



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN**

**“CONFIGURACIÓN ALTERNATIVA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
ALTERNATIVO”**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AERONÁUTICA

PRESENTAN:

**ANDALUZ ORTEGA LUIS FERNANDO
HERNÁNDEZ MORALES JONATHAN RODRIGO**

ASESORES:

**M. EN C. JORGE LUIS GARRIDO TÉLLEZ
ING SALVADOR CAUDILLO GONZÁLEZ
ING. MARIO ARTURO ESPINOSA GIRÓN**



MÉXICO, D. F.

2009

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: CURRICULAR
DEBERÁ PRESENTAR: LOS CC. PASANTES:
ANDALUZ ORTEGA LUIS FERNANDO
HERNÁNDEZ MORALES JONATHAN RODRIGO

“CONFIGURACIÓN ALTERNATIVA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO”

	INDICE
	INTRODUCCION
CAPÍTULO I	COMPONENTES FUNDAMENTALES DE UN MOTOR
CAPÍTULO II	ESTUDIO DE LA DETERMINACION DE POTENCIA TEÓRICA
CAPÍTULO III	CONFIGURACION GEOMÉTRICA DEL MOTOR
CAPÍTULO IV	ANÁLISIS DE LA CINEMÁTICA Y EQUILIBRADO DE FUERZAS DE LA NUEVA CONFIGURACION DEL CIGUEÑAL
CAPÍTULO V	COMPARACION DIMENSIONAL
	RESULTADOS
	CONCLUSIONES
	RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFÍA

México, DF., a 31 de agosto de 2009.

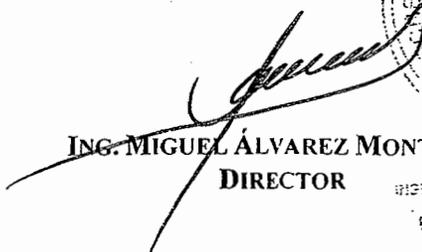
A S E S O R E S


M. EN C. JORGE LUIS GARRIDO TÉLLEZ


ING. SALVADOR CAUDILLO GONZÁLEZ


ING. MARIO ARTURO ESPINOSA GIRÓN

Vo. Bo.

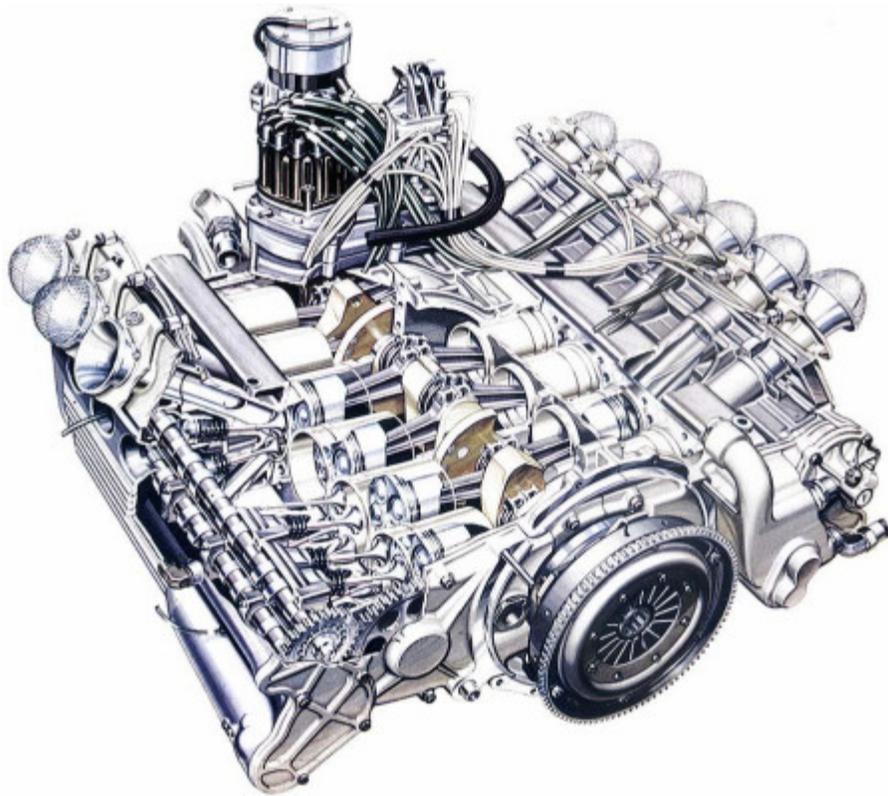

ING. MIGUEL ÁLVAREZ MONTALVO P. B.
DIRECTOR



ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN

INSTITUTO
POLITECNICO
NACIONAL

CONFIGURACIÓN ALTERNATIVA DE UN MCIA



-ANDALUZ ORTEGA LUIS FERNANDO
-HERNANDEZ MORALES JONATHAN
RODRIGO

PROFESORES ASESORES:

M. en C. JORGE LUIS GARRIDO TELLEZ
ING. SALVADOR CAUDILLO GONZÁLEZ
ING. MARIO ARTURO ESPINOSA GIRÓN

titulación curricular | diseño y construcción

ÍNDICE	Página
Lista de tablas y figuras	ii
Glosario de términos	iv
Glosario de acrónimos	v
Introducción	vi
Planteamiento del problema	viii
Objetivo General	ix
Objetivos Específicos	ix
Justificación	x
Alcance	xii
Marco Teórico	xiii
Hipótesis	xv
Metodología	xvi
CAPITULO I: Componentes fundamentales de un motor	1
1.1 Cabeza o culata de un MCIA	2
1.2 Monoblock o bloque de cilindros de un MCIA	4
CAPITULO II: Estudio de la determinación de potencia teórica	8
2.1 Potencia media efectiva	10
2.2 Área superior del émbolo	11
2.3 Potencia entregada en la nueva configuración	13
2.4 Configuración general propuesta para cualquier número de cilindros	14
CAPITULO III: Configuración geométrica del motor	15
3.1 Émbolos	16
3.2 Cigüeñal y conjunto biela manivela	19
3.3 Monoblock	26
3.4 Bulón	28
CAPITULO IV: Análisis de la cinemática y equilibrado de fuerzas de la nueva configuración del cigüeñal	30
4.1 Cinemática	31
4.2 Regularidad cíclica	36
4.3 Orden de encendido	36
4.4 Diagrama de carreras	37
4.5 Equilibrio de fuerzas	38
CAPITULO V: Comparación dimensional	44
Resultados	49
Conclusiones	51
Recomendaciones	53
Bibliografía	55

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla ó figura	Nombre	Página
Figura 1	Diagrama PV ideal del ciclo Otto	xiv
Figura 1.1	Diagrama general del motor	4
Figura 1.2	Cigüeñal	7
Tabla 2.1	Características del motor real IO-240 A y B	9
Figura 2.1	Diagrama PV ideal del ciclo Otto	10
Tabla 2.2	Pesos de comparación en áreas	12
Figura 2.2	Esquema de triángulos	12
Figura 2.3	Parámetros geométricos para configuración general	14
Figura 3.1	Vista inferior del émbolo	16
Figura 3.2	Vista lateral del émbolo con respecto a la base	17
Figura 3.3	Vista lateral con respecto a la altura	18
Figura 3.4	Vista isométrica del émbolo	19
Figura 3.5	Diferencia entre configuración V típica y la propuesta	20
Figura 3.6	Diagrama de configuración general del sistema biela manivela	21
Tabla 3.1	Selección de dimensiones para ambas configuraciones	22
Figura 3.7	Cigüeñal	23
Figura 3.8	Isométrico del cigüeñal	24
Figura 3.9	Biela de configuración en línea	25
Figura 3.10	Bielas de configuración tipo “V”	26
Figura 3.11	Vistas del monoblock	27
Figura 3.12	Isométrico del monoblock	28
Figura 3.13	Bulón	29
Tabla 4.1	Características de los émbolos en línea	31
Tabla 4.2	Características de los émbolos en “V”	31
Figura 4.1	Diagrama de configuración general del sistema biela manivela, relación trigonométrica para la cinemática	32

Grafica 4.1	Desplazamiento	34
Grafica 4.2	Velocidad	35
Grafica 4.3	Aceleración	35
Tabla 4.3	Regularidad cíclica	36
Figura 4.2	Esquema del oren de encendido	37
Tabla 4.4	Diagrama de carreras	37
Figura 4.3	Esquema de las fuerzas centrífugas	39
Grafica 4.4	Fuerza centrífuga	39
Grafica 4.5	Fuerza alternativa de primer orden	41
Figura 4.4	Esquema de las fuerzas alternativas	42
Grafica 4.6	Fuerza alternativa de 2º orden	42
Figura 5.1	Motor opuesto	45
Figura 5.2	Peso del motor opuesto	46
Figura 5.3	Motor en línea	46
Figura 5.4	Peso del motor en línea	47
Figura 5.5	Motor de configuración alternativa	47
Figura 5.6	Peso de motor de configuración alternativa	48
Tabla 1	Comparación de volumen	49
Tabla 2	Comparación de peso	49

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Área del émbolo	Es la superficie de la cabeza del émbolo, la cual generalmente es circular y se redefinirá su forma a semitriangular.
Ciclo	Conjunto de procesos que se llevan a cabo desde un punto inicial, pasando por una trayectoria, y un punto final, el cuál será el mismo que el punto inicial, es decir, finaliza con las mismas condiciones con que inició.
Combustión	Proceso llevado a cabo en materia carburante cuando el calor y el oxígeno llevan a este a un punto de ignición, o bien, alteran sus propiedades químicas en un periodo determinado de tiempo. Dentro de un MCIA es la explosión de la mezcla aire gasolina que se lleva a cabo en el ciclo Otto, donde la fuente de calor es obtenida a través de la energía química.
Depresión	Cambio de la cantidad de presión cuando esta va de un valor mayor a un valor menor.
Esfuerzo	Es la fuerza ejercida sobre un objeto por unidad de área de este.
Flujo de trabajo	En el caso de los MCIA esta se maneja como la mezcla aire combustible que entra en el motor a lo largo de un ciclo de trabajo, la cual idealmente es regenerada, y realmente es sustituida.
Hermético	Propiedad de un objeto de no permitir el paso de ningún fluido.
Motor	Dispositivo que convierte cualquier tipo de energía (a excepción de la energía mecánica) en energía mecánica.
Productos de la combustión	Son los gases que se generan a partir de la mezcla aire combustible después de llevarse a cabo la combustión. Estos tienen que ser desechados para el inicio de un nuevo ciclo.
Relación de compresión	Es la relación que existe entre el volumen donde se encuentra la mezcla aire combustible cuando el émbolo se encuentra en el punto muerto inferior, y el volumen que existe cuando este se encuentra en el punto muerto superior, es decir, el volumen de la cámara de combustión.
Semitriangular	Forma geométrica que se usará en el rediseño como área de émbolo que lleva la forma similar a un triángulo, con la particularidad de no tener vértices, sino más bien uniones acordadas con un cierto radio.

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

MCIA	Motor de combustión interna alternativo
PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
PEM	Presión media efectiva
CV	Caballos de vapor
C_v	Calor específico a volumen constante
C_p	Calor específico a presión constante
V_{PMI}	Volumen al punto muerto inferior
V_{PMS}	Volumen al punto muerto superior
Q_p	Calor de entrada
Q_o	Calor de salida
s	Entropía
P	Presión
V	Volumen
T	Temperatura
q	Calor específico
w	Trabajo
k	Relación de calores específicos
η	Eficiencia

INTRODUCCIÓN

Se sabe hasta el día de hoy que los motores de combustión interna alternativos han estado en desarrollo permanentemente y lo seguirán estando, ya que estos son básicos para el desarrollo industrial que hoy en día se tiene. Es por ello que se ha decidido trabajar en este tema en el aspecto aeronáutico, llevando los conocimientos adquiridos a lo largo del estudio de la carrera de Ingeniero en Aeronáutica a la aplicación real, logrando con esto tener las bases para iniciar una investigación ardua para seguir aplicando reingeniería y lograr el desarrollo tecnológico que se requiere hoy en día.

Los MCIA han tenido la gran desventaja de tener dependencia directa entre la potencia que entregan y el tamaño de estos, ya que depende directamente de la cilindrada, ocasionando así el aumento de peso cuando mayor potencia se demande.

Se han buscado y logrado desarrollar materiales de menor densidad a los tradicionales y de propiedades similares, para así tener alta potencia con un peso bajo. Sin embargo, también se han propuesto cambios en la configuración para la reducción de espacio y peso, como lo es el motor en "V" y muchas otras configuraciones que van de acuerdo con el uso que se requiere en estos, por lo que se propondrá una nueva configuración de los motores de combustión interna alternativos.

Este tema se basará en la búsqueda de la reducción de peso y espacio en un motor alternativo, lográndolo con cambios de geometrías y variaciones en la configuración general de estos, desarrollando a lo largo del trabajo aspectos básicos para el pleno entendimiento del proyecto, y, en caso de llegar a resultados favorables tanto de eficiencia como en aspectos económicos, tratar de llevarlo a la realidad y aplicarlo en nuestra vida diaria.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la industria aeronáutica ha desarrollado nuevos materiales para reducir el peso de la aeronave. Una de estas aplicaciones se da de amplio modo en los motores de combustión interna alternativos, de los cuales se han ido desarrollando los materiales con que estos son fabricados, teniendo la característica de una reducción de densidad y propiedades mecánicas similares, para así reducir la relación peso-potencia del motor. Estos desarrollos han sido costosos y han dificultado la manufactura, sin embargo, ha sido bien aceptado en el desarrollo tecnológico de las máquinas térmicas.

Esta demanda de reducción en peso nos llevo a pensar en dejar el desarrollo de materiales a un lado e iniciar una nueva configuración del motor de combustión interna alternativo, donde los espacios se aprovechen de mejor manera, y con ello reducir el tamaño neto de este, y por consecuencia, también reducir su peso.

OBJETIVO GENERAL

Proponer una nueva configuración geométrica en un motor de combustión interna alternativo para la reducción dimensional y la relación peso/potencia, así como realizar el análisis operativo de este.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer los componentes de un motor de combustión interna alternativo con la finalidad de saber la función que desempeña cada uno de estos en un MCIA, así como los materiales con que se fabrican, y, con base a ello, se podrá rediseñar de manera óptima los componentes más relevantes en el cambio de configuración.

Comparar la potencia teórica obtenida en un motor existente contra la potencia teórica entregada por el nuevo motor, para así saber la factibilidad que se tiene en fabricarlo, tomando en cuenta que estos funcionaran con una cilindrada de igual magnitud, ayudando con esto al dimensionamiento de los cilindros.

Realizar un esquema de configuración, proponiendo las formas geométricas de los cilindros, émbolos, monoblock y una disposición particular del cigüeñal para lograr el funcionamiento de la nueva distribución del MCIA.

Analizar el comportamiento cinemático del motor, así como determinar su orden de encendido óptimo y diagrama de carreras. Del mismo modo, realizar el análisis de equilibrado del motor.

Obtener las dimensiones finales del motor y compararlas con las del motor ya existente, así como obtener la relación peso/ potencia de cada uno de estos y aprobar o rechazar la hipótesis.

Construir una maqueta esquemática de la configuración geométrica del motor, para así comprobar el funcionamiento de este de una manera real.

JUSTIFICACION

Dentro de la industria se ha requerido de mecanismos que generen grandes potencias con la ayuda de la combustión u otros fenómenos que ayudan a lograr potencias altas en estos, y así lograr mover dispositivos para obtener un proceso y conseguir resultados bajo ciertos aspectos. Uno de los principales mecanismos que se han desarrollado es el motor de combustión interna alternativo. Los motores de combustión interna alternativos han sido de gran utilidad en la vida diaria y en el desarrollo industrial como fuente de poder para crear energía mecánica.

A lo largo de la evolución de la industria aeronáutica y automotriz se han modificado los motores de combustión interna alternativo para las diferentes necesidades del ser humano, se han desarrollado motores que generan mayor potencia pero a muy alto costo, posteriormente se buscaba una nivelación entre precio y potencia.

Para lograr el objetivo de bajar los costos se han dado ciertas modificaciones como por ejemplo la implementación de diferentes números de cilindros así como la ubicación de estos, todos los sistemas, así como la sustitución de la utilización de los carburadores a un sistema de inyección de combustible. Un importante cambio que se dio en la fabricación de los motores fue la tecnología de los materiales.

Dentro de la industria aeronáutica, es sumamente relevante el factor peso y espacio, lo que ha llevado a investigaciones arduas que llevan a la fabricación de nuevos materiales que hagan más ligero el peso del motor, donde generalmente se tenía la configuración de émbolos de área circular (cilindros), y se perdía espacio cuando se requería más potencia en un motor, ya que el área de los émbolos tenía que ser aumentada, o bien, la cilindrada debería de ser mayor mientras más potencia se requería. Si bien la cilindrada es un factor que no se puede dejar de lado para la potencia del motor, si podemos cambiar la geometría de este para así lograr que el espacio que ocupa el motor se reduzca y así poder ocuparlo en peso efectivo, como podría ser la carga de pasajeros o paquetería, que será remunerado económicamente, por lo que será provechoso para la empresa que utilice este sistema.

Cabe mencionar que este motor de combustión interna alternativo, a pesar de que las características de peso y espacio son relevantes en la aeronáutica, también puede ser utilizado dentro de la industria automotriz, ya que se pretende obtener la misma potencia que se obtiene de un motor de características ya existentes, dejando espacios disponibles para aditamentos que requieran espacio y hacer mas cómoda la estancia del pasajero en el automóvil, o bien, ser este una opción para automóviles modernos, donde el factor espacio es primordial debido al tamaño en que se desarrollan estos vehículos, sustituyendo el motor eléctrico por un motor de combustión interna alternativo.

Este estudio va destinado a aumentar la eficiencia de funcionamiento en la relación peso/potencia y espacio/ potencia, proponiendo nuevas geometrías en los émbolos y una nueva configuración de los cilindros, para así lograr un menor espacio y, por

consecuencia, menor peso del motor obteniendo la misma eficiencia y características similares de funcionamiento.

La idea que se desarrollara será convertir los émbolos de área circular en émbolos de área semitriangular (prismas semitriangulares), y disponer sus cilindros haciendo coincidir dos de sus lados con otros dos cilindros continuos, logrando con esto la reducción de espacio, y proponiendo también una configuración propia del cigüeñal para lograr la regularidad cíclica del motor de combustión interna alternativo.

Otro de los aspectos a considerar es el factor económico en la construcción de este, sabiendo de antemano que mientras menor sea el material necesitado, menor será el costo del producto, por lo que podría resultar remunerable la utilización de este motor dentro de cualquier industria, sobre todo la aeronáutica y automotriz, ya que no se pretende generar nuevos materiales costosos, sino solamente un reacomodo en la configuración geométrica que permita ahorro de material.

ALCANCE

Existe infinidad de motores de combustión interna, de distintas formas, materiales, configuraciones, características, etcétera; para el desarrollo de esta investigación se tomara un motor alternativo de cuatro tiempos y cuatro cilindros de configuración opuesta utilizado en la aviación, y del cual se podrá obtener mayor información para lograr resultados de manera más objetiva, así como proponer una configuración general para cualquier numero de cilindros, explicando los principios de manera mas simple con un motor de cuatro cilindros.

El desarrollo del proyecto se limitara a obtener la comparación de potencia teórica entre los motores ya existentes y el de nueva geometría, que será comparado de igual modo en su peso de manera aproximada debido a la limitación de solo tener un modelo teórico, así como de su tamaño.

Para la obtención y comparación de potencia se estudiaran diagramas ideales de estos motores, ya que al no tener un modelo físico, no se pueden obtener resultados reales (experimentales) del ciclo de trabajo de este motor, por lo que la comparación será propiamente teórica.

Para el rediseño esquemático de piezas se tomaran únicamente los componentes primordiales que cambiarán con la nueva configuración, como lo son cilindros (monoblock), émbolos y cigüeñal que usara el nuevo modelo, ya que con estos dispositivos se puede conocer si el dimensionamiento es correcto, y así, poder tener un antecedente de estudio para trabajos posteriores. El rediseño y el ensamblaje se realizarán con apoyo en el software NX5.

Así también, se analizara el comportamiento cinemático del motor, orden de encendido, regularidad cíclica y diagrama de carreras de este. Del mismo modo se hará un análisis de equilibrado y graficas de su cinemática.

Finalmente se construirá una maqueta esquemática del modelo, para poder comprobar así el buen funcionamiento de la configuración alternativa de manera real.

MARCO TEÓRICO

Los motores de combustión interna alternativos, y motores diesel, son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón, desplazándolo en el interior de un cilindro y haciendo girar un cigüeñal, obteniendo finalmente un movimiento de rotación.

El funcionamiento cíclico de estos motores implica la necesidad de sustituir los gases de la combustión por nueva mezcla de aire y combustible en el interior del cilindro; este proceso se denomina renovación de la carga.

