
282	-7.716	35.112	0.03	1.048	0.089	1.02	0.089	-1.641	-7.627	35.112
284	-8.974	34.824	0.03	1.046	0.087	1.02	0.087	-1.873	-8.887	34.824
286	-10.22	34.492	0.03	1.044	0.085	1.02	0.085	-2.102	-10.135	34.492
288	-11.455	34.117	0.031	1.042	0.083	1.02	0.083	-2.328	-11.372	34.117
290	-12.675	33.699	0.031	1.04	0.082	1.02	0.082	-2.55	-12.593	33.699
292	-13.88	33.238	0.031	1.038	0.08	1.02	0.08	-2.768	-13.8	33.238
294	-15.067	32.736	0.031	1.036	0.078	1.02	0.078	-2.982	-14.989	32.736
296	-16.237	32.192	0.031	1.035	0.076	1.02	0.076	-3.192	-16.161	32.192
298	-17.387	31.608	0.031	1.033	0.074	1.02	0.074	-3.397	-17.313	31.608
300	-18.515	30.984	0.031	1.032	0.072	1.02	0.072	-3.598	-18.443	30.984
302	-19.621	30.321	0.031	1.03	0.07	1.02	0.07	-3.794	-19.551	30.321
304	-20.704	29.62	0.031	1.029	0.068	1.02	0.068	-3.985	-20.636	29.62
306	-21.761	28.881	0.031	1.027	0.066	1.02	0.066	-4.171	-21.695	28.881
308	-22.791	28.105	0.031	1.026	0.064	1.02	0.064	-4.351	-22.727	28.105
310	-23.794	27.295	0.031	1.025	0.062	1.02	0.062	-4.526	-23.732	27.295
312	-24.768	26.449	0.031	1.024	0.06	1.02	0.06	-4.696	-24.708	26.449
314	-25.712	25.57	0.031	1.023	0.058	1.02	0.058	-4.859	-25.654	25.57
316	-26.624	24.659	0.031	1.022	0.056	1.02	0.056	-5.017	-26.568	24.659
318	-27.504	23.716	0.031	1.021	0.054	1.02	0.054	-5.169	-27.45	23.716
320	-28.351	22.743	0.031	1.02	0.052	1.02	0.052	-5.314	-28.299	22.743
322	-29.163	21.741	0.031	1.02	0.05	1.02	0.05	-5.453	-29.113	21.741
324	-29.939	20.711	0.031	1.019	0.048	1.02	0.048	-5.586	-29.891	20.711
326	-30.679	19.654	0.031	1.018	0.047	1.02	0.047	-5.711	-30.632	19.654
328	-31.382	18.573	0.031	1.018	0.045	1.02	0.045	-5.83	-31.337	18.573
330	-32.047	17.467	0.031	1.017	0.043	1.02	0.043	-5.942	-32.004	17.467
332	-32.672	16.339	0.031	1.017	0.042	1.02	0.042	-6.047	-32.63	16.339
334	-33.258	15.19	0.031	1.016	0.04	1.02	0.04	-6.145	-33.218	15.19
336	-33.803	14.021	0.031	1.016	0.039	1.02	0.039	-6.236	-33.764	14.021
338	-34.307	12.833	0.031	1.016	0.038	1.02	0.038	-6.319	-34.269	12.833
340	-34.77	11.629	0.031	1.015	0.036	1.02	0.036	-6.395	-34.734	11.629
342	-35.19	10.409	0.031	1.015	0.035	1.02	0.035	-6.463	-35.155	10.409
344	-35.567	9.175	0.031	1.015	0.034	1.02	0.034	-6.523	-35.533	9.175
346	-35.901	7.929	0.031	1.015	0.033	1.02	0.033	-6.576	-35.868	7.929
348	-36.191	6.672	0.031	1.014	0.033	1.02	0.033	-6.621	-36.158	6.672
350	-36.438	5.405	0.031	1.014	0.032	1.02	0.032	-6.658	-36.406	5.405
352	-36.639	4.131	0.031	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.687	-36.608	4.131
354	-36.797	2.85	0.03	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.708	-36.766	2.85
356	-36.909	1.565	0.03	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.721	-36.878	1.565

358	-36.977	0.276	0.03	1.014	0.031	1.02	0.031	-6.726	-36.946	0.276
360	-36.999	-1.014	0.03	1.014	0.03	1.02	0.03	-6.723	-36.969	-1.014

Tabla 7. Resultados de fuerzas de sacudimiento y Par Torsión total.

(*)	MECANISMO O2AB		MECANISMO O2AC		FUERZA DEL GAS		FUERZA TOTAL		TORQUE DE SACUDIMIENTO		
	FsxAB	FsyAB	FsxAC	FsyAC	FgyAB	FgyAC	Fsx	Fsy	Tsac	Tgas	T total
2	36.946	2.467	-36.946	-2.304	-273.445	273.445	0	0.163	-0.0150	0.5290	0.5140
4	36.879	3.756	-36.878	-3.593	-275.540	275.540	0.001	0.163	-0.0157	1.0649	1.0492
6	36.766	5.041	-36.766	-4.878	-277.658	277.658	0	0.163	-0.0164	1.6063	1.5899
8	36.608	6.322	-36.608	-6.159	-279.797	279.797	0	0.163	-0.0172	2.1520	2.1348
10	36.405	7.597	-36.406	-7.434	-281.954	281.954	-0.001	0.163	-0.0180	2.7006	2.6827
12	36.159	8.863	-36.158	-8.701	-284.126	284.126	0.001	0.162	-0.0188	3.2509	3.2320
14	35.867	10.12	-35.868	-9.958	-286.309	286.309	-0.001	0.162	-0.0198	3.8013	3.7815
16	35.533	11.367	-35.533	-11.205	-288.499	288.499	0	0.162	-0.0208	4.3503	4.3296
18	35.154	12.601	-35.155	-12.439	-290.693	290.693	-0.001	0.162	-0.0218	4.8965	4.8747
20	34.733	13.821	-34.734	-13.659	-292.883	292.883	-0.001	0.162	-0.0230	5.4382	5.4153
22	34.27	15.025	-34.269	-14.864	-295.065	295.065	0.001	0.161	-0.0242	5.9738	5.9496
24	33.765	16.213	-33.764	-16.053	-297.232	297.232	0.001	0.16	-0.0255	6.5015	6.4760
26	33.218	17.382	-33.218	-17.222	-299.377	299.377	0	0.16	-0.0268	7.0196	6.9928
28	32.631	18.531	-32.63	-18.373	-301.491	301.491	0.001	0.158	-0.0283	7.5263	7.4981
30	32.003	19.66	-32.004	-19.502	-303.564	303.564	-0.001	0.158	-0.0298	8.0198	7.9900
32	31.337	20.765	-31.337	-20.608	-305.587	305.587	0	0.157	-0.0314	8.4981	8.4667
34	30.632	21.847	-30.632	-21.691	-307.547	307.547	0	0.156	-0.0331	8.9593	8.9262
36	29.891	22.904	-29.891	-22.749	-309.433	309.433	0	0.155	-0.0349	9.4013	9.3665
38	29.112	23.934	-29.113	-23.78	-311.229	311.229	-0.001	0.154	-0.0367	9.8224	9.7857
40	28.298	24.936	-28.299	-24.784	-312.921	312.921	-0.001	0.152	-0.0386	10.2203	10.1816
42	27.45	25.91	-27.45	-25.758	-314.493	314.493	0	0.152	-0.0406	10.5930	10.5524
44	26.568	26.853	-26.568	-26.703	-315.926	315.926	0	0.15	-0.0427	10.9387	10.8960
46	25.654	27.764	-25.654	-27.616	-317.202	317.202	0	0.148	-0.0449	11.2553	11.2104
48	24.708	28.644	-24.708	-28.497	-318.302	318.302	0	0.147	-0.0471	11.5408	11.4938
50	23.732	29.489	-23.732	-29.345	-319.204	319.204	0	0.144	-0.0494	11.7936	11.7442
52	22.728	30.301	-22.727	-30.158	-319.889	319.889	0.001	0.143	-0.0517	12.0118	11.9601
54	21.694	31.076	-21.695	-30.936	-320.334	320.334	-0.001	0.14	-0.0542	12.1939	12.1397
56	20.635	31.815	-20.636	-31.677	-320.520	320.520	-0.001	0.138	-0.0566	12.3385	12.2819
58	19.551	32.517	-19.552	-32.382	-320.427	320.427	-0.001	0.135	-0.0592	12.4445	12.3854
60	18.444	33.181	-18.443	-33.048	-320.035	320.035	0.001	0.133	-0.0618	12.5110	12.4493
62	17.312	33.805	-17.313	-33.675	-319.329	319.329	-0.001	0.13	-0.0644	12.5375	12.4731
64	16.161	34.39	-16.161	-34.262	-318.293	318.293	0	0.128	-0.0671	12.5237	12.4566
66	14.989	34.933	-14.989	-34.809	-316.918	316.918	0	0.124	-0.0698	12.4697	12.3999
68	13.799	35.436	-13.8	-35.315	-315.197	315.197	-0.001	0.121	-0.0725	12.3762	12.3037
70	12.593	35.897	-12.593	-35.78	-313.127	313.127	0	0.117	-0.0753	12.2442	12.1689
72	11.371	36.316	-11.371	-36.202	-310.712	310.712	0	0.114	-0.0781	12.0751	11.9970
74	10.135	36.691	-10.135	-36.581	-307.959	307.959	0	0.11	-0.0809	11.8708	11.7899
76	8.887	37.023	-8.887	-36.917	-304.884	304.884	0	0.106	-0.0838	11.6337	11.5500
78	7.628	37.312	-7.627	-37.21	-301.506	301.506	0.001	0.102	-0.0866	11.3665	11.2799
80	6.359	37.556	-6.359	-37.458	-297.853	297.853	0	0.098	-0.0894	11.0722	10.9828
82	5.083	37.756	-5.083	-37.662	-293.957	293.957	0	0.094	-0.0922	10.7541	10.6619
84	3.801	37.911	-3.801	-37.822	-289.854	289.854	0	0.089	-0.0950	10.4159	10.3209
86	2.513	38.022	-2.514	-37.937	-285.587	285.587	-0.001	0.085	-0.0978	10.0612	9.9634
88	1.224	38.087	-1.224	-38.007	-281.203	281.203	0	0.08	-0.1005	9.6937	9.5932
90	-0.068	38.107	0.068	-38.032	-276.749	276.749	0	0.075	-0.1032	9.3172	9.2140
92	-1.36	38.082	1.359	-38.013	-272.276	272.276	-0.001	0.069	-0.1059	8.9352	8.8294
94	-2.65	38.012	2.65	-37.948	-267.835	267.835	0	0.064	-0.1084	8.5512	8.4428
96	-3.937	37.897	3.937	-37.838	-263.477	263.477	0	0.059	-0.1109	8.1683	8.0574
98	-5.219	37.737	5.219	-37.684	-259.252	259.252	0	0.053	-0.1133	7.7893	7.6760
100	-6.494	37.533	6.494	-37.485	-255.208	255.208	0	0.048	-0.1156	7.4168	7.3012
102	-7.762	37.284	7.762	-37.242	-251.390	251.390	0	0.042	-0.1178	7.0528	6.9350
104	-9.02	36.991	9.02	-36.955	-247.839	247.839	0	0.036	-0.1198	6.6991	6.5793
106	-10.268	36.654	10.267	-36.624	-244.595	244.595	-0.001	0.03	-0.1217	6.3572	6.2355
108	-11.502	36.274	11.502	-36.25	-241.692	241.692	0	0.024	-0.1234	6.0280	5.9046
110	-12.722	35.851	12.723	-35.834	-239.161	239.161	0.001	0.017	-0.1250	5.7124	5.5874
112	-13.927	35.385	13.928	-35.374	-237.029	237.029	0.001	0.011	-0.1263	5.4106	5.2843
114	-15.116	34.878	15.116	-34.874	-235.322	235.322	0	0.004	-0.1273	5.1228	4.9955
116	-16.285	34.33	16.286	-34.332	-234.058	234.058	0.001	-0.002	-0.1281	4.8490	4.7209
118	-17.436	33.741	17.436	-33.749	-233.258	233.258	0	-0.008	-0.1285	4.5888	4.4603

120	-18.565	33.112	18.565	-33.127	-232.936	232.936	0	-0.015	-0.1286	4.3419	4.2133
122	-19.67	32.445	19.671	-32.465	-233.107	233.107	0.001	-0.02	-0.1283	4.1077	3.9794
124	-20.752	31.739	20.752	-31.766	-233.783	233.783	0	-0.027	-0.1276	3.8855	3.7580
126	-21.809	30.996	21.809	-31.029	-234.975	234.975	0	-0.033	-0.1263	3.6748	3.5484
128	-22.839	30.217	22.839	-30.255	-236.693	236.693	0	-0.038	-0.1245	3.4746	3.3501
130	-23.841	29.403	23.841	-29.446	-238.946	238.946	0	-0.043	-0.1220	3.2843	3.1623
132	-24.813	28.554	24.814	-28.602	-241.744	241.744	0.001	-0.048	-0.1189	3.1032	2.9843
134	-25.756	27.672	25.756	-27.724	-245.093	245.093	0	-0.052	-0.1149	2.9304	2.8155
136	-26.667	26.758	26.667	-26.814	-249.003	249.003	0	-0.056	-0.1100	2.7652	2.6552
138	-27.546	25.812	27.545	-25.872	-253.478	253.478	-0.001	-0.06	-0.1041	2.6070	2.5029
140	-28.39	24.838	28.39	-24.899	-258.525	258.525	0	-0.061	-0.0971	2.4551	2.3580
142	-29.2	23.835	29.2	-23.897	-264.147	264.147	0	-0.062	-0.0888	2.3088	2.2200
144	-29.974	22.804	29.974	-22.867	-270.344	270.344	0	-0.063	-0.0792	2.1675	2.0883
146	-30.712	21.748	30.711	-21.809	-277.113	277.113	-0.001	-0.061	-0.0681	2.0308	1.9627
148	-31.411	20.668	31.411	-20.725	-284.445	284.445	0	-0.057	-0.0554	1.8981	1.8426
150	-32.072	19.565	32.072	-19.617	-292.323	292.323	0	-0.052	-0.0411	1.7688	1.7278
152	-32.694	18.44	32.694	-18.485	-300.721	300.721	0	-0.045	-0.0249	1.6426	1.6178
154	-33.276	17.295	33.276	-17.331	-309.602	309.602	0	-0.036	-0.0068	1.5191	1.5122
156	-33.817	16.131	33.817	-16.156	-318.912	318.912	0	-0.025	0.0130	1.3978	1.4108
158	-34.316	14.951	34.317	-14.962	-328.581	328.581	0.001	-0.011	0.0347	1.2783	1.3130
160	-34.775	13.755	34.774	-13.749	-338.515	338.515	-0.001	0.006	0.0579	1.1604	1.2183
162	-35.189	12.544	35.189	-12.52	-348.599	348.599	0	0.024	0.0826	1.0437	1.1263
164	-35.562	11.321	35.562	-11.276	-358.692	358.692	0	0.045	0.1083	0.9278	1.0361
166	-35.891	10.085	35.891	-10.02	-368.627	368.627	0	0.065	0.1346	0.8126	0.9472
168	-36.177	8.839	36.177	-8.752	-378.215	378.215	0	0.087	0.1610	0.6977	0.8586
170	-36.419	7.584	36.418	-7.475	-387.248	387.248	-0.001	0.109	0.1868	0.5828	0.7696
172	-36.616	6.32	36.617	-6.191	-395.509	395.509	0.001	0.129	0.2117	0.4677	0.6793
174	-36.771	5.048	36.771	-4.902	-402.783	402.783	0	0.146	0.2349	0.3521	0.5870
176	-36.881	3.769	36.881	-3.61	-408.873	408.873	0	0.159	0.2563	0.2358	0.4920
178	-36.947	2.485	36.946	-2.317	-413.610	413.610	-0.001	0.168	0.2754	0.1185	0.3939
180	-36.969	1.197	36.969	-1.025	-416.873	416.873	0	0.172	0.2923	0.0000	0.2923
182	-36.947	-0.095	36.946	0.263	-418.593	418.593	-0.001	0.168	0.3071	-0.1199	0.1872
184	-36.88	-1.387	36.881	1.548	-418.765	418.765	0.001	0.161	0.3198	-0.2415	0.0784
186	-36.771	-2.679	36.771	2.827	-417.439	417.439	0	0.148	0.3308	-0.3649	-0.0340
188	-36.616	-3.968	36.617	4.1	-414.720	414.720	0.001	0.132	0.3403	-0.4904	-0.1501
190	-36.418	-5.252	36.418	5.364	-410.754	410.754	0	0.112	0.3483	-0.6181	-0.2698
192	-36.177	-6.529	36.177	6.621	-405.714	405.714	0	0.092	0.3550	-0.7484	-0.3934
194	-35.891	-7.797	35.891	7.867	-399.788	399.788	0	0.07	0.3604	-0.8813	-0.5208
196	-35.562	-9.054	35.562	9.104	-393.165	393.165	0	0.05	0.3646	-1.0170	-0.6524
198	-35.19	-10.298	35.189	10.328	-386.024	386.024	-0.001	0.03	0.3674	-1.1557	-0.7883
200	-34.774	-11.528	34.774	11.539	-378.531	378.531	0	0.011	0.3689	-1.2975	-0.9287
202	-34.317	-12.74	34.317	12.736	-370.830	370.830	0	-0.004	0.3690	-1.4427	-1.0736
204	-33.817	-13.935	33.817	13.917	-363.045	363.045	0	-0.018	0.3679	-1.5912	-1.2232
206	-33.276	-15.11	33.276	15.081	-355.279	355.279	0	-0.029	0.3656	-1.7432	-1.3776
208	-32.694	-16.265	32.694	16.226	-347.614	347.614	0	-0.039	0.3621	-1.8988	-1.5366
210	-32.072	-17.397	32.072	17.352	-340.114	340.114	0	-0.045	0.3576	-2.0580	-1.7004
212	-31.411	-18.506	31.411	18.456	-332.827	332.827	0	-0.05	0.3522	-2.2209	-1.8688
214	-30.711	-19.59	30.711	19.536	-325.790	325.790	0	-0.054	0.3459	-2.3875	-2.0417
216	-29.974	-20.647	29.974	20.593	-319.027	319.027	0	-0.054	0.3388	-2.5579	-2.2190
218	-29.2	-21.678	29.2	21.624	-312.552	312.552	0	-0.054	0.3312	-2.7319	-2.4007
220	-28.39	-22.681	28.39	22.627	-306.376	306.376	0	-0.054	0.3231	-2.9095	-2.5864
222	-27.546	-23.654	27.545	23.602	-300.501	300.501	-0.001	-0.052	0.3145	-3.0906	-2.7761
224	-26.667	-24.596	26.667	24.548	-294.927	294.927	0	-0.048	0.3056	-3.2752	-2.9696
226	-25.756	-25.507	25.756	25.462	-289.648	289.648	0	-0.045	0.2964	-3.4631	-3.1666
228	-24.813	-26.385	24.814	26.344	-284.660	284.660	0.001	-0.041	0.2871	-3.6541	-3.3670
230	-23.841	-27.229	23.841	27.194	-279.954	279.954	0	-0.035	0.2776	-3.8480	-3.5704
232	-22.838	-28.039	22.838	28.009	-275.520	275.520	0	-0.03	0.2680	-4.0446	-3.7766
234	-21.809	-28.813	21.809	28.788	-271.350	271.350	0	-0.025	0.2584	-4.2436	-3.9852
236	-20.752	-29.55	20.752	29.531	-267.433	267.433	0	-0.019	0.2488	-4.4448	-4.1960
238	-19.67	-30.25	19.67	30.237	-263.759	263.759	0	-0.013	0.2393	-4.6478	-4.4086
240	-18.564	-30.912	18.565	30.905	-260.318	260.318	0.001	-0.007	0.2298	-4.8523	-4.6225
242	-17.436	-31.535	17.436	31.534	-257.100	257.100	0	-0.001	0.2203	-5.0578	-4.8375
244	-16.286	-32.118	16.286	32.123	-254.095	254.095	0	0.005	0.2110	-5.2640	-5.0530
246	-15.117	-32.66	15.117	32.672	-251.294	251.294	0	0.012	0.2018	-5.4705	-5.2687
248	-13.928	-33.162	13.928	33.179	-248.688	248.688	0	0.017	0.1928	-5.6767	-5.4839
250	-12.722	-33.621	12.723	33.645	-246.268	246.268	0.001	0.024	0.1839	-5.8821	-5.6982
252	-11.502	-34.039	11.502	34.069	-244.027	244.027	0	0.03	0.1751	-6.0863	-5.9111
254	-10.268	-34.413	10.267	34.449	-241.957	241.957	-0.001	0.036	0.1666	-6.2886	-6.1220
256	-9.02	-34.744	9.02	34.786	-240.050	240.050	0	0.042	0.1582	-6.4886	-6.3304
258	-7.762	-35.032	7.762	35.08	-238.300	238.300	0	0.048	0.1500	-6.6855	-6.5355

260	-6.494	-35.276	6.494	35.329	-236.700	236.700	0	0.053	0.1420	-6.8789	-6.7369
262	-5.219	-35.475	5.218	35.534	-235.245	235.245	-0.001	0.059	0.1343	-7.0680	-6.9337
264	-3.936	-35.63	3.937	35.694	-233.928	233.928	0.001	0.064	0.1267	-7.2522	-7.1255
266	-2.65	-35.74	2.65	35.81	-232.744	232.744	0	0.07	0.1193	-7.4309	-7.3116
268	-1.36	-35.805	1.359	35.88	-231.688	231.688	-0.001	0.075	0.1122	-7.6033	-7.4911
270	-0.068	-35.825	0.068	35.905	-230.756	230.756	0	0.08	0.1052	-7.7688	-7.6636
272	1.223	-35.801	-1.224	35.885	-229.943	229.943	-0.001	0.084	0.0985	-7.9266	-7.8281
274	2.514	-35.731	-2.514	35.82	-229.244	229.244	0	0.089	0.0920	-8.0762	-7.9842
276	3.801	-35.617	-3.801	35.711	-228.656	228.656	0	0.094	0.0857	-8.2167	-8.1310
278	5.084	-35.458	-5.083	35.556	-228.176	228.176	0.001	0.098	0.0797	-8.3476	-8.2679
280	6.359	-35.254	-6.359	35.356	-227.799	227.799	0	0.102	0.0739	-8.4680	-8.3942
282	7.628	-35.006	-7.627	35.112	-227.522	227.522	0.001	0.106	0.0683	-8.5773	-8.5091
284	8.887	-34.714	-8.887	34.824	-227.342	227.342	0	0.11	0.0629	-8.6749	-8.6120
286	10.135	-34.378	-10.135	34.492	-227.257	227.257	0	0.114	0.0577	-8.7600	-8.7023
288	11.371	-34	-11.372	34.117	-227.263	227.263	-0.001	0.117	0.0528	-8.8320	-8.7792
290	12.593	-33.578	-12.593	33.699	-227.357	227.357	0	0.121	0.0481	-8.8903	-8.8422
292	13.8	-33.114	-13.8	33.238	-227.538	227.538	0	0.124	0.0437	-8.9343	-8.8906
294	14.989	-32.609	-14.989	32.736	-227.802	227.802	0	0.127	0.0394	-8.9633	-8.9239
296	16.161	-32.062	-16.161	32.192	-228.148	228.148	0	0.13	0.0354	-8.9768	-8.9414
298	17.313	-31.475	-17.313	31.608	-228.573	228.573	0	0.133	0.0316	-8.9742	-8.9427
300	18.443	-30.849	-18.443	30.984	-229.074	229.074	0	0.135	0.0280	-8.9552	-8.9272
302	19.552	-30.183	-19.551	30.321	-229.651	229.651	0.001	0.138	0.0246	-8.9191	-8.8945
304	20.635	-29.479	-20.636	29.62	-230.301	230.301	-0.001	0.141	0.0214	-8.8655	-8.8441
306	21.694	-28.738	-21.695	28.881	-231.021	231.021	-0.001	0.143	0.0184	-8.7941	-8.7757
308	22.728	-27.961	-22.727	28.105	-231.811	231.811	0.001	0.144	0.0156	-8.7045	-8.6889
310	23.732	-27.148	-23.732	27.295	-232.668	232.668	0	0.147	0.0130	-8.5964	-8.5834
312	24.708	-26.301	-24.708	26.449	-233.591	233.591	0	0.148	0.0106	-8.4694	-8.4589
314	25.653	-25.42	-25.654	25.57	-234.577	234.577	-0.001	0.15	0.0083	-8.3235	-8.3152
316	26.568	-24.507	-26.568	24.659	-235.626	235.626	0	0.152	0.0062	-8.1584	-8.1521
318	27.45	-23.563	-27.45	23.716	-236.735	236.735	0	0.153	0.0043	-7.9739	-7.9696
320	28.298	-22.589	-28.299	22.743	-237.903	237.903	-0.001	0.154	0.0026	-7.7701	-7.7675
322	29.113	-21.585	-29.113	21.741	-239.128	239.128	0	0.156	0.0009	-7.5468	-7.5459
324	29.891	-20.554	-29.891	20.711	-240.409	240.409	0	0.157	-0.0005	-7.3042	-7.3048
326	30.632	-19.497	-30.632	19.654	-241.744	241.744	0	0.157	-0.0019	-7.0423	-7.0442
328	31.337	-18.415	-31.337	18.573	-243.132	243.132	0	0.158	-0.0031	-6.7613	-6.7644
330	32.003	-17.308	-32.004	17.467	-244.572	244.572	-0.001	0.159	-0.0043	-6.4613	-6.4656
332	32.631	-16.179	-32.63	16.339	-246.061	246.061	0.001	0.16	-0.0053	-6.1426	-6.1479
334	33.218	-15.029	-33.218	15.19	-247.599	247.599	0	0.161	-0.0062	-5.8056	-5.8118
336	33.765	-13.86	-33.764	14.021	-249.184	249.184	0.001	0.161	-0.0071	-5.4505	-5.4576
338	34.27	-12.672	-34.269	12.833	-250.815	250.815	0.001	0.161	-0.0079	-5.0779	-5.0858
340	34.733	-11.467	-34.734	11.629	-252.490	252.490	-0.001	0.162	-0.0086	-4.6882	-4.6968
342	35.154	-10.247	-35.155	10.409	-254.208	254.208	-0.001	0.162	-0.0092	-4.2820	-4.2912
344	35.533	-9.013	-35.533	9.175	-255.968	255.968	0	0.162	-0.0099	-3.8598	-3.8697
346	35.867	-7.766	-35.868	7.929	-257.768	257.768	-0.001	0.163	-0.0105	-3.4223	-3.4328
348	36.159	-6.509	-36.158	6.672	-259.607	259.607	0.001	0.163	-0.0110	-2.9703	-2.9814
350	36.405	-5.242	-36.406	5.405	-261.483	261.483	-0.001	0.163	-0.0116	-2.5045	-2.5161
352	36.608	-3.968	-36.608	4.131	-263.396	263.396	0	0.163	-0.0121	-2.0258	-2.0379
354	36.766	-2.687	-36.766	2.85	-265.343	265.343	0	0.163	-0.0127	-1.5350	-1.5477
356	36.879	-1.402	-36.878	1.565	-267.323	267.323	0.001	0.163	-0.0132	-1.0331	-1.0463
358	36.946	-0.113	-36.946	0.276	-269.335	269.335	0	0.163	-0.0138	-0.5211	-0.5349
360	36.969	1.177	-36.969	-1.014	-271.376	271.376	0	0.163	-0.0144	0.0000	-0.0144