- Motor Otto o de encendido provocado, en los que la combustión se inicia mediante una chispa. Los primeros motores incorporaban una llama externa para el encendido, sin embargo este sistema quedó pronto obsoleto siendo sustituido por un tubo caliente que se empleó hasta la Primera Guerra Mundial. Desde entonces, la ignición es eléctrica (bujía) ya que permite controlar la ignición (el momento en el que se ha de producir) y subsana los problemas de reducida vida útil y riesgo de explosión de los sistemas anteriores. Para evitar la explosión espontánea de la mezcla, estos motores no pueden alcanzar grandes presiones, limitándose en la práctica hasta relaciones de compresión de 11 a 1, mientras que los motores diesel pueden alcanzar valores de hasta 21 a 1, ya que el combustible diesel es introducido en la cámara de combustión en el momento preciso de la ignición, y no antes de la compresión.
- Motor diesel o de encendido por compresión, en los que la compresión de la mezcla es suficiente para provocar su auto inflamación. En este motor se utilizan valores elevados de compresión para lograr lo que se denomina "temperatura de ignición" cuando el pistón se encuentra en el PMS, y es en ese momento cuando se inyecta el combustible dentro de la cámara por medio de una bomba de alta presión y un inyector, variando la cantidad de combustible para controlar la potencia entregada por el mismo. Cabe destacar que en este tipo de motores se obtienen rendimientos superiores al de ciclo Otto, gran parte por la compresión a la que pueden trabajar, aprovechando mejor el combustible ya que son del tipo "mezcla pobre".
- Ciclo de cuatro tiempos, en los que el ciclo termodinámico se completa en cuatro carreras del émbolo y dos vueltas del cigüeñal. En estos motores, la renovación de la carga se controla mediante la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.

El ciclo Otto es el ciclo termodinámico ideal que se aplica en los motores de combustión interna. Se caracteriza porque todo el calor se aporta a volumen constante. El ciclo consta de cuatro procesos:

- 1-2: Compresión adiabática
- 2-3: Aporte de calor a volumen constante. La presión se eleva rápidamente antes de comenzar el tiempo útil
- 3-4: Potencia, adiabática o parte del ciclo que entrega trabajo
- 4-1: Escape, cesión del calor residual al medio ambiente a volumen constante

Hay dos tipos de motores que se rigen por el ciclo de Otto, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos. Este, junto con el motor diesel, es el más utilizado en los

automóviles ya que tiene un buen rendimiento y contamina mucho menos que el motor de dos tiempos.

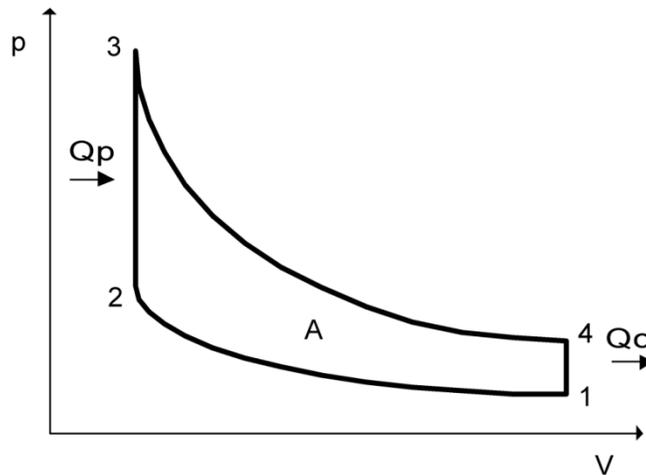


Figura1 Diagrama PV ideal del ciclo Otto

Disposición constructiva

Las formas comunes de disposición de los cilindros son en v y en línea, con un número de cilindros variable en función de la potencia del motor. También existe la disposición en Boxer ó disposición opuesta.

Caras activas del pistón

Los motores comunes tienen una única cara activa (motores de simple efecto) ya que sólo la cara superior del pistón está en contacto con el fluido motor (mezcla carburada y gases de combustión), de modo que el efecto útil se produce siempre en el mismo sentido, durante la carrera descendente del pistón. En cambio, en los motores de doble efecto, ambas caras del pistón son activas, produciéndose efecto útil en ambas carreras del pistón.

Presión de admisión

Los motores atmosféricos son aquellos en los que la presión en la admisión es la atmosférica (o algo menor), a diferencia de los sobrealimentados, en los que la presión de admisión es superior a la atmosférica, para lo que se emplea un compresor (generalmente turbocompresor). Los motores sobrealimentados se emplean cada vez más, ya que manteniendo el tamaño del motor (peso) proporcionan mayor potencia. Adicionalmente, al independizarse el motor de la presión atmosférica exterior, se logra paliar la pérdida de rendimiento al trabajar a gran altura.

HIPÓTESIS

Al modificar las dimensiones y forma del monoblock de tal modo que tenga una geometría que pueda reducir el espacio que hay entre émbolos, manteniendo la misma cilindrada, reducirá también el tamaño total del motor. Con este redimensionamiento se tendrá una nueva configuración en el MCIA. Entonces si esta configuración es factible y funcional, se tendrá una disminución del peso y el espacio, sin que disminuya la potencia.

METODOLOGÍA

Existe un conocimiento previo del tema con los cursos referentes a maquinas de combustión interna, sin embargo, se propondrá un motor ya diseñado para el posterior estudio cuantitativo de este.

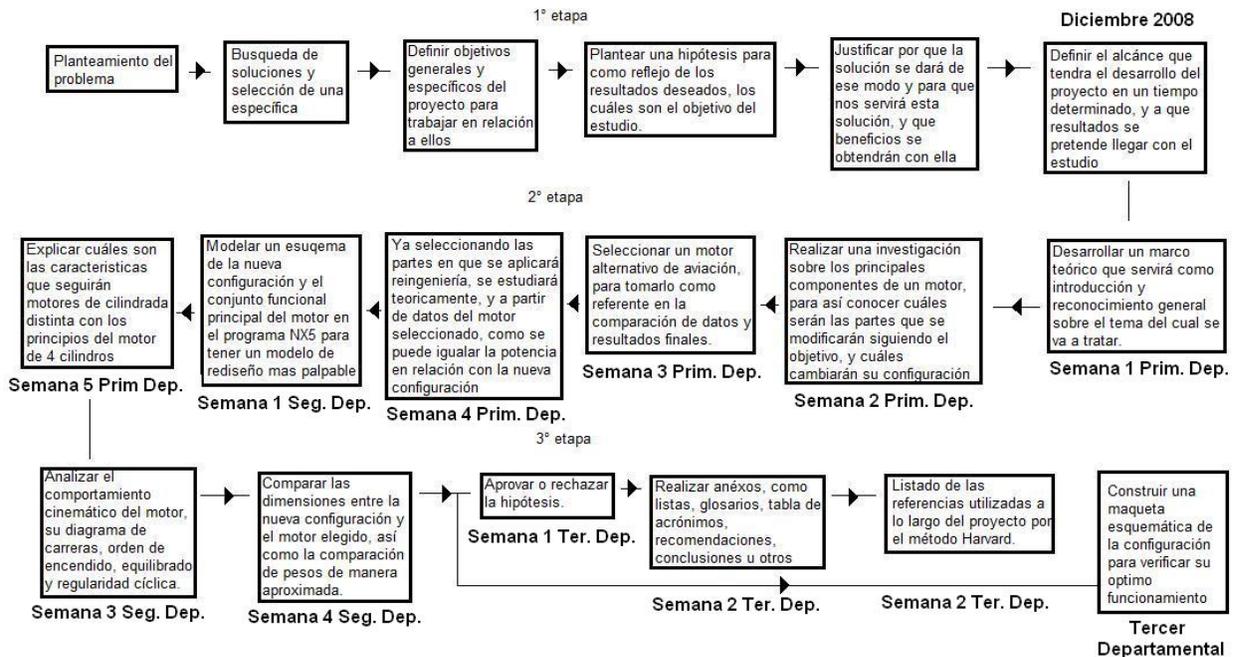
Para el desarrollo del proyecto se procederá de manera inmediata a recopilar información necesaria para poder iniciar con teoremas básicos, principios de funcionamiento, leyes y postulados que nos permitan tener una visión mas amplia de los resultados a los que llegaremos.

Teniendo la información necesaria se iniciara el análisis de cómo puede ser afectado o beneficiado el proyecto, cuales son las ventajas y desventajas del proyecto con relación a los anteriores, procediendo a realizar cálculos comparativos entre un motor ya existente y la nueva configuración que se propondrá según la información adquirida para la optimización de este.

Ya comparados los resultados con la configuración propuesta se procederá a realizar los cálculos del comportamiento de este nuevo motor de configuración distinta, para así conocer el esquema de las partes del motor a las cuales se les aplicara reingeniería, o bien, se rediseñen en su totalidad para lograr el optimo funcionamiento de este.

Finalmente se obtendrán las dimensiones totales y la relación peso/potencia aproximada, ya que se tiene la restricción de tener un proyecto teórico y no real, y se comparara con estas mismas características del motor inicial, para así, comprobar o desaprobar la hipótesis y saber la factibilidad del desarrollo del proyecto.

A continuación se realiza un diagrama de flujo para explicar de mejor manera la metodología que se llevará a cabo durante el desarrollo del proyecto.



CAPITULO I

COMPONENTES FUNDAMENTALES DE UN MCIA

En este capítulo se verán las partes principales de un motor de combustión interna alternativo en general, así con base en ellos, y saber su funcionamiento tener las bases para la configuración alternativa que se planteara posteriormente.

1.1 CABEZA O CULATA DE UN MCIA

Es la parte superior del motor, en esta se encuentra la cámara de combustión del cilindro de un motor alternativo. Las culatas deben soportar relaciones de compresión elevadas, y debido a la conductividad térmica del aluminio son de este material las más utilizadas.

A igualdad de forma, volumen, etc., las culatas de aleación ligera pueden trabajar con valores de relación de compresión superiores, aproximadamente en 0.5 unidades, respecto a otras de fundición.

CAMARA DE COMBUSTION

Es la zona superior del cilindro comprendida entre el punto muerto superior y el interior de la culata, en donde tiene lugar la combustión de la mezcla aire/ combustible, de los motores alternativos.

La forma de la cámara tiene gran influencia sobre los rendimientos del motor, y si esta bien diseñada se logra con ello una marcha suave del motor, se retrasa la detonación, se mejora la relación de compresión, y por lo tanto, el rendimiento térmico y la potencia del motor.

“Conviene que la cámara de combustión tenga forma compacta y de pequeña relación superficie/ volumen, lo que se consigue con cámaras de forma semiesférica. Es aconsejable que las bujías estén situadas entre las válvulas y simétricamente entre ellas.” (Cuesta, 1986: 40)

VALVULAS DE DISTRIBUCION

Son elementos del motor que abren y cierran el paso de aire o gas a la admisión y al escape respectivamente. La válvula de admisión puede hacerse de apertura haciendo uso de la depresión producida por el embolo en su correspondiente carrera, o bien se utilizan las válvulas de accionamiento mecánico por medio de levas que actúan directa o indirectamente sobre el extremo del vástago de la válvula.

La válvula de admisión generalmente sobrepasa los 400° C de temperatura, en tanto que la de escape alcanza valores de hasta 800° C en los motores de automóvil, y hasta 900° C en los motores de aviación de refrigeración por aire. Estas temperaturas son mayores tanto menor es la riqueza de la mezcla, y mayor es el avance al encendido.

GUIAS DE VALVULA

Es el elemento exterior concéntrico del vástago de una válvula, que además de mantener su desplazamiento longitudinal, resiste las reacciones laterales debidas al esfuerzo del empujador sobre la válvula.

Las guías de válvula se hacen de fundición o de bronce especial, con un diámetro exterior aproximadamente dos veces el del vástago y una longitud de 1.2 a 2 veces el diámetro máximo de la válvula.

MUELLES DE VALVULA

Su misión es impedir la apertura de las válvulas por trepidación o por la depresión en los cilindros, y también para impedir que las piezas móviles de la leva se despeguen de su asiento debido a la fuerza de inercia producida por la aceleración negativa en el periodo de cierre.

Los muelles o resortes de la válvula, se fabrican de aceros especiales al silicio, magnesio y cromo vanadio.

LEVA

Es una pieza giratoria cuyo perfil, al actuar tangencialmente directa o indirectamente sobre el extremo del vástago de la válvula, abre a esta periódicamente.

Las aceleraciones que resultan en el levantamiento de la válvula alcanzan hasta 1300 m/s² con velocidad de apertura y cierre de las válvulas del orden de 0.6 m/s.

ARBOL DE LEVAS

Es el dispositivo de montaje de las levas en el sistema de distribución, que actúan, en los motores de cuatro tiempos, a una velocidad equivalente a la mitad de la velocidad del cigüeñal. El árbol de levas debe tener rigidez a la flexión. “La potencia necesaria para su movimiento es aproximadamente el 5% de la potencia desarrollada por el motor.” (Cuesta, 1985: 50)

El árbol de levas esta soportado por cojinetes, normalmente de bronce, y la transmisión de giro se hace por engranes rectos o helicoidales, siendo estos más silenciosos, o bien por cadena.

BALANCINES

Son los dispositivos intermedios entre la leva y el extremo del vástago de la válvula para accionamiento de ésta.

En la figura 1.1 se muestra un esquema general de cómo esta posicionada las partes de un motor de combustión interna en general.

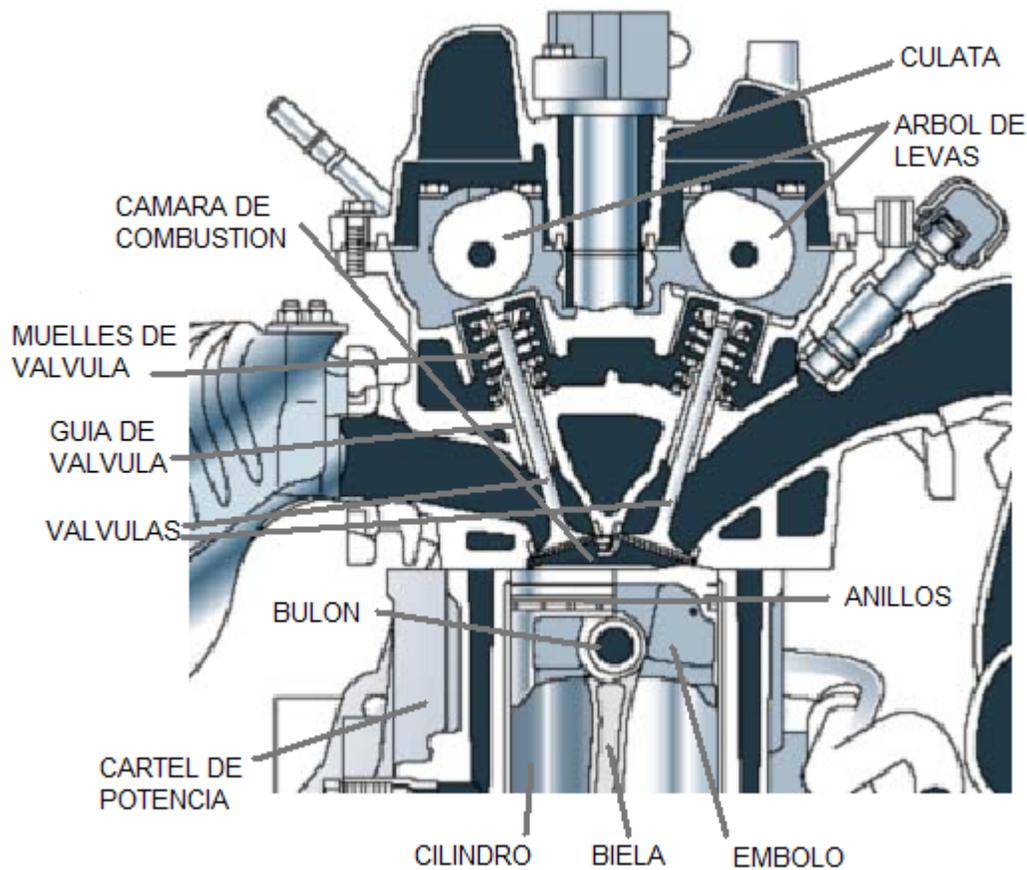


Figura 1.1 Diagrama general del motor

1.2 MONOBLOCK O BLOQUE DE CILINDROS DE UN MCIA

CILINDROS

Son los elementos del motor en donde tienen lugar las fases del ciclo: admisión, compresión, combustión- expansión y escape.

La longitud de un cilindro es aproximadamente igual a la carrera mas la altura del embolo, disminuido aproximadamente en 8 o 10 mm., con objeto de que el embolo sobresalga del cilindro cuando aquel se encuentra en el punto muerto inferior, mejorándose de esta forma la lubricación. La parte inferior del cilindro se provee de escotaduras para facilitar el montaje del embolo equipados con anillos.

Antes de la puesta en servicio de un cilindro, deberán realizarse unos rodajes con embolo y anillos, al objeto de obtener un contacto perfecto y eliminar las superficies que no estén totalmente lisas. “Esto puede producir un desgaste elevado al principio del funcionamiento de un motor que prácticamente se estabiliza y viene a ser muy pequeño durante la vida en servicio del cilindro.” (Blanco; 2005) Los cilindros usados deben rectificarse, si bien la experiencia demuestra que la dureza obtenida es aproximadamente

un 80% de la inicial, debido a la penetración en la zona de menor cementación, que es tanto menor, cuanto mayor es la profundidad.

Las grandes velocidades de rotación de los motores y la consiguiente velocidad longitudinal del embolo en el cilindro, produce el consiguiente desgaste de estos, lo que exige para su fabricación, fundiciones de gran dureza, siendo la mejor solución utilizar camisas con alta proporción de carbono y aleaciones de níquel o cromo- níquel.

EMBOLO O PISTON

Es el elemento que con las paredes del cilindro y la culata, forma el espacio hermético de capacidad variable, en donde tienen lugar las fases del ciclo.

El embolo es el órgano más importante del motor, y sus características deben ser satisfechas por un cierto número de condiciones físicas y mecánicas, tales como: reducción de los frotamientos, reducción de peso, buena conductividad para fácil dispersión de calor, compensación fácil de los efectos de dilatación y facilidad de engrase.

Los émbolos se fabrican de hierro fundido o de aleaciones ligeras, siendo ventajosa la fabricación con estas, pues la conductividad es cinco veces mayor y el peso es aproximadamente la tercera parte. En general el material para émbolos debe tener elevada conductividad térmica, y coeficiente de dilatación/ peso específico pequeños.

Cuesta nos dice que (1986: 60), El émbolo soporta temperaturas de aproximadamente 500° C en la cabeza, y 150° C en la falda, en tanto la temperatura media del cilindro es de 110° C y la de las culatas 180° C.

El juego entre embolo y cilindro se determina en función de las dilataciones de ambos, teniendo en cuenta el diferente calentamiento y su coeficiente de dilatación. El “campaneo” defecto del pistón cuando está mal ajustado(Cuesta, 1986) del embolo debido al cambio de oblicuidad de la biela al llegar a los puntos muertos, se produce en los émbolos de mucho juego, y tiene especial importancia en los émbolos de gran diámetro y de aleación ligera, cuando funcionan a varios regímenes y poca temperatura. Lógicamente también ocurre “campaneo” muy acusado en los cilindros desgastados, con el consiguiente paso de aceite a la cámara de combustión, desgastes prematuros y fugas de compresión.

Los émbolos utilizados en aviación admiten las tres formas posibles: cabeza plana, cabeza cóncava o cabeza convexa. Los émbolos de cabeza plana tienen la ventaja de que su longitud puede ser menor, para igualdad de diámetro que los de cabeza convexa o cóncava, si bien tienen el inconveniente de ser menos silenciosos que los otros dos tipos, pero esta contradicción tiene menos importancia que la reducción de peso que proporciona la menor longitud del embolo.

SEGMENTOS O ANILLOS

Son aros elásticos que montados en los alojamientos del embolo aseguran la estanqueidad en el cilindro, sirviendo además como transmisores de evacuación de calor desde el fondo del embolo a la pared del cilindro, e impiden la subida del aceite a la cámara de combustión.

Entre las extremidades de los segmentos hay un juego que puede ser oblicuo o de tipo bayoneta, utilizándose también el corte recto.

Para los segmentos de corte axial, el juego entre segmento y embolo debe ser pequeño, con objeto de no bombear aceite hacia la cámara de combustión.

La temperatura (Cuesta, 1986: 68) del segmento superiores aproximadamente 250° C más que la del cilindro. El valor normal de la presión de un segmento sobre el cilindro es de 4 gramos/ mm² y la potencia absorbida, por ejemplo para un motor de 6 cilindros, no llega a ser superior a 1 CV.

Los segmentos se fabrican de material más blando que el cilindro, al objeto de que sean aquellos los que se desgasten, y normalmente son de fundición.

BULON O PERNO

Es el elemento de unión entre el embolo y el pie de biela y está fabricado normalmente de acero, que admite cementación.

El bulón puede ser:

- Fijo en el alojamiento y móvil en el pie de biela
- Fijo en el pie de biela y móvil en el alojamiento
- Móvil en el pie de biela y móvil en el alojamiento (bulón flotante)

El emplazamiento del bulón en el embolo, está definido por el reparto de presiones de estas por el cilindro, siendo la posición optima la coincidente con el centro de gravedad de la línea de contacto del embolo sobre el cilindro, con lo que esta posición esta desplazada ligeramente hacia la falda, teniendo en cuenta que existen, por lo general, cuatro segmentos próximos a la cabeza.

BIELA

Es el órgano intermedio entre el bulón del embolo y la muñequilla o muñón del cigüeñal.

Las partes fundamentales de la biela son: la cabeza, el cuerpo y el pie. La cabeza unida al muñón, y el pie unido al bulón.

La longitud de la biela o distancia entre el eje del pie y el eje de la cabeza, es aproximadamente dos veces el valor de la carrera en el cilindro correspondiente.

CIGÜEÑAL

Es el componente del motor que recibe el movimiento de la biela, está formado principalmente por los muñones o apoyos, muñón de biela o muñequilla y los brazos. La alineación de los muñones constituye el árbol motor propiamente dicho. En las muñequillas van articuladas las cabezas de las bielas. Los brazos son elementos de unión entre muñones y muñequillas.

En aviación es corriente situar apoyos en el cárter entre los muñones del cigüeñal, configuración que exige una gran precisión en el mecanizado y en el montaje, consiguiéndose con ello una gran rigidez y menor desgaste por disminuir las inclinaciones de los muñones sobre los cojinetes. En la figura 1.2 se muestra un cigüeñal y sus partes principales.

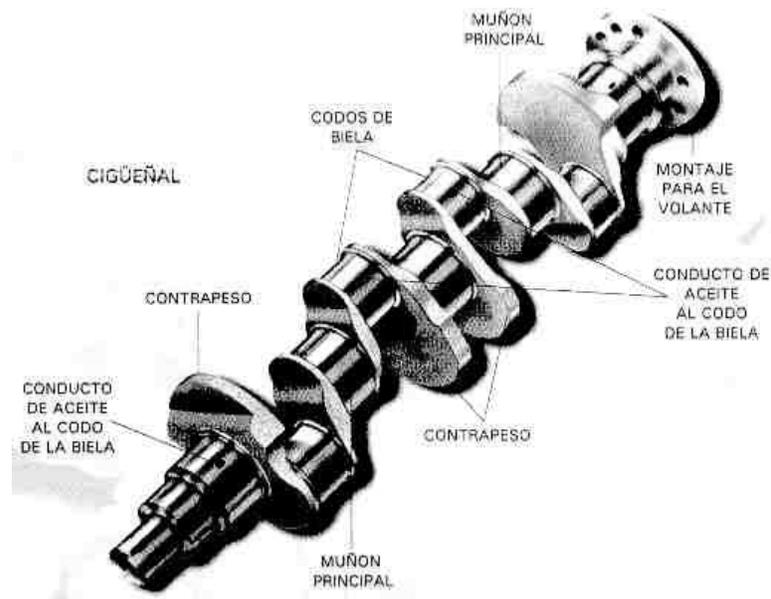


Figura 1.2 Cigüeñal

CARTER DE POTENCIA

Forma la estructura del motor que conforma los cojinetes del cigüeñal y los del árbol de levas. El cárter lleva aberturas circulares en las que van fijos los cilindros. La característica fundamental de un cárter es la rigidez a la flexión y a la torsión, dependiendo de la arquitectura del cárter.

Los materiales utilizados para cárteres son fundiciones y aleaciones ligeras a base de aluminio o a base de magnesio; y en los motores de gran potencia son de acero. En los bloques de fundición se utilizan camisas postizas de acero.

CAPITULO II

ESTUDIO DE LA DETERMINACIÓN DE POTENCIA TEÓRICA

En este capítulo se planteara la ecuación de potencia y con base a un motor de aviación existente se calculara la presión media efectiva de la nueva configuración, así también se verá la metodología que se utiliza para el cálculo del área de la cara superior del embolo propuesto, y se plateara como se puede configurar esta para agregar más émbolos.

Para entrar en el estudio de la factibilidad en la comparación de potencia iniciaremos por seleccionar un motor previamente fabricado, del cual se puedan obtener sus características de funcionamiento. Este motor es usado en aviación y es de 4 cilindros opuesto, eligiendo esta configuración debido a que es una de las configuraciones principales en la aeronáutica, para así conocer realmente la factibilidad de el desarrollo del nuevo MCIA.

Las características del motor IO-240 A y B son mostradas en la tabla 2.1, el cuál será el motor a comparar, mostrando también características de otros motores para poder comparar las características, o bien, obtener datos que nos ayudarán en nuestro estudio.

Tabla 2.1 Características del motor real IO-240 A y B

Motor	Cilindros	Potencia (HP)	D embolo	Carrera	Cilindrara
IO-240 Ay B	4	125=93.21 KW @2800RPM	4.44in=11.27cm	3.88in=9.85cm	240in ³ =3932.89cm ³
Motor	Altura	Largo	Ancho	Peso seco	R. Compresión
IO-240 Ay B	23.5in=59.69cm	31.4in=79.75cm	29.8in=75.69cm	205lb=93.07kg	8.5:1

La potencia en un MCIA está dada por la ecuación:

$$P = P_{ME}LANK$$

Donde:

P= Potencia entregada por el motor [HP]

P_{ME}=Presión media efectiva [lb/in²]

L= Carrera del embolo [in]

A=Área de la cabeza del émbolo [in²]

N=Número de revoluciones por minuto [RPM*]

K=Número de cilindros del motor

Para que las unidades en nuestro estudio sean compatibles se obtendrá el factor por el cual se multiplicará esta ecuación y de este modo obtener la potencia en caballos de fuerza "HP"

$$1HP = 550 \frac{lb\ ft}{s} \quad 12\ in = 1\ ft \quad 1\ min = 60\ seg$$

$$P = \frac{P_{ME}LANK}{(550)(12)(60)(2)} = \frac{P_{ME}LANK}{792000}$$

*NOTA: La división entre 2 es debida a que el número de carreras motrices se da cada 2 revoluciones, es decir, como N está dada en RPM, cada dos revoluciones se dará una carrera motriz, que es la carrera que da la potencia al motor.

2.1 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA

La presión media efectiva, es una presión ficticia que, si actuara sobre el émbolo durante toda la carrera de potencia o expansión, produciría la misma cantidad de trabajo neto que el producido durante el ciclo real (Cengel, 2007). Por tanto, la potencia media efectiva se podría tomar como factor promedio para la obtención de trabajo neto, donde a partir de la siguiente ecuación, se relaciona con el volumen desplazado, es decir, la diferencia de volúmenes entre el punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI):

$$W_{neto} = PME \times \text{área del émbolo} \times \text{carrera} = PME \times \text{volumen de desplazamiento}$$

Despejando:

$$PME = \frac{W_{neto}}{V_{PMI} - V_{PMS}}$$

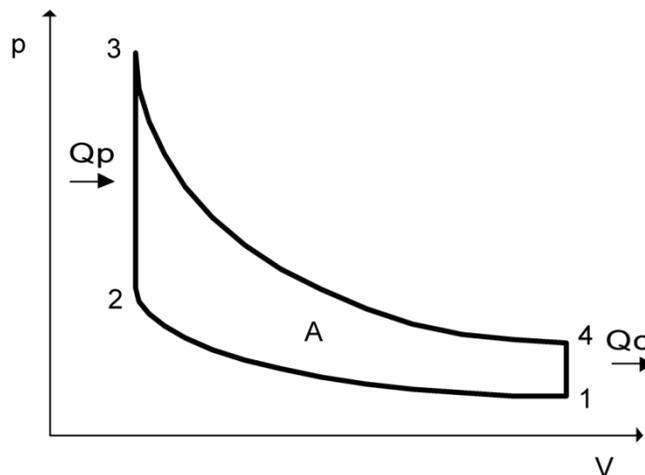


Figura 2.1 Diagrama PV ideal del ciclo Otto

Viendo en la figura 2.1 y recordando los conceptos que entran en esta ecuación, se tiene que el trabajo es el área que está dentro del ciclo Otto, como se muestra en la figura 2.1, por lo que siendo un ciclo ideal, se puede considerar que se llevará de misma forma el desarrollo del ciclo sin importar si el recipiente tiene una forma cilíndrica, como hasta ahora se han desarrollado los “cilindros” en los MCIAs, o bien, cualquier otra geometría, ya que como se ve en la ecuación, este puede tener una forma cualquiera, ya que lo que influye únicamente es el área de la cara superior del émbolo y la carrera.

Aclarando que este es solamente un estudio de factibilidad teórico, no se tomará en cuenta la forma en que se expande la mezcla aire-combustible dentro del cilindro, ya que ésta variará dependiendo de la geometría del espacio en el que se expanda, siendo generalmente un recipiente cilíndrico en los motores actuales. Sin embargo, la distribución uniforme de la mezcla puede optimizarse creando modificaciones en la cabeza del pistón

introduciendo canales o ductos que guíen a esta de mejor manera por todo el volumen de desplazamiento, o bien, modificando la forma de la cámara de combustión sin alterar su volumen. Cabe mencionar que la distribución también depende del número de válvulas del sistema, el tipo de inyección, los adelantos y retrasos a la apertura, y hasta las presiones que se manejan en los ductos de admisión escape y en el mismo volumen de desplazamiento.

Teniendo en claro que la variación entre el trabajo neto del motor ya existente y el que se desarrollará, podemos dedicarnos a cambiar la geometría del volumen de desplazamiento, así como los componentes que este cambio conlleva.

Según los datos del motor, la potencia entregada es de 125 HP a 2800 RPM, por lo que se puede obtener la presión media efectiva de éste con la siguiente ecuación, para tomarla como la misma que se tendrá en el MCIA que se desarrollará:

$$P = P_{ME} LANK$$

$$1HP = 550 \frac{lb ft}{s} = 6600 \frac{lb in}{s}$$

$$125 HP = 825000 \frac{lb in}{s}$$

$$P_{ME} = \frac{(2)825000 \frac{lb in}{s}}{240 in^3 (46.66 \frac{1}{s})} = 147.342 \frac{lb}{in^2}$$

Obteniendo esto y convirtiéndolo a sistema internacional obtenemos que:

$$P_{ME} = 103556.34331 Pa$$

Este será el valor que seguiremos utilizando para el estudio de nuestro motor, así como en la comparación final de potencia que se tendrá entre el motor IO-240 y el nuevo motor desarrollado.

2.2 ÁREA SUPERIOR DEL ÉMBOLO

Para obtener el área de nuestro émbolo, se igualará con el motor existente ya que como se propuso antes, las dimensiones de la cilindrada se igualarán para la comparación de las potencias, por lo que según la tabla 2.1, el diámetro del motor es de D=4.44 in, dando como resultado el área siguiente:

$$A_{IO} = \frac{\pi(4.44 in)^2}{4} = 15.483 in = 99.8707 cm^2$$

El área propuesta para la nueva configuración será semitriangular, pero no podemos obtenerla por la multiplicación de la base y su altura dividida entre dos, ya que se tiene un redondeo en las puntas que tendrá consecuencias en la cilindrada total.

Estos redondeos se proponen del 12 % de la menor de sus longitudes para el motor de 4 cilindros, ya que es un radio considerable con el que se puede lograr la estanqueidad, el cual también nos servirá para evitar concentración de esfuerzos.

Se hicieron pruebas con muestras reales comparando el peso de dos piezas de base de 10 cm y altura de 10 cm, la cual nos dará el mismo juego de ángulos que se tendrá en la nueva configuración de los émbolos, ya que estos llevarán un ángulo recto y dos ángulos de 45° para lograr la configuración cuadrada del monoblock.

En la tabla 2.2 se muestra como experimentalmente se obtuvieron los siguientes pesos con triángulos de aluminio de dos espesores distintos, sin importar éste ya que solo se comparará contra el área.

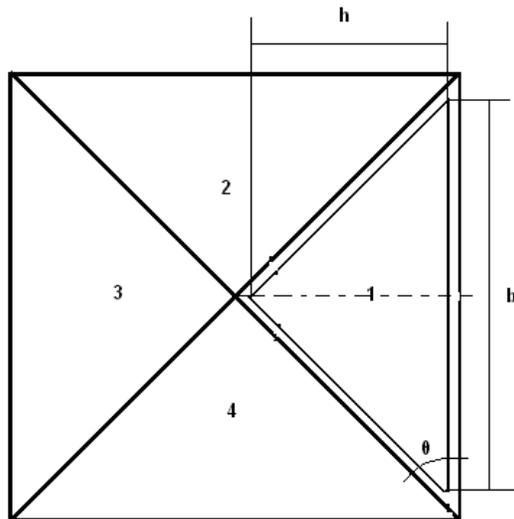
Tabla 2.2 Pesos de comparación en áreas

Figura	Peso (gf)	%
Triángulo 1 con puntas en ángulo	9.8	0.92244898
Triángulo 1 con puntas en radio	9.04	
Triángulo 2 con puntas en ángulo	6.85	0.92116788
Triángulo 1 con puntas en radio	6.31	

Como se nota, hay una diferencia de porcentaje en los pesos dada por los errores de la manufactura al cortar las piezas, o bien, por imperfecciones del material, pero, tomando en cuenta que la diferencia es mínima, se obtendrá un promedio de los dos porcentajes y se usará para obtener el área final del nuevo émbolo:

$$\% \text{ Área} = \frac{\%At1 + \%At2}{2} = \frac{(92.244898 + 92.116788)}{2} = 92.180843 \cong \mathbf{92.18}$$

Por lo que el área tendrá que ser de:



$$A1 = \frac{bh}{2} (0.9218) = 15.483 \text{ in}^2$$

Fig. 2.2 Esquema de triángulos

En la figura 2.2 se muestra que “h” está en función de “b”, por lo que se puede escribir, según la figura:

$$\theta = \frac{180^\circ - \frac{360^\circ}{\text{No. de cilindros}}}{2} = \frac{180^\circ - 90^\circ}{(2)} = 45^\circ \quad \tan\theta = \frac{2h}{b} \quad h = \frac{b \tan 45^\circ}{2} = b/2$$

$$A1 = \frac{b^2}{4} (0.9218) = b^2 (0.23045) = 15.483 \text{ in}^2$$

Con esto obtenemos el valor de b:

Radio en las puntas:

$$b = \sqrt{\frac{14.483 \text{ in}^2}{0.23045}} = 8.197 \text{ in}$$

$$r = 0.12 \frac{b}{2 \cos\theta} = 0.6955 \text{ in}$$

$$h = \frac{b}{2} = 4.098 \text{ in}$$

$$A = \frac{(0.9218)bh}{2} = 15.483 \text{ in}^2 = 99.8707 \text{ cm}^2$$

POTENCIA ENTREGADA EN LA NUEVA CONFIGURACIÓN

La carrera, número de cilindros y las revoluciones por minutos del motor nuevo, serán las mismas que las del motor a comparar, ya que fue una consideración que se tomo para lograr que la potencia sea la misma que en el caso del motor IO-240 A y B, por lo que solo se tomarán los siguientes valores:

Carrera = 3.88 in = 9.85cm

Número de cilindros = 4

Revoluciones por minuto en comparación de potencia= 2800 rpm

Con estos datos ya podemos tener la cilindrada del nuevo motor, la cual se define como:

$$\text{Cilindrada} = (\text{Área del embolo})(\text{Carrera})(\text{Número de cilindros}) = (15.483 \text{ in})(3.88)(4)$$

$$\text{Cilindrada} = 240.29 \text{ in}^3 = \mathbf{0.00393835 \text{ m}^3}$$

Ahora bien, esta cilindrada nos servirá para obtener la potencia entregada a 2800 revoluciones por minuto, por lo que según la ecuación de potencia y los datos previamente obtenidos, tenemos que:

$$P = P_{ME} LANK = \left(147.342 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}\right) (3.88 \text{ in})(15.483 \text{ in}^2) \left(\frac{2800}{60(2)} \frac{1}{\text{s}}\right) (4) = 826133.39 \frac{\text{lb in}}{\text{s}}$$

$$826133.39 \frac{\text{lb in}}{\text{s}} = 125.17 \text{ HP} \cong 125 \text{ HP}$$

Para efectos didácticos se convierte a sistema internacional

$$\mathbf{P \cong 93.95 \text{ KW}}$$

Como se muestra según las comparaciones, la potencia de comparación se cumple suponiendo un comportamiento teórico del sistema, por lo que podemos continuar con el estudio de esta nueva configuración.

2.3 CONFIGURACION GENERAL PROPUESTA PARA CUALQUIER NÚMERO DE CILINDROS

En el caso del motor de 4 cilindros se nota que la configuración se logrará por medio de un monoblock cuadrado, en su vista superior, debido a que la idea es usar polígonos con tantos lados como cilindros tenga el motor. Este mismo concepto lo usaremos para cualquier número de cilindros, por ejemplo, el de 6 utilizará un monoblock de configuración hexagonal y las variables geométricas podrán obtenerse a partir de las ecuaciones antes deducidas que se muestran a continuación:

$$\theta = \frac{180^\circ - \frac{360^\circ}{\text{No.de cilindros}}}{2} \quad \tan\theta = \frac{2h}{b} \quad h = \frac{b \tan\theta}{2} \quad r = 0.12 \frac{b}{2 \cos\theta}$$

Cabe mencionar que el factor que se uso para obtener el área de la superficie superior del émbolo cambiará en cada caso, ya que el área y los radios cambiarán en cada uno de los diferentes motores, por lo que en este caso se maneja únicamente como **Kw**, por lo que el área en cada caso será:

$$A = \frac{Kwbh}{2}$$

Estos parámetros geométricos se muestran en la siguiente figura:

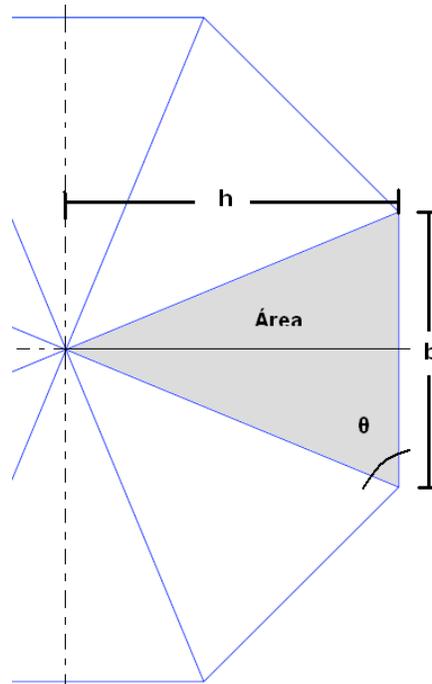


Figura 2.3 Parámetros geométricos para configuración general

CAPITULO III

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL MOTOR

En este capítulo se verán los planos de la configuración que se está plateando en esta investigación así como establecer las dimensiones de esta, con base a los cálculos realizados anteriormente.

Teniendo la idea general de medición de cilindrada, se puede obtener ahora las dimensiones geométricas del motor para lograr su funcionamiento, proponiendo nuevas formas de cigüeñal, monoblock y émbolos, configurando estos para lograr el funcionamiento adecuado.

Ya se tenían las medidas de la cara superior del émbolo, la cual era de suma importancia para conocer la potencia que entregaría este motor, ahora se propondrán medidas que no toman en cuenta el aspecto estructural, sino solamente funcional, por lo que se especificarán únicamente las dimensiones relevantes en el rediseño del motor, que se irán especificando a lo largo del desarrollo de este capítulo.