Tabla 8. Resultados de Fuerzas de Sacudimiento con/sin balanceo

(°)	Resultado del análisis sin balanceo			Resultado del análisis con balanceo		
	Fsx	Fsy	Fs	Fsx	Fsy	Fsac
2	0.751611286	1.587354379	1.756306764	1.293489959	2.49982896	2.81465115
4	0.750237423	1.568229353	1.738447438	1.259941094	2.499059371	2.79870493
6	0.747949511	1.550019009	1.721042533	1.224857186	2.498070393	2.782198917
8	0.744750338	1.532833665	1.704180774	1.188280977	2.49695136	2.765280777
10	0.740643802	1.516778829	1.687948831	1.150257032	2.495788204	2.748099343
12	0.735634905	1.501955051	1.672431669	1.110831675	2.494663336	2.730804308
14	0.72972975	1.488457877	1.657712991	1.070052941	2.49365561	2.713545945
16	0.722935532	1.476377895	1.643875747	1.027970512	2.492840397	2.69647485
18	0.715260528	1.465800865	1.631002698	0.98463566	2.492289732	2.679741684
20	0.70671409	1.456807936	1.619177003	0.940101181	2.49207255	2.663496917

22	0.697306629	1.449475925	1.608482824	0.894421333	2.492254977	2.647890555
24	0.687049608	1.443877661	1.599005899	0.84765177	2.492900683	2.633071845
26	0.675955523	1.440082365	1.590834085	0.799849475	2.494071285	2.619188951
28	0.66403789	1.438156078	1.584057834	0.751072686	2.495826773	2.606388586
30	0.651311229	1.438162102	1.578770581	0.701380831	2.498225964	2.594815608
32	0.637791045	1.440161463	1.575069032	0.650834451	2.501326967	2.584612558
34	0.623493811	1.444213364	1.573053328	0.59949513	2.505187642	2.575919163
36	0.608436947	1.45037564	1.572827078	0.547425416	2.50986606	2.568871781
38	0.592638795	1.458705194	1.574497248	0.494688749	2.515420929	2.563602818
40	0.576118605	1.469258402	1.578173912	0.44134938	2.521912007	2.560240115
42	0.558896502	1.482091491	1.583969851	0.387472294	2.52940047	2.558906313
44	0.540993471	1.497260882	1.592000027	0.333123133	2.53794925	2.55971823
46	0.522431322	1.514823483	1.602380939	0.278368113	2.547623322	2.562786257
48	0.503232671	1.534836942	1.615229878	0.223273944	2.558489944	2.568213785
50	0.483420909	1.557359849	1.630664121	0.167907751	2.57061885	2.576096715
52	0.463020172	1.58245189	1.648800068	0.112336987	2.584082391	2.586523033
54	0.442055317	1.610173948	1.669752391	0.056629359	2.598955616	2.599572499
56	0.420551886	1.640588153	1.69363189	0.000852736	2.61531631	2.615316449
58	0.398536077	1.673757883	1.720551207	-0.05492492	2.633244973	2.63381773
60	0.376034713	1.709747709	1.750611132	-0.11063567	2.652824744	2.655130764
62	0.353075209	1.748623296	1.783912984	-0.166211622	2.674141283	2.679301757
64	0.329685537	1.790451249	1.820551627	-0.22158507	2.697282586	2.706369024
66	0.305894194	1.835298912	1.860616391	-0.276688551	2.722338766	2.736363446
68	0.281730166	1.883234117	1.904190806	-0.33145493	2.749401765	2.769309018
70	0.257222893	1.934324879	1.951352442	-0.385817482	2.77856503	2.805223477
72	0.232402234	1.988639041	2.002172828	-0.439709975	2.809923118	2.844118983
74	0.207298428	2.046243863	2.056717429	-0.493066749	2.843571258	2.886002827
76	0.181942061	2.107205552	2.115045662	-0.545822797	2.879604844	2.930878125
78	0.156364026	2.171588722	2.177210896	-0.597913844	2.918118863	2.978744477
80	0.130595485	2.239455789	2.243260442	-0.649276425	2.959207245	3.029598554
82	0.104667834	2.310866275	2.31323546	-0.699847963	3.002962141	3.083434577
84	0.078612661	2.385876023	2.387170783	-0.749566844	3.049473087	3.140244666
86	0.052461711	2.464536303	2.465094607	-0.798372493	3.098826074	3.200019011
88	0.026246844	2.546892787	2.547028026	-0.846205449	3.15110248	3.262745853
90	4.60698E-17	2.632984376	2.632984376	-0.893007433	3.206377855	3.328411216
92	-0.026246844	2.722841851	2.722968352	-0.938721425	3.264720524	3.396998383
94	-0.052461711	2.816486318	2.816974869	-0.98329173	3.326189989	3.468487058
96	-0.078612661	2.913927401	2.914987625	-1.026664045	3.390835076	3.542852181
98	-0.104667834	3.015161156	3.01697732	-1.068785529	3.458691795	3.620062353
100	-0.130595485	3.120167627	3.122899486	-1.109604861	3.529780857	3.700077816
102	-0.156364026	3.228908009	3.232691857	-1.149072311	3.604104779	3.782847927
104	-0.181942061	3.341321329	3.346271229	-1.187139794	3.68164452	3.868308062
106	-0.207298428	3.457320558	3.463529714	-1.22376093	3.762355538	3.956375868
108	-0.232402234	3.576788071	3.5843303	-1.258891101	3.846163202	4.046946773
110	-0.257222893	3.699570325	3.708501612	-1.292487508	3.932957415	4.139888644
112	-0.281730166	3.825471635	3.835831737	-1.324509217	4.022586338	4.23503548
114	-0.305894194	3.954246899	3.966060993	-1.354917216	4.114849062	4.33217999
116	-0.329685537	4.085593105	4.098873452	-1.383674458	4.209487057	4.431064916
118	-0.353075209	4.219139444	4.233887073	-1.410745905	4.306174241	4.531372926
120	-0.376034713	4.354435839	4.370642239	-1.436098575	4.404505441	4.632714895
122	-0.398536077	4.490939688	4.508588502	-1.459701581	4.503983094	4.734616396
124	-0.420551886	4.628000637	4.647069376	-1.481526165	4.604001955	4.836502226
126	-0.442055317	4.764843218	4.785304985	-1.501545737	4.703831688	4.937678822
128	-0.463020172	4.900547254	4.922372505	-1.519735908	4.802597208	5.03731448
130	-0.483420909	5.034026019	5.057184369	-1.536074514	4.899256794	5.134417401
132	-0.503232671	5.164002341	5.188464445	-1.55054165	4.992578133	5.227811762
134	-0.522431322	5.288983077	5.314722615	-1.56311969	5.081112739	5.316112285
136	-0.540993471	5.407232807	5.434228608	-1.573793309	5.163169598	5.397698183
138	-0.558896502	5.516748179	5.544986544	-1.582549504	5.236789452	5.470687955
140	-0.576118605	5.615235147	5.644712428	-	5.299721989	5.532917344
142	-0.592638795	5.700092475	5.730818001	-1.594269296	5.349409289	5.581923892
144	-0.608436947	5.768406357	5.800405798	-1.597218615	5.382980398	5.614943034
146	-0.623493811	5.816962843	5.850282151	-1.598221968	5.397263692	5.628922528
148	-0.637791045	5.842286947	5.876997038	-1.597278135	5.388825944	5.62056425
150	-0.651311229	5.840719687	5.87692205	-1.594388264	5.354049304	5.586404737
152	-0.66403789	5.808546385	5.846379857	-1.589555876	5.289259555	5.522947992
154	-0.675955523	5.742190731	5.781839696	-1.58278686	5.190920124	5.426865208
156	-0.687049608	5.638488069	5.680192327	-1.574089461	5.055905324	5.295274901
158	-0.697306629	5.495046451	5.539112928	-1.563474277	4.881861355	5.126111792
160	-0.70671409	5.310693089	5.357509299	-1.550954241	4.667652713	4.918581189

162	-0.715260528	5.085984902	5.136033494	-1.536544606	4.413872693	4.673675371
164	-0.722935532	4.823734134	4.877606665	-1.520262927	4.123368957	4.394698047
166	-0.72972975	4.529465643	4.587871458	-1.502129043	3.801700784	4.087703575
168	-0.735634905	4.211688616	4.275450819	-1.482165045	3.457410745	3.761715338
170	-0.740643802	3.881845597	3.951870251	-1.460395258	3.101973686	3.428555827
172	-0.744750338	3.553813903	3.631011175	-1.436846205	2.749298106	3.102122997
174	-0.747949511	3.242895149	3.328032064	-1.411546575	2.414715643	2.797019015
176	-0.750237423	2.964341031	3.057805413	-1.384527193	2.113506827	2.526623568
178	-0.751611286	2.731606804	2.833124646	-1.355820979	1.859154511	2.301022821
180	-0.752069426	2.554650298	2.663052115	-1.325462905	1.661642866	2.125537326
182	-0.751611286	2.438644909	2.55184414	-1.293489959	1.526170328	2.000577952
184	-0.750237423	2.383409598	2.498699162	-1.259941094	1.45257958	1.92287259
186	-0.747949511	2.383685877	2.498276773	-1.224857186	1.435634493	1.887146397
188	-0.744750338	2.430171554	2.541729106	-1.188280977	1.466053859	1.887147477
190	-0.740643802	2.511038495	2.617989222	-1.150257032	1.532029119	1.915777769
192	-0.735634905	2.61358078	2.715135946	-1.110831675	1.620872494	1.964987189
194	-0.72972975	2.725673702	2.821666642	-1.070052941	1.720475969	2.026092509
196	-0.722935532	2.83683772	2.927504746	-1.027970512	1.820375219	2.090571527
198	-0.715260528	2.938837798	3.024626461	-0.98463566	1.912348931	2.15094998
200	-0.70671409	3.025860057	3.10729366	-0.940101181	1.990595442	2.201422368
202	-0.697306629	3.094371574	3.171966578	-0.894421333	2.051592522	2.238084314
204	-0.687049608	3.142786674	3.217008741	-0.84765177	2.093763651	2.258840355
206	-0.675955523	3.171048753	3.242293333	-0.799849475	2.117059832	2.263117654
208	-0.66403789	3.180207497	3.248794552	-0.751072686	2.122536801	2.251504531
210	-0.651311229	3.172040318	3.238216499	-0.701380831	2.111976456	2.225394262
212	-0.637791045	3.148741121	3.212685491	-0.650834451	2.087575617	2.18667726
214	-0.623493811	3.112681568	3.174512731	-0.59949513	2.05170729	2.137497886
216	-0.608436947	3.066239359	3.126022924	-0.547425416	2.006748939	2.080075934
218	-0.592638795	3.011682923	3.069438836	-0.494688749	1.954967188	2.016584653
220	-0.576118605	2.951100541	3.006810112	-0.44134938	1.898446936	1.94907415
222	-0.558896502	2.886362564	2.939975196	-0.387472294	1.839053585	1.879428868
224	-0.540993471	2.819107088	2.870546762	-0.333123133	1.77841872	1.8093491
226	-0.522431322	2.75074139	2.799912978	-0.278368113	1.717941552	1.740348236
228	-0.503232671	2.682453302	2.729248769	-0.223273944	1.658800301	1.67375915
230	-0.483420909	2.615228284	2.659532807	-0.167907751	1.601969283	1.610744733
232	-0.463020172	2.549869249	2.591567261	-0.112336987	1.548238748	1.552308868
234	-0.442055317	2.487017165	2.525998274	-0.056629359	1.498235497	1.499305335
236	-0.420551886	2.427171167	2.463335902	-0.000852736	1.452443011	1.452443261
238	-0.398536077	2.370707451	2.403972716	0.054924926	1.411220361	1.4122888
240	-0.376034713	2.317896526	2.348200675	0.11063567	1.374819491	1.379263892
242	-0.353075209	2.268918702	2.296226073	0.166211622	1.343400715	1.353643891
244	-0.329685537	2.223877769	2.248182574	0.22158507	1.317046432	1.335556531
246	-0.305894194	2.182812977	2.204142407	0.276688551	1.295773123	1.324984733
248	-0.281730166	2.145709422	2.164125877	0.33145493	1.279541774	1.321775141
250	-0.257222893	2.112507029	2.128109387	0.385817482	1.268266878	1.325653048
252	-0.232402234	2.083108252	2.096032154	0.439709975	1.261824175	1.336242909
254	-0.207298428	2.057384696	2.067801834	0.493066749	1.260057301	1.353092465
256	-0.181942061	2.035182762	2.043299241	0.545822797	1.26278347	1.375697866
258	-0.156364026	2.016328496	2.022382336	0.597913844	1.269798356	1.403527281
260	-0.130595485	2.000631723	2.004889641	0.649276425	1.280880266	1.436041132
262	-0.104667834	1.987889597	1.990643214	0.699847963	1.29579373	1.472707901
264	-0.078612661	1.977889653	1.979451295	0.749566844	1.314292589	1.513015355
266	-0.052461711	1.970412438	1.971110703	0.798372493	1.336122667	1.556477568
268	-0.026246844	1.965233785	1.965409048	0.846205449	1.361024093	1.602638525
270	-1.3821E-16	1.962126805	1.962126805	0.893007433	1.388733327	1.651073144
272	0.026246844	1.960863622	1.961039275	0.938721425	1.418984949	1.701386552
274	0.052461711	1.961216912	1.961918451	0.98329173	1.451513241	1.753212284
276	0.078612661	1.962961276	1.964534785	1.026664045	1.486053602	1.806209946
278	0.104667834	1.965874466	1.968658877	1.068785529	1.522343827	1.860062696
280	0.130595485	1.969738498	1.974063052	1.109604861	1.560125268	1.914474811
282	0.156364026	1.97434067	1.980522858	1.149072311	1.5991439	1.969169467
284	0.181942061	1.979474496	1.987818451	1.187139794	1.639151305	2.023886828
286	0.207298428	1.984940572	1.995735883	1.22376093	1.679905592	2.078382451
288	0.232402234	1.990547381	2.004068281	1.258891101	1.72117225	2.132426017
290	0.257222893	1.996112045	2.012616932	1.292487508	1.762724955	2.185800362
292	0.281730166	2.001461032	2.021192259	1.324509217	1.804346328	2.238300771
294	0.305894194	2.006430809	2.029614704	1.354917216	1.845828646	2.289734494
296	0.329685537	2.010868461	2.037715516	1.383674458	1.886974509	2.339920469
298	0.353075209	2.01463226	2.045337441	1.410745905	1.927597464	2.388689178
300	0.376034713	2.017592184	2.052335335	1.436098575	1.967522581	2.435882638
302	0.398536077	2.019630394	2.058576677	1.459701581	2.006586988	2.481354478

304	0.420551886	2.020641656	2.063942003	1.481526165	2.044640338	2.524970077
306	0.442055317	2.020533707	2.068325256	1.501545737	2.081545238	2.566606744
308	0.463020172	2.019227556	2.071634042	1.519735908	2.117177602	2.606153915
310	0.483420909	2.016657726	2.073789806	1.536074514	2.151426952	2.643513352
312	0.503232671	2.012772423	2.074727921	1.55054165	2.184196631	2.678599323
314	0.522431322	2.007533622	2.074397679	1.56311969	2.215403959	2.71133876
316	0.540993471	2.000917085	2.072762195	1.573793309	2.244980294	2.74167137
318	0.558896502	1.992912285	2.069798221	1.582549504	2.272871012	2.769549705
320	0.576118605	1.983522244	2.065495858	1.589377606	2.299035402	2.794939168
322	0.592638795	1.972763281	2.059858175	1.594269296	2.323446466	2.817817962
324	0.608436947	1.960664669	2.052900743	1.597218615	2.346090627	2.838176974
326	0.623493811	1.947268196	2.04465106	1.598221968	2.366967346	2.856019586
328	0.637791045	1.932627637	2.035147906	1.597278135	2.386088639	2.871361425
330	0.651311229	1.916808134	2.024440599	1.594388264	2.403478518	2.884230039
332	0.66403789	1.899885497	2.01258819	1.589555876	2.419172328	2.894664512
334	0.675955523	1.881945416	1.999658575	1.58278686	2.433216023	2.902715015
336	0.687049608	1.863082611	1.985727569	1.574089461	2.445665356	2.908442309
338	0.697306629	1.843399912	1.970877919	1.563474277	2.456585008	2.911917189
340	0.70671409	1.823007292	1.9551983	1.550954241	2.466047667	2.913219894
342	0.715260528	1.802020856	1.938782295	1.536544606	2.474133064	2.912439483
344	0.722935532	1.780561801	1.921727377	1.520262927	2.480926978	2.909673184
346	0.72972975	1.758755369	1.904133912	1.502129043	2.486520227	2.905025732
348	0.735634905	1.736729791	1.886104207	1.482165045	2.491007661	2.898608699
350	0.740643802	1.714615257	1.867741609	1.460395258	2.494487167	2.890539835
352	0.744750338	1.692542904	1.849149682	1.436846205	2.497058701	2.88094241
354	0.747949511	1.67064386	1.830431473	1.411546575	2.498823365	2.869944589
356	0.750237423	1.649048338	1.811688884	1.384527193	2.499882543	2.857678827
358	0.751611286	1.627884804	1.793022158	1.355820979	2.500337097	2.844281302
360	0.752069426	1.607279218	1.774529489	1.325462905	2.500286651	2.829891385

Tabla 9. Resultados de fuerzas respectivas en los pasadores.

(°)	Fuerza pasador desplazador			Fuerzas pasador manivela (O2AB)			Fuerzas eje principal		
	x	y	F 34 B	x	y	F 32	x	y	F 21
2	-38.3139	-271.925	274.6113	38.31391	271.9194	274.6054	306.2243	313.8573	438.4971
4	-38.809	-273.971	276.7059	38.80902	273.9648	276.7	307.6386	318.9737	443.1543
6	-39.4455	-276.019	278.8238	39.4455	276.0135	278.8179	308.8249	324.2266	447.7675
8	-40.2257	-278.068	280.9625	40.22473	278.062	280.9564	309.7762	329.6151	452.3355
10	-41.1519	-280.112	283.1191	41.14994	280.1064	283.1129	310.4896	335.1333	456.8568
12	-42.2251	-282.148	285.2903	42.22314	282.1422	285.2841	310.9565	340.7739	461.325
14	-43.4491	-284.17	287.4729	43.4461	284.1644	287.4665	311.1721	346.5315	465.7383
16	-44.8233	-286.173	289.6624	44.81931	286.1673	289.6558	311.1302	352.401	470.0941
18	-46.351	-288.15	291.8545	46.34595	288.1444	291.8478	310.8233	358.3711	474.3848
20	-48.0308	-290.095	294.0439	48.02483	290.0885	294.037	310.2441	364.4334	478.6054
22	-49.8643	-291.998	296.2246	49.85732	291.9906	296.2165	309.3854	370.5771	482.7491
24	-51.8513	-293.851	298.3902	51.84334	293.8435	298.3819	308.2402	376.7923	486.8105
26	-53.9912	-295.644	300.5331	53.98224	295.6365	300.5246	306.7992	383.0613	490.7766
28	-56.2827	-297.365	302.6449	56.27175	297.3585	302.636	305.0548	389.3728	494.6409
30	-58.7239	-299.004	304.7164	58.7119	298.9963	304.7062	302.9976	395.7088	498.3904
32	-61.3119	-300.547	306.7369	61.29794	300.5388	306.7263	300.6194	402.0483	502.0109
34	-64.0432	-301.979	308.695	64.02722	301.9706	308.6839	297.9104	408.3744	505.4901
36	-66.9121	-303.284	310.5777	66.89514	303.2751	310.5652	294.8625	414.6627	508.8114
38	-69.915	-304.447	312.3713	69.89499	304.4376	312.3581	291.4658	420.8869	511.9552
40	-73.0429	-305.448	314.0602	73.02189	305.4381	314.0456	287.7103	427.0212	514.9023
42	-76.2887	-306.27	315.6282	76.26569	306.2598	315.6129	283.5881	433.0355	517.6311
44	-79.6428	-306.892	317.0576	79.61784	306.8807	317.0406	279.091	438.8984	520.1188
46	-83.0944	-307.293	318.3296	83.06738	307.2811	318.311	274.2121	444.5742	522.3394
48	-86.6308	-307.453	319.4246	86.60181	307.4407	319.4052	268.9427	450.0301	524.2683
50	-90.2371	-307.349	320.322	90.2061	307.336	320.3008	263.2782	455.2255	525.8761
52	-93.8987	-306.96	321.001	93.86666	306.9464	320.9783	257.2167	460.1233	527.1374
54	-97.5994	-306.266	321.4412	97.56442	306.2508	321.4162	250.7552	464.6813	528.0217
56	-101.319	-305.245	321.621	101.2819	305.2291	321.5942	243.8949	468.8599	528.502
58	-105.038	-303.879	321.5209	104.9993	303.8624	321.4921	236.6399	472.6205	528.5533
60	-108.736	-302.152	321.122	108.6949	302.134	321.0912	228.9952	475.9218	528.148
62	-112.392	-300.049	320.4083	112.3491	300.0301	320.3754	220.9725	478.7261	527.2642
64	-115.983	-297.56	319.365	115.9381	297.5389	319.3291	212.5858	481.0009	525.8846
66	-119.488	-294.678	317.9816	119.441	294.6557	317.9436	203.8514	482.7147	523.9932
68	-122.886	-291.4	316.2515	122.8365	291.3773	316.2112	194.7944	483.845	521.5849
70	-126.154	-287.731	314.1718	126.1035	287.7057	314.1284	185.4379	484.3726	518.656
72	-129.278	-283.677	311.7455	129.2253	283.6505	311.6999	175.814	484.2856	515.2117
74	-132.239	-279.254	308.982	132.184	279.2269	308.9341	165.953	483.58	511.2632