3.1 ÉMBOLOS

Anteriormente se determinaron medidas del émbolo que se usarán en la nueva geometría, en donde se obtuvo el área superior del émbolo en función de la base de este, tomando en cuenta redondeos acordados en los vértices del triángulo, transformando el área del triángulo en un área semitriangular equivalente. Estas dimensiones son tomadas en cuenta para rediseñar el émbolo y obtener las dimensiones mostradas en la figura 3.1

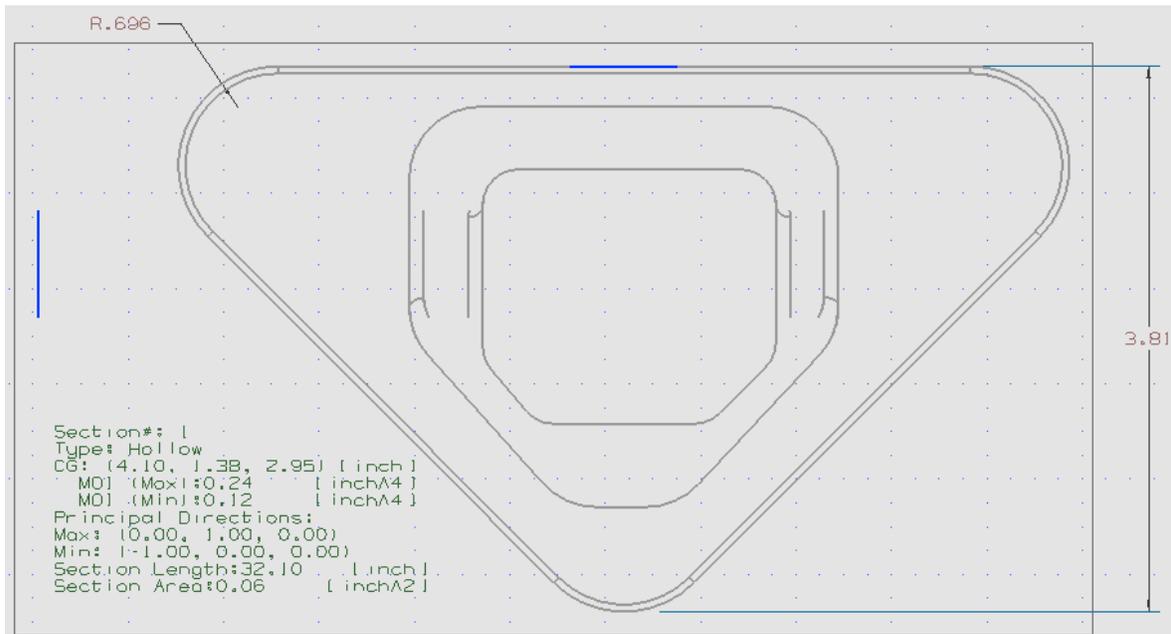


Figura 3.1 Vista inferior del émbolo

En la figura 3.1 se muestran las propiedades de inercia de la sección semitriangular que corresponde a la cara superior del émbolo, conociendo con esto donde queda el centroide del área, dando como coordenadas finales la mitad de la base y el 36.22% de la altura, siendo el caso de nuestro motor una distancia de 4.1 pulgadas desde el extremo de la base del émbolo y de 1.38 pulgadas desde la línea de base del semitriángulo en dirección hacia el centro del motor. Como se puede observar no son las mismas coordenadas que en un triángulo debido a los redondeos que se da en los bordes al área. Esta ubicación del centroide la usaremos para conocer la posición donde deberán ir los pernos o bulones en el émbolo, pieza de la cual se sujetará la biela para conectarse con el cigüeñal.

Estas propiedades son obtenidas por medio del software NX5, en la sección de análisis de secciones.

Otra importante dimensión es el radio de acuerdo entre los lados del semitriángulo, el cual se definió matemáticamente como:

$$r = 0.12 \frac{b}{2\cos\theta}$$

Que nos indica el 12% de la longitud de los lados iguales del triángulo base mostrada en la figura 3.2 ,sin acuerdos (redondeos) tomando en cuenta que se trata de un triángulo isósceles.*

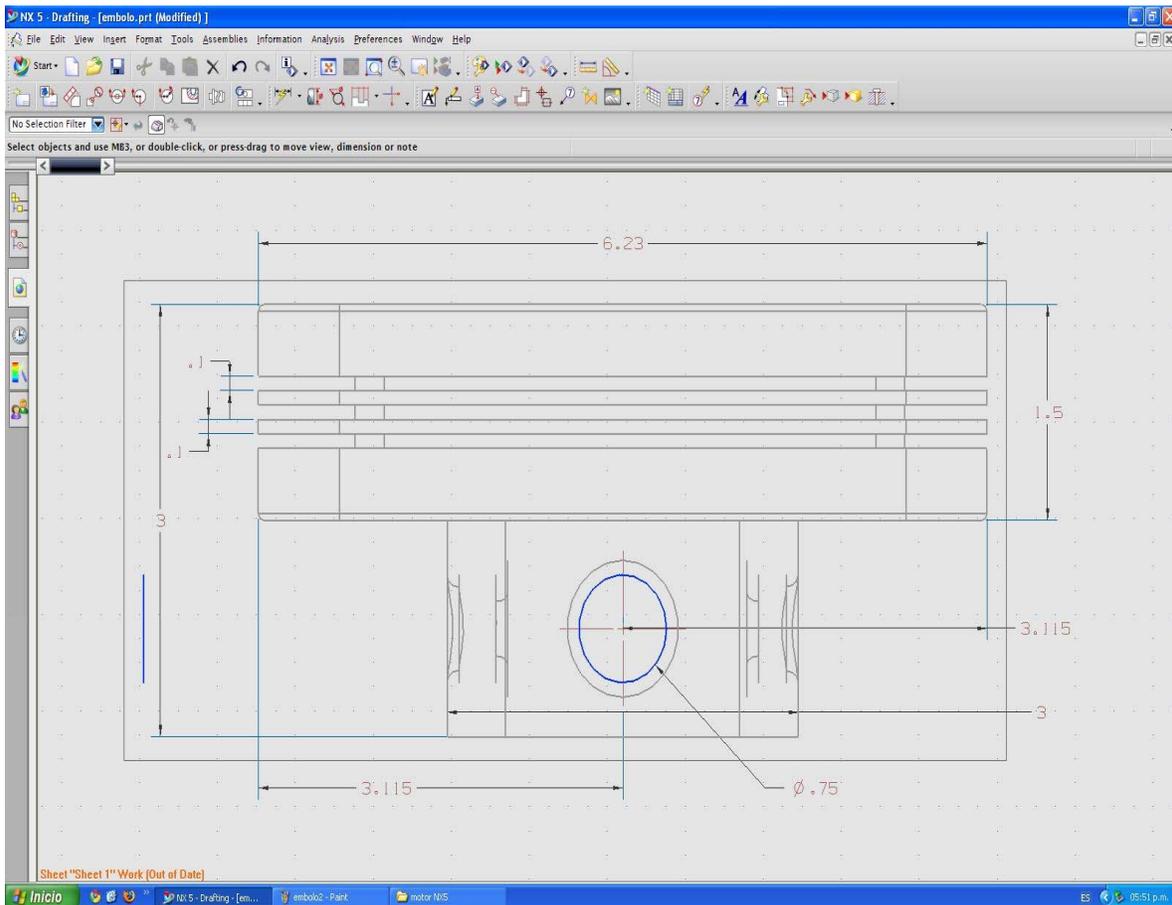


Figura 3.2 Vista lateral del émbolo con respecto a la base

***NOTA:** En el caso del motor de 6 cilindros, el triángulo base es equilátero, por lo que se puede tomar como radio el 12% de cualquiera de sus lados.

En esta vista se muestran dos medidas relevantes, una es la longitud máxima de base con acuerdos, que en nuestro caso es igual a 6.23 pulgadas, mostrando que con respecto al triángulo base sin acuerdos, donde la longitud era de 8.197 pulgadas, tienen una relación del 76%.

La otra longitud mostrada, es la longitud que existe desde el extremo más lejano hasta el centroide del área superior, el cual se usa para colocar el bulón en una de las dos posiciones que requerirá nuestra nueva configuración. (Explicación posterior)

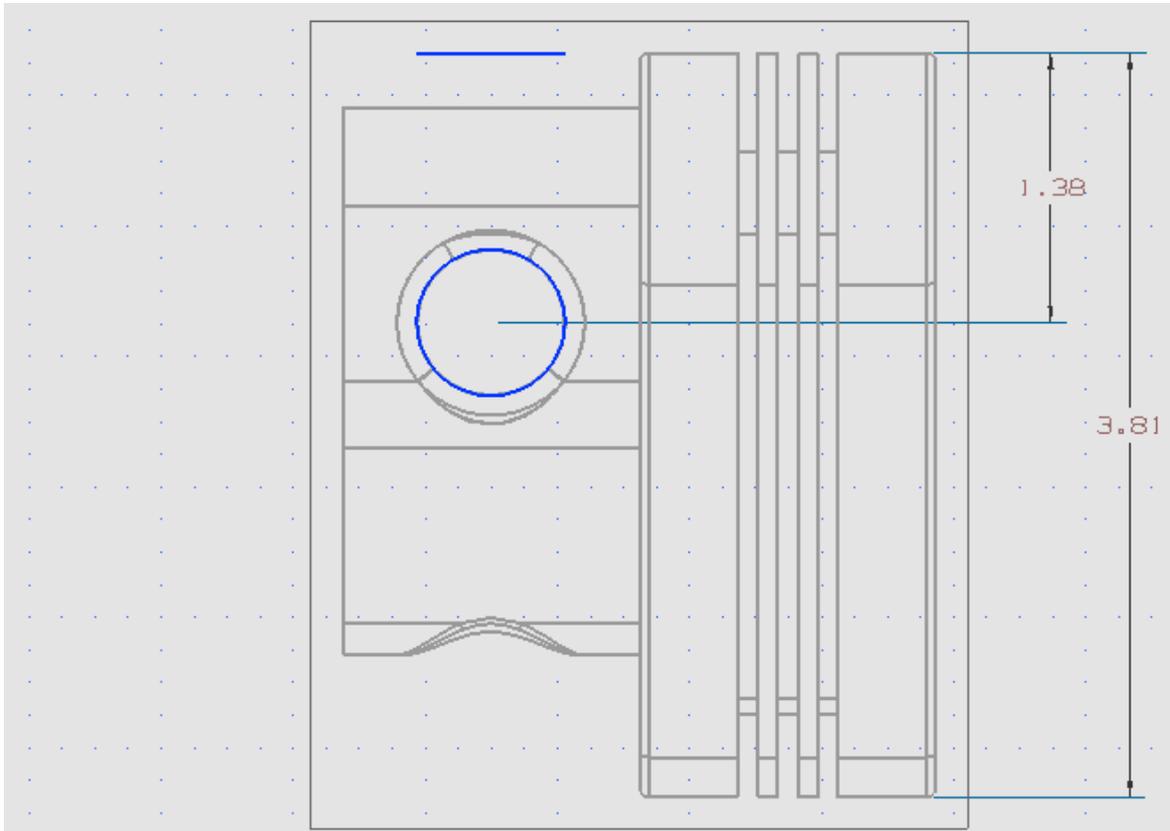


Figura 3.3 Vista lateral con respecto a la altura

En la figura 3.3 también se hace referencia a dos longitudes importantes, similares a las longitudes de la vista anterior, mostrando en este caso la relación entre la altura del triángulo base, y la altura del semitriángulo (con redondeos), las cuáles son de 4.098 pulgadas y 3.81 pulgadas respectivamente, teniendo una relación del 92.97% con respecto al triángulo base.

La otra medida es la distancia desde el punto más alejado del acuerdo entre los lados de longitud igual, y el centroide del área superior del émbolo, que nos ayudará a posicionar el bulón en la segunda posición que se requerirá en la configuración.

Estas medidas son las que se necesitarán en el rediseño, las medidas extra sólo se dan en este caso para lograr la esquematización de la configuración, por lo que no se especifican, sin embargo, se hará un esquema similar y con las mismas características y dimensiones para el motor de configuración opuesta con el que se comparó, para así obtener de manera mas aproximada si la reducción de peso y espacio se cumple, y si es

así, en que porcentaje, sin embargo también se tomarán en cuenta solamente los componentes que se rediseñarán en la nueva configuración y los necesarios para lograr el funcionamiento del sistema.

Finalmente obtenemos una vista isométrica del émbolo, mostrada en la figura 3.4, el cual, como una característica nueva no lleva solo un eje para colocar el bulón, sino dos. (Explicación posterior)

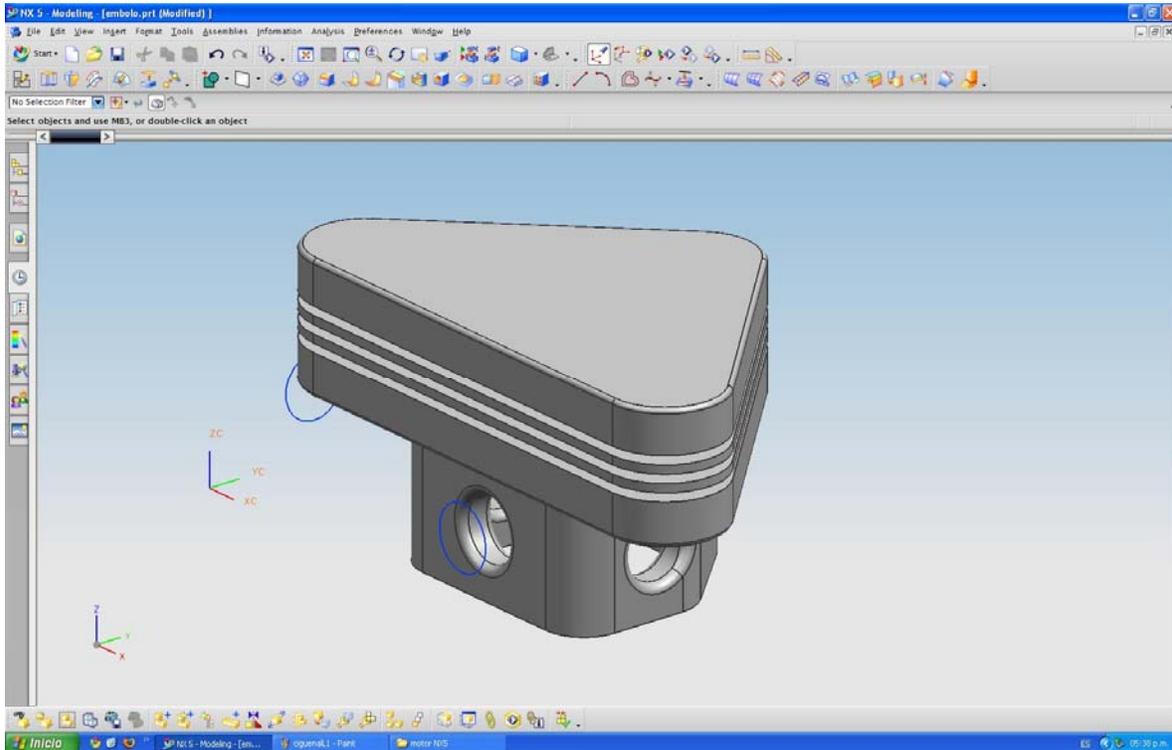


Figura 3.4 Vista isométrica del émbolo

Cabe mencionar que las medidas de este émbolo serán tomadas para el modelo del émbolo del motor dado, con la misma altura, mismo espesor de anillos y misma separación entre ranuras de este, obteniendo de este modo una aproximación mayor del peso de cada motor.

3.2 CIGÜEÑAL Y CONJUNTO BIELA MANIVELA

En esta nueva configuración alternativa, el cigüeñal juega un papel de suma importancia en el funcionamiento de este, debido al tamaño reducido de longitud en que el cigüeñal se colocará. Iniciamos dando una breve explicación del funcionamiento de este, suponiendo que los dos émbolos de la orilla trabajarán de manera similar a una configuración en línea, y los dos del centro, compartirán un muñón de cigüeñal funcionando similar al accionamiento de una configuración en “V” pero con características particulares debido al ángulo de inclinación del cilindro, por lo que su análisis se hará de forma particular. Por

ello el cigüeñal llevará tres muñones de biela, uno del doble de tamaño que los otros dos, donde se colocarán las bielas de los dos émbolos que se encuentran opuestos con respecto al eje del cigüeñal.

El radio de giro “R” de cigüeñal para esta configuración se mide desde el eje central de muñón de bancada hasta el eje central del muñón de biela, y este es igual a la mitad de la longitud de la carrera, es decir:

$$Carrera = 2 \times radio$$

En nuestro caso, se tiene una carrera de 3.88 pulgadas, ya que se igualó a la carrera que tenía el motor IO-240, por lo que el radio del cigüeñal será:

$$radio = \frac{carrera}{2} = \frac{3.88 \text{ in}}{2} = 1.94 \text{ in} = \underline{\underline{4.9276\text{cm}}}$$

Para obtener la longitud de biela “L” de la configuración lineal se introduce un nuevo término que relaciona el radio con la longitud de la biela, el cual se define como sigue:

$$\lambda = \frac{R}{L}$$

Según estudios previos, el rango optimo de funcionamiento se encuentra entre:

$$0.23 < \lambda < 0.33$$

Se pretende que los cilindros estén a la misma altura, trayendo con ello la diferencia entre la configuración en V y la configuración nueva, debido a que en la típica el cilindro esta inclinado, y su línea de centro pasa por el punto central de giro del cigüeñal. En el caso de la nueva configuración, el cilindro estará dispuesto de manera paralela a los que se encuentran en configuración en línea, mostrándose más claramente en la figura 3.5.

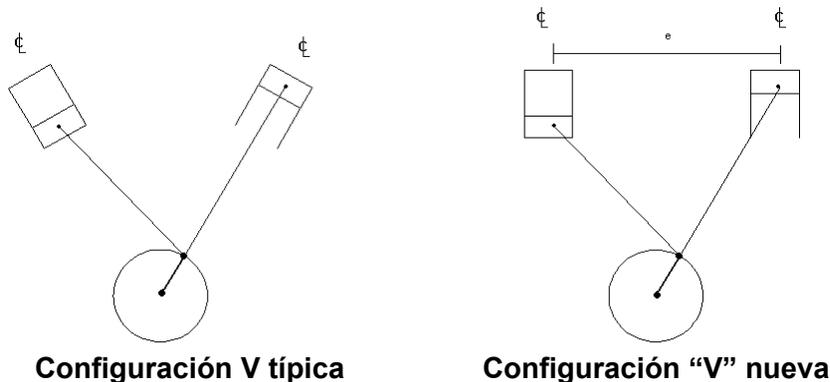


Figura 3.5 Diferencia entre configuración v típica y la propuesta

A partir de esta aclaración, y de la medida deducida de radio para configuración en línea se inicia el análisis de este, para lograr el funcionamiento del motor haciendo correr el pistón 3.88 pulgadas en sus dos configuraciones. El análisis lo podemos iniciar a partir de la figura 3.6.

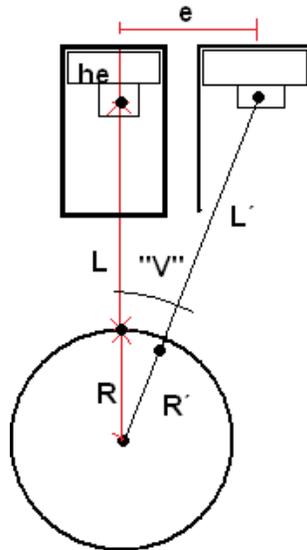


Figura 3.6 Diagrama de configuración general del sistema biela manivela

R: Radio definido de la configuración en línea, que para el motor IO-240 es de 1.94 in.

L: Es la longitud de la biela, que está en función de $L = \frac{R}{\lambda} = \frac{1.94}{\lambda}$.

he: Es la distancia que hay desde la cara activa del émbolo hasta el eje del bulón, el cual se tomará de 2.25 in según dimensiones previas del émbolo.

e: Es la distancia horizontal que existe entre el eje del bulón hasta el centro del cigüeñal, que es de 3.02 in (explicado posteriormente en el desarrollo de monoblock).

R': Es el radio de giro del cigüeñal en la configuración "V", el cual no necesariamente es igual al de configuración en línea, dependiendo de las condiciones geométricas.

L': Es la longitud de biela de la configuración en "V".

Nota: Todos los valores marcados con un apóstrofe referirán a la configuración "V"

Por teorema de Pitágoras se puede conocer el valor de $L'+R'$ conociendo los valores de R, L, he y e, pero L se ha dejado en función de λ , para así lograr que los dos λ' y λ se encuentren en el rango dado anteriormente, por lo que se tabulan valores propuestos para λ , y se tabularán comprendiendo que:

$$L' + R' = \sqrt{e^2 + \left(R + \frac{R}{\lambda}\right)^2} = \sqrt{3.02^2 + \left(1.94 + \frac{1.94}{\lambda}\right)^2}$$

El ángulo de la inclinación "V" esta dado por:

$$\tan "V" = \frac{e}{R + \frac{R}{\lambda}} = \frac{3.02}{1.94(1 + \frac{1}{\lambda})} \quad "V" = \tan^{-1}\left(\frac{3.02}{1.94(1 + \frac{1}{\lambda})}\right)$$

Tabla 3.1 Selección de dimensiones para ambas configuraciones

λ	L	L'+R'	R'	L'	λ'
0.23	8.4348	10.8053928	1.8214	8.984	0.2027
0.24	8.0833	10.4684102	1.8115	8.657	0.2092
0.25	7.76	10.1592519	1.8012	8.3581	0.2155
0.26	7.4615	9.87468103	1.7906	8.0841	0.2215
0.27	7.1852	9.61194073	1.7797	7.8322	0.2272
0.271	7.1587	9.58677342	1.7786	7.8081	0.2278
0.272	7.1324	9.56179836	1.7775	7.7843	0.2283
0.273	7.1062	9.53701341	1.7764	7.7606	0.2289
0.274	7.0803	9.51241648	1.7753	7.7371	0.2295
0.275	7.0545	9.48800548	1.7742	7.7138	0.23
0.276	7.029	9.46377837	1.7731	7.6907	0.2305
0.277	7.0036	9.43973314	1.772	7.6678	0.2311
0.278	6.9784	9.41586781	1.7708	7.645	0.2316
0.279	6.9534	9.39218041	1.7697	7.6225	0.2322
0.28	6.9286	9.36866902	1.7686	7.6001	0.2327
0.281	6.9039	9.34533174	1.7675	7.5779	0.2332
0.282	6.8794	9.32216669	1.7663	7.5558	0.2338
0.283	6.8551	9.29917203	1.7652	7.534	0.2343
0.284	6.831	9.27634594	1.7641	7.5123	0.2348
0.285	6.807	9.25368661	1.7629	7.4908	0.2353
0.29	6.6897	9.14283044	1.7572	7.3856	0.2379
0.3	6.4667	8.93266167	1.7455	7.1871	0.2429

Se ha elegido el valor de $\lambda=0.28$ por la razón de que λ' se encuentra dentro del rango, y el valor de radio no se aleja tanto del radio de giro de la configuración en línea, sin embargo, cualquiera de los valores consiguientes pueden hacer funcional al motor.