76	-135.023	-274.482	305.8949	134.9671	274.4532	305.8442	155.8947	482.2639	506.8349
78	-137.623	-269.387	302.5056	137.5638	269.3564	302.4511	145.6768	480.3535	501.9573
80	-140.03	-264.001	298.8395	139.9701	263.9682	298.7822	135.339	477.8702	496.6655
82	-142.244	-258.36	294.9295	142.1822	258.3252	294.8689	124.9257	474.8511	491.0092
84	-144.267	-252.505	290.8124	144.2039	252.4683	290.749	114.4751	471.3389	485.0411
86	-146.108	-246.481	286.5313	146.0415	246.4418	286.4641	104.0281	467.3851	478.8222
88	-147.775	-240.334	282.1306	147.7089	240.2926	282.0611	93.62379	463.0465	472.4166
90	-149.288	-234.112	277.6603	149.2203	234.0676	277.5866	83.29591	458.3882	465.8948
92	-150.666	-227.863	273.1699	150.5957	227.8172	273.0929	73.07654	453.4796	459.3299
94	-151.932	-221.636	268.7111	151.861	221.5875	268.6313	62.99123	448.3899	452.7929
96	-153.113	-215.474	264.3342	153.0408	215.423	264.251	53.06255	443.192	446.3572
98	-154.238	-209.421	260.0897	154.1645	209.367	260.0024	43.30775	437.9586	440.0946
100	-155.339	-203.515	256.0247	155.2639	203.4593	255.9347	33.73664	432.7594	434.0724
102	-156.447	-197.792	252.1849	156.3712	197.7326	252.0915	24.35358	427.6613	428.3541
104	-157.595	-192.28	248.6117	157.5183	192.2177	248.5149	15.16072	422.728	422.9998
106	-158.817	-187.005	245.3441	158.7392	186.9398	245.244	6.15222	418.0177	418.063
108	-160.144	-181.987	242.4162	160.0664	181.9193	242.3137	-2.68028	413.5853	413.594
110	-161.609	-177.243	239.8592	161.5311	177.1726	239.7549	-11.3512	409.4793	409.6366
112	-163.243	-172.782	237.7011	163.164	172.7087	237.5938	-19.8777	405.7396	406.2262
114	-165.076	-168.611	235.966	164.9962	168.5353	235.8557	-28.2788	402.4089	403.4013
116	-167.135	-164.734	234.6735	167.0563	164.6555	234.5618	-36.5792	399.5168	401.1878
118	-169.451	-161.151	233.844	169.3695	161.0687	233.7288	-44.8026	397.0911	399.6106
120	-172.045	-157.857	233.4912	171.9649	157.7716	233.3748	-52.9765	395.1574	398.6928
122	-174.944	-154.846	233.6297	174.8642	154.7583	233.5115	-61.1264	393.7358	398.4524
124	-178.173	-152.112	234.2726	178.0939	152.021	234.1534	-69.2828	392.8438	398.9064
126	-181.753	-149.644	235.4309	181.6735	149.5502	235.3094	-77.4746	392.4954	400.0686
128	-185.705	-147.432	237.1133	185.6263	147.3352	236.9911	-85.7318	392.7032	401.9524
130	-190.051	-145.464	239.3305	189.9726	145.3653	239.2084	-94.0834	393.4789	404.5705
132	-194.808	-143.728	242.0907	194.7308	143.6273	241.9687	-102.557	394.8295	407.9317
134	-199.996	-142.212	245.4027	199.9198	142.1087	245.2811	-111.182	396.7636	412.0471
136	-205.63	-140.902	249.2733	205.5564	140.7968	249.1529	-119.986	399.2883	416.9265
138	-211.728	-139.786	253.7099	211.6546	139.6799	253.5905	-128.992	402.4059	422.5749
140	-218.299	-138.852	258.7169	218.2294	138.7448	258.6004	-138.225	406.122	429.0002
142	-225.358	-138.087	264.2995	225.2899	137.9792	264.1851	-147.704	410.4355	436.2037
144	-232.908	-137.48	270.4573	232.8423	137.3735	270.3461	-157.443	415.3432	444.1825
146	-240.953	-137.02	277.1877	240.8901	136.9145	277.0805	-167.453	420.8382	452.9297
148	-249.486	-136.697	284.4814	249.4264	136.5915	284.3779	-177.738	426.9079	462.4298
150	-258.497	-136.499	292.323	258.4409	136.3964	292.2254	-188.292	433.532	472.6561
152	-267.961	-136.418	300.6872	267.9089	136.3187	300.596	-199.098	440.6781	483.567
154	-277.842	-136.444	309.5375	277.7934	136.3493	309.4517	-210.125	448.3044	495.1054
156	-288.088	-136.569	318.8192	288.0439	136.4799	318.7413	-221.328	456.3517	507.1914
158	-298.627	-136.784	328.4635	298.5883	136.7025	328.3939	-232.639	464.7453	519.7201
160	-309.368	-137.085	338.3797	309.332	137.0108	338.3168	-243.971	473.3841	532.5544
162	-320.19	-137.461	348.4492	320.1595	137.3961	348.396	-255.21	482.1469	545.5252
164	-330.95	-137.909	358.5338	330.9246	137.8539	358.4896	-266.22	490.8871	558.4293
166	-341.477	-138.422	368.4656	341.4568	138.3766	368.4302	-276.834	499.4304	571.0234
168	-351.577	-138.993	378.0549	351.5612	138.9586	378.0275	-286.866	507.5805	583.0351
170	-361.037	-139.619	387.093	361.0247	139.595	387.0732	-296.11	515.1243	594.167
172	-369.632	-140.295	395.361	369.6247	140.2803	395.3492	-304.355	521.8376	604.1079
174	-377.143	-141.016	402.644	377.1387	141.0102	402.6381	-311.388	527.4997	612.5508
176	-383.364	-141.78	408.7413	383.362	141.7798	408.7395	-317.014	531.907	619.2117
178	-388.123	-142.581	413.4833	388.1227	142.5856	413.4851	-321.07	534.8891	623.8527
180	-391.293	-143.417	416.7482	391.2934	143.4233	416.7502	-323.436	536.3202	626.2986
182	-392.806	-144.285	418.4669	392.8047	144.2901	418.4677	-324.045	536.1312	626.4519
184	-392.652	-145.182	418.6326	392.6497	145.183	418.631	-322.894	534.3143	624.3013
186	-390.886	-146.106	417.2991	390.8817	146.0998	417.2932	-320.033	530.9222	619.9192
188	-387.614	-147.054	414.5717	387.6063	147.0401	414.5593	-315.567	526.0614	613.4517
190	-382.988	-148.025	410.5981	382.9766	148.0008	410.5792	-309.642	519.8828	605.1083
192	-377.184	-149.016	405.5535	377.1681	148.9821	405.5261	-302.433	512.5612	595.1343
194	-370.396	-150.026	399.626	370.3758	149.9813	399.5906	-294.129	504.2917	583.7995
196	-362.818	-151.054	393.0062	362.7926	150.9989	392.962	-284.921	495.2658	571.374
198	-354.634	-152.097	385.8742	354.6041	152.0313	385.8207	-274.995	485.6726	558.1218
200	-346.014	-153.155	378.3947	345.9794	153.0804	378.3324	-264.52	475.6809	544.2821
202	-337.109	-154.227	370.7135	337.069	154.1441	370.6426	-253.649	465.444	530.0716
204	-328.045	-155.31	362.9526	327.9997	155.2212	362.8739	-242.51	455.0899	515.6722
206	-318.927	-156.406	355.2143	318.8789	156.312	355.1298	-231.213	444.7278	501.2408
208	-309.843	-157.512	347.581	309.7895	157.4134	347.4889	-219.846	434.4449	486.9033
210	-300.857	-158.629	340.1151	300.8004	158.5259	340.0167	-208.482	424.3113	472.7631
212	-292.023	-159.755	332.8651	291.9633	159.6498	332.7621	-197.175	414.381	458.9006
214	-283.378	-160.889	325.8654	283.3146	160.7824	325.7578	-185.966	404.6959	445.3788
216	-274.948	-162.032	319.1412	274.8825	161.9243	319.0296	-174.886	395.2837	432.2433
218	-266.752	-163.183	312.7065	266.684	163.075	312.5921	-163.956	386.1638	419.5283
220	-258.799	-164.341	306.5698	258.7291	164.2332	306.4528	-153.188	377.3509	407.2595
222	-251.096	-165.505	300.7345	251.023	165.3995	300.6152	-142.592	368.8518	395.4544
224	-243.641	-166.678	295.1991	243.5673	166.5736	295.0793	-132.171	360.6689	384.1242
226	-236.434	-167.856	289.9598	236.3578	167.7533	289.8382	-121.926	352.8026	373.2767
228	-229.467	-169.041	285.0092	229.3913	168.9404	284.8881	-111.854	345.2497	362.9168
230	-222.736	-170.233	280.3403	222.6583	170.1338	280.2182	-101.952	338.0043	353.0454
232	-216.232	-171.43	275.9431	216.1539	171.3343	275.8223	-92.2111	331.0616	343.6636
234	-209.946	-172.634	271.8086	209.8674	172.5398	271.6879	-82.6308	324.4156	334.7736
236	-203.87	-173.843	267.9261	203.7897	173.7524	267.8062	-73.2007	318.0583	326.3731

238	-197.992	-175.059	264.2852	197.9124	174.9711	264.167	-63.9164	311.9813	318.4613
240	-192.305	-176.281	260.8759	192.2254	176.1957	260.7595	-54.7705	306.1772	311.0375
242	-186.8	-177.508	257.689	186.7203	177.4254	257.5738	-45.756	300.6391	304.101
244	-181.467	-178.742	254.7139	181.3873	178.6623	254.6008	-36.8666	295.3598	297.6518
246	-176.299	-179.981	251.9415	176.2188	179.9054	251.8313	-28.0979	290.332	291.6885
248	-171.284	-181.228	249.3629	171.2054	181.1548	249.2555	-19.4422	285.5484	286.2096
250	-166.418	-182.481	246.9701	166.3403	182.4106	246.8658	-10.8948	281.0034	281.2145
252	-161.693	-183.74	244.7551	161.615	183.6731	244.6533	-2.45279	276.6884	276.6993
254	-157.101	-185.006	242.7096	157.0226	184.9414	242.6096	5.888857	272.6018	272.6654
256	-152.634	-186.28	240.8264	152.5583	186.2177	240.7303	14.135	268.735	269.1065
258	-148.289	-187.56	239.0993	148.2131	187.5012	239.0059	22.28804	265.0821	266.0175
260	-144.058	-188.848	237.5212	143.9841	188.791	237.431	30.35198	261.6405	263.3952
262	-139.937	-190.143	236.0859	139.863	190.0895	235.9993	38.32745	258.4051	261.232
264	-135.92	-191.446	234.7887	135.8478	191.3949	234.7054	46.21867	255.371	259.5198
266	-132.003	-192.757	233.624	131.9318	192.7094	233.5443	54.02554	252.534	258.2483
268	-128.181	-194.077	232.5863	128.1119	194.0314	232.5099	61.75158	249.8921	257.4089
270	-124.451	-195.406	231.6714	124.3831	195.3621	231.5978	69.39598	247.4407	256.9877
272	-120.81	-196.744	230.8748	120.743	196.7018	230.804	76.96061	245.1754	256.9707
274	-117.253	-198.091	230.1919	117.1882	198.0509	230.1244	84.44603	243.0955	257.3452
276	-113.779	-199.447	229.6184	113.7149	199.4096	229.5545	91.8515	241.1953	258.0927
278	-110.383	-200.813	229.1517	110.3224	200.7784	229.0917	99.17699	239.4754	259.1998
280	-107.066	-202.19	228.7886	107.0055	202.1575	228.7309	106.4212	237.933	260.6484
282	-103.823	-203.578	228.5242	103.765	203.5473	228.4703	113.5855	236.5642	262.4201
284	-100.654	-204.977	228.3569	100.5971	204.9471	228.3049	120.6692	235.3677	264.4977
286	-97.5564	-206.387	228.2828	97.50242	206.3595	228.2344	127.668	234.3424	266.8623
288	-94.5296	-207.81	228.2995	94.47658	207.7836	228.2539	134.5848	233.4842	269.4958
290	-91.5726	-209.244	228.4044	91.52155	209.219	228.3611	141.415	232.7947	272.3812
292	-88.6835	-210.69	228.5936	88.63454	210.667	228.5534	148.1577	232.2712	275.5007
294	-85.864	-212.15	228.8673	85.81697	212.129	228.8302	154.81	231.9107	278.8346
296	-83.1115	-213.624	229.2216	83.06647	213.6035	229.1866	161.3727	231.7153	282.3705
298	-80.4259	-215.111	229.6541	80.3829	215.0919	229.6213	167.8403	231.6811	286.0883
300	-77.8093	-216.612	230.1636	77.76833	216.5945	230.1328	174.2113	231.8077	289.973
302	-75.26	-218.129	230.7471	75.22101	218.1118	230.7184	180.4847	232.0957	294.0122
304	-72.7804	-219.66	231.4036	72.74341	219.6443	231.3768	186.6567	232.5431	298.1895
306	-70.3692	-221.207	232.1303	70.33418	221.1923	232.1054	192.7239	233.1498	302.4919
308	-68.0271	-222.77	232.9255	67.99515	222.7562	232.9027	198.6841	233.9153	306.9067
310	-65.7573	-224.349	233.7869	65.72633	224.3366	233.7667	204.5335	234.8378	311.4205
312	-63.5589	-225.945	234.7142	63.53092	225.9328	234.6951	210.2695	235.919	316.0238
314	-61.4353	-227.558	235.7053	61.40827	227.5472	235.6877	215.8892	237.1577	320.7054
316	-59.3859	-229.189	236.758	59.36089	229.1782	236.7411	221.3884	238.5528	325.4539
318	-57.4135	-230.838	237.8709	57.39047	230.8282	237.8557	226.7638	240.1054	330.2611
320	-55.5198	-232.506	239.0424	55.49883	232.4956	239.0278	232.0121	241.8146	335.1178
322	-53.7059	-234.192	240.2708	53.68693	234.1827	240.2578	237.1297	243.6817	340.0166
324	-51.9759	-235.897	241.5549	51.95887	235.8878	241.5425	242.1117	245.7053	344.948
326	-50.3309	-237.621	242.8931	50.31488	237.6133	242.882	246.9553	247.8858	349.9061
328	-48.7723	-239.365	244.2837	48.75832	239.3574	244.273	251.6573	250.2218	354.8836
330	-47.3036	-241.129	245.7254	47.29164	241.1213	245.7152	256.2127	252.7171	359.8762
332	-45.9274	-242.913	247.2168	45.91641	242.9052	247.2069	260.618	255.3684	364.8763
334	-44.6463	-244.717	248.7565	44.63729	244.7092	248.747	264.8686	258.1765	369.879
336	-43.463	-246.541	250.3431	43.45503	246.5344	250.3349	268.961	261.1412	374.8796
338	-42.3804	-248.386	251.9753	42.37343	248.3787	251.9673	272.8902	264.2643	379.8746
340	-41.4014	-250.25	253.6518	41.39539	250.2431	253.6439	276.6534	267.5436	384.8593
342	-40.5288	-252.134	255.371	40.52385	252.1274	255.3633	280.2455	270.9798	389.8302
344	-39.7648	-254.038	257.1316	39.76078	254.0313	257.1241	283.662	274.5728	394.7839
346	-39.1142	-255.96	258.9316	39.1112	255.9543	258.9252	286.8987	278.3219	399.7174
348	-38.5781	-257.902	260.7712	38.57614	257.8958	260.7649	289.952	282.2259	404.6277
350	-38.1616	-259.861	262.6483	38.15963	259.8552	262.6421	292.817	286.2858	409.5136
352	-37.8657	-261.837	264.5613	37.86472	261.8315	264.5552	295.488	290.498	414.3697
354	-37.6944	-263.83	266.5088	37.69441	263.8236	266.5028	297.9626	294.8643	419.1977
356	-37.6507	-265.836	268.4892	37.65068	265.8302	268.4833	300.2338	299.3804	423.9917
358	-37.7375	-267.856	270.501	37.73746	267.8497	270.495	302.2978	304.0476	428.7528
360	-37.9576	-269.886	272.5423	37.95761	269.8801	272.5364	304.1501	308.8609	433.4771

Anexo B

SCRIPT MATLAB

1. Script Matlab desplazamientos, velocidad y aceleración

```
Rm=2 %Radio de la manivela cm
L=5 %Distancia de la biela cm
E=1.3 %Distancia del centro del vástago del desplazador cm
Lvd=20.9 %Longitud del vástago del desplazador cm
Lp=4.3 %longitud del pistón cm
Ld=16 %longitud del desplazador cm
Lvp=5.6 %longitud del vástago del piston cm
Dp=7.907 % diámetro de paso del engranaje cm

z=L/Rm
rho=(Dp/2-E)/Rm
a=Rm*rho
Teta2=linspace(0,720,361)
Teta3=acos((a-Rm*cos(Teta2*pi/180))/L)
S=Rm*sin(Teta2*pi/180)+L*sin(Teta3)
Rpm=254
w2=Rpm*pi/30
w3=Rm*w2*sin(Teta2*pi/180)./(L*sin(Teta3))
Vel=-Rm*w2*sin(Teta2*pi/180-Teta3)./sin(Teta3)
alfa2=0
alfa3=(Rm*alfa2*sin(Teta2*pi/180)+Rm*w2^2*cos(Teta2*pi/180)+L*w3.^2.*cos(Teta3))./(L*sin(Teta3))

Acel=(Rm*alfa2*sin(Teta2*pi/180-Teta3)+Rm*w2^2*sin(Teta2*pi/180+Teta3)+L*w3.^2)./(sin(Teta3)*100)

S1=-Rm*sin(Teta2*pi/180)-L*sin(Teta3)

Rpm=254
w2=Rpm*pi/30
w3=Rm*w2*sin(Teta2*pi/180)./(L*sin(Teta3))
Vel1=-Rm*w2*sin(Teta3-Teta2*pi/180)./sin(Teta3)
alfa2=0
alfa3=(Rm*alfa2*sin(Teta2*pi/180)+Rm*w2^2*cos(Teta2*pi/180)+L*w3.^2.*cos(Teta3))./(L*sin(Teta3))

Acel1=(Rm*alfa2*sin(Teta3-Teta2*pi/180)-Rm*w2^2*cos(Teta2*pi/180+Teta3)-L*w3.^2)./(sin(Teta3)*100)

%Distancia de Acople a acople
Sab=Rm*sin(Teta2*pi/180)+S
Sac=Rm*sin(Teta2*pi/180)+S1

%UNION BAS-DES
U=Sab-20.9
```

```

%CAB PISTON
Cab=Sac-9.9

%Fuerzas
ma=0.05315
Fsx=ma*Rm/100*w2^2*cos(Teta2*pi/180)

figure (1)
plot(Teta2,S,Teta2,S1)
title('DESPLAZAMIENTOS')
xlabel('Ángulo de maviela')
ylabel ('Desplazamiento(m)')
grid on
figure (2)
plot(Teta2,Vel,Teta2,Vel1)
grid on
title('VELOCIDADES')
xlabel('Ángulo de maviela')
ylabel ('Velocidad (m/seg)')
legend({'Mecanismo O2AB', 'Mecanismo O2AC'}, 'Location', 'southwest')
figure (3)
plot(Teta2,Acel,Teta2,Acel1)
grid on
title('ACELERACIONES')
xlabel('Ángulo de maviela')
ylabel ('Aceleración (m/seg^2)')
legend({'Mecanismo O2AB', 'Mecanismo O2AC'}, 'Location', 'southwest')
figure (4)
plot(Teta2,U,Teta2,Cab)
title('DISTANCIA ENTRE PISTÓN DE FUERZA Y DESPLAZADOR')
xlabel('Ángulo de maviela')
ylabel ('Distancia (cm)')
legend({'Unión Bas-Des', 'Cab Pistón'}, 'Location', 'southwest')
grid on
figure (5)
plot(Teta2,Sab,Teta2,Sac)
title('DESPLAZAMIENTOS')
xlabel('Ángulo de maviela')
ylabel ('Desplazamientos S(cm)')
legend({'Sba', 'Sac'}, 'Location', 'southwest')
grid on

```

2. Script Matlab Análisis por Smith

```

m=0.03026 %MOL

VCLC=0.00002113
VCLE=0.00003214
VSWC=0.0004554
VSWE=0.0004408
TK=373
TH=772

```



```

R=8.3143
VR=0.0004558

VDA=-0.0002204
VPA=-0.000057
E=0.027
A2=0.02
A3=0.05
TETA=linspace(0,720,361) %TETA=linspace(0,360,37)
FI=2*acos((E-A2*cos(TETA*pi/180))/A3)

GAMMA=atan((VDA*sin(FI))./(VDA*cos(FI)-VPA))
ALFA=pi+FI-GAMMA

A=(VCLC+(VSWC*(1+cos(TETA*pi/180+GAMMA)))/2)/TK
B=(VR*log(TH/TK))/(TH-TK)
C=(VCLE+VSWE*(1+cos(TETA*pi/180+GAMMA+ALFA))/2)/TH
%p=m*R./(A+B+C)

p=m*R./(((VCLC+VSWC*(1+cos(TETA*pi/180+GAMMA)))/2)/TK)+((VR*log(TH/TK))/(TH-TK))+((VCLE+VSWE*(1+cos(TETA*pi/180+GAMMA+ALFA))/2)/TH)
pmax=max(p)
pmin=min(p)
PMEDIA=mean(p)
%prueba
%-----
Dd=0.061

S=(VSWC/(2*TK))+VCLC/TK+(VR*log(TH/TK))/(TH-TK)+(VSWE/(2*TH))+VCLE/TH
CS=0.5*sqrt((VSWC/TK)^2-2*(VSWC*VSWE*sin(GAMMA)/(TH*TK))+VSWE/TH)^2

%parametro b
b=CS/S

%TRABAJO DE EXPANSION

BETA=atan((((VSWC*sin(GAMMA)/TK)-(VSWE/TH)))./(VSWC*cos(GAMMA)/TK))

WE=((pi*VSWE*PMEDIA.*sin(BETA-GAMMA-ALFA).*(sqrt(1-(b.^2))-1)))./b %TRABAJO
EXPANSION
WEMAX=max(WE)
WEMIN=min(WE)
WEmedia=mean(WE)

WC=((pi*VSWC*PMEDIA.*sin(BETA-GAMMA).*(sqrt(1-b.^2)-1)))./b %TRABAJO
COMPRESION

WCMAX=max(WC)
WCMIN=min(WC)
WCmedia=mean(WC)

```

```

W=WC+WE
WMAX=max(W)
WMIN=min(W)
Wmedia=mean(W)
%FUERZA DEL GAS
FGAS=(pi*Dd^2*m*R*0.25)./(((VCLC+VSWC*0.5*(1+cos((TETA*pi/180)+GAMMA)))/TK)+(
VR*log(TH/TK))/(TH-
TK)+((VCLE+VSWE*0.5*(1+cos((TETA*pi/180)+GAMMA+ALFA)))/TH))
FGASMAX=max(FGAS)
FGASMIN=min(FGAS)
FGASmedia=mean(FGAS)

%TORSION
LBD=0.05
RD=0.02
TOR=(FGAS*RD.*sin(TETA*pi/180)).*(1+RD*cos(TETA*pi/180)/LBD)

%final
%-----
plot(TETA,p)
grid on
title('Ángulo vs presión')

%-----
Rm=2
rho=1.32675
e=Rm*rho
%alfa2=acos(

%-----
figure (2)
plot(TETA,PMEDIA)
grid on
title('Ángulo vs presión media')
figure (3)
plot(TETA,WE)
hold on
grid on
title('Ángulo vs trabajo de expansión y comprensión')
plot(TETA,WC)
grid on
figure (4)
plot(TETA,W)
grid on
title('Ángulo vs trabajo')
figure (5)
plot(TETA,FGAS)
title('FUERZA DEL GAS')
xlabel('Ángulo de manivela(°)')
ylabel ('Fuerza (N)')
grid on
figure (9)
plot(TETA,p)
title('PRESIÓN DEL GAS')
xlabel('Ángulo de manivela(°)')
ylabel ('Presión del gas (Mpa)')
grid on

```

```

title('Ángulo vs fuerza del gas')
figure (6)
plot(TETA,TOR)
title('TORSIÓN DEL GAS')
xlabel('Ángulo de manivela(°)')
ylabel ('Torsión del gas (N.m)')
grid on
figure (7)
grid on
plot(TETA,WC)
plot(TETA,WE)
title('Ángulo vs trabajo expansión y compresión')
figure (8)
plot(TETA,FGAS)
plot(TETA,TOR)
grid on

```

3. Script Matlab Análisis de fuerzas inerciales.

```

clear; clc; %close all
% MIGUEL
%This function computes the force reaction of the mechanism
% 1.0 Loading data
Data = xlsread('datos extraidos');
ntheta = size(Data,1);%tamaño de datos
% 2.0 Input
% Data for the column vector F associated with the inertial force
m2 = 80.03;           % mass [gr]
m3 = 20.79;           % mass [gr]
m4 = 18.45+242;       % mass [gr]
Ig2 = 11752.2;        % Inercia 2 [gr/mm^2]
Ig3 = 15204.85;       % Inercia 2 [gr/mm^2]
alpha2 = 0;           % [rad/seg2]
alpha3 = Data(:,4);  alpha3 = permute(alpha3,[3 2 1]); % [rad/seg2]
Fpx = Data(:,19);    Fpx = permute(Fpx,[3 2 1]); % [gr*mm/seg^2]
Fpy = Data(:,18);    Fpy = permute(Fpy,[3 2 1]); % [gr*mm/seg^2]
ag2x = Data(:,13);   ag2x = permute(ag2x,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
ag2y = Data(:,14);   ag2y = permute(ag2y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
ag3x = Data(:,15);   ag3x = permute(ag3x,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
ag3y = Data(:,16);   ag3y = permute(ag3y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
ag4y = Data(:,17);   ag4y = permute(ag4y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
% Data for the Matrix H associated with "Radios de Giro"
mu = 0*ones(1,1,ntheta);
R12x = Data(:,5);    R12x = permute(R12x,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R12y = Data(:,6);    R12y = permute(R12y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R32x = Data(:,7);    R32x = permute(R32x,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R32y = Data(:,8);    R32y = permute(R32y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R23x = Data(:,9);    R23x = permute(R23x,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R23y = Data(:,10);   R23y = permute(R23y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R43x = Data(:,11);   R43x = permute(R43x,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
R43y = Data(:,12);   R43y = permute(R43y,[3 2 1]); % [1 * 1 * ntheta2]
% Creating Matrix F