En este caso el ángulo "V" será:

$$"V" = \tan^{-1}\left(\frac{3.02}{1.94(1 + \frac{1}{\lambda})}\right) = \tan^{-1}\frac{3.02}{1.94(1 + \frac{1}{0.28})} = 18.805^\circ$$

En la figura 3.7 se muestran las principales dimensiones del cigüeñal, mencionando de nuevo longitudes y espesores que se tomarán en el modelado del motor ya existente para

la comparación de pesos, como lo son espesores de contrapesos, longitudes de muñón de biela, así como el diámetro de este.

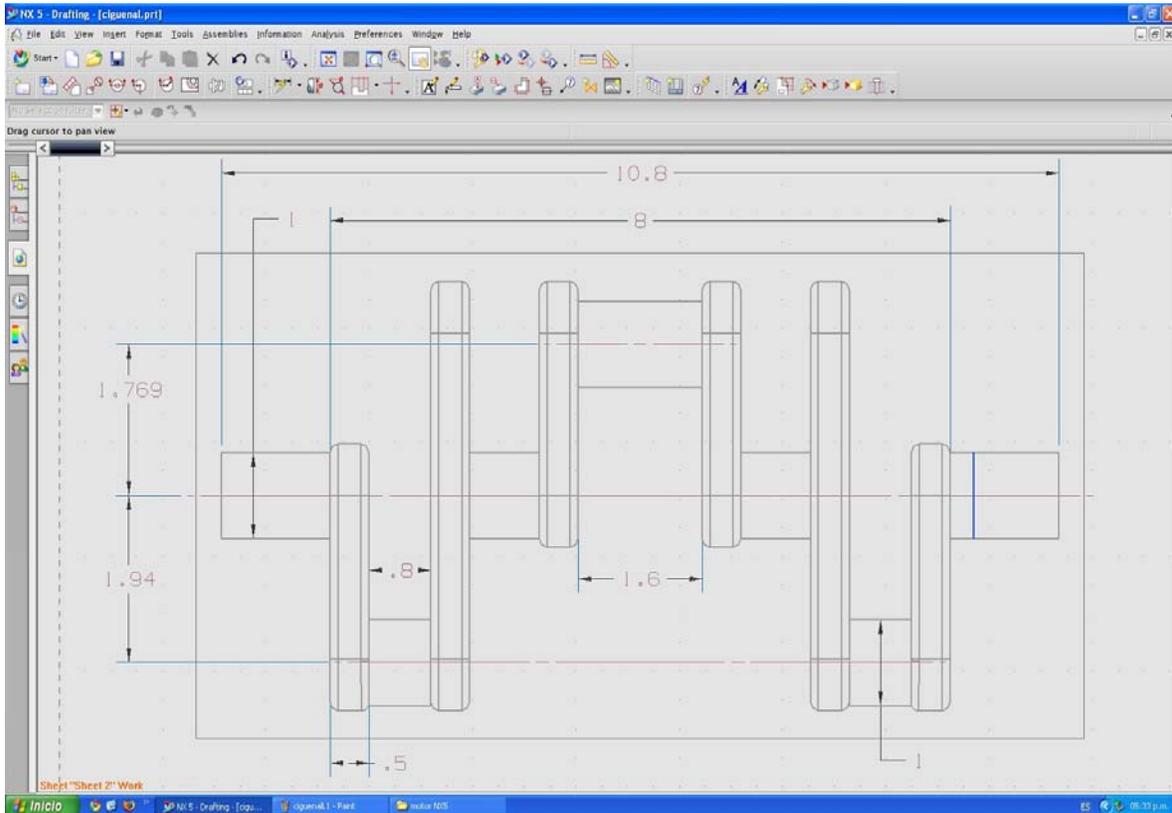


Figura 3.7 Cigüeñal

El cigüeñal correrá en su eje central como configuración en línea, es decir, sus apoyos principales estarán en el monoblock de los lados de los cilindros 1 y 3. Con esto, los émbolos 2 y 4 tendrán el muñón de bancada común, trabajando como una configuración típica en "V", y los émbolos 1 y 3 tendrán un muñón de bancada independiente. Por ello, todos los bulones tienen que ir paralelos al cigüeñal para lograr que el sistema biela manivela funcione correctamente. Es aquí donde se explica porque se necesitan dos ejes de bulón en el émbolo, ya que como se muestra en 1 y 3 este deberá ir paralelo a la altura del émbolo y sobre el mismo eje, pero en 2 y 4, el bulón tiene que estar perpendicular a este eje, y su eje tiene que pasar por el centro de gravedad del émbolo para evitar momentos y tratar de reducir las fuerzas laterales.

Se muestra también que el muñón compartido es más largo que los independientes para lograr la sujeción de las bielas 2 y 4, que llevarán una configuración particular descrita posteriormente.

Aquí mismo se muestra la longitud máxima del cigüeñal que es de 10.8, dejando un margen para la conexión de otros dispositivos, como puede ser el volante de motor. Sin

embargo, esta sólo es una medida propuesta y no tiene relevancia en la nueva configuración, siendo relevante únicamente las medidas entre paredes del monoblock. La diferencia de la medida entre los contrapesos laterales y paredes del monoblock se usará para evitar la fricción entre estos. En la figura 3.8 se muestra el esquema general del cigüeñal.

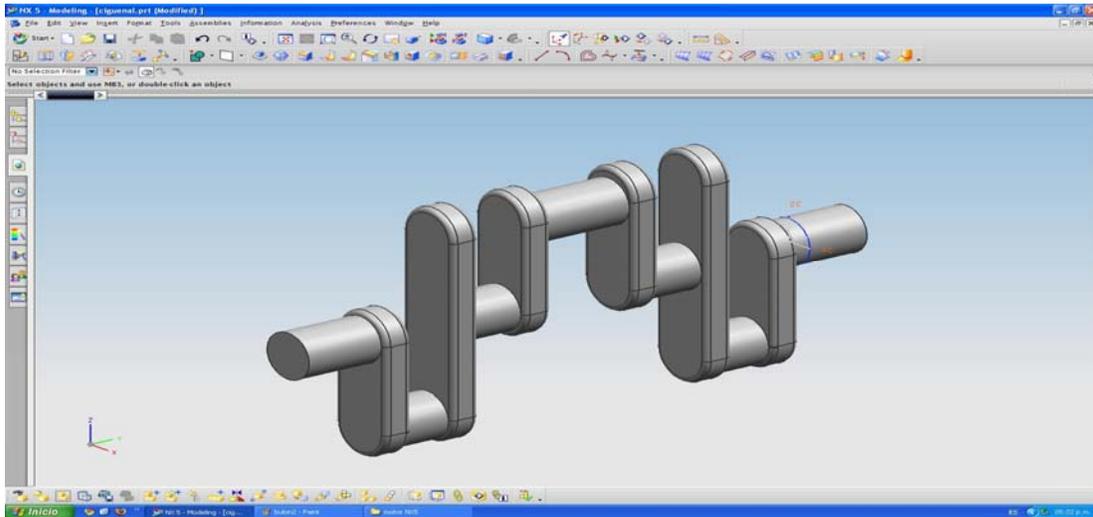


Figura 3.8 isométrico de cigüeñal

Las bielas tendrán las longitudes ya definidas entre sus centros, y se dará un espesor constante en este y en el motor contra el que se comparará, siendo este de 0.8 in, que es la medida de la longitud del muñón de biela dada anteriormente.

Los diámetros de sus centros también serán iguales, siendo el de la cabeza de biela de 0.75 in, y el del pie de biela de 1.0 in, medidas que también fueron dadas en el modelado del émbolo y del muñón de biela respectivamente. La biela de configuración en L tendrá las características siguientes, mostrando de igual manera en la figura 3.9.

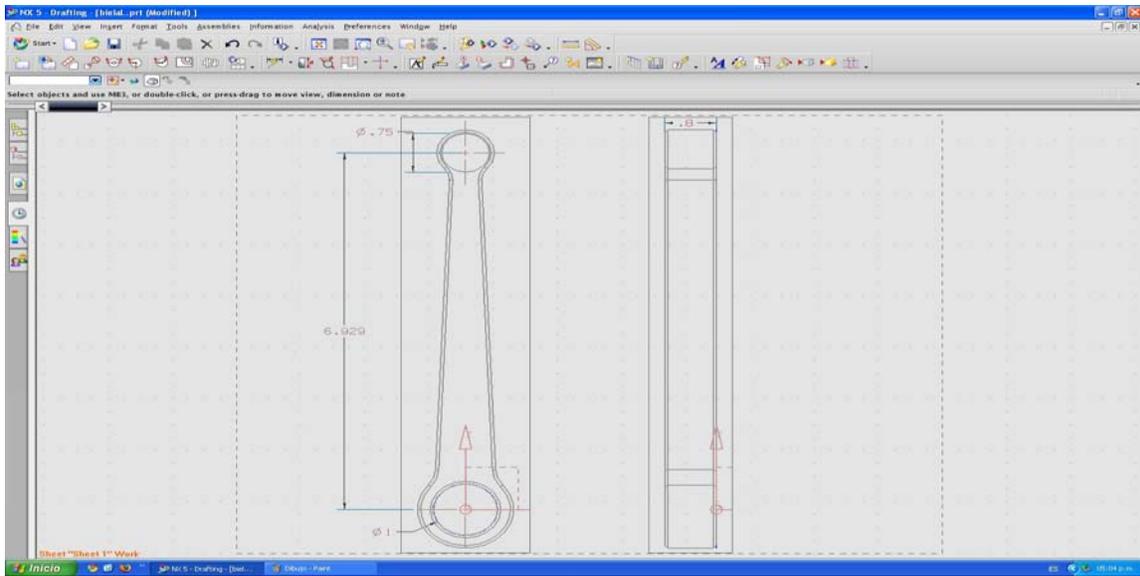
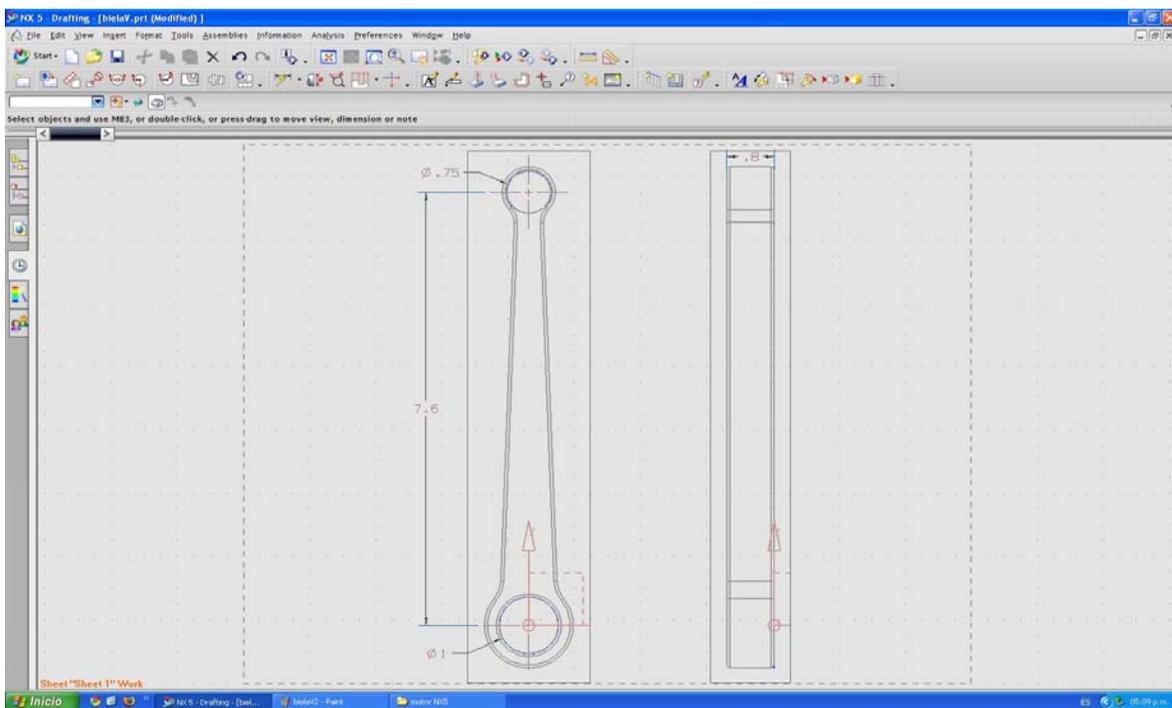


Figura 3.9 Biela de configuración en línea

La longitud L se redondea a milésimas, la cuál había sido previamente mostrada en la tabla 3.1. Esta biela se usará también como parte del modelado del motor IO-240.

Para la biela en “V” se considera una configuración particular de dos bielas distintas con la misma longitud L’:



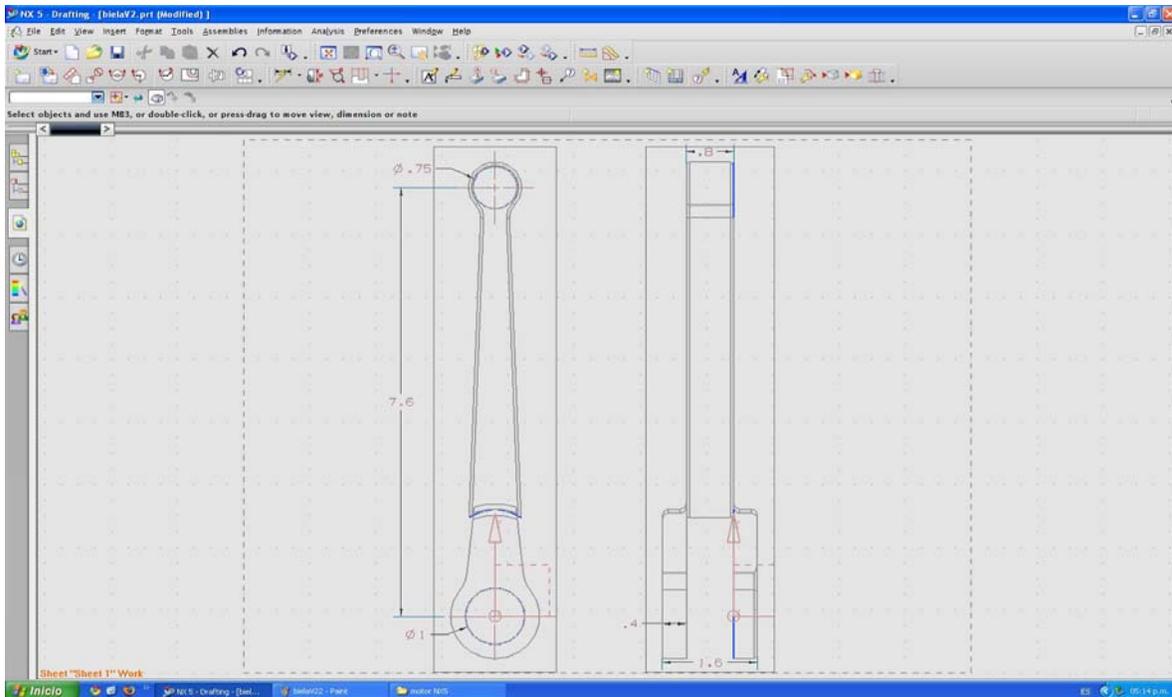


Figura 3.10 Bielas en configuración tipo “v”

En la figura 3.10 muestran dos bielas de longitud igual, pero la configuración cambia debido a que las dos bielas están en el mismo plano, y por la ley básica de que dos cuerpos no puede ocupar el mismo espacio al mismo tiempo, se decide hacer una “abrazadera” a una de estas bielas, que cubra el espesor de la otra y tenga el suficiente espacio para que las dos puedan moverse libremente y evitar el choque entre estas, lo que ocasionaría que el motor no fuese funcional. Esta configuración se aclara mejor con el ensamble final del motor.

3.3 MONOBLOCK

El monoblock, como ya se menciona, es la “caja” donde se encuentran todos los componentes que se están rediseñando en el nuevo motor, por lo que es importante conocer las dimensiones de este, para conocer si es funcional o no el motor.

Iniciaremos dando la longitud del cilindro, el cuál será mayor a la carrera debido a que esta solo cubriría la longitud que recorre la cara activa del émbolo, pero no así los anillos, lo que ocasionaría que se salieran cada vez que el émbolo llega al punto muerto inferior. Esta es la razón por la cual la altura del cilindro será de 4.88 in, y será la misma para los dos motores, debido a que el final del anillo de lubricación se encuentra una pulgada debajo de la cara activa del émbolo.

Otra medida que se toma es la del espesor de las paredes del monoblock, el cual se toma de 0.424 in, tomando esta medida de un motor existente, adoptándola como estándar entre los motores a comparar.

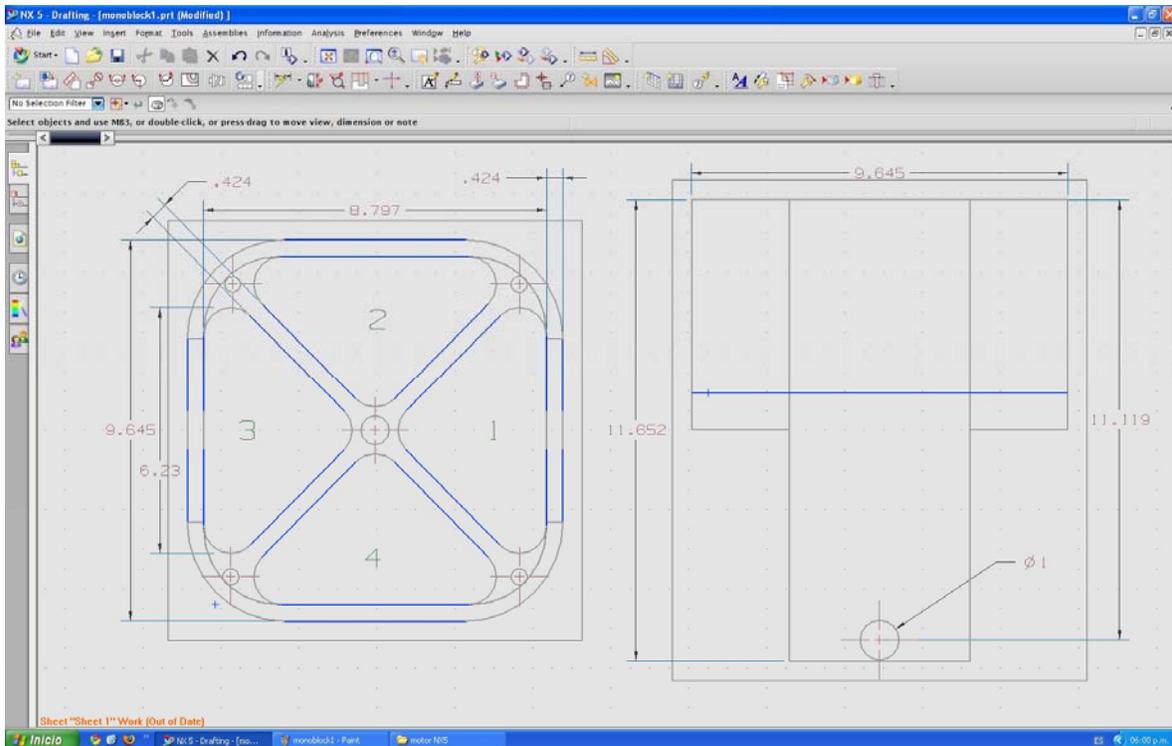


Figura 3.11 Vistas del monoblock

En la figura 3.11 muestra como quedarán numerados los cilindros, llevando un orden de numeración anti horario. Los apoyos para el cigüeñal estarán situados de los lados de los cilindros 1 y 3.

En nuestro motor, la longitud máxima del monoblock es de 9.645 in de lado, y el espacio donde el cigüeñal podrá usarse quedará inmerso entre las paredes del monoblock, por lo que la longitud de este, sin apoyos principales, será de 8.797 pulgadas.