```

```

F = [m2*ag2x;...
     m2*ag2y;...
     Ig2*alpha2*ones(1,1,ntheta);...
     m3*ag3x;...
     m3*ag3y;...
     Ig3*alpha3;...
     -Fpx;...
     m4*ag4y-Fpy];

% Creating Matrix H
H = [ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  ones(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta);...
     zeros(1,1,ntheta)  ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta);...
     -R12y  R12x  -R32y  R32x
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  ones(1,1,ntheta);...
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  -ones(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta)  ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta);...
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  -
     ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta);...
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  R23y  -R23x
     -R43y  -R43x  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta);...
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta)  -ones(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  ones(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta);...
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)
     zeros(1,1,ntheta)  zeros(1,1,ntheta)  -ones(1,1,ntheta)  mu
     zeros(1,1,ntheta)];

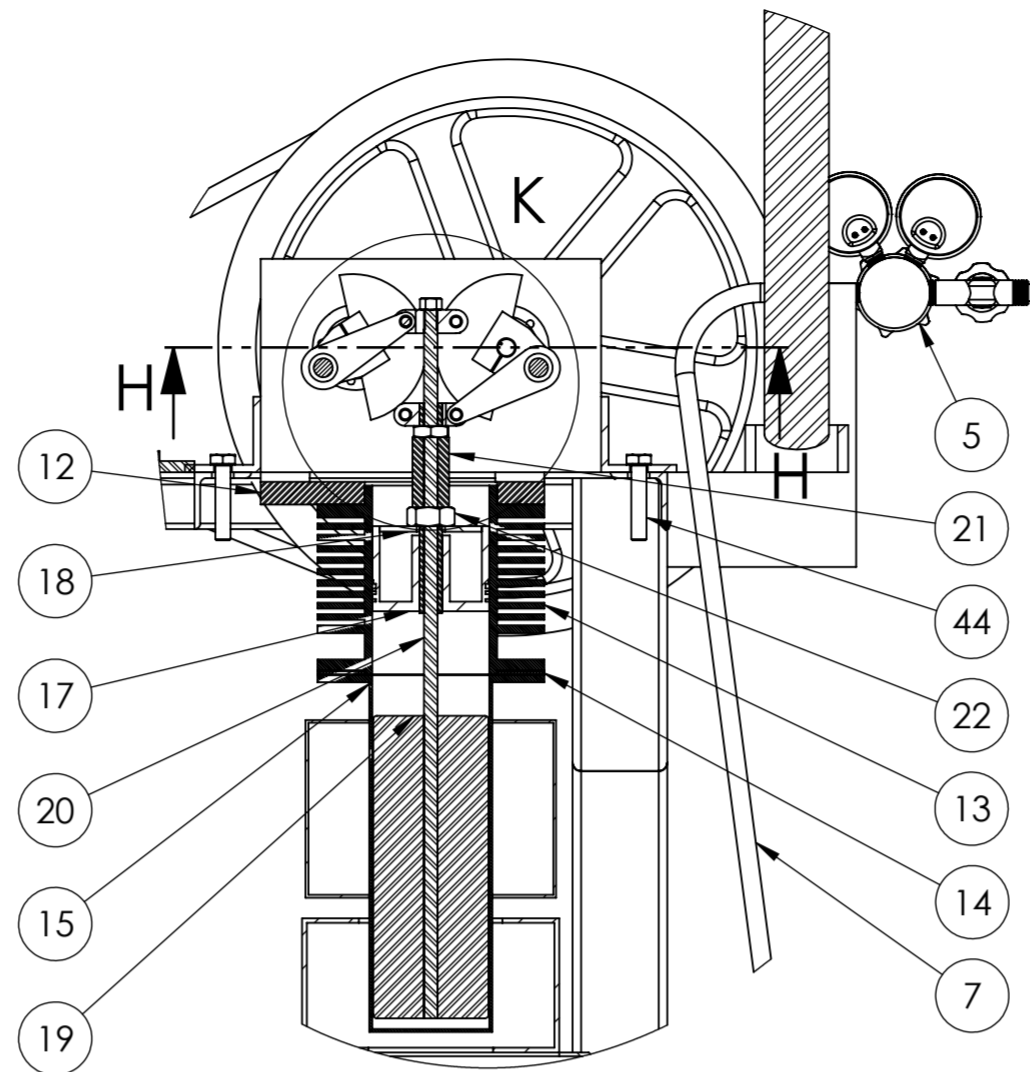
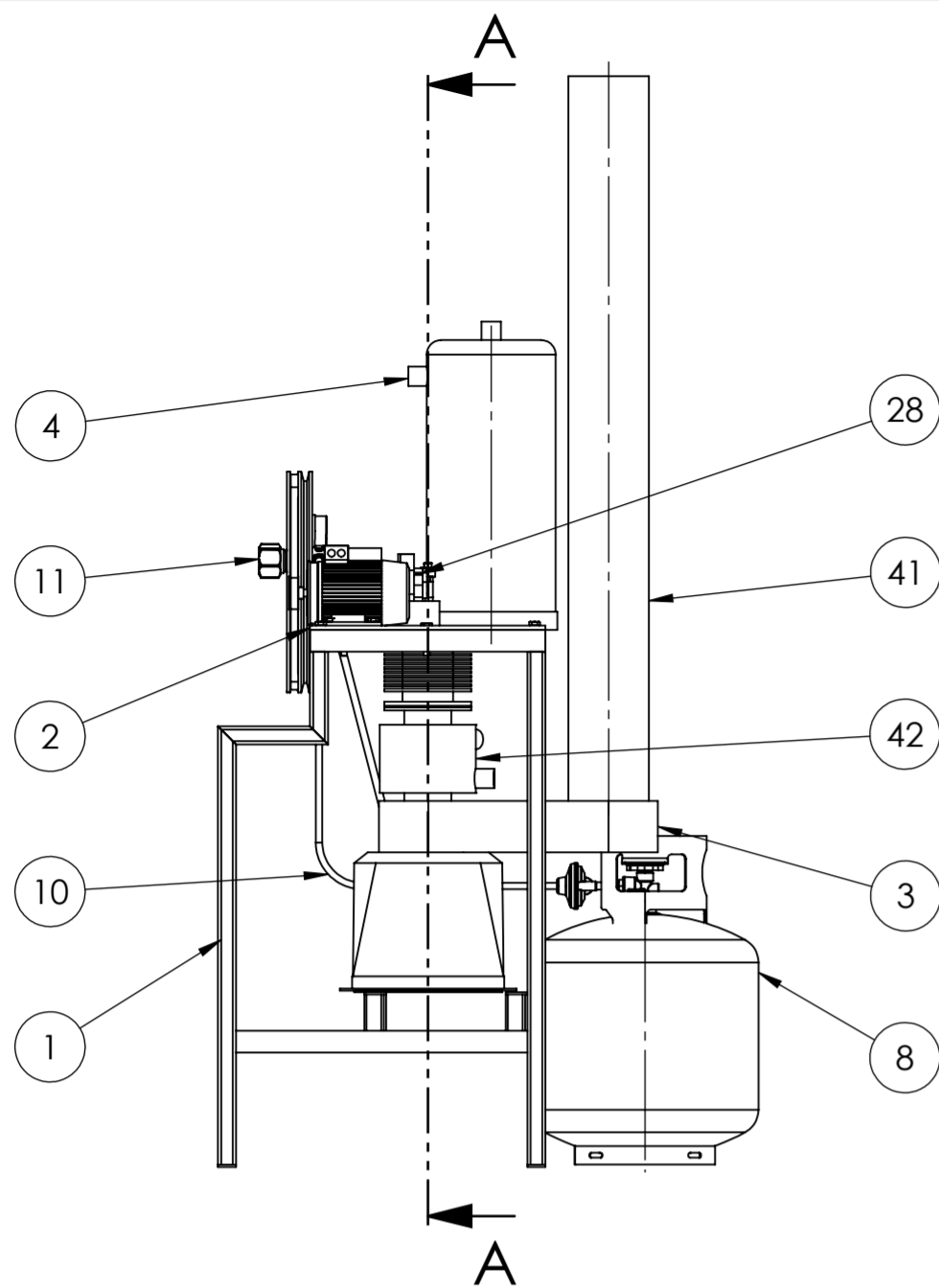
% Solving the system
R = nan(8,1,ntheta);

for i = 1:ntheta
    R(:, :, i) = H(:, :, i)\F(:, :, i)
end

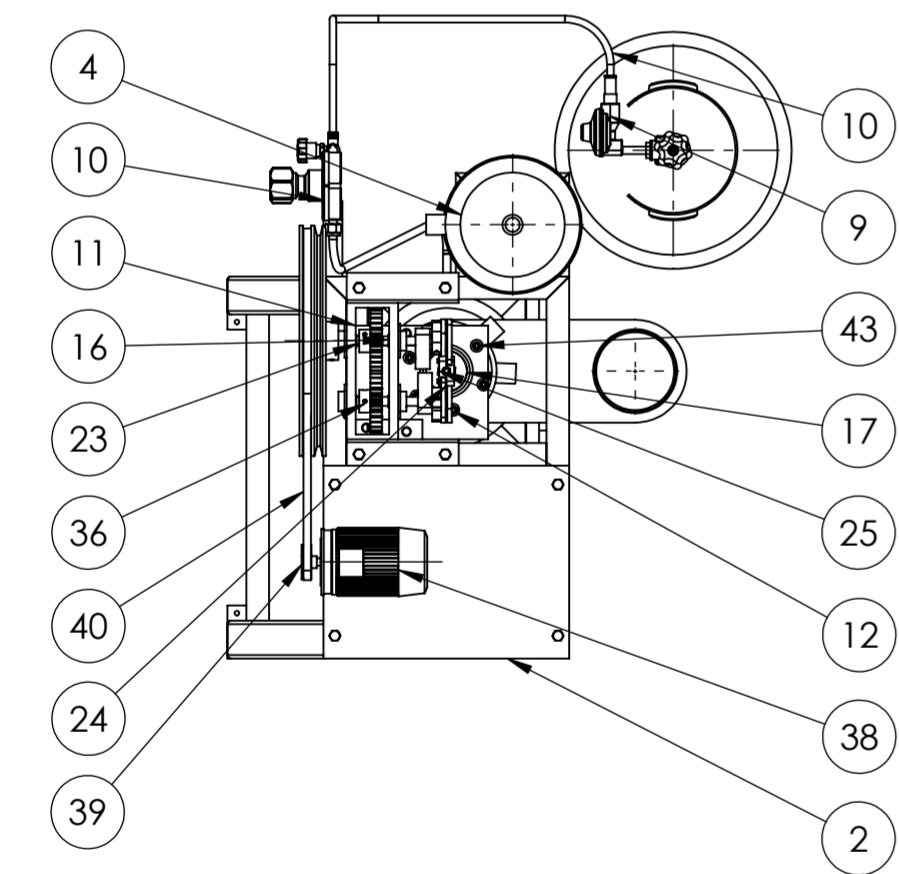
```

Anexo C

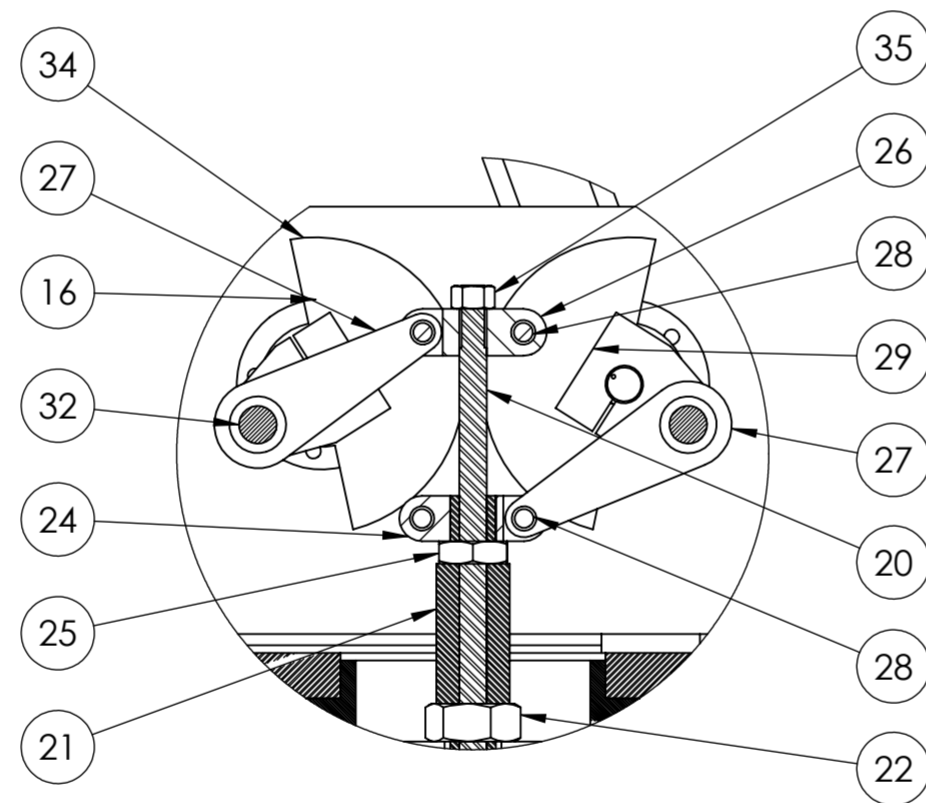
PLANOS DE DISEÑO



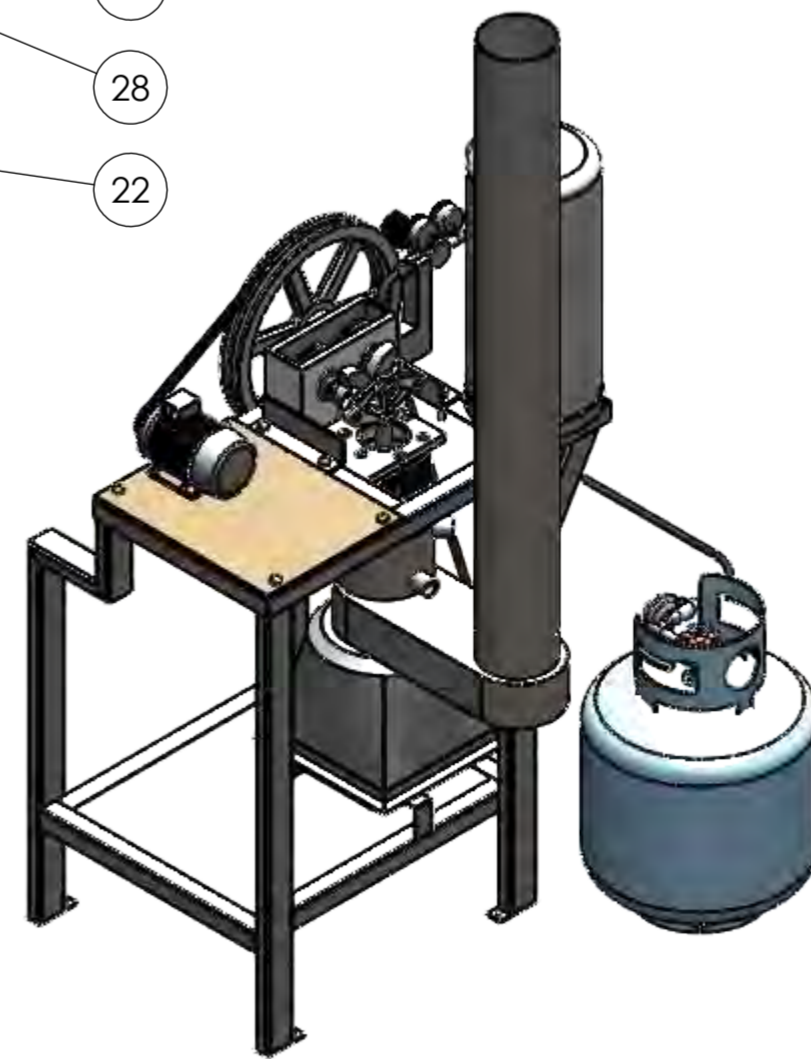
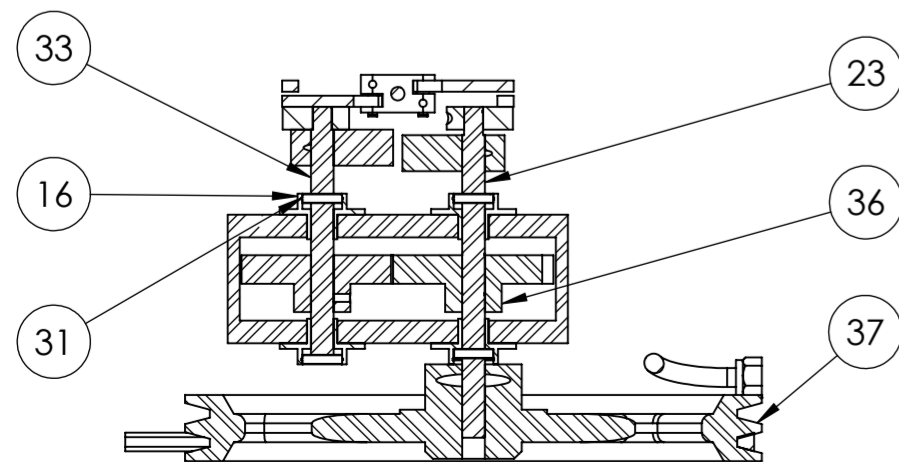
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 4



SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 4

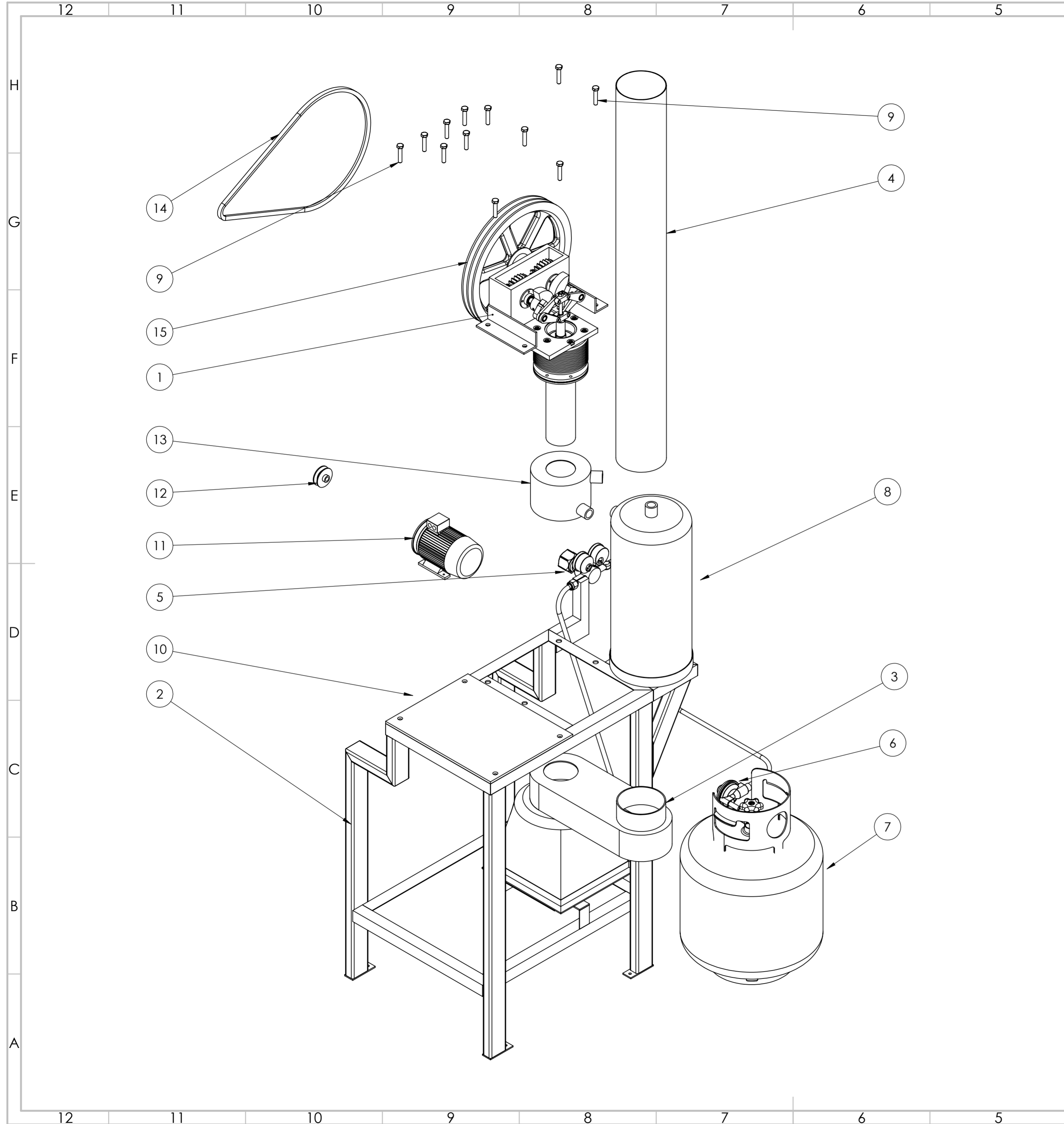


DETALLE K
ESCALA 1 : 2



N.º DE ELEM.	DESIGNACIÓN	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
1	Estructura soporte	N	1
2	Soporte de madera		1
3	Soporte quemador		1
4	Tanque de agua		1
5	Regulador de Gas		1
7	Manguera de gas 01		1
8	Tanque de gas propano		1
9	Reguador de Presión		1
10	Manguera de gas 02		1
11	Caja de engranes armado		1
12	Estructura soporte		1
13	soporte quemador		1
14	Empaque		1
15	Quemador		1
16	Chumacera eje		4
17	Pistón		1
18	Man+ometro		1
19	Regulador de presión		1
20	Varilla de oscilación		1
21	Varilla de regulación		1
22	Tuerca hexagonal		1
23	EJE 1		1
24	Tanque de agua		1
25	Hexagon Thin Nut ISO 4035 - M12 - N		1
26	Acople Superior		1
27	Soporte de generador		4
28	Generador		4
29	CIGUEÑAL		2
30	ISO 1224 - 171015 - R,20,SI,NC,20_68		2
31	ISO 15 RBB - 1812 - 14,SI,NC,14_68		4
32	Eje biela		2
33	Faja de Transmisión		1
34	CONTRAPESO		2
35	Hexagon Nut ISO 4034 - M6 - N		1
36	ENGRANAJE DIENTES RECTOS		2
37	POLEA-VOLANTE		1
38	Motor-14BG183_180M_2P-IMB3B5-Lonne		1
39	Polea Generador		1
40	Faja		1
41	Tubo de Escape		1
42	CUBIERTA ENFRIADOR		1
43	ISO 4762 M6 x 10 - 10N		6
44	ISO 4014 - M8 x 40 x 22-N		12

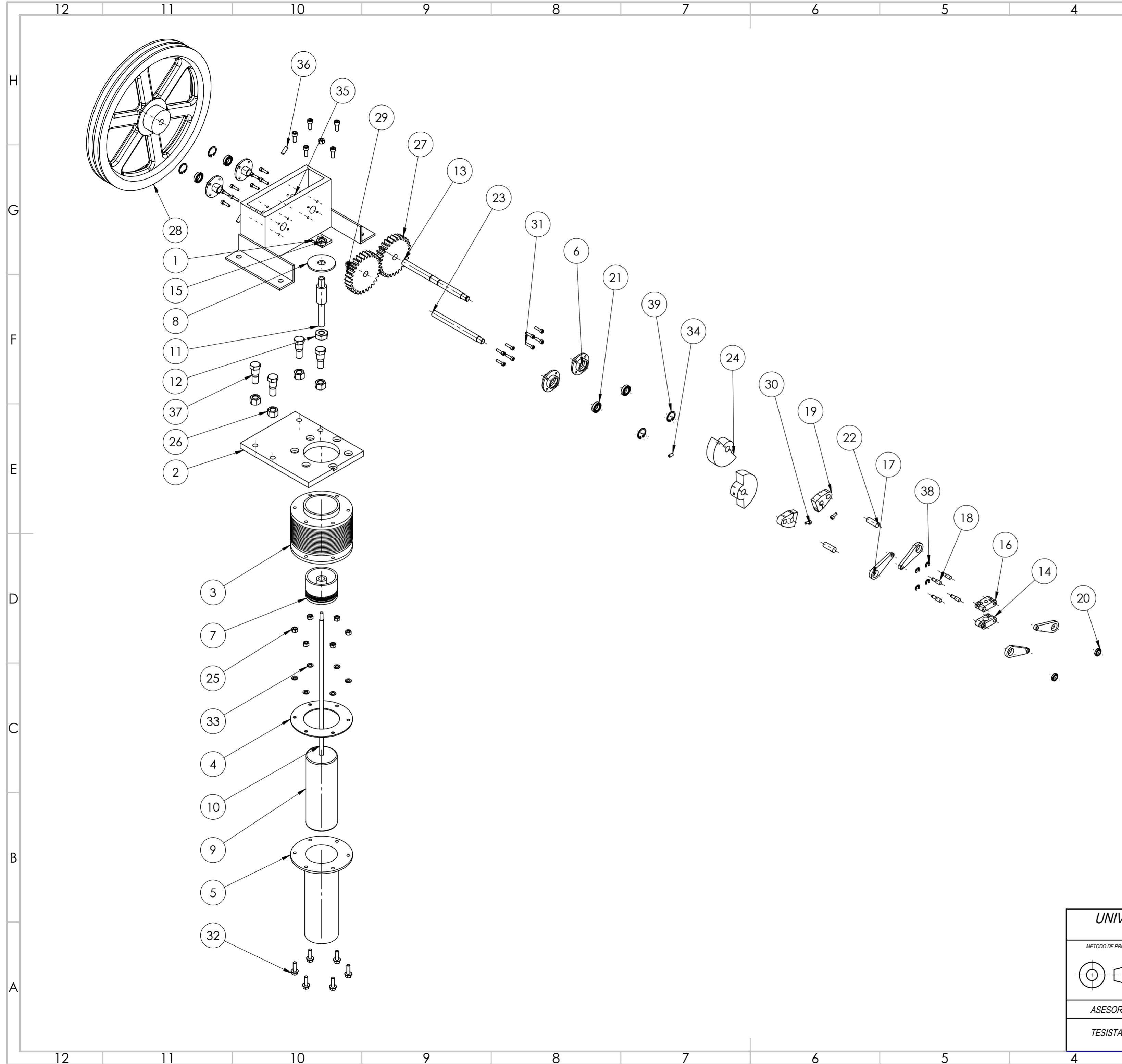
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA			
METODO DE PROYECCIÓN	TESIS: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA: 1:10	
TÍTULO:	LISTADO DE COMPENETES	ESCALA: Milímetros	
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy	FECHA: 2023.09.25	
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772
	CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785
			LÁMINA: A2.TES01



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Caja de engranes armado		1
2	Estructura soporte		1
3	soporte quemador		1
4	Quemador		1
5	Man+ometro		1
6	Regulador de presión		1
7	Balon de gas propano		1
8	Tanque de agua		1
9	Hexagon Thin Nut ISO 4035 - M12 - N		1
10	Soporte de generador		4
11	Generador		4
12	Polea Generador		2
13	Cubierta enfriador		4
14	Faja de Transmisión		1
15	POLEA-VOLANTE		1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

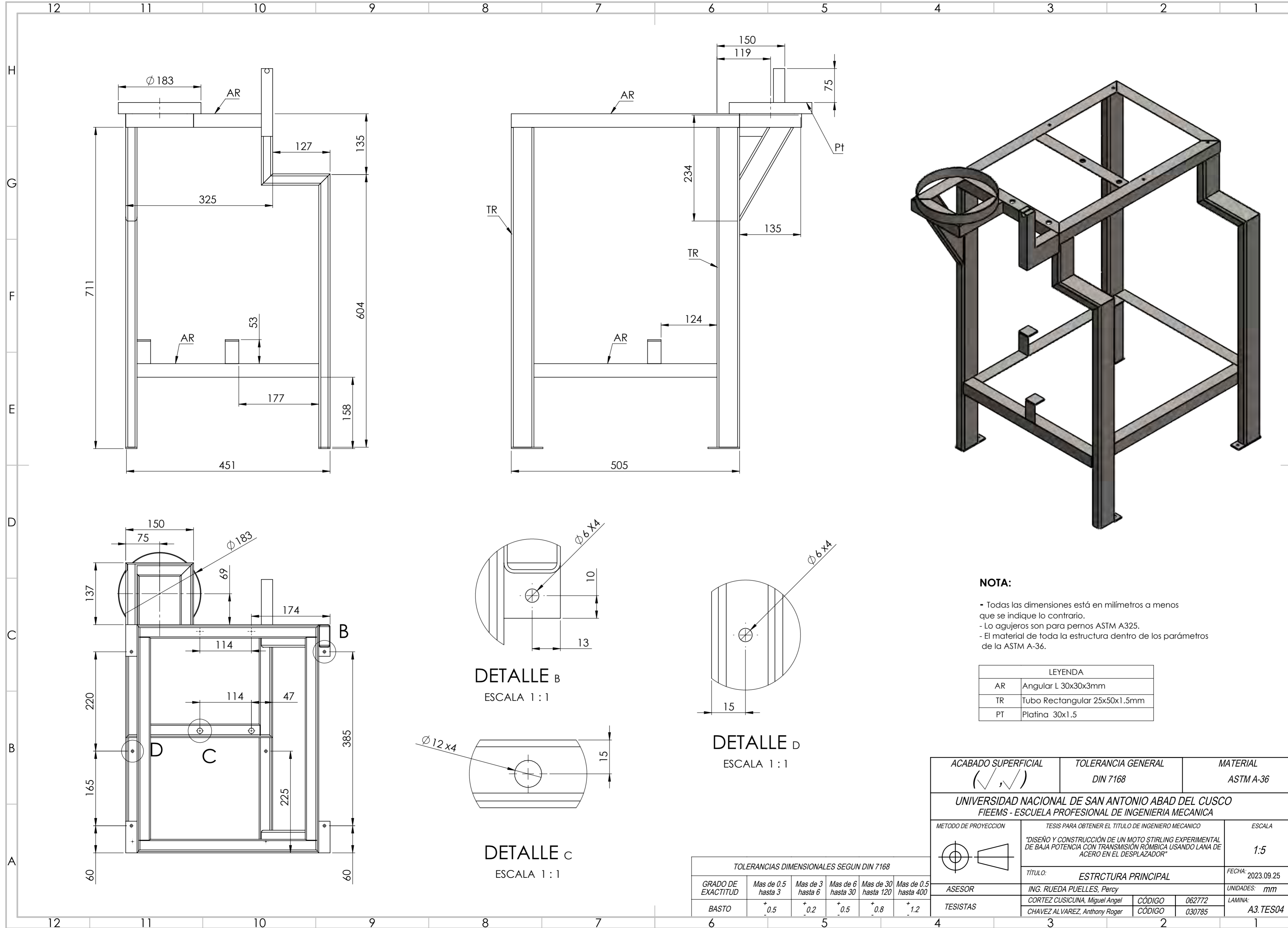
METODO DE PROYECCIÓN	TESIS: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA: 1:10
	TÍTULO: LISTADO DE COMPENETES	ESCALA: Milímetros
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy	FECHA: 2023.09.25
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO 062772 CÓDIGO 030785
		LÁMINA: A2.TES02