La altura entre el eje de apoyo principal del cigüeñal y la cara superior del monoblock se deduce a partir de la configuración del sistema biela manivela a partir de la siguiente condición:

$$h = R + L + h_e = 1.94 + 6.9286 + 2.25 = 11.1186 \text{ in}$$

$$\mathbf{h = 28.2194cm}$$

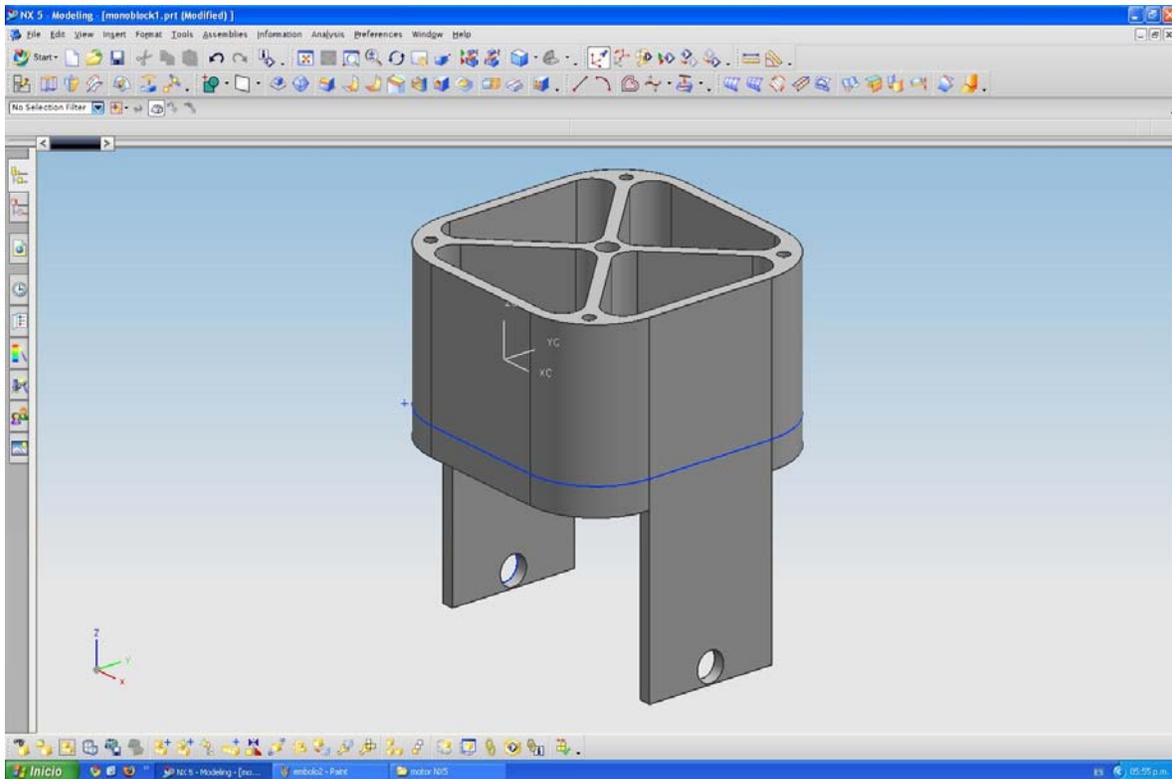


Figura 3.12 Isométrico del monoblock

Se ha modelado solo con las paredes de los apoyos para poder visualizar el funcionamiento de este, lo cual se hará de igual modo con el motor IO-240, se puede observar en la figura 3.12

3.4 BULON

La última pieza que se modeló fue el bulón, que es pieza fundamental para unir el sistema biela manivela con el émbolo, ya que este otorga el grado de libertad rotacional necesario para lograr el funcionamiento alternativo de este.

El bulón tiene las siguientes características y también será usado en el modelado del motor IO-240, en la figura 3.13 se muestra el esquema

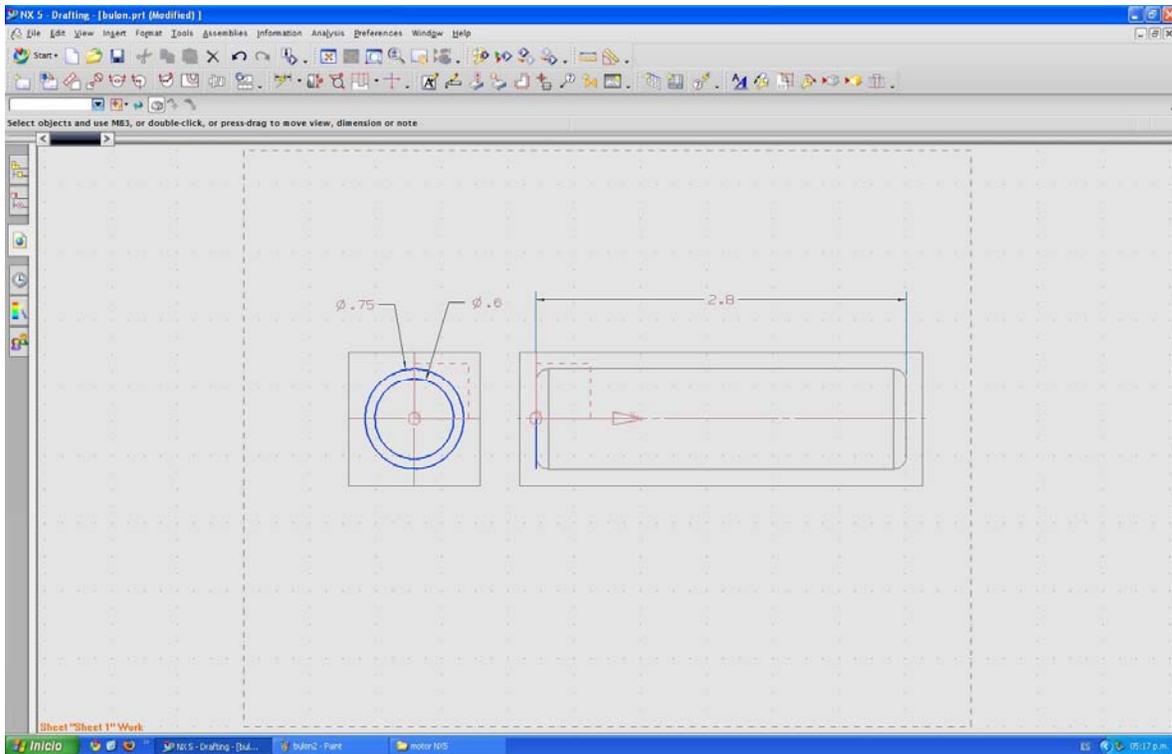


Figura 3.13 Bulón

CAPITULO IV

ANALISIS DE LA CINEMÁTICA Y EQUILIBRADO DE FUERZAS DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DEL CIGUEÑAL

En el siguiente capítulo se analizará la cinemática de la configuración que se está analizando en este proyecto, con base a ello podemos hacer el equilibrio de fuerzas que actúan sobre el cigüeñal, se verá el orden de encendido, para evitar más vibraciones en el motor.

4.1 CINEMATICA

Para el estudio del comportamiento de la nueva configuración del motor se divide en dos secciones, en el sistema biela-manivela en línea, y el sistema biela manivela en “V”, ya que se tienen diferentes características de cada uno de estos sistemas, y tomando en cuenta que los émbolos 1 y 2 son iguales, de igual manera los émbolos 2 y 4 posteriormente al tener los resultados, se compararan para hacer el equilibrado de las fuerzas que actúan sobre la nueva configuración del cigüeñal. Para el sistema biela-manivela en línea se tienen las siguientes características que se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características de los émbolos en línea

L [cm]	Ac [cm ²]	P _{IME} [Kpa]
17.57	103.22	507.94
C [cm]	Rc	P _{BME} [Kpa]
9.85	8.5	431.75
R [in]	Vu [cm ³]	Potencia [KW]
4.92	984,44	93.21
λ	Vcc [cm ³]	m _a [kg]
0.27999885	131,26	1
ω [RPM]	n	m _c [kg]
2800	1.333	1
ω [rad/seg]	η_{mec}	FD
293.215314	0.85	0.9

Por la disposición de los muñones del pistón se tiene las siguientes características del sistema biela-manivela mostradas en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 características de los émbolos en “v”

L [cm]	Ac [cm ²]	P _{IME} [Kpa]
19.304	103.22	507.94
C [cm]	Rc	P _{BME} [Kpa]
9.85	8.5	431.75
R [cm]	Vu [cm ³]	Potencia [KW]
4.4922	984,44	93.21
λ	Vcc [cm ³]	m _a [kg]
0.23271053	131,26	1
ω [RPM]	n	m _c [kg]
2800	1.333	1
ω [rad/seg]	η_{mec}	FD
293.215314	0.85	0.9

Tanto las masas que están en movimiento rotativo como en movimiento alternativo se dejaron en un valor unitario para que posteriormente se manejen los valores apropiados para el equilibrado de motor si es necesario.

Debido a la nueva configuración que proponemos, el análisis cinemático se realiza de manera particular replantando el análisis del desplazamiento, las velocidades y las aceleraciones.

Observando la disposición de los émbolos y el desplazamiento que se tiene de dos émbolos con respecto a la línea de centro del cigüeñal, se obtiene la siguiente deducción:

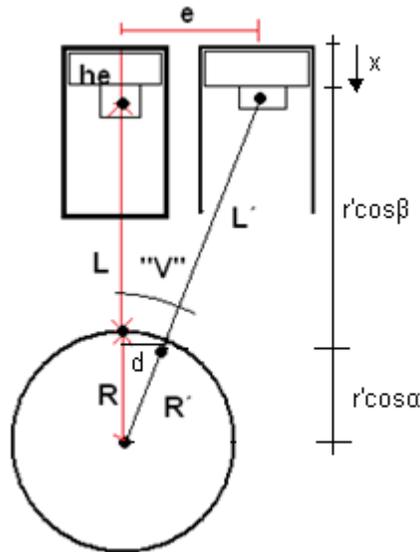


Figura 4.1 Diagrama de configuración general del sistema biela manivela, relación trigonométrica para la cinemática

Viendo el diagrama anterior, para obtener el desplazamiento de los émbolos dispuestos en "V" basándonos en funciones trigonométricas tenemos que:

$$R + L - x = L' \cos \beta + R' \cos \alpha$$

Despejando x de la ecuación (a) que es el desplazamiento se tiene que:

$$x = R + L - L' \cos \beta - R' \cos \alpha$$

Pero como las líneas de centros de los émbolos en "V" son diferentes y viendo la figura 4.1 se deduce que:

$$\begin{aligned} \operatorname{sen} \alpha &= \frac{d}{R'} & ; & \quad d = R' \operatorname{sen} \alpha \\ \operatorname{sen} \beta &= \frac{e \pm d}{L'} & ; & \quad L' \operatorname{sen} \beta = e \pm d & ; & \quad d = e \pm L' \operatorname{sen} \beta \end{aligned}$$

El símbolo (\pm) es debido a que émbolo del lado derecho con respecto al cigüeñal, tiene un análisis similar al del lado izquierdo, solo que la longitud “e” cambia de sentido.

Por lo tanto:

$$\text{Sen}\beta = \frac{e}{L'} - \lambda' \text{sen}\alpha$$

Y recordando la identidad trigonométrica siguiente:

$$\text{Cos}\beta = \sqrt{1 - \text{sen}^2\beta}$$

Para dejar el desplazamiento de un solo ángulo que en este caso es alfa (α) obtenemos que, para determinar el desplazamiento en cada ángulo es:

$$x = R + L - R' \text{cos}\alpha - L' \sqrt{1 - \left(\frac{e}{L'}\right)^2 + \frac{2e\lambda' \text{sen}\alpha}{L'} - \lambda'^2 \text{sen}^2\alpha}$$

Teniendo en cuenta que la primera derivada del desplazamiento con respecto al tiempo, es la velocidad consideramos que:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial x}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

Obtenemos que la velocidad se define como:

$$v = \omega R' \left[\text{sen}\alpha - \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{\frac{e}{L'} \lambda' \text{cos}\alpha - \lambda'^2 \text{sen}\alpha \text{cos}\alpha}{\sqrt{1 + \frac{2e\lambda' \text{sen}\alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2}} \right) \right]$$

Y al obtener la velocidad, se deriva para obtener la aceleración obtenemos que:

$$a = \omega^2 R' \left[\text{cos}\alpha - \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{\sqrt{1 + \frac{2e\lambda' \text{sen}\alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2} \left(-\frac{e}{L'} \lambda' \text{sen}\alpha + \lambda'^2 \text{sen}^2\alpha \text{cos}^2\alpha \right) - \left(\frac{e}{L'} \lambda' \text{cos}\alpha - \lambda'^2 \text{sen}\alpha \text{cos}\alpha \right) \left(\frac{\frac{e\lambda' \text{cos}\alpha}{L'}}{\sqrt{1 + \frac{2e\lambda' \text{sen}\alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2}} \right)}{1 + \frac{2e\lambda' \text{sen}\alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2} \right) \right]$$

Teniendo una analogía y haciendo los cálculos para el émbolo 4, se obtuvieron las siguientes ecuaciones para su análisis teniendo que el desplazamiento es:

$$x = R + L - R' \text{cos}\alpha - L' \sqrt{1 - \left(\frac{e}{L'}\right)^2 - \frac{2e\lambda' \text{sen}\alpha}{L'} - \lambda'^2 \text{sen}^2\alpha}$$

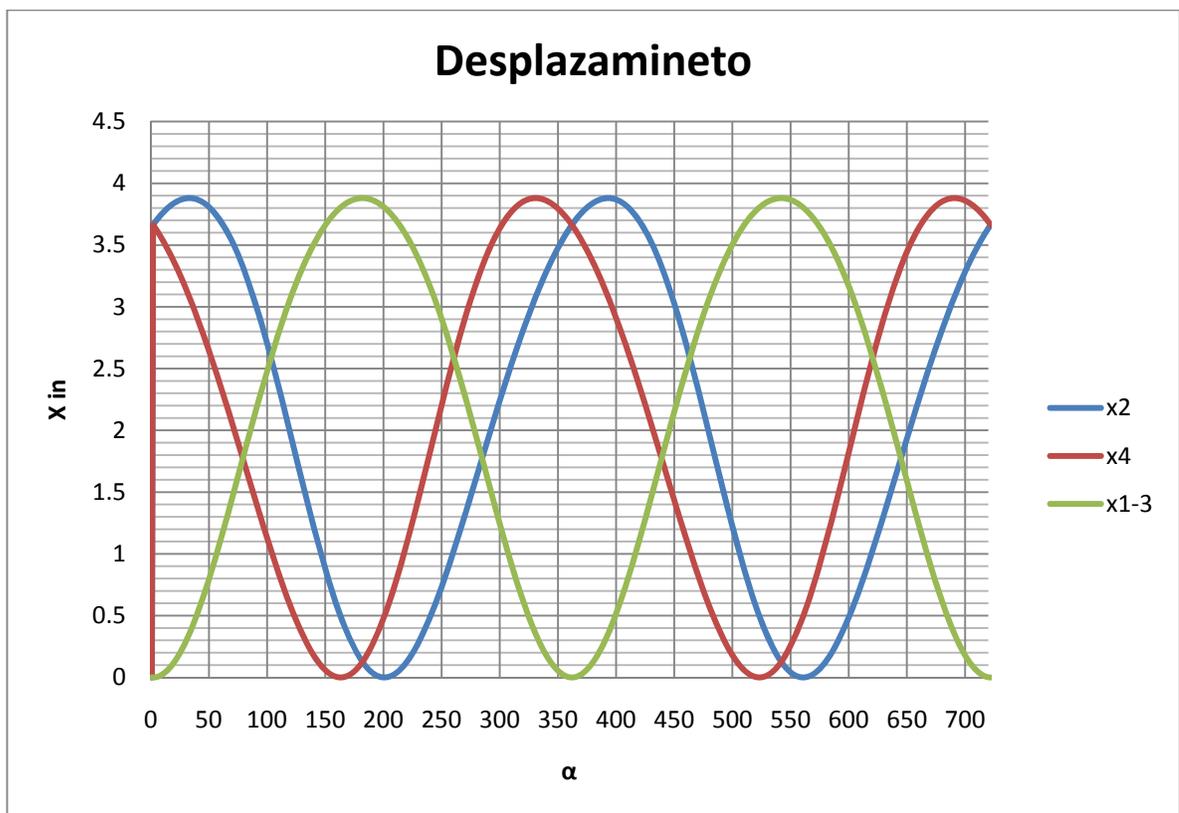
La velocidad en el embolo cuatro se obtiene:

$$v = \omega R' \left[\text{sen} \alpha - \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{-\frac{e}{L'} \lambda' \text{cos} \alpha - \lambda'^2 \text{sen} \alpha \text{cos} \alpha}{\sqrt{1 - \frac{2e\lambda' \text{sen} \alpha}{L'} - \frac{e^2}{L'}}} \right) \right]$$

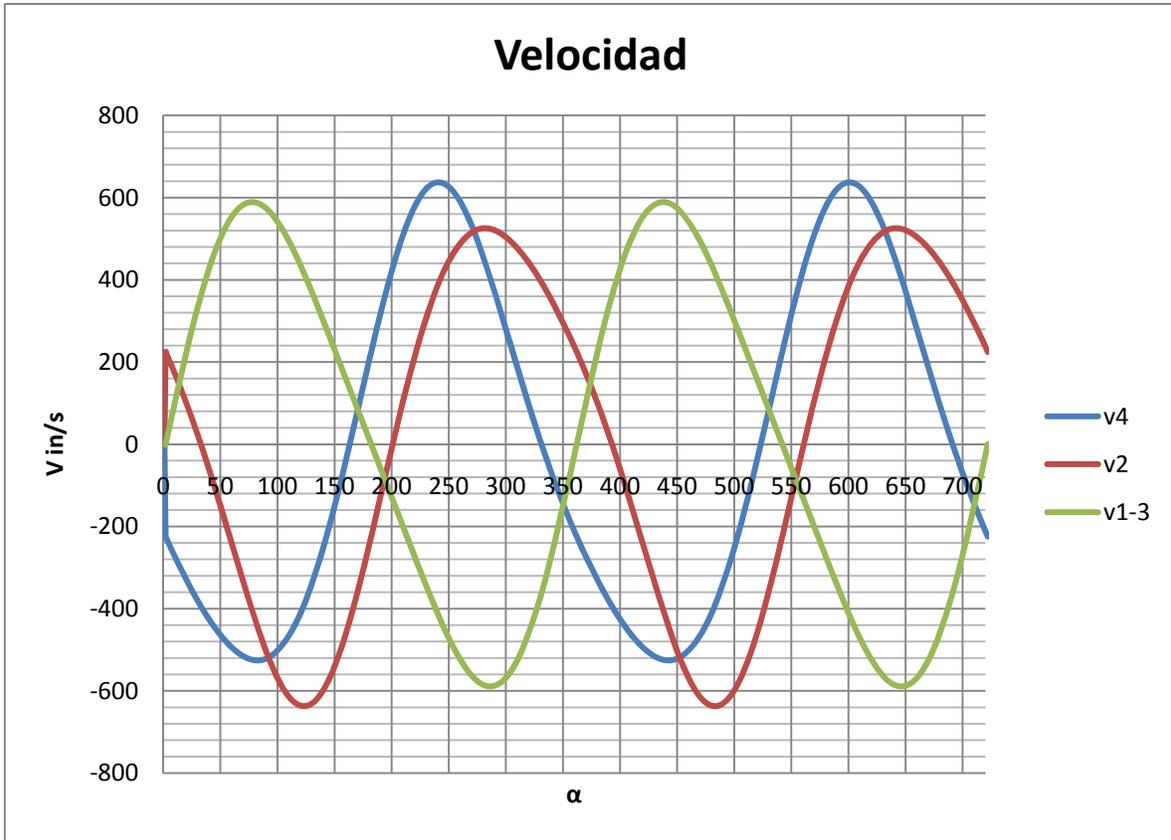
Y la aceleración se obtiene para cada ángulo alfa (α):

$$a = \omega^2 R' \left\{ \text{cos} \alpha - \frac{1}{\lambda'} \left[\frac{\sqrt{1 - \frac{2e\lambda' \text{sen} \alpha}{L'} - \frac{e^2}{L'}} \left(\frac{e}{L'} \lambda' \text{sen} \alpha + \lambda'^2 \text{sen}^2 \alpha \text{cos}^2 \alpha \right) + \left(\frac{e}{L'} \lambda' \text{cos} \alpha + \lambda'^2 \text{sen} \alpha \text{cos} \alpha \right) \left(-\frac{e\lambda' \text{cos} \alpha}{L' \sqrt{1 - \frac{2e\lambda' \text{sen} \alpha}{L'} - \frac{e^2}{L'}}} \right)}{1 - \frac{2e\lambda' \text{sen} \alpha}{L'} - \frac{e^2}{L'}} \right] \right\}$$

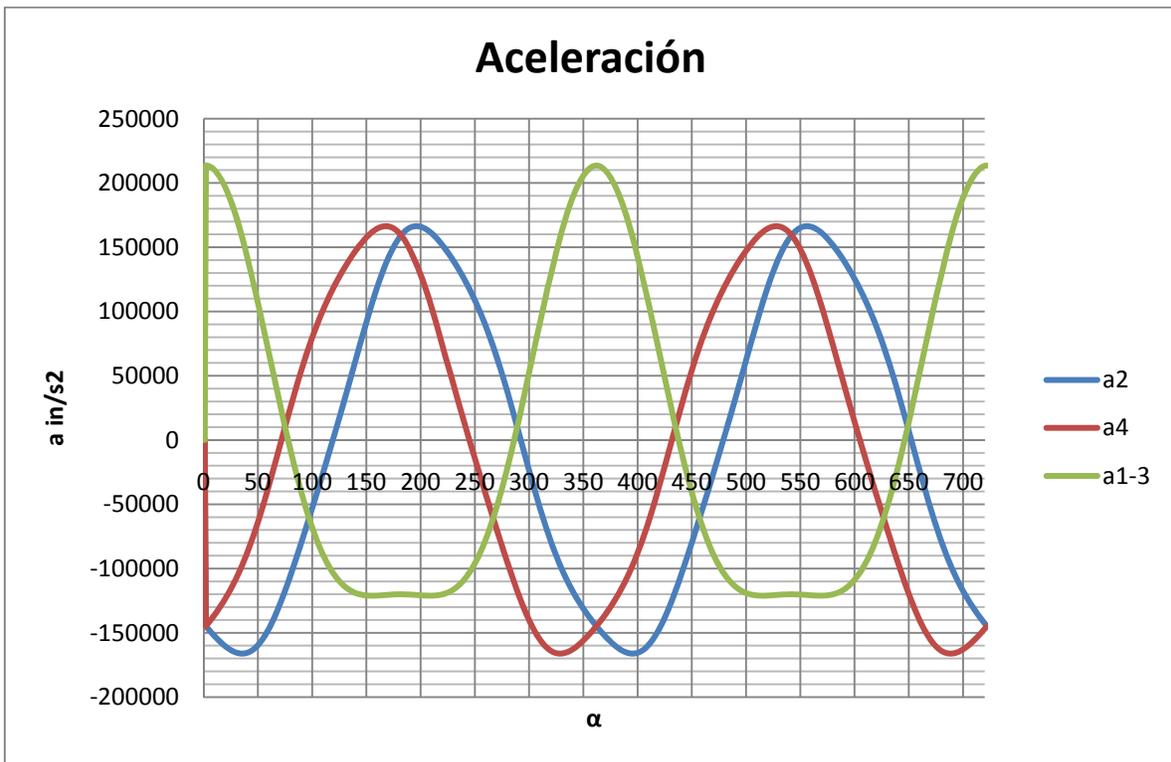
En las graficas 4.1, 4.2 y 4.3 nos muestran el comportamiento cinemático de los émbolos por su disposición, donde nos muestran el desplazamiento, la velocidad que genera así como la aceleración en cada ángulo:



Grafica 4.1 Desplazamiento



Grafica 4.2 Velocidad



Grafica 4.3 Aceleración

Se puede observar que esta defesado el desplazamiento la velocidad y la aceleración, por el ángulo de atraso de los émbolos en configuración en “V”.