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Caja de engranes armado	1
2	Estructura soporte	1
3	sopORTE quemador	1
4	Empaque	1
5	Quemador	1
6	Chumacera eje	4
7	Pistón	1
8	Man+ometro	1
9	Regulador de presión	1
10	Varilla de oscilación	1
11	Varilla de regulación	1
12	Hexagon Nut DIN 6915 - M12 - N	1
13	EJE 1	1
14	Tanque de agua	1
15	Hexagon Thin Nut ISO 4035 - M12 - N	1
16	Acople Superior	1
17	SopORTE de generador	4
18	Generador	4
19	CIGUEÑAL	2
20	ISO 1224 - 171015 - R,20,SI,NC,20_68	2
21	ISO 15 RBB - 1812 - 14,SI,NC,14_68	4
22	Eje biela	2
23	Faja de Transmisión	1
24	CONTRAPESO	2
25	Hexagon Nut ISO 4034 - M6 - N	7
26	Hexagon Nut ISO 4034 - M12 - N	4
27	ENGRANAJE DIENTES RECTOS	2
28	POLEA-VOLANTE	1
29	EN ISO 4762 M6 x 16 - 16N	6
30	EN ISO 4762 M4 x 10 - 10N	2
31	EN ISO 4762 M4 x 16 - 16N	16
32	DIN 6921 - M6 x 20 x 20-N	6
33	Spring washer DIN 128 - A6	6
34	DIN 916 - M5 x 10-N	2
35	DIN 916 - M4 x 8-N	4
36	DIN 916 - M6 x 16-N	2
37	DIN 7968 - M12x35-W-N	4
38	Lock washer DIN 6799 - 5	4
39	Circlip DIN 472 - 21 x 1	4

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN	TESIS: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA: 1:10
TÍTULO:	VISTA EXPLOSIONADA DE MOTOR	ESCALA: Milímetros
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy	FECHA: 2023.09.25
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO 062772
	CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO 030785
		LÁMINA: A2.TES03



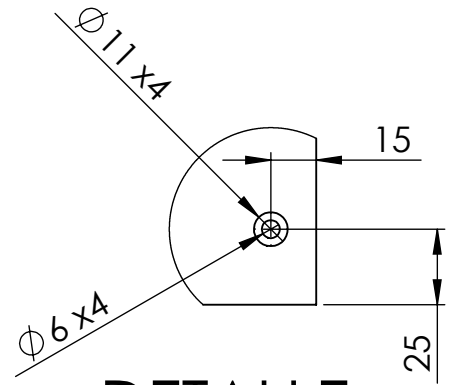
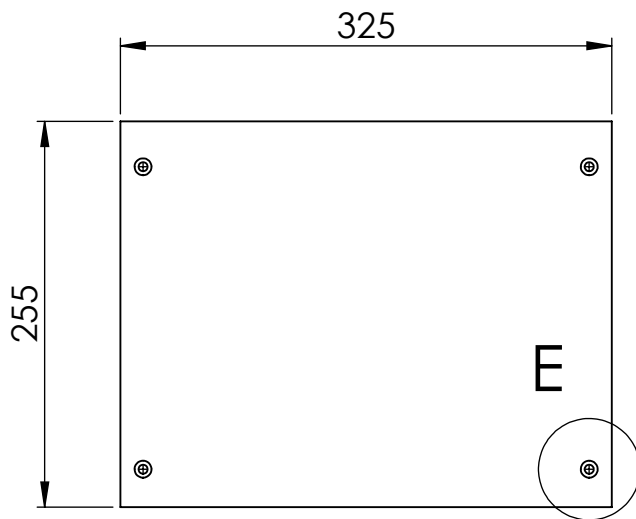
NOTA:

- Todas las dimensiones está en milímetros a menos que se indique lo contrario.
- Lo agujeros son para pernos ASTM A325.
- El material de toda la estructura dentro de los parámetros de la ASTM A-36.

LEYENDA	
AR	Angular L 30x30x3mm
TR	Tubo Rectangular 25x50x1.5mm
PT	Platina 30x1.5

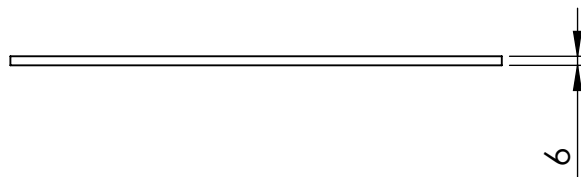
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
(✓, ✓)	DIN 7168	ASTM A-36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA		
METODO DE PROYECCION	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO	ESCALA
	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	1:5
TÍTULO: ESTRUCTURA PRINCIPAL		FECHA: 2023.09.25
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy	UNIDADES: mm
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO
	CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	062772
	CÓDIGO	030785
		LAMINA: A3.TES04

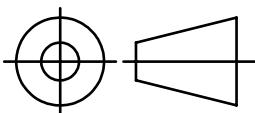
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Mas de 0.5 hasta 3	Mas de 3 hasta 6	Mas de 6 hasta 30	Mas de 30 hasta 120	Mas de 0.5 hasta 400
BASTO	+0.5	+0.2	+0.5	+0.8	+1.2

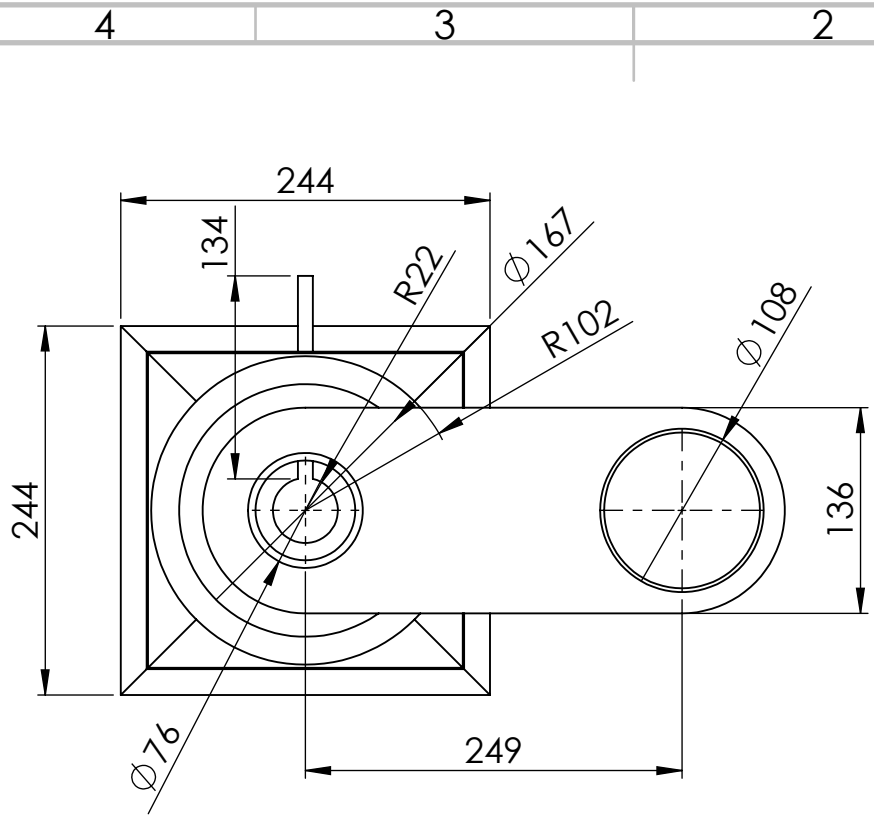


DETALLE E

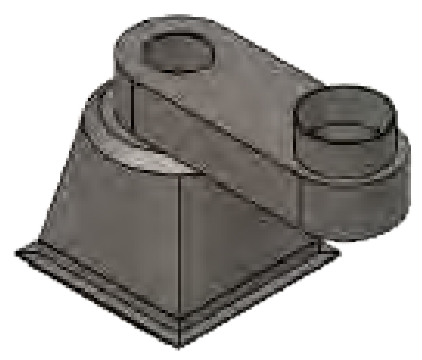
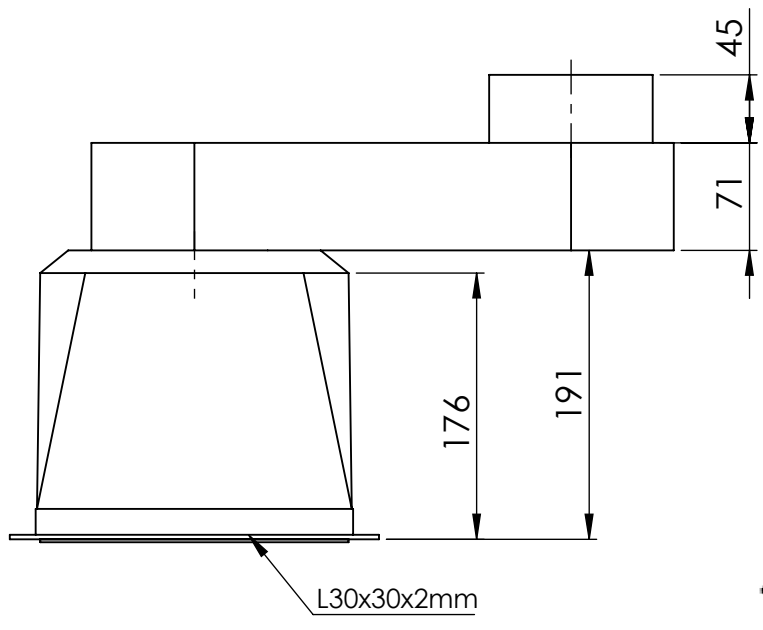
ESCALA 2 : 5



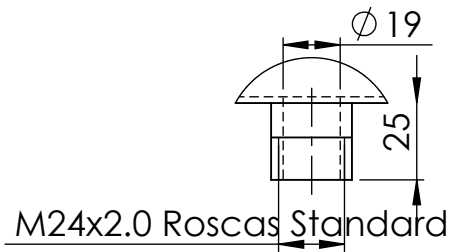
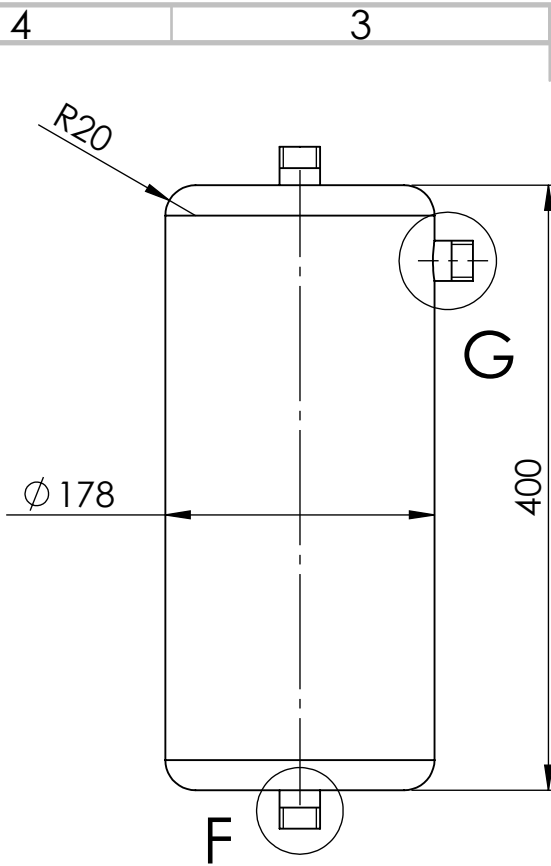
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"		ESCALA 1:5	
		TÍTULO: MADERA SOPORTE		FECHA: 2023.09.25	
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy		UNIDADES: mm	
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772	LAMINA: A4.TES05
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785	



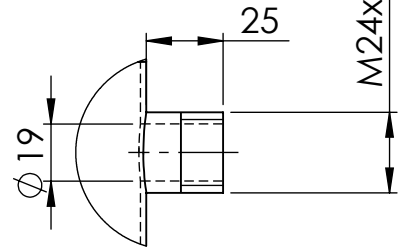
NOTAS:
 - Todas las dimensiones en milímetros.
 - El material utilizado es de plancha de 1.5 mm de espesor - ASTM A-36.
 - La pieza será recubierta con pintura epóxica.



ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:5
		TÍTULO: SOPORTE QUEMADOR			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES06



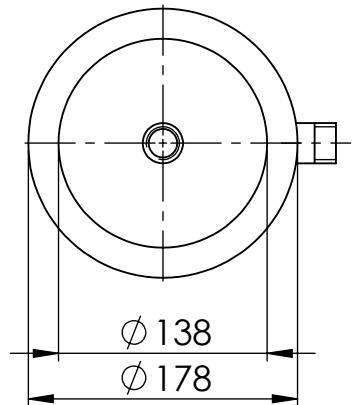
DETALLE F
ESCALA 2 : 5

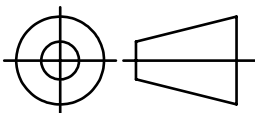


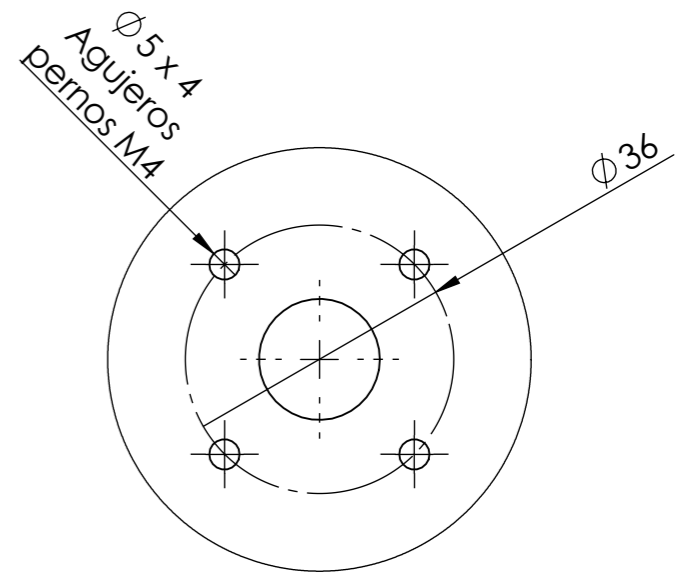
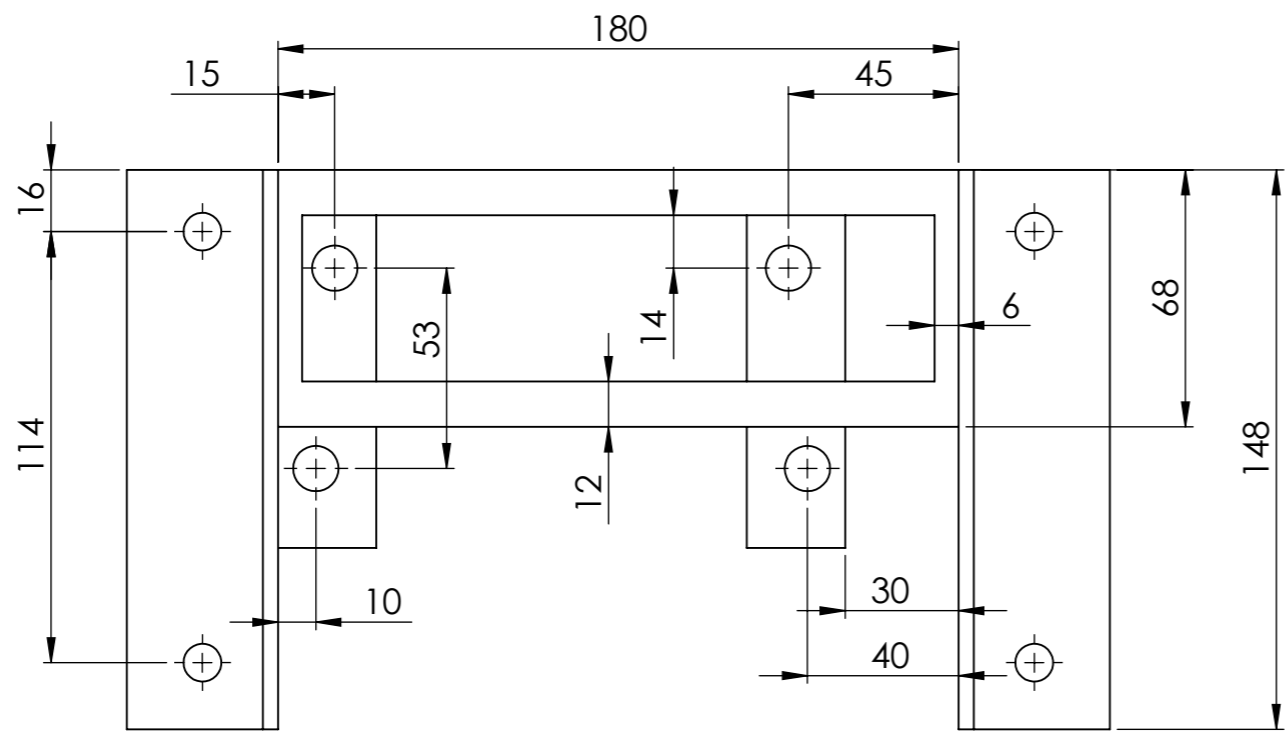
DETALLE G
ESCALA 2 : 5

NOTA:

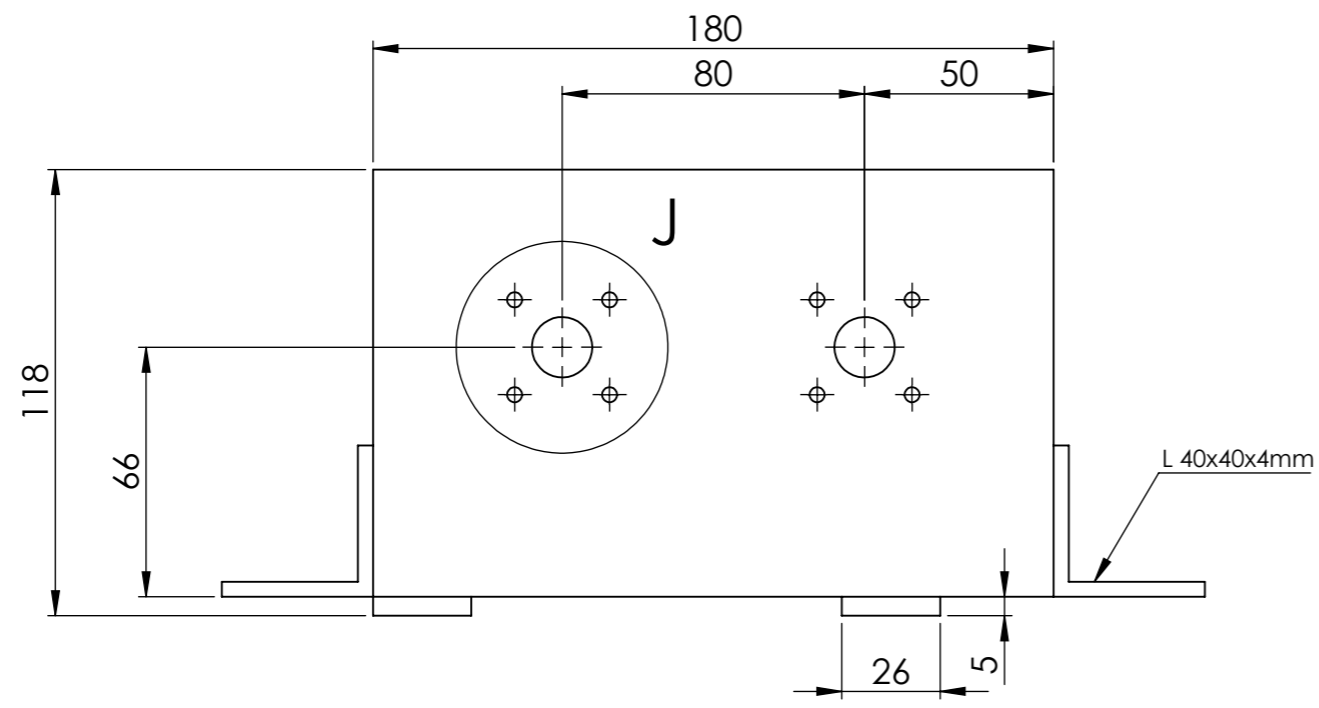
- La pieza esta hecho de plancha de acero ASTM A-36 - e=1.5mm



ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:5
		TÍTULO: TANQUE DE AGUA			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES07

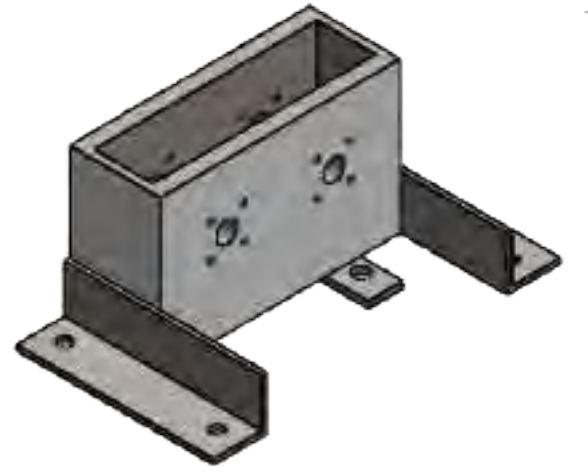


DETALLE J
ESCALA 1 : 1

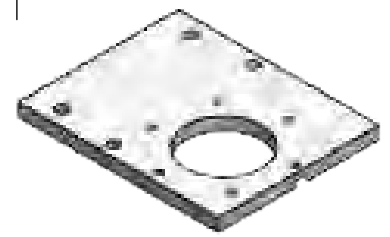
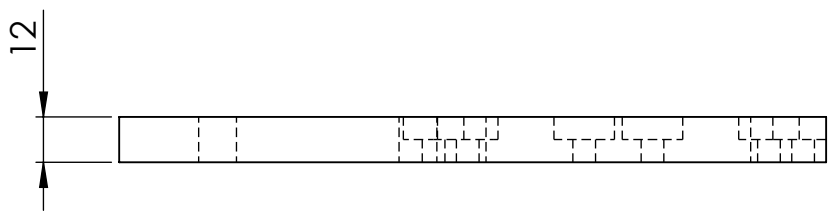
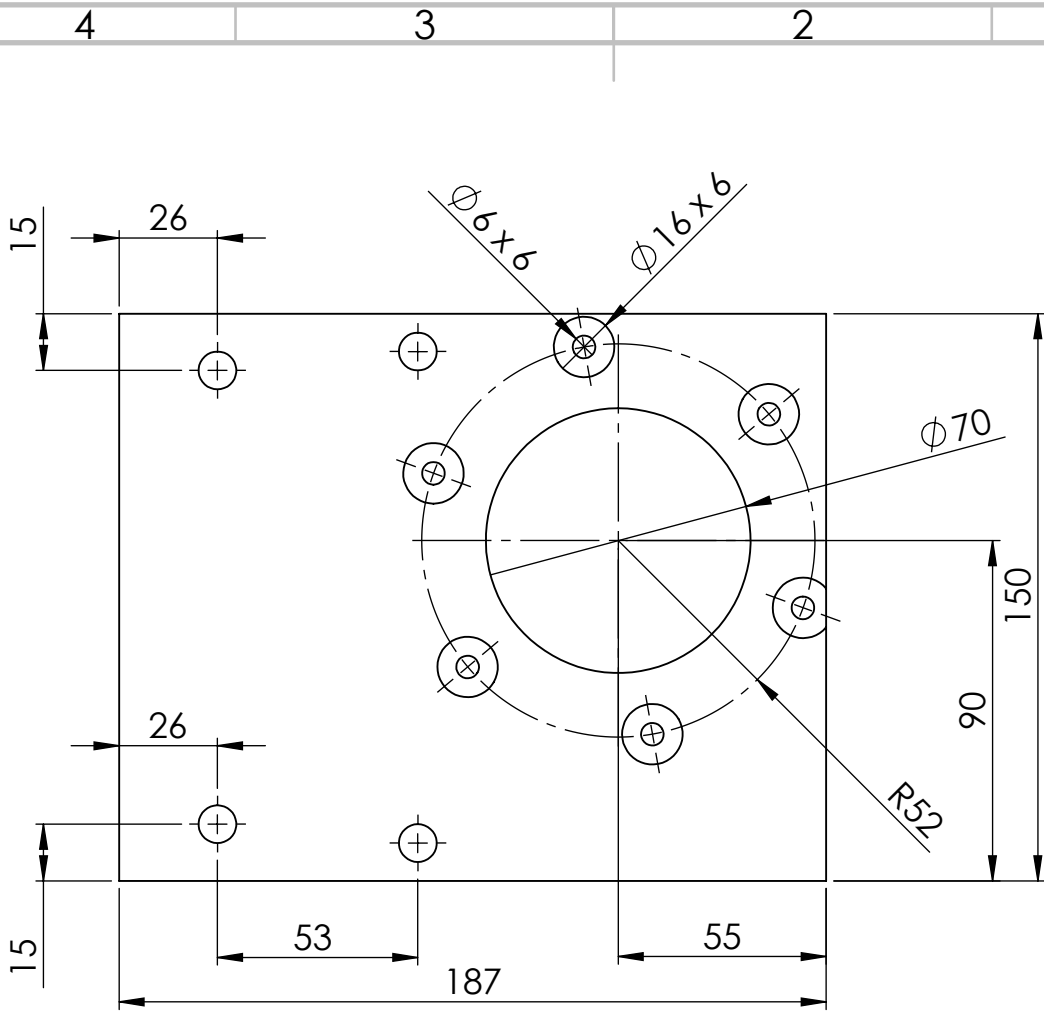


NOTAS:

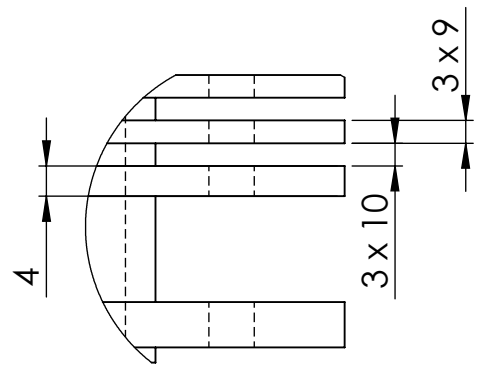
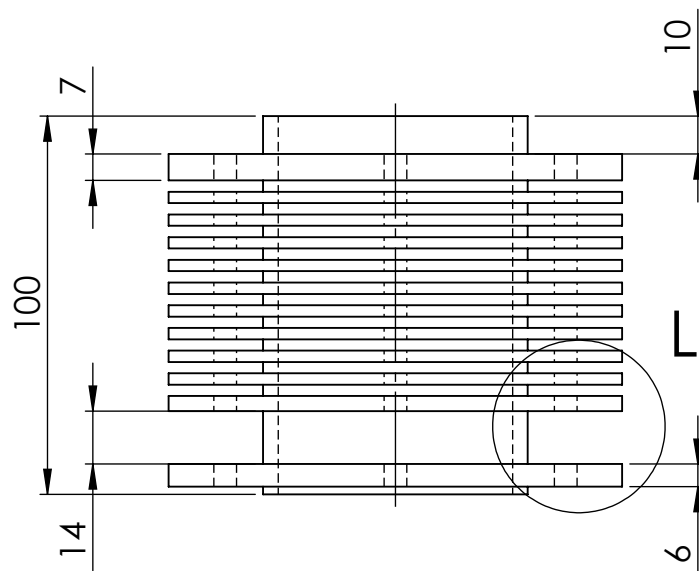
- Todas las dimensiones en milímetros.
- El material utilizado es de plancha de 1.5 mm de espesor - ASTM A-36.
- La pieza será recubierta con pintura epóxica.