4.2 REGULARIDAD CICLICA

La regularidad cíclica del motor a analizar se toma en cuenta el número de émbolos que actúan en el sistema, y los grados que gira el cigüeñal, que son de 4 carreras de 180°. Se tiene que el muñón del cigüeñal da 2 giros por lo tanto cada uno gira 720°, teniendo así:

$$\theta = \frac{720^\circ}{4} = 180^\circ$$

Pero al tener 3 muñones, dos de igual radio y uno diferente el cual es el de los émbolos dispuestos en “V”, se tiene un atraso y un adelanto de 18.805° así obtenido la siguiente regularidad cíclica:

Tabla 4.3 Regularidad cíclica

Émbolo	Regularidad Cíclica (Carrera de Potencia)
Émbolo 1	0°
Émbolo 2	521.195°
Émbolo 3	360°
Émbolo 4	198.805°

En la tabla 4.3 se observa que al tener la disposición en “V” en la carrera de potencia del émbolo 2 se tiene un atraso, y en el émbolo 4 se ve que se tiene un adelanto con respecto a los émbolos que se encuentran en línea, por lo tanto no se tiene una regularidad cíclica óptima.

4.3 ORDEN DE ENCENDIDO

Teniendo en cuenta la configuración del cigüeñal, que conlleva el ordenamiento de los émbolos como también el sentido de giro (sentido horario), se tomara como óptimo el siguiente orden de encendido

O.E.=1-4-3-2

En base al siguiente esquema 4.2

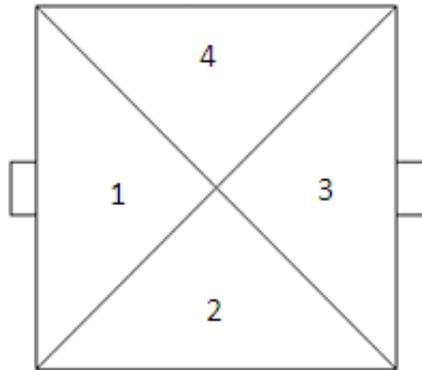


Figura 4.2 Esquema del orden de encendido

4.4 DIAGRAMA DE CARRERAS

Obtenido la regularidad cíclica y el orden de encendido, que se adecua a esta configuración propuesta que analizamos, para obtener el mejor desempeño óptimo, se debe de analizar todas las carreras que realiza cada embolo y ver como se desempeña a la par de los demás se debe de realizar un análisis por medio de la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Diagrama de carreras

	198.805°		521.195°		
EMBOLOS	0°	180°	360°	540°	720°
Embolo 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión	
Embolo 2		Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Embolo 3	Admisión	Compresión	Expansión	Escape	
Embolo 4	Compresión	Expansión	Escape	Admisión	

Como se observa en la tabla 4.4, partiendo de la carrera de potencia (Expansión), y acomodando las demás carreras en su respectivo orden (Escape, Admisión y Compresión), se muestra que el orden de encendido y la regularidad cíclica propuestas son las óptimas para esta configuración.

Partiendo de lo anterior se puede realizar el análisis del equilibrado de fuerzas que actuaran sobre el cigüeñal de la configuración alternativa que proponemos.

4.5 EQUILIBRIO DE FUERZAS

Para analizar el equilibrado de las fuerzas que actuaran en los muñones de los émbolos del cigüeñal y ver si el motor puede estar en resonancia de tal modo de no usar contrapesos, se debe de tomar 6 consideraciones, las cuales se analizaran a continuación:

1er caso: La suma de las fuerzas centrífugas que actúan en los muñones debe ser igual a cero.

Por la disposición de dos émbolos en línea y los otros dos en “V”, se tiene diferentes radios de giro de cada muñón, se observa que se tendrán diferentes fuerzas, por lo tanto al sustituir en la ecuación de equilibrio se obtiene que:

$$\sum F_c = -[m_c \omega^2 R]_1 - [m_c \omega^2 R]_3 + [m_c \omega^2 R]_2 + [m_c \omega^2 R]_4 \neq 0$$

Al tener en el muñón intermedio dos émbolos, se obtendrá el doble de la masa con respecto a los demás muñones, esto nos sugiere el doble de la fuerza centrífuga, y al descomponer estas fuerzas, y haciendo las sumas de fuerzas obtenemos que la primera condición no se cumple.

2do caso: La suma de los momentos que ejercen las fuerzas centrífugas que actúan en los muñones debe ser igual a cero.

Al no tener las mismas magnitudes de las fuerzas no se puede crear un momento, aunque al analizar estas fuerzas se neutralizan el torque, pero no se tiene momentos por lo tanto:

$$\sum M_{Fc} = -[m_c \omega^2 R]_1 (a) + [m_c \omega^2 R]_4 (a) \neq 0$$

$$\sum M_{Fc} \neq 0$$

En este caso la ecuación nos refiere que se tiene un solo torque, puesto que las fuerzas son diferentes no se puede considerar momento, esto también nos dice que al ver solo un momento no hay otro momento generado para contrarrestar su efecto por lo tanto la segunda condición no se cumple, en la figura 4.3 se observa las fuerzas que actúan en este orden.

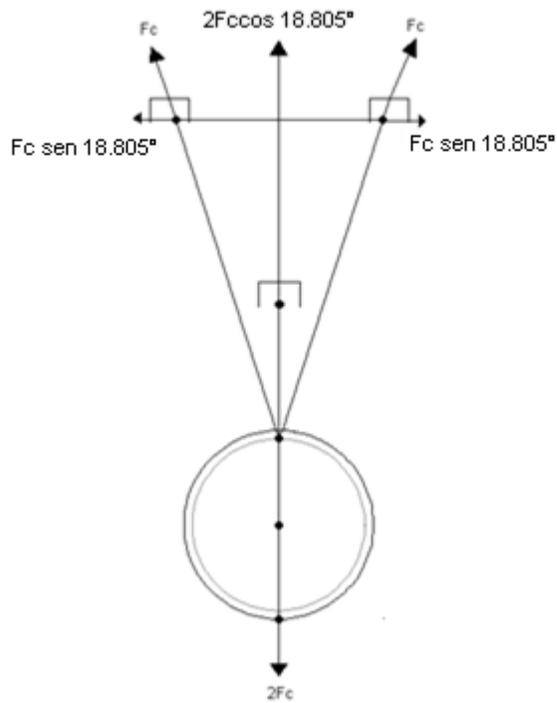
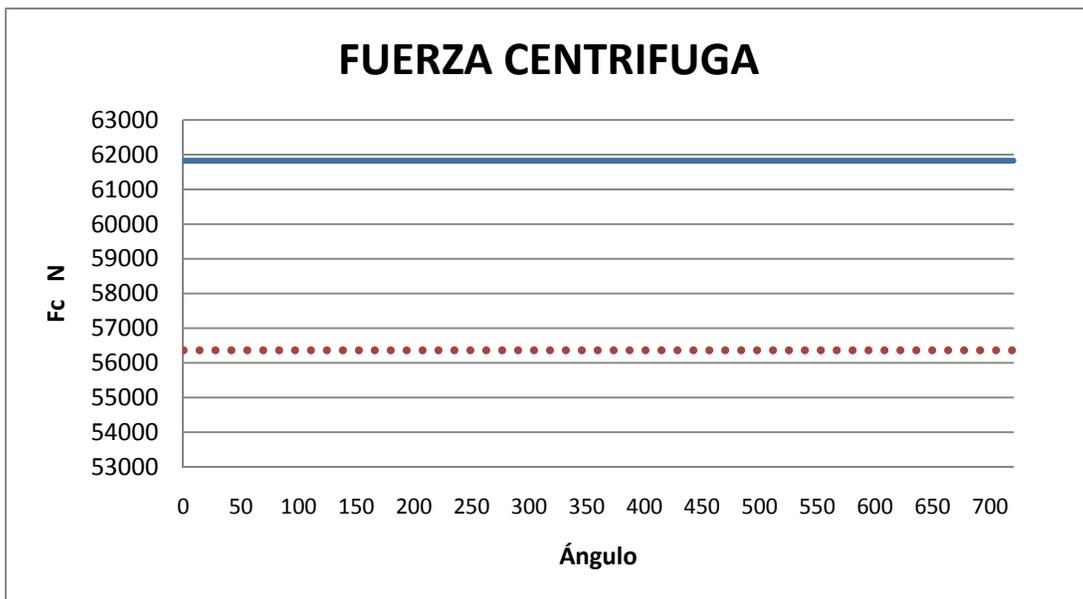


Figura 4.3 Esquema de las fuerzas centrifugas



Grafica 4.4 Fuerza centrifuga

En la grafica 4.4 se observa que las fuerzas centrifugas son de mayor magnitud haciendo que no se puedan equilibrar las fuerzas, también se observa que no se generan momentos.

3er caso: La suma de las fuerzas alternativas de primer orden que actúan en los muñones debe ser igual a cero.

Como en el primer caso al tener diferentes radios se observa que las fuerzas que se tienen son de diferentes magnitudes, y como también está en función del ángulo que este se encuentra, viendo la formula obtenemos que:

$$\sum F_{a'} = -[m_c \omega^2 R]_1 \cos(180^\circ) - [m_c \omega^2 R]_3 \cos(540^\circ) - [m_c \omega^2 R]_2 \cos(18.805^\circ) - [m_c \omega^2 R]_4 \cos(701.195^\circ) \neq 0$$

La ecuación nos indica que el cigüeñal entra en una armonía de primer orden estando en función de este fenómeno el ángulo de giro de cada muñón y teniendo en cuenta que la suma de estas fuerzas no es igual a cero la tercera condición no se cumple.

4to caso: La suma de los momentos que ejercen las fuerzas alternativas de primer orden que actúan en los muñones debe ser igual a cero.

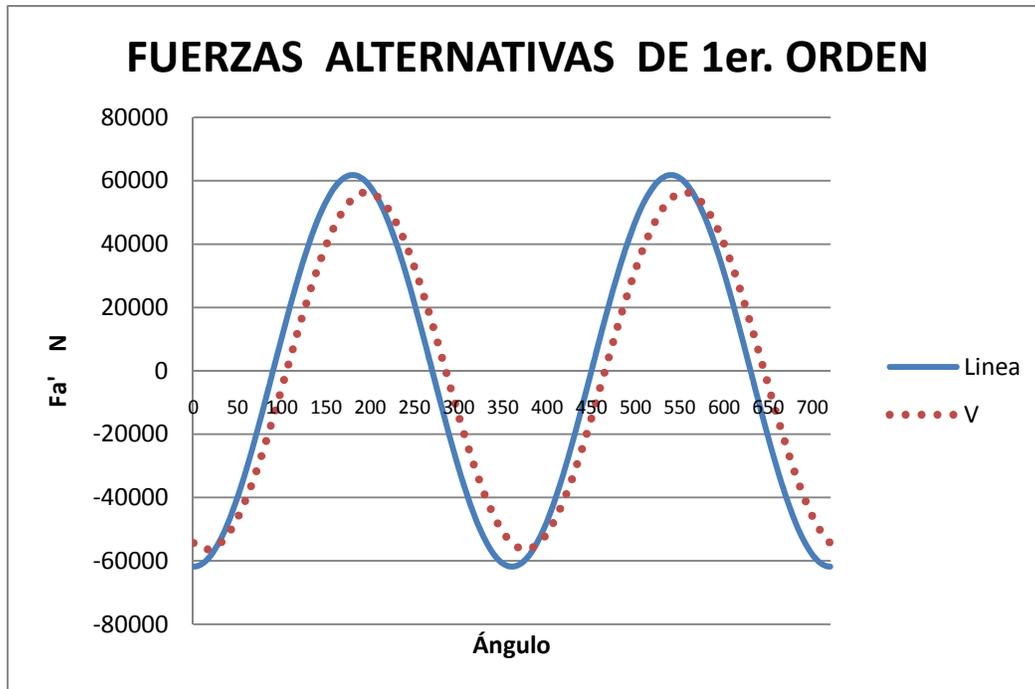
Se puede observar en la formula que como en los casos anteriores el radio de giro en los muñones y al estar en función del ángulo en la posición que se encuentra, se observa que no hay momentos, y tampoco se equilibran:

$$\sum M_{Fa'} = -[m_c \omega^2 R]_1 (a) \cos(180^\circ) + [m_c \omega^2 R]_4 (a) \cos(701.195^\circ) \neq 0$$

$$\sum M_{Fa'} \neq 0$$

En la ecuación siguiente se puede observar que se puede obtener un torque pero como en la segunda condición como las fuerzas no son las mismas magnitudes por que los radios son diferentes y en el muñón intermedio se encuentran dos émbolos la cuarta condición no se cumple.

En la grafica 4.5 se muestra el desfase de las fuerzas de primer orden, se observa que las fuerzas son de diferente magnitud, y actúan en diferente ángulo, así que es complicado que se equilibre sin la ayuda de los contrapesos.



Grafica 4.5 Fuerza alternativa de primer orden

5to caso: La suma de las fuerzas alternativas de segundo orden que actúan en los muñones debe ser igual a cero.

En este caso, se observa en la formula que aparte de estar en función las fuerzas del radio de giro y el ángulo de su posición también está en función de lambda $[\lambda]$ que es la relación del largo de la biela y el radio de giro de cada muñón se obtiene que:

$$\sum F_{a''} = -[m_c \omega^2 R \lambda]_1 \cos 2(180^\circ) - [m_c \omega^2 R \lambda]_3 \cos 2(540^\circ) - [m_c \omega^2 R \lambda]_2 \cos 2(18.805^\circ) - [m_c \omega^2 R \lambda]_4 \cos 2(701.195^\circ) \neq 0$$

Se observa en la formula que el cigüeñal está sometido a dos veces la fuerza ejercida que en la de las fuerzas alternativas de segundo orden, por lo tanto la quinta condición no se cumple.

6to caso: La suma de los momentos que ejercen las fuerzas alternativas de segundo orden que actúan en los muñones debe ser igual a cero.

Se tiene el mismo problema que en el cuarto caso, que al tener diferentes parámetros y aparte que se tiene las fuerzas de segundo orden en función de lambda $[\lambda]$, se puede observar que las fuerzas son distintas, por lo tanto no hay momentos:

$$\sum M_{Fa''} = -[m_c \omega^2 R \lambda]_1(a) \cos 2(180^\circ) + [m_c \omega^2 R \lambda]_4(a) \cos 2(701.195^\circ) \neq 0$$

$$\sum M_{Fa''} \neq 0$$

Como en la segunda y la cuarta condición no se generan momentos y tampoco momentos que resten su efecto por lo tanto la sexta condición no se cumple, en la figura 4.5 se observa este fenómeno

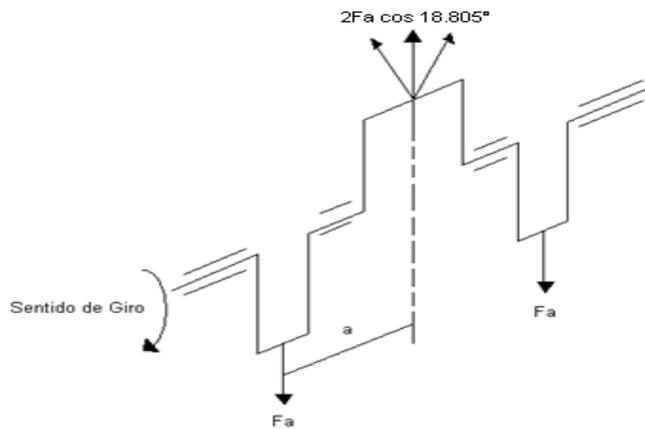
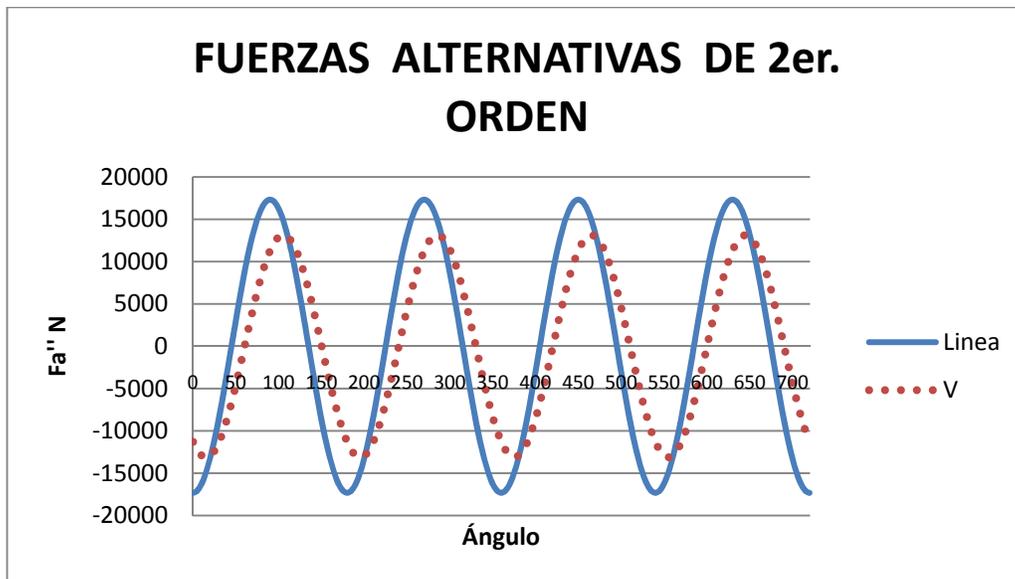


Figura 4.4 Esquema de las fuerzas alternativas



Grafica 4.6 Fuerza alternativa de segundo orden

En la grafica 4.6 se observa cómo se comento anteriormente que la frecuencia de estas fuerzas es mayor que las de primer orden haciendo esto, difícil de equilibrar las fuerzas que actúan en los 3 muñones.

Se puede observar con el análisis del equilibrado que es muy difícil que esta configuración por si sola este equilibrada por las fuerzas que actúan en el cigüeñal, por lo tanto se utilizan contrapesos para que el desempeño del motor sea el adecuado, en el capitulo anterior, en el esquema que se presento, se tiene una configuración con contrapesos para contrarrestar este desequilibrio que se tiene.