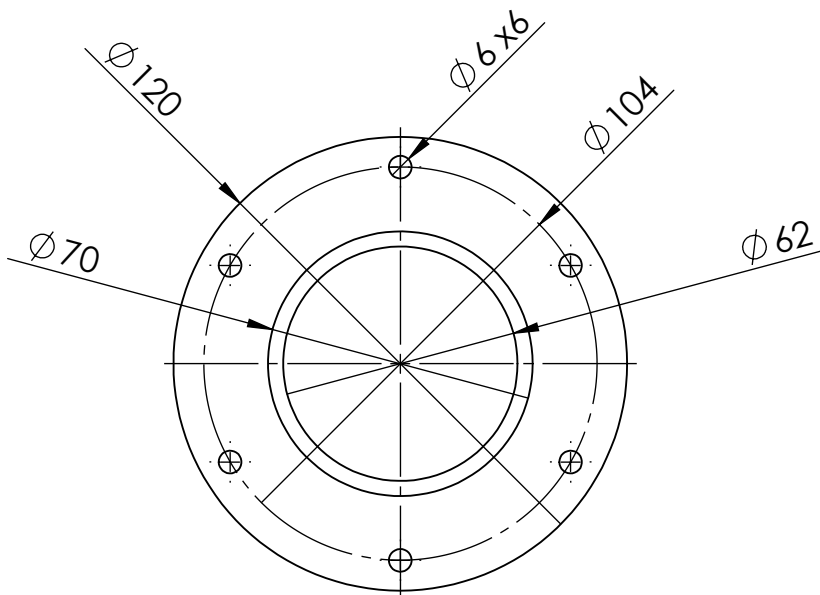
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A-36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA		
METODO DE PROYECCION 	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA 1:2
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy	FECHA: 2023.09.25
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	UNIDADES: mm LAMINA: A3.TES08
	CÓDIGO 062772 030785	



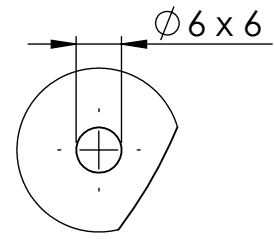
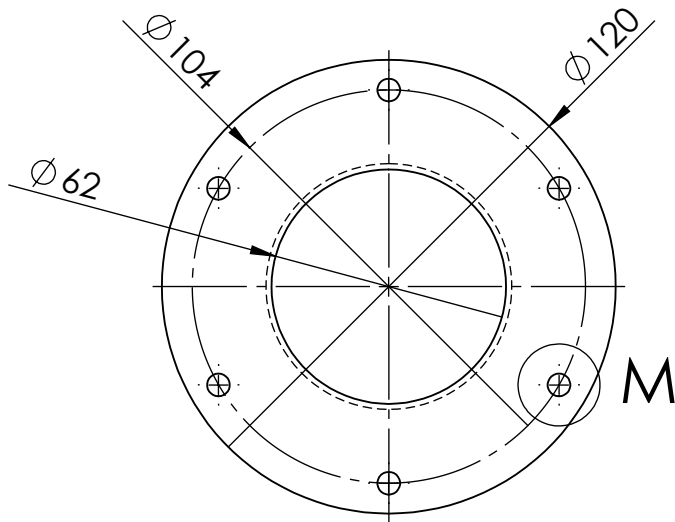
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:2
		TÍTULO: PLACA DE FIJACIÓN			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES09



DETALLE L
ESCALA 1 : 1

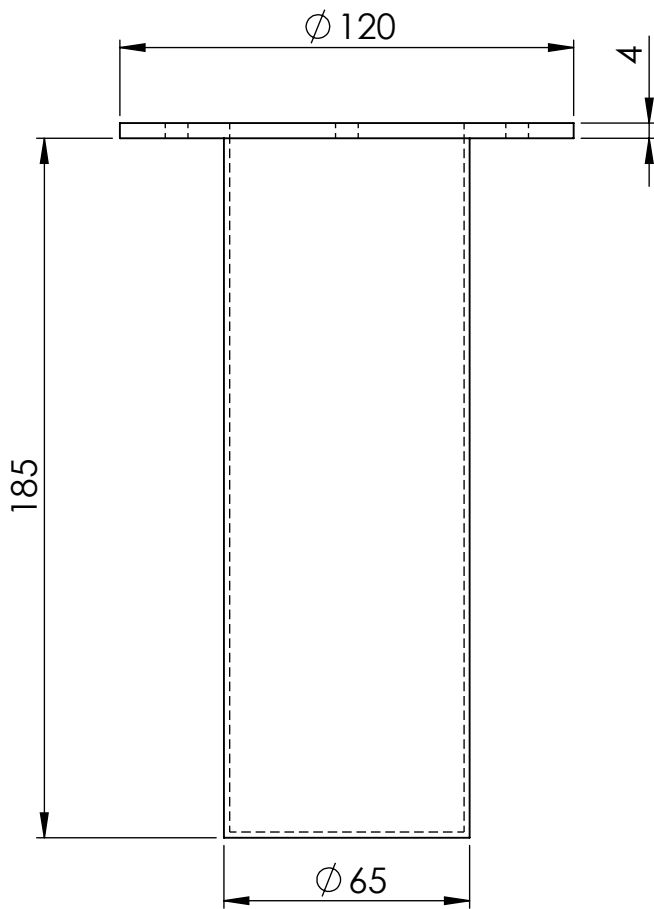


ACABADO SUPERFICIAL (\surd , \surd)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL DIN - 201	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:2
		TÍTULO: CILINDRO			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772	LAMINA: A4.TES10
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785	



DETALLE M

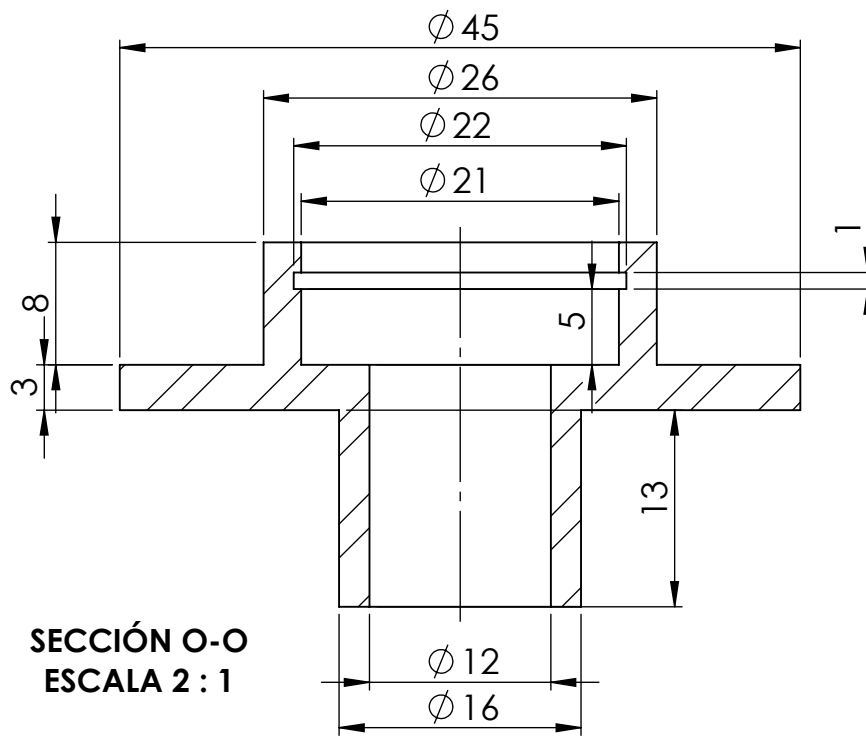
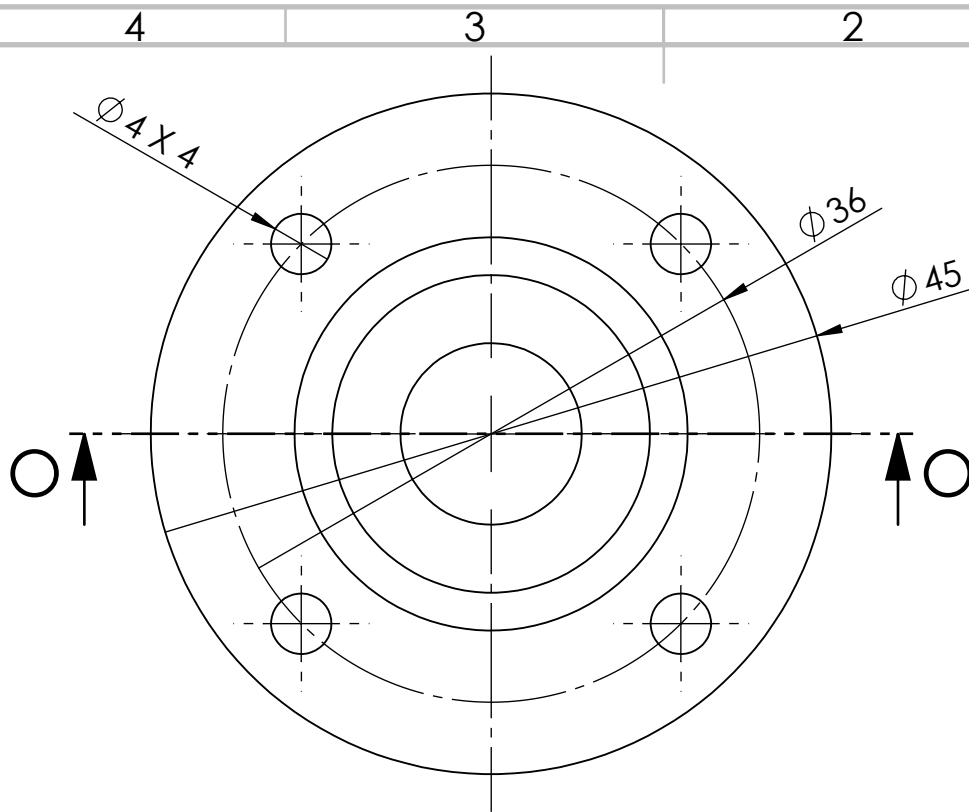
ESCALA 1 : 1



ACABADO SUPERFICIAL (\surd, \surd)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A-36
--	---------------------------------------	------------------------------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

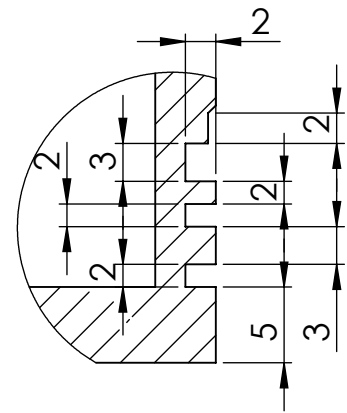
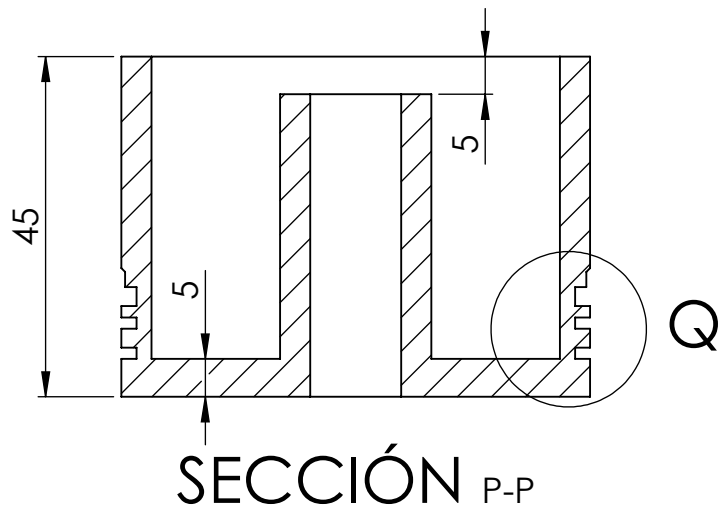
METODO DE PROYECCION 	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA 1:2				
	TÍTULO: CILINDRO DESPLAZADOR	FECHA: 2023.09.25				
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy	UNIDADES: mm				
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	<table border="1"> <tr> <td>CÓDIGO</td> <td>062772</td> </tr> <tr> <td>CÓDIGO</td> <td>030785</td> </tr> </table> LAMINA: A4.TES11	CÓDIGO	062772	CÓDIGO	030785
CÓDIGO	062772					
CÓDIGO	030785					



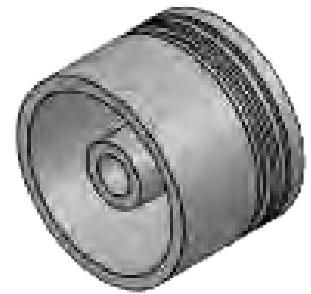
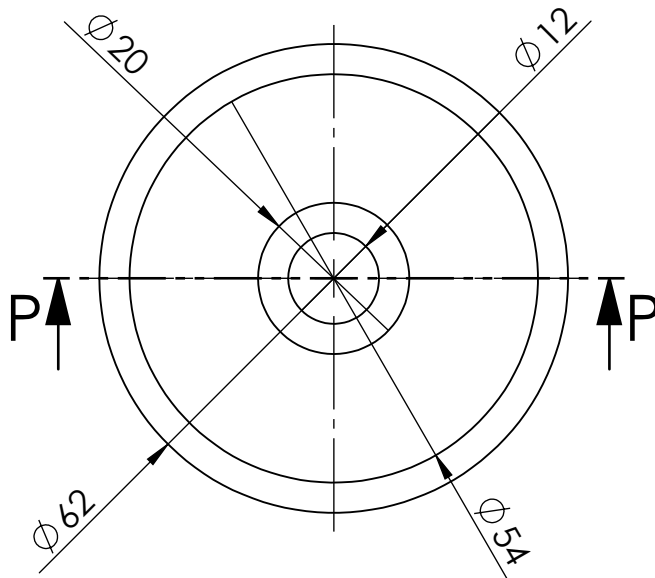
SECCIÓN O-O
ESCALA 2 : 1

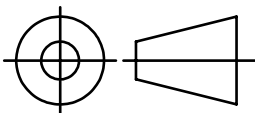


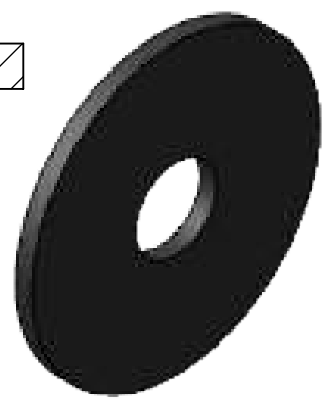
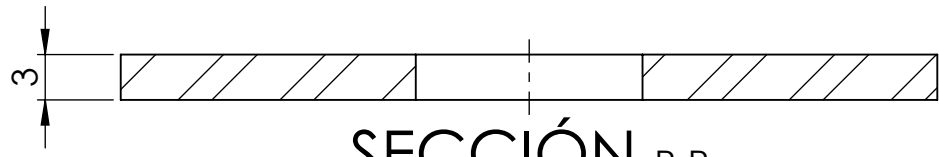
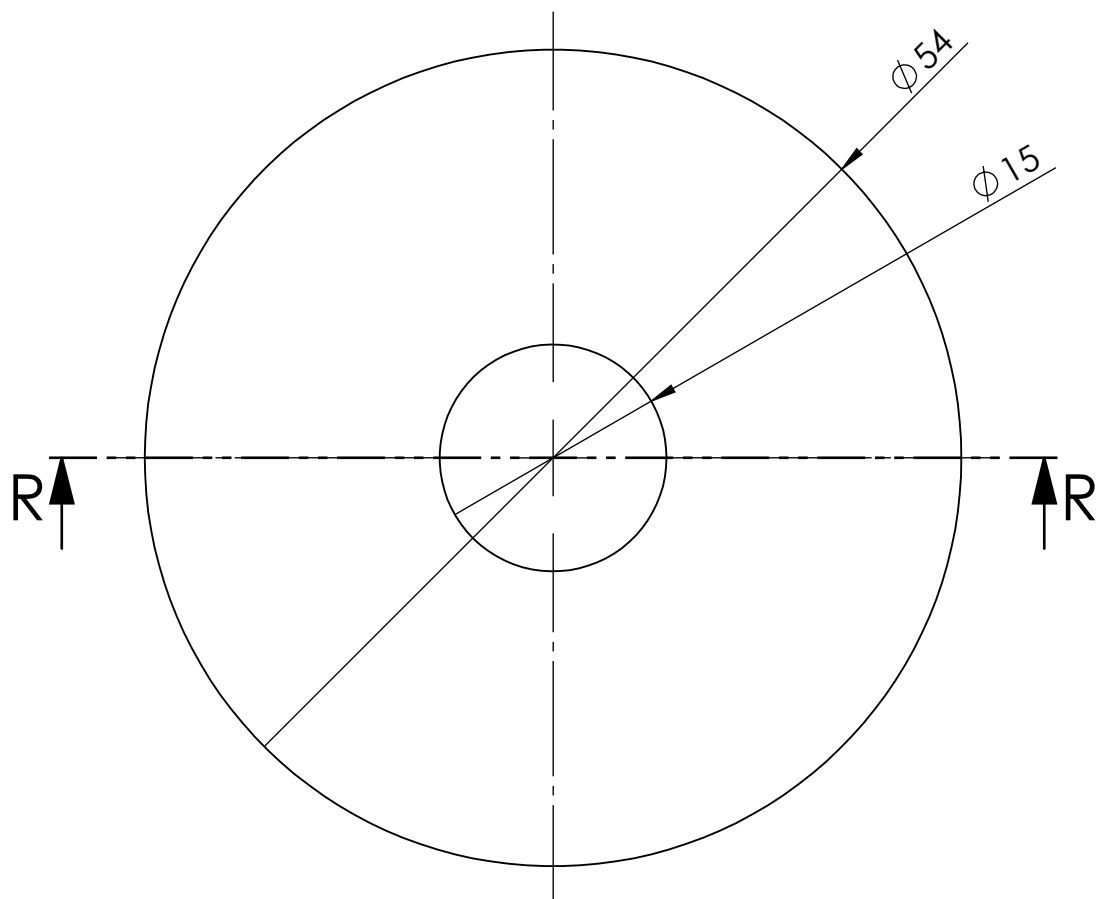
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO		ESCALA	
		"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR" TÍTULO: CHUMACERA		ESCALA 2:1 FECHA: 2023.09.25	
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy		UNIDADES: mm	
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO 062772	
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO 030785	
				LAMINA: A4.TES12	

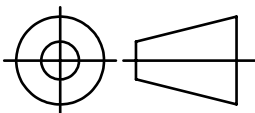


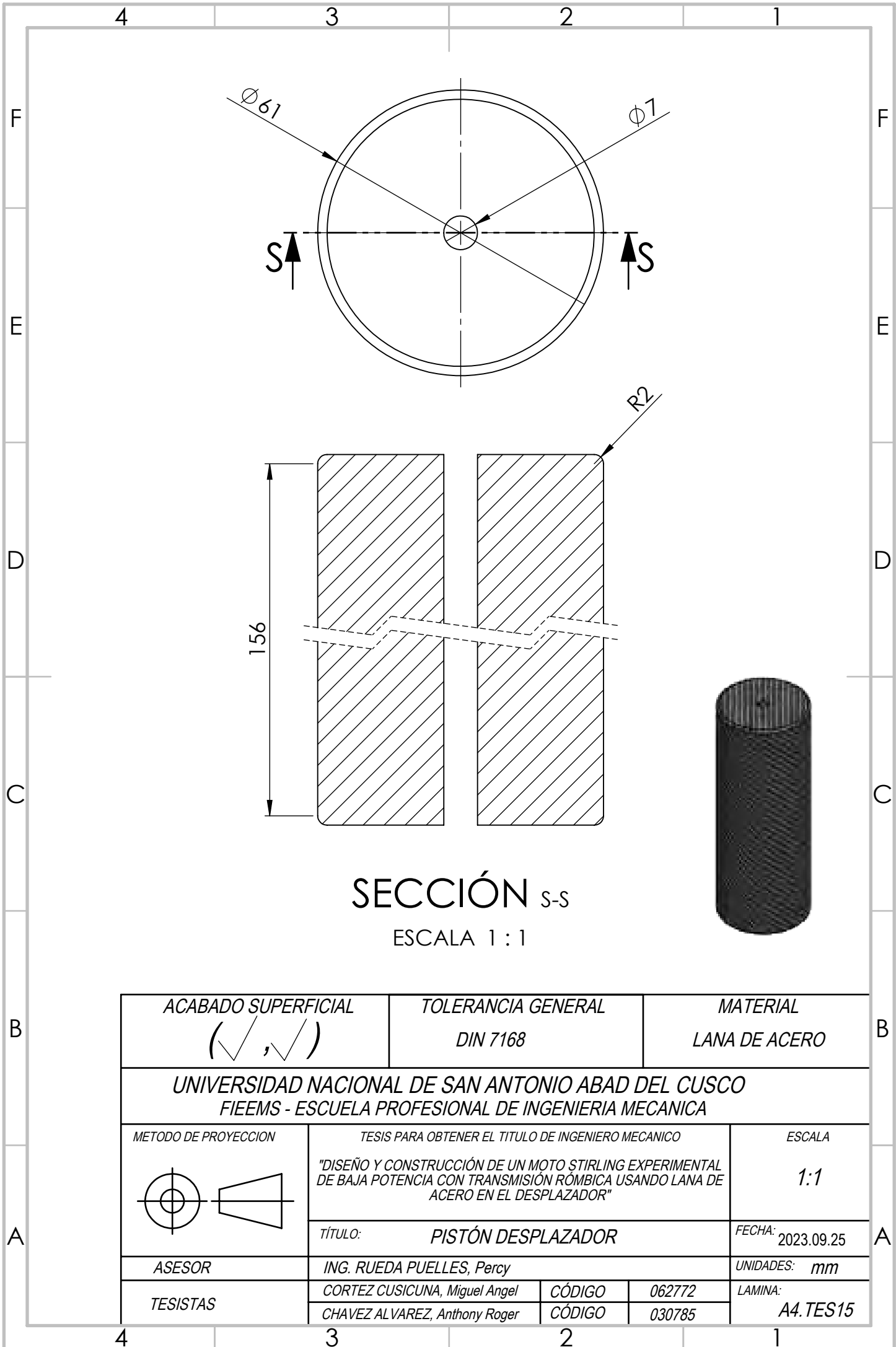
DETALLE Q
ESCALA 2 : 1



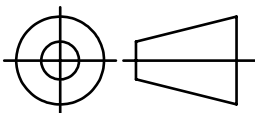
ACABADO SUPERFICIAL (\checkmark , \checkmark)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL DIN-201	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:1
		TÍTULO: PISTÓN			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES13

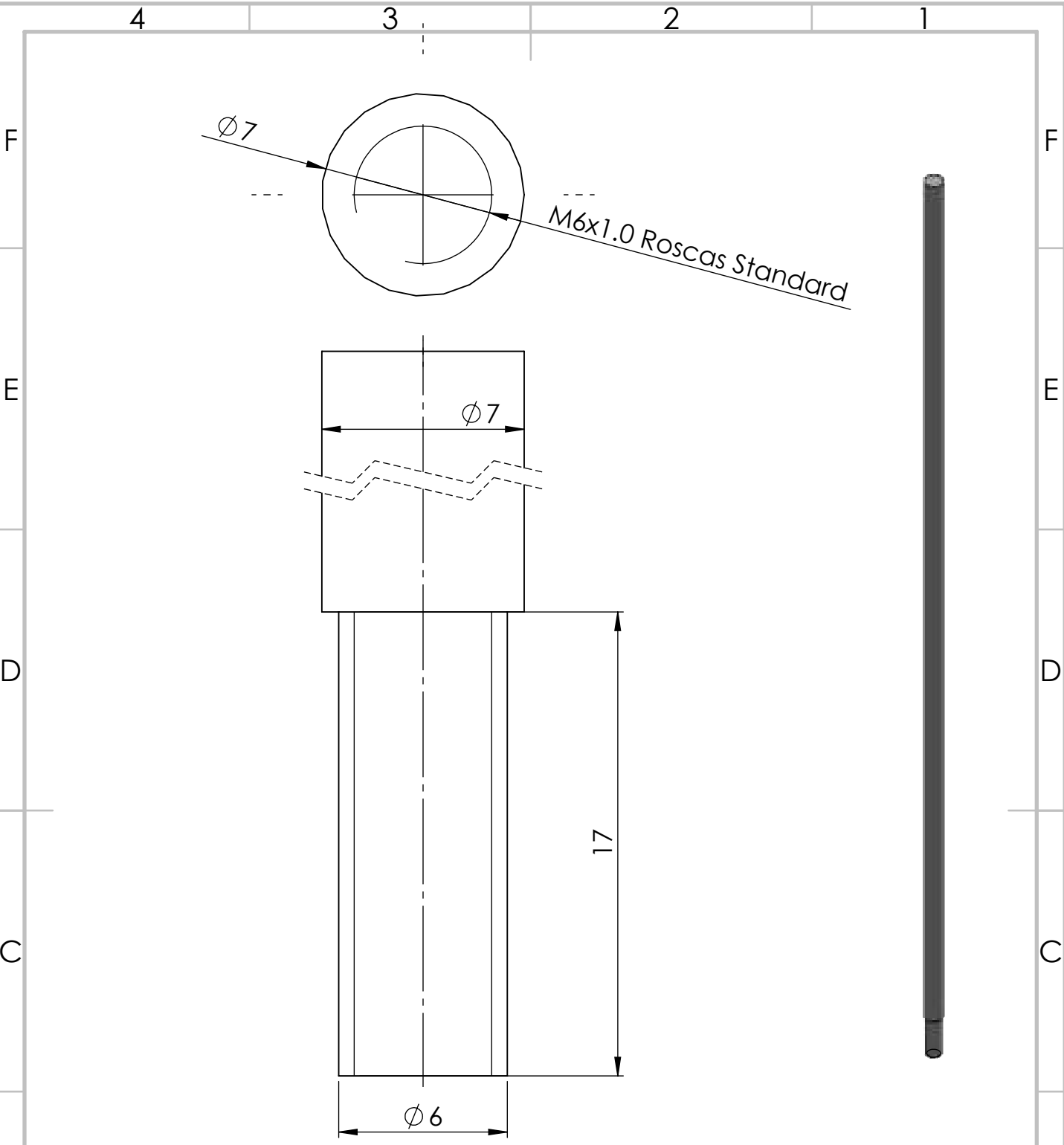


ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 2:1
		TÍTULO: TAPA DE PISTÓN			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772	LAMINA: A4.TES14
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785	

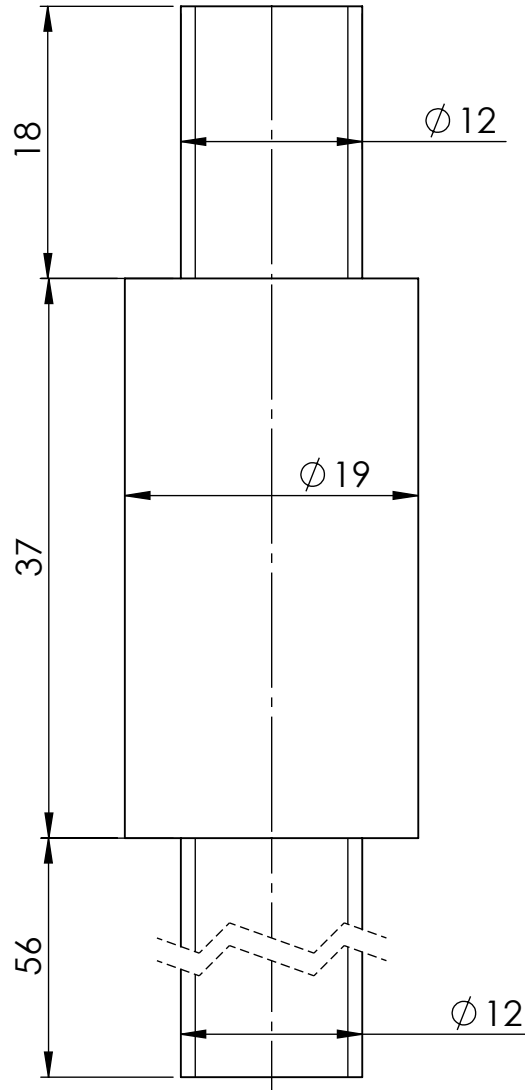
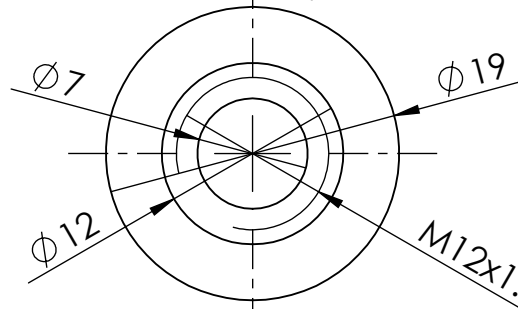


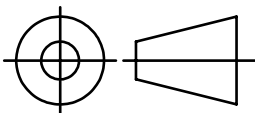
SECCIÓN S-S
ESCALA 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL LANA DE ACERO	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:1
		TÍTULO: PISTÓN DESPLAZADOR			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES15



ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 5:1
		TÍTULO: VARILLA			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772	LAMINA: A4.TES16
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785	

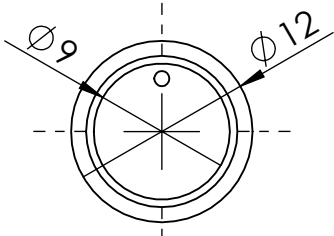


ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 2:1
		TÍTULO: VARILLA ROSCADA			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES17

4 3 2 1

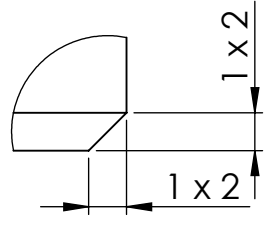
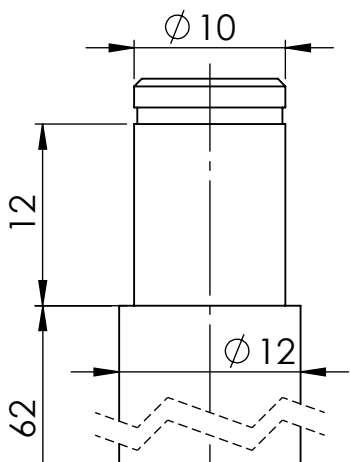
F

F



E

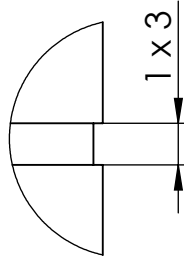
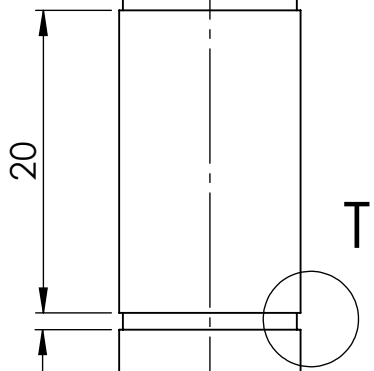
E



DETALLE U
ESCALA 10 : 1

D

D



DETALLE T
ESCALA 5 : 1



C

C

B

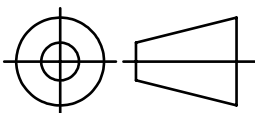
B

ACABADO SUPERFICIAL (\checkmark , \checkmark)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A-36
--	--------------------------------	-----------------------

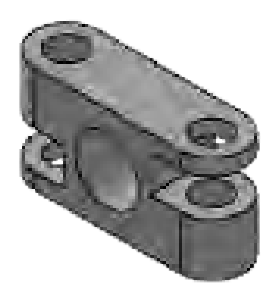
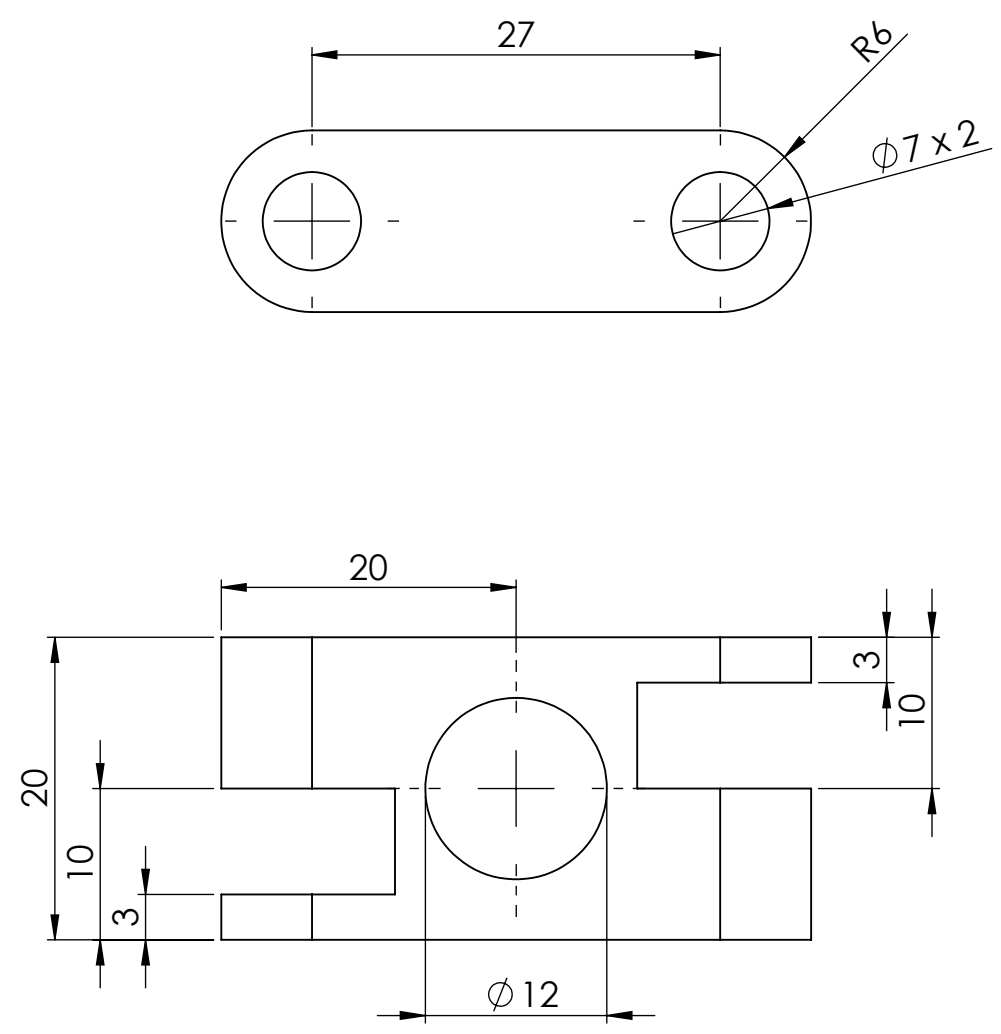
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

A

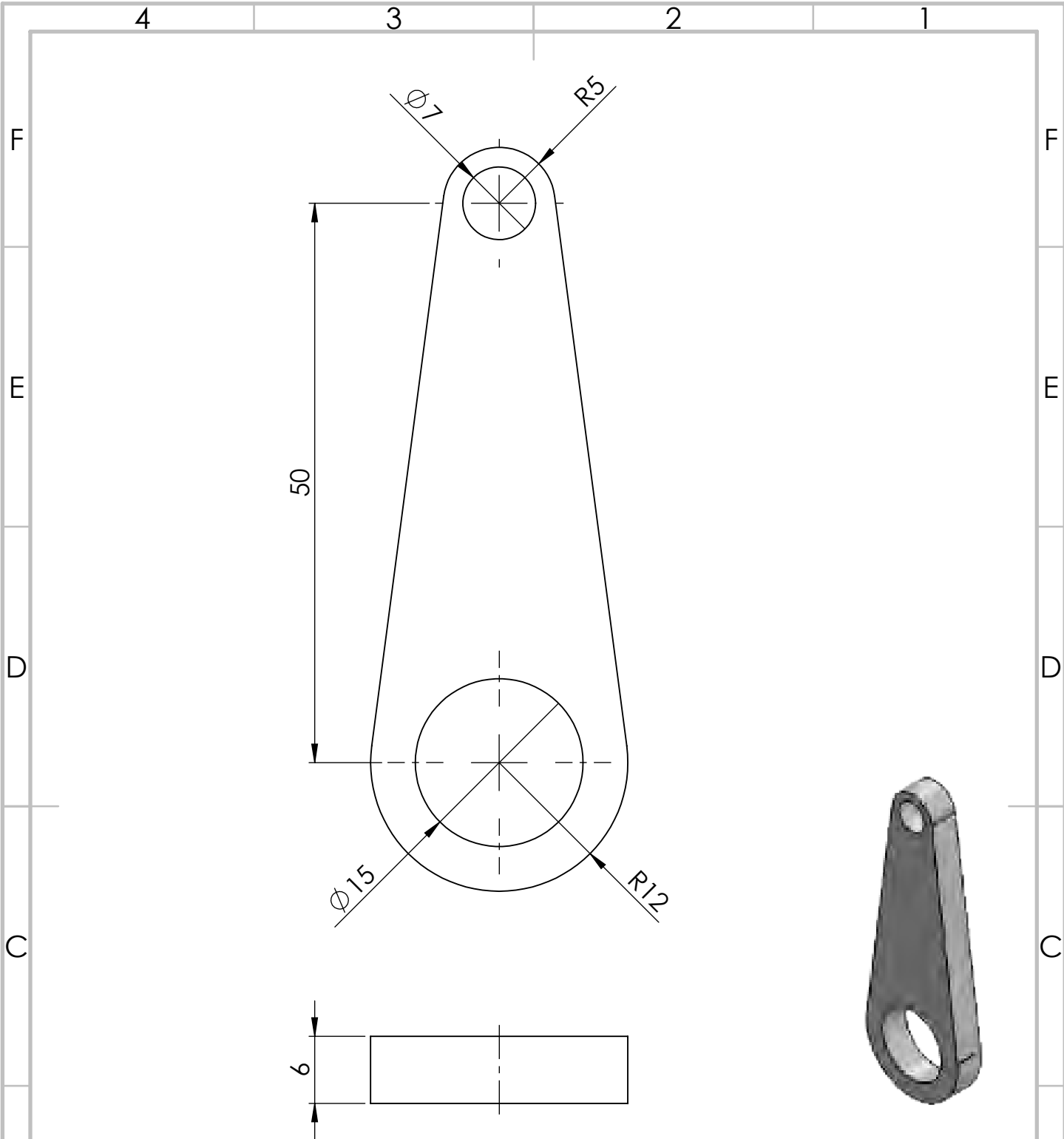
A

METODO DE PROYECCION 	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA 2:1
ASESOR ING. RUEDA PUELLES, Percy	TÍTULO: EJE 01	FECHA: 2023.09.25
TESISTAS CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO 062772 CÓDIGO 030785	UNIDADES: mm LAMINA: A4.TES18

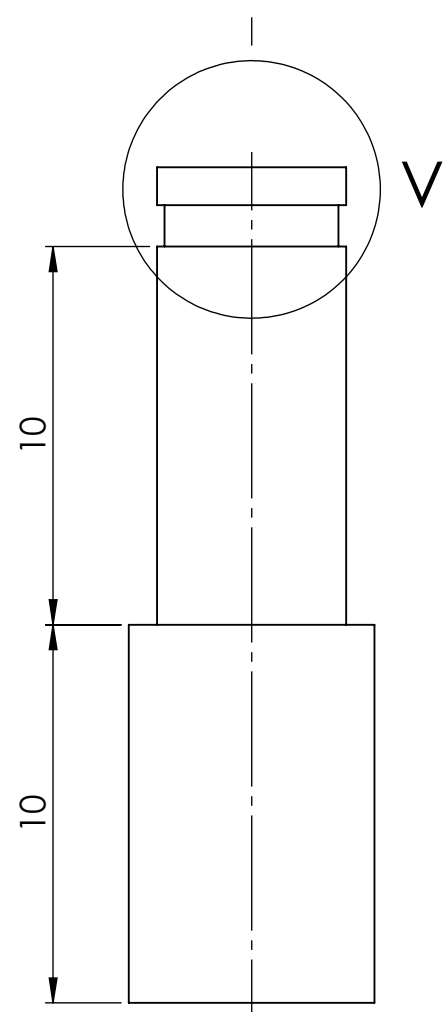
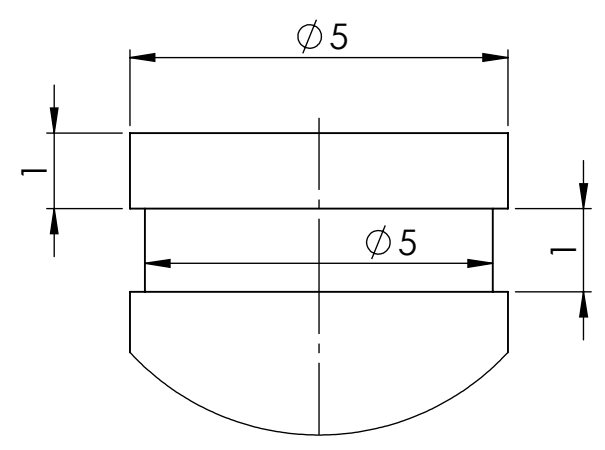
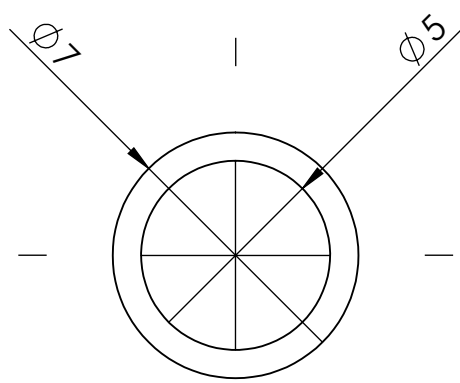
4 3 2 1



ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO			ESCALA
		"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR" TÍTULO: ACOPLE 01			2:1
					FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES19

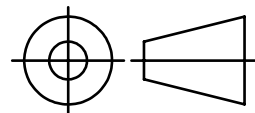


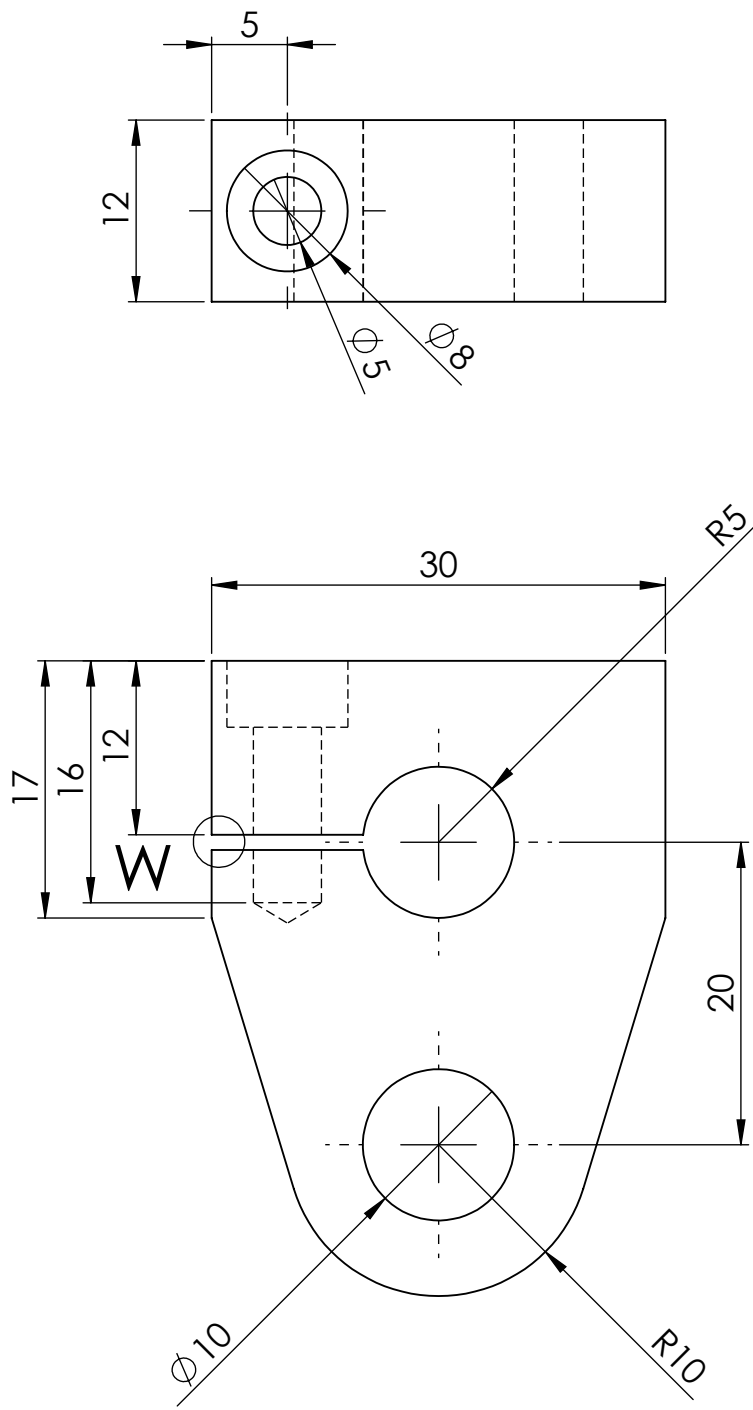
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO			ESCALA
		"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR" TÍTULO: BIELA			2:1
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES20



DETALLE v
ESCALA 10 : 1

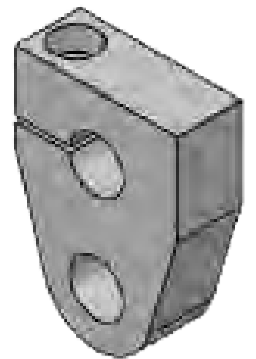


ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 5:1
		TÍTULO: PIN			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES21

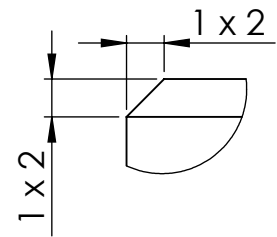
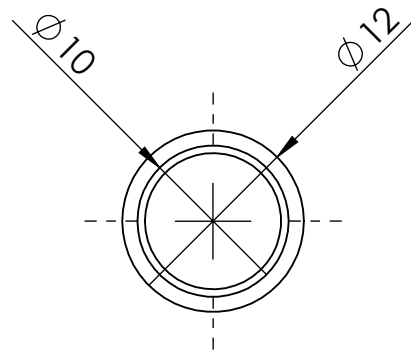


DETALLE W

ESCALA 10 : 1

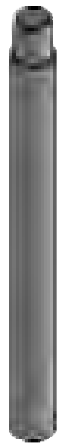
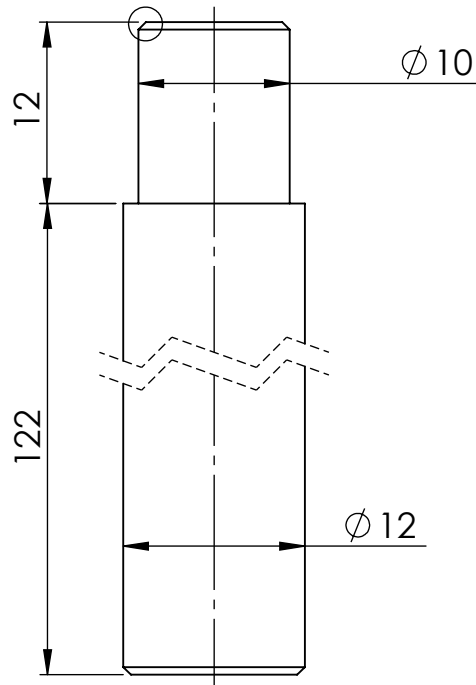


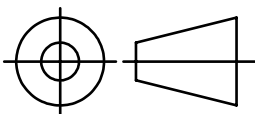
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO			ESCALA
		"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			2:1
		TÍTULO: CIGÜEÑAL			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES22

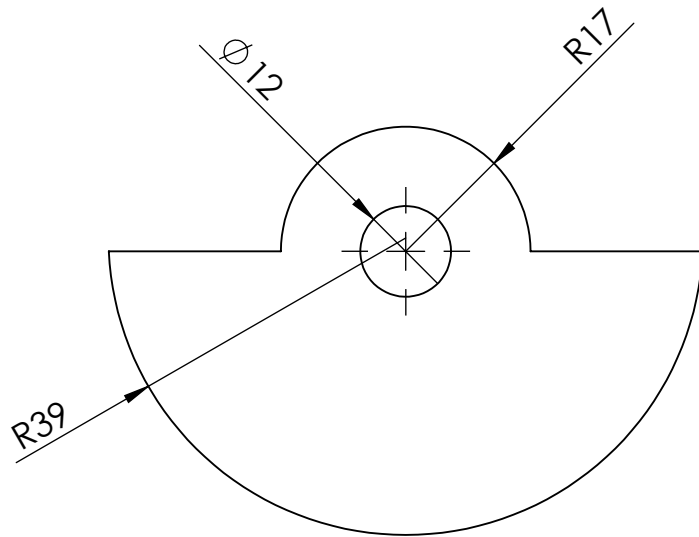
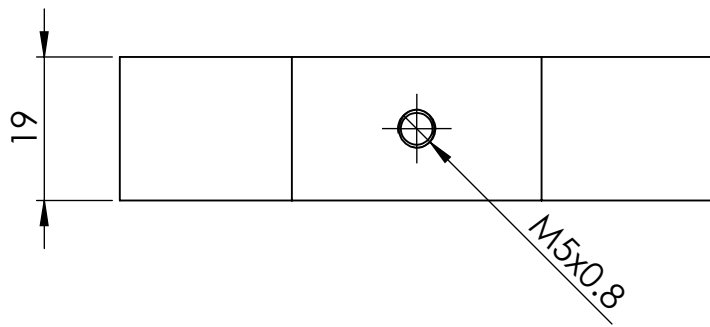


DETALLE X
ESCALA 10:1

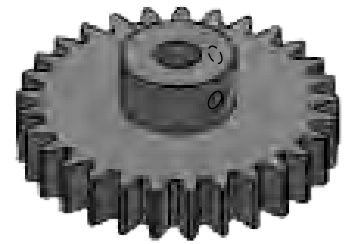
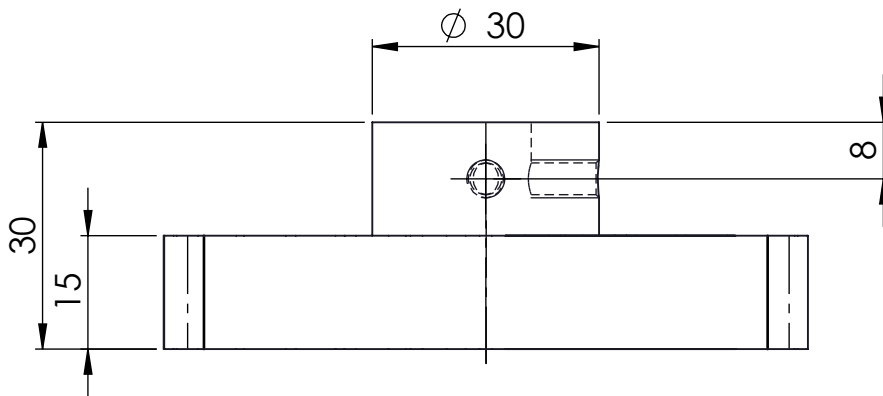
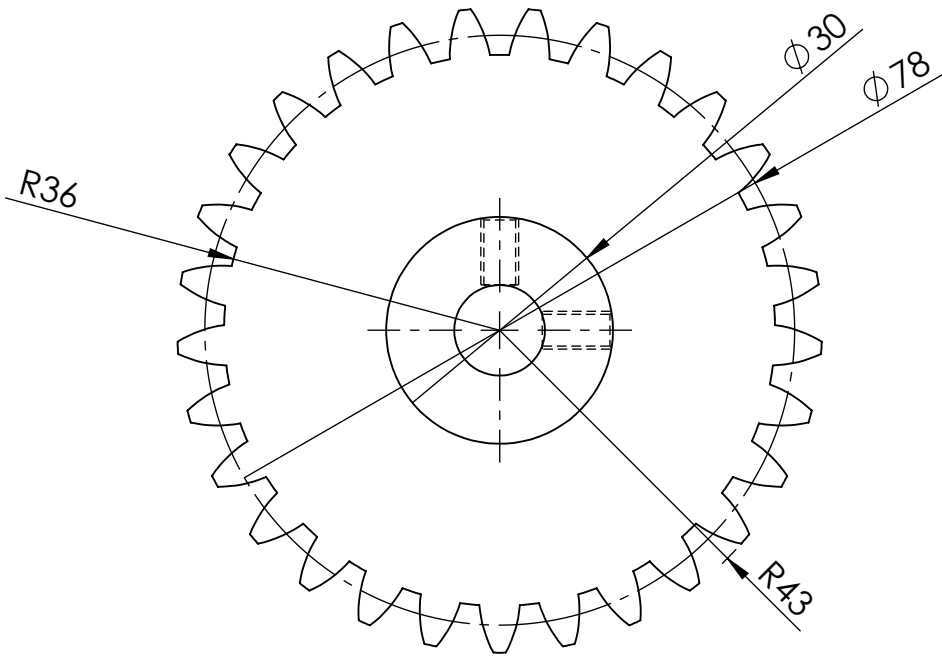
X



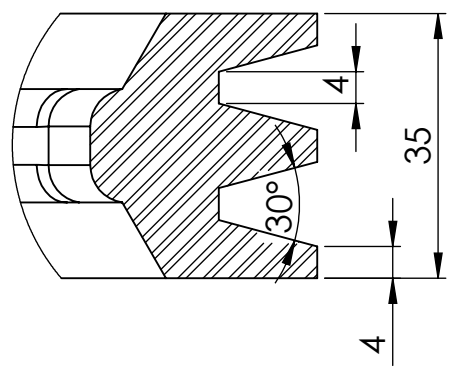
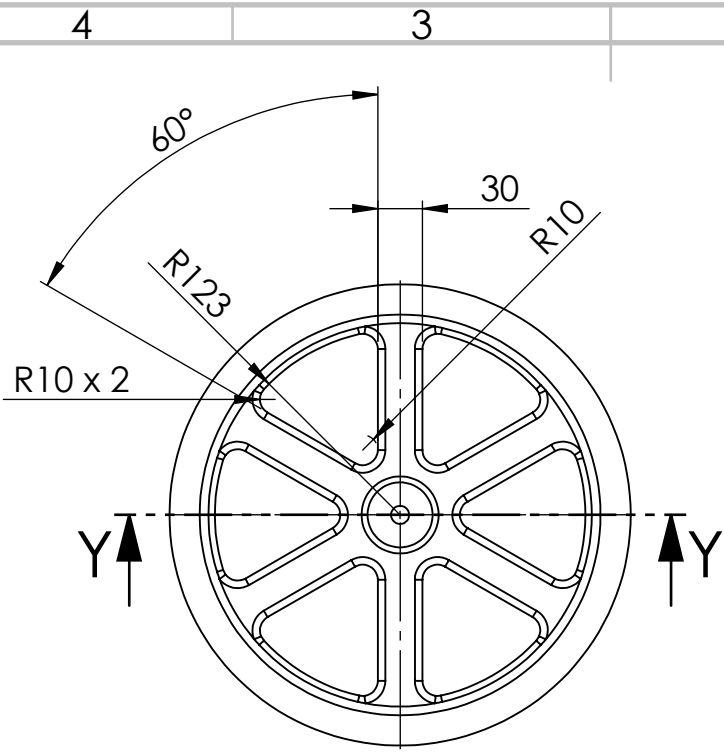
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 2:1
		TÍTULO: EJE 02			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES23



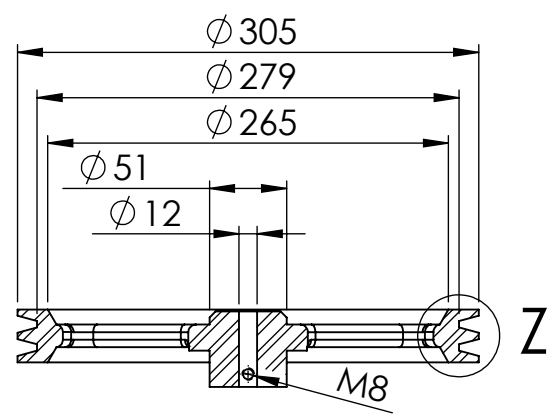
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:1
		TÍTULO: CONTRAPESO			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES24



ACABADO SUPERFICIAL (\checkmark , \checkmark)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:1
		TÍTULO: ENGRANE RECTO			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES25



DETALLE Z
ESCALA 1 : 1



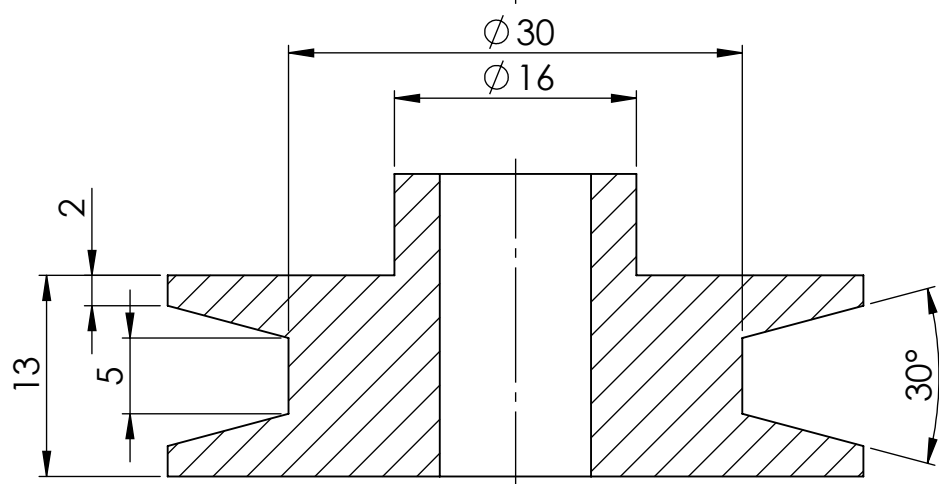
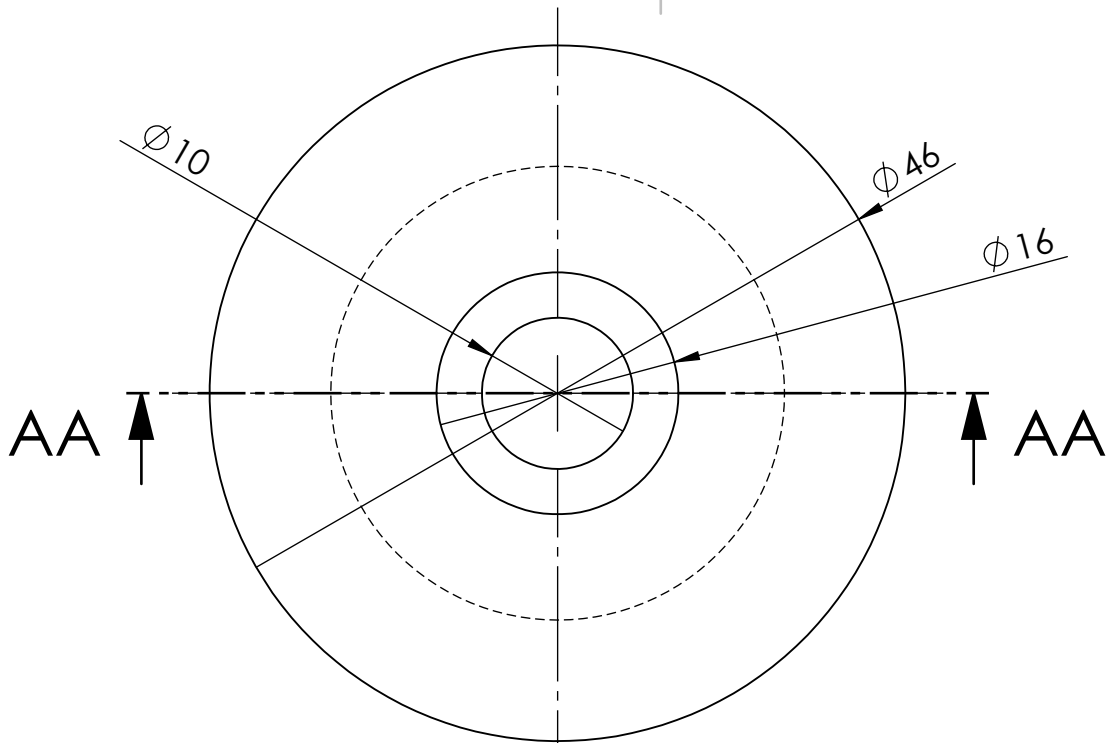
SECCIÓN Y-Y



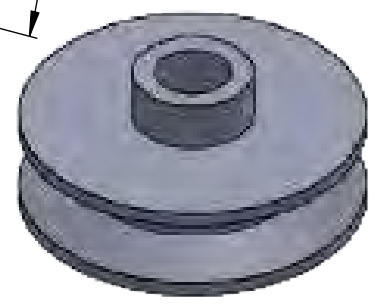
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A-36
-------------------------------	--------------------------------	-----------------------

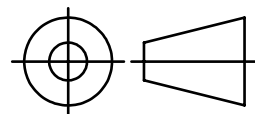
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

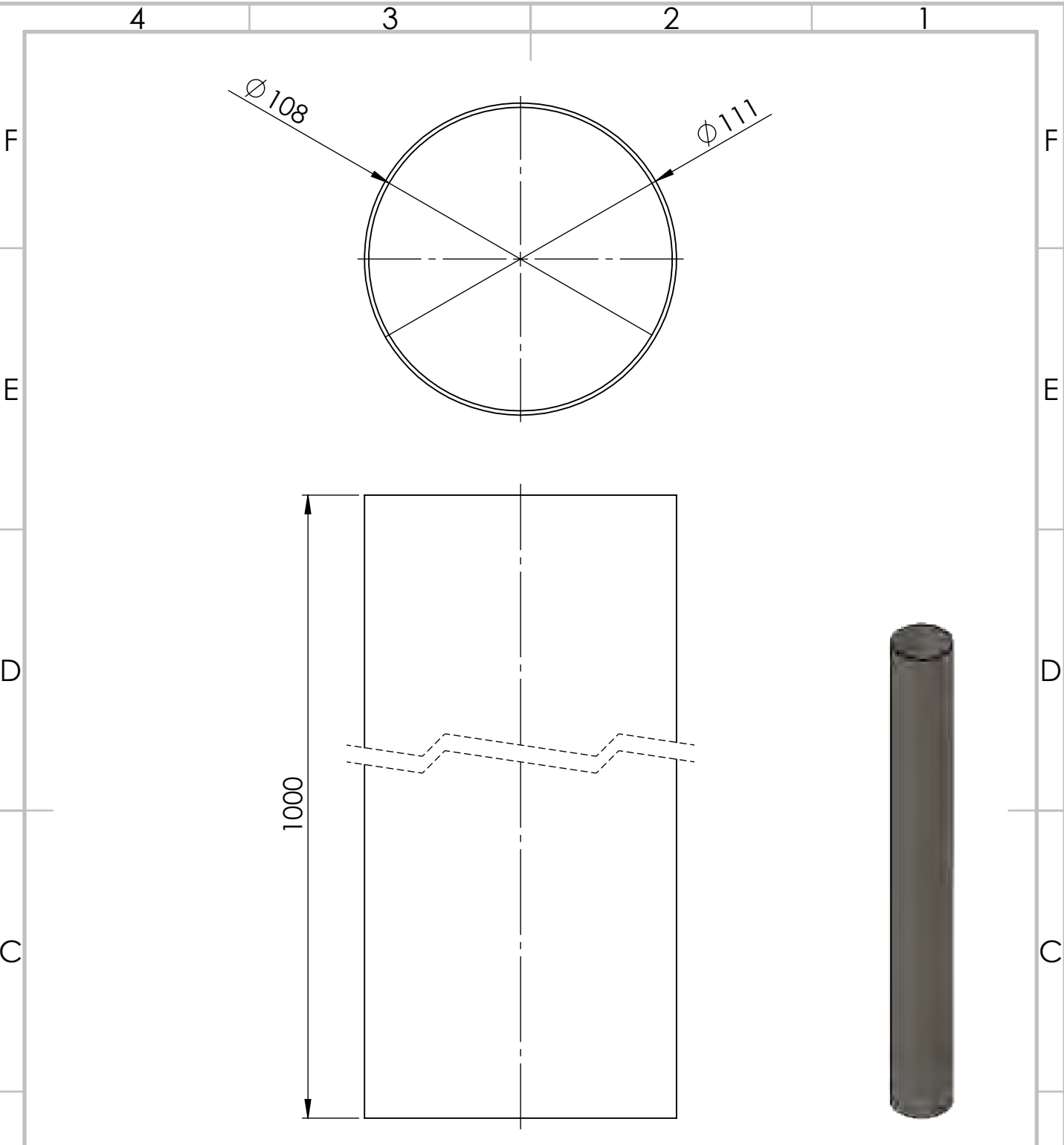
METODO DE PROYECCION 	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"	ESCALA 1:5
ASESOR ING. RUEDA PUELLES, Percy	TÍTULO: POLEA VOLANTE	FECHA: 2023.09.25
TESISTAS CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO 062772 030785	UNIDADES: mm LAMINA: A4.TES26



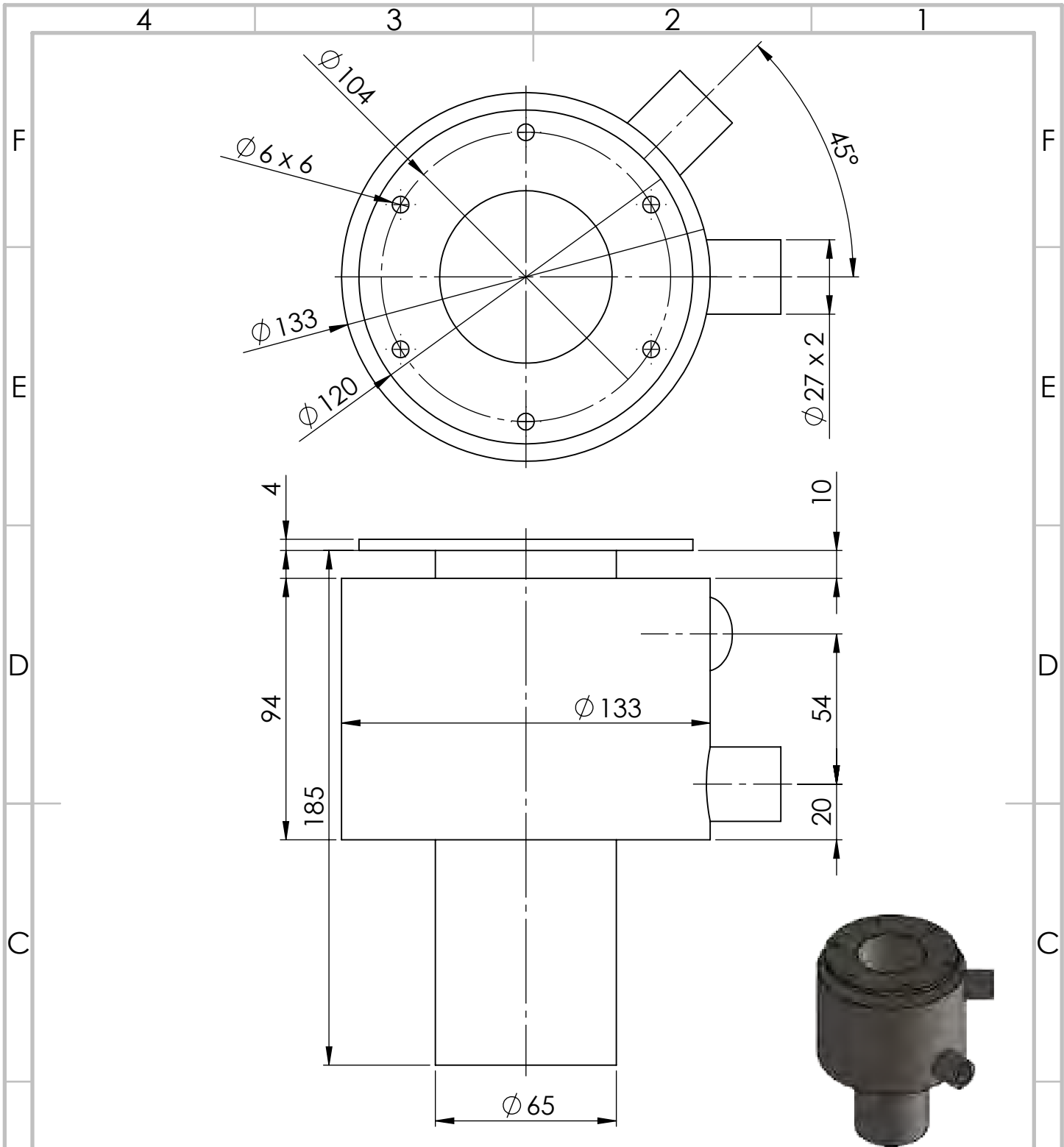
SECCIÓN AA-AA
ESCALA 2 : 1



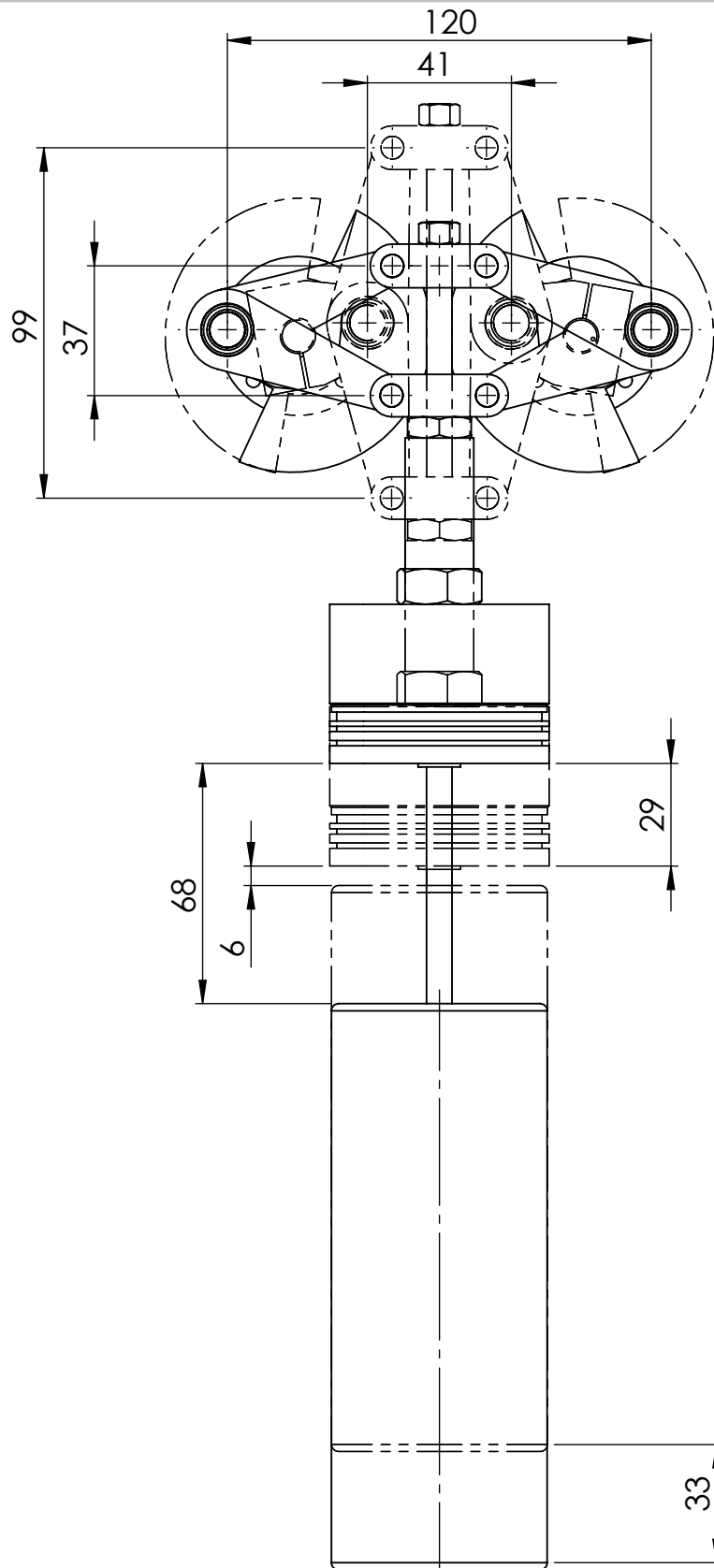
ACABADO SUPERFICIAL (\checkmark , \checkmark)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL DIN - 201	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 2:1
		TÍTULO: POLEA GENERADOR			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES27



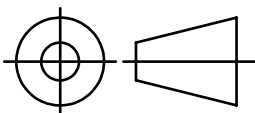
ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			ESCALA 1:2
		TÍTULO: TUBO DE ESCAPE			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772	LAMINA: A4.TES28
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785	

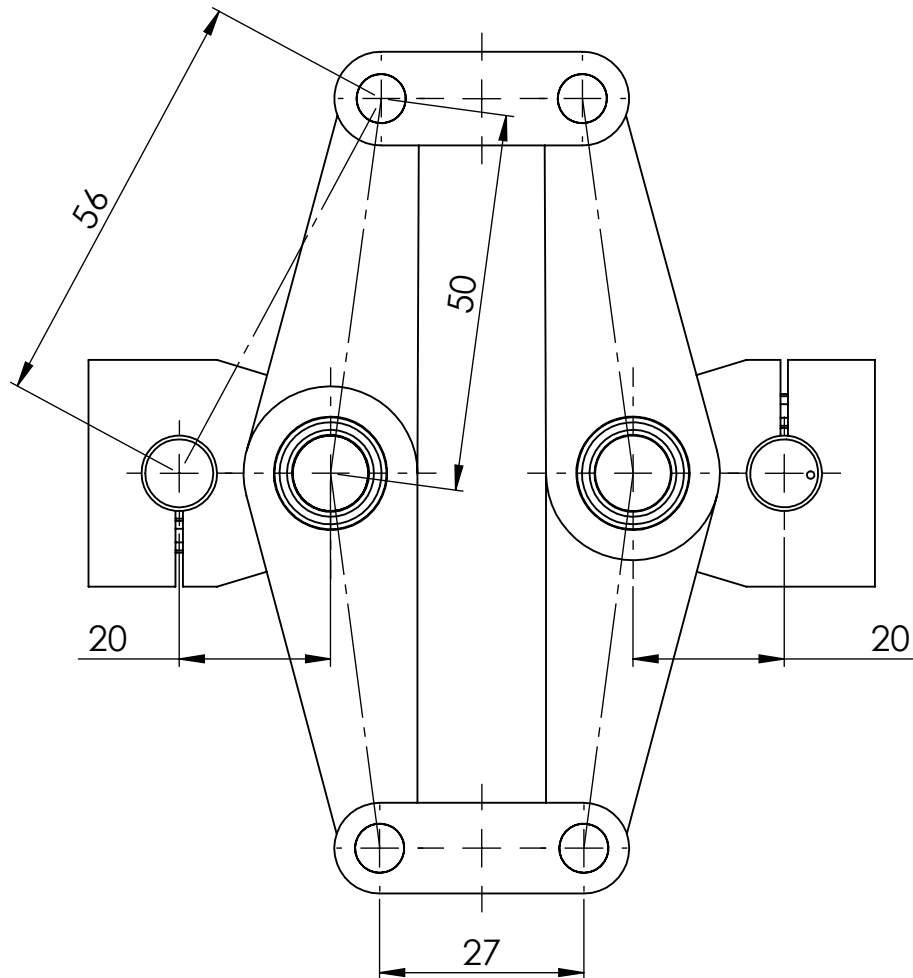


ACABADO SUPERFICIAL (✓, ✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168		MATERIAL ASTM A-36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION		TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO			ESCALA
		"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"			1:2
		TÍTULO: CILINDRO CALIENTE			FECHA: 2023.09.25
ASESOR		ING. RUEDA PUELLES, Percy			UNIDADES: mm
TESISTAS		CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel		CÓDIGO	062772
		CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger		CÓDIGO	030785
					LAMINA: A4.TES29

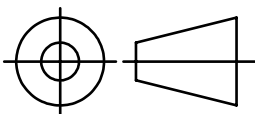


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

METODO DE PROYECCION	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO		ESCALA
	<i>"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"</i>		1:2
	TÍTULO: POSICIONES MECANISMO BIELA-MANIVELA		FECHA: 2023.09.25
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy		UNIDADES: mm
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772
	CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785
			LAMINA: A4.TES30



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FIEEMS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

METODO DE PROYECCION	TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO		ESCALA
	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTO STIRLING EXPERIMENTAL DE BAJA POTENCIA CON TRANSMISIÓN RÓMBICA USANDO LANA DE ACERO EN EL DESPLAZADOR"		1:1
	TÍTULO: MECANISMO BIELA - MANIVELA		FECHA: 2023.09.25
ASESOR	ING. RUEDA PUELLES, Percy		UNIDADES: mm
TESISTAS	CORTEZ CUSICUNA, Miguel Angel	CÓDIGO	062772
	CHAVEZ ALVAREZ, Anthony Roger	CÓDIGO	030785
			LAMINA: A4.TES31