También existen otros dispositivos que ayudan a minimizar las vibraciones del motor; uno de los más conocidos es el compensador de vibraciones, que es una barra con masas colocadas en diferentes posiciones a lo largo de esta, y que gira a la par con el cigüeñal, logrando con esto reducir la vibración que tendría el motor si trabajara únicamente con los muñones de biela del cigüeñal.

CAPITULO V

COMPARACIÓN DIMENSIONAL

En este último capítulo, teniendo todos los resultados vistos en los capítulos pasados, se hará la comparación de las dimensiones y del peso de la nueva configuración propuesta con un motor en línea y con un motor opuesto de aviación.

Se ha modelado el motor tomando en cuenta los componentes que cambiarán de este, así como tomado características similares para modelar el motor IO-240. Sin embargo, se ha tomado la decisión de modelar un motor extra de configuración en línea, que es uno de los más usados en la industria automotriz, para así tener distintos resultados y conocer la factibilidad de la nueva configuración.

Se compararán los motores en el espacio que ocupan y en el peso de estos, usando un material común, dado automáticamente por el software NX5. Con la ayuda de este software fueron modelados cada uno de estos, mostrando a continuación un ensamble final con sus dimensiones máximas de altura, largo y ancho, tomando el volumen de todos ellos como un prisma, debido a que solo se modelo teóricamente.

En el caso del motor IO-240, configuración opuesta se obtuvieron las siguientes dimensiones mostradas en la figura 5.1

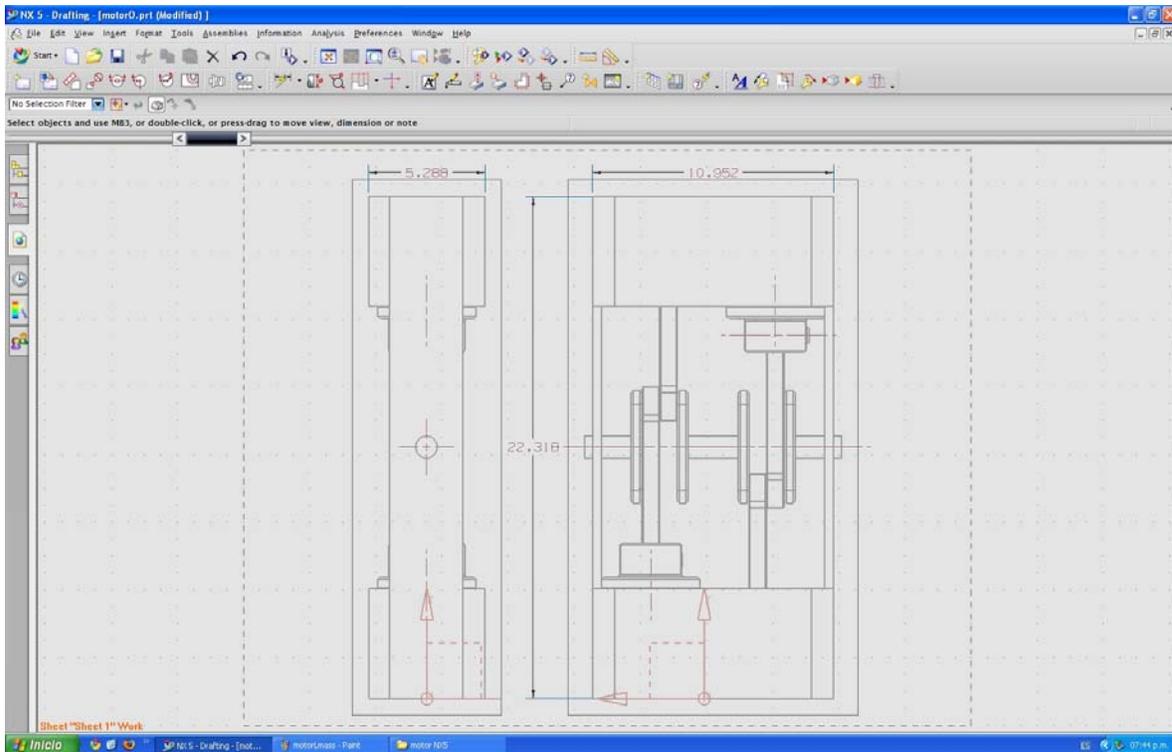


Figura 5.1 Motor opuesto

Esto nos da un el siguiente volumen

$$Volumen = 5.288 \times 10.952 \times 22.318 = 1292.53 \text{ in}^3$$

$$\underline{\underline{Volumen = 0.021184 \text{ m}^3}}$$

Dentro del menú de análisis se encuentra la opción para medir cuerpos, en la cual nos indica el peso del componente. Para esta configuración el peso final fue de **53.79614 Kg**, que se pueden observar en la figura 5.2

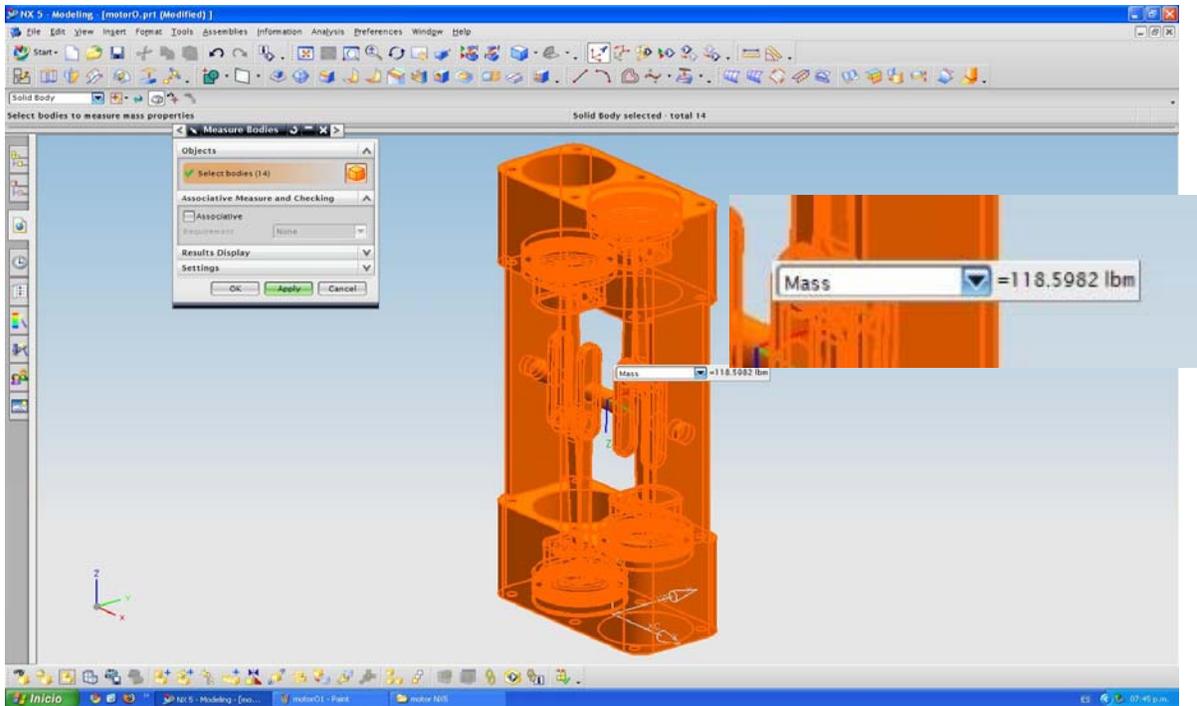


Figura 5.2 Peso del motor opuesto

Para la configuración en línea se modeló siguiendo los mismos patrones, dando un volumen mostrado en la figura 5.3

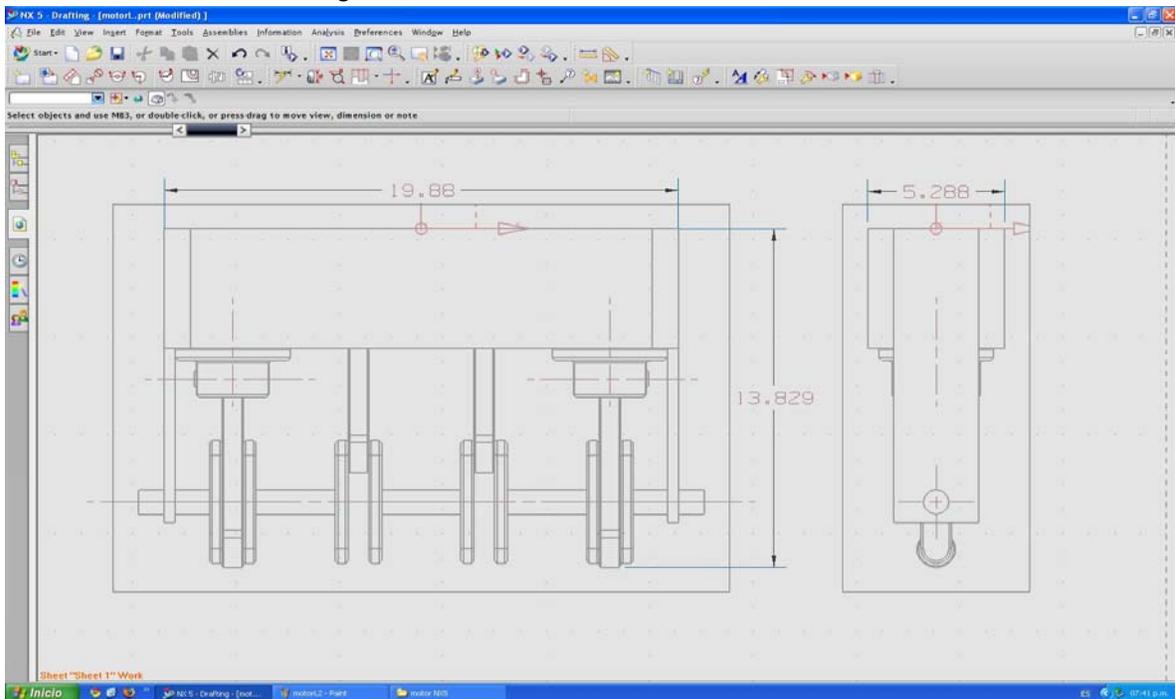


Figura 5.3 Motor en línea

$$\text{Volumen} = 19.88 \times 13.829 \times 5.288 = 1453.78 \text{ in}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.0238275 \text{ m}^3$$

El peso de la configuración en línea finalmente fue de: **48.1412 Kg**, que se muestra en la figura 5.4

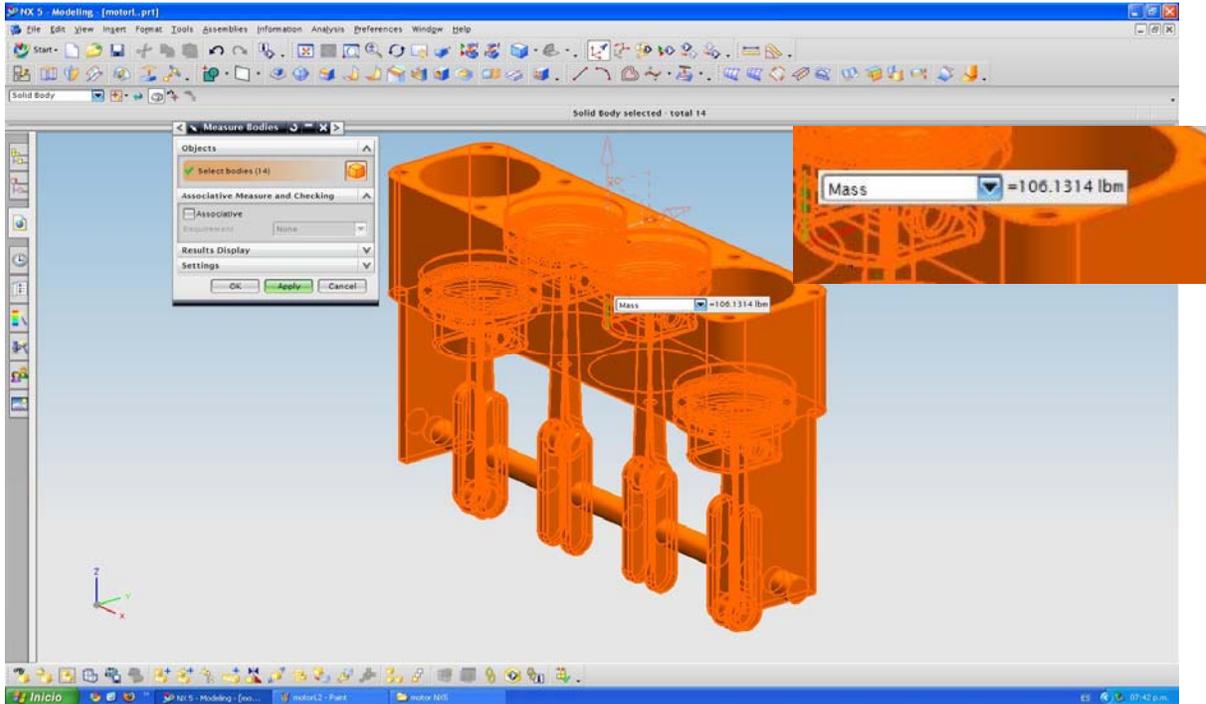


Figura 5.4 Peso del motor en línea

El propósito del desarrollo de este motor queda marcado por los resultados mostrados a continuación, dando inicialmente el volumen que ocupa, el cuál se muestra en la figura 5.5

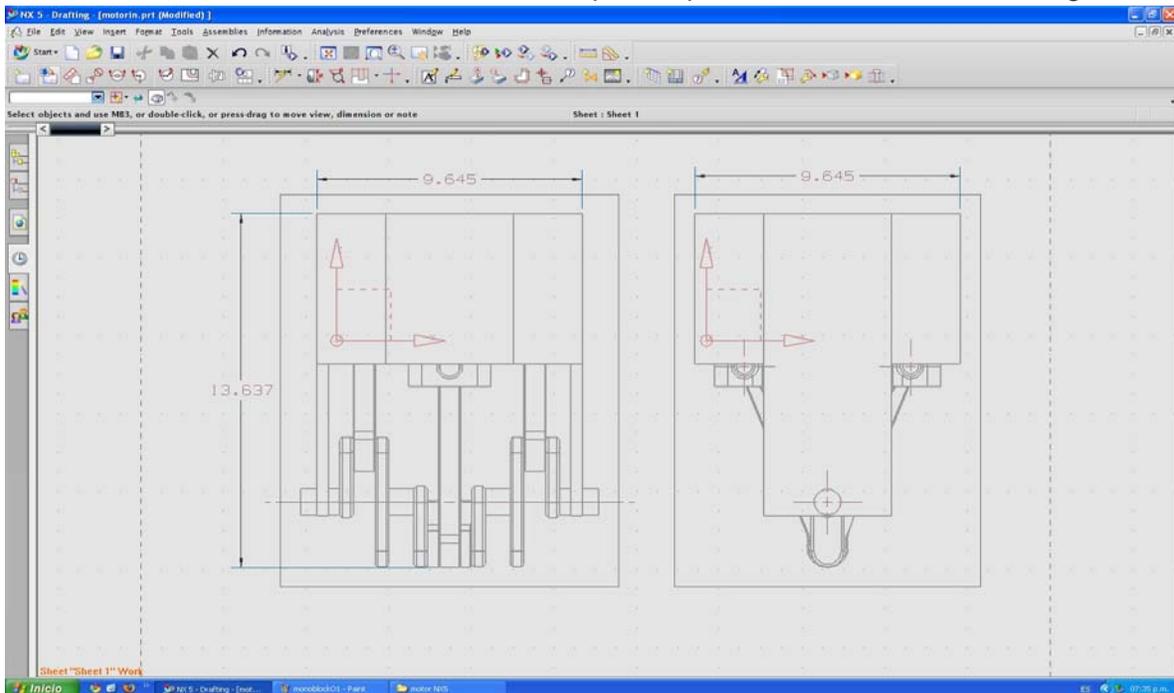


Figura 5.5 Motor de configuración alternativa

$$\text{Volumen} = 9.645 \times 9.645 \times 13.637 = 1268.59 \text{ in}^3$$

$$\text{Volumen} = \underline{\underline{0.02079225 \text{ m}^3}}$$

El peso final del motor de nueva configuración será de **37.77975 Kg**, y mostrada en la figura 5.6

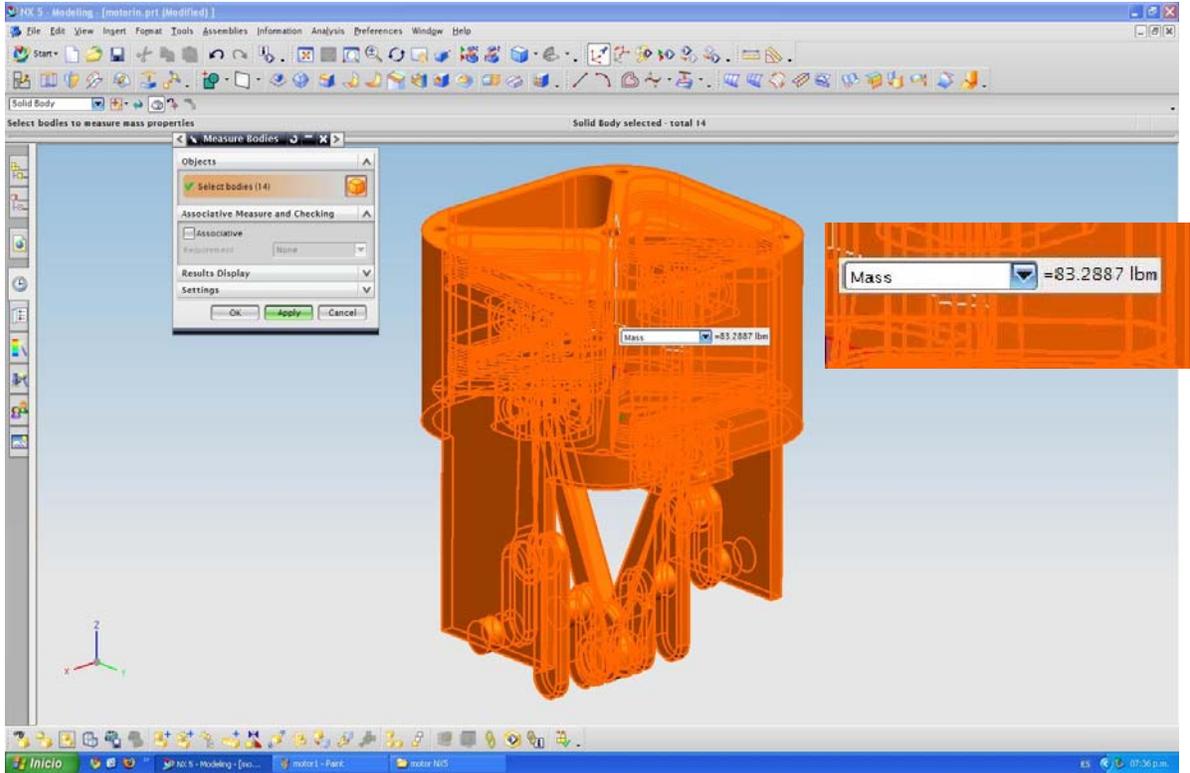


Figura 5.6 Peso de motor de configuración alternativa

Con estos resultados podemos tener una relación porcentual de cuanto se disminuye el peso y el espacio con la nueva configuración.

Con respecto a la configuración opuesta tenemos:

- 98.14% del total del volumen del motor opuesto.
- 70.23% del total del peso del motor opuesto, lo que nos da una reducción de casi el 30% del peso.

Con respecto a la configuración en línea los resultados fueron:

- 87.26% del total del volumen del motor en línea.
- 78.48% del peso del motor en línea, dando una reducción mayor al 20%.

Finalmente la relación peso potencia queda de la siguiente manera:

- Motor opuesto: 0.5772 Kg/KW
- Motor en línea: 0.5165 Kg/KW
- Motor de configuración alternativa: 0.4053 Kg/KW

RESULTADOS

Tabla 1 Comparación de volumen

MOTOR	No. Cilindros	Potencia (KW@RPM)	Diámetro (cm)	Carrera (cm)	Volumen desplazado (cm ³)	Cilindrada (cm ³)
Configuración Opuesto	4	93.21@2800	11.27	9.85	983.4	3933.6
Configuración Línea	4	93.21@2800	11.27	9.85	983.4	3933.6
Configuración Alternativa	4	93.21@2800	-	9.85	983.4	3933.6

Tabla 2 Comparación de peso

MOTOR	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Espacio (cm ³)	Peso Simulado (Kg)
Configuración Opuesto	27.818	13.431	56.687	21184.543	53.79614
Configuración Línea	50.495	13.431	35.128	23829.172	48.1412
Configuración Alternativa	24.498	24.499	35.128	20781.613	37.77975

Con respecto a la configuración opuesta tenemos:

- 98.14% del total del volumen del motor opuesto.
- 70.23% del total del peso del motor opuesto, lo que nos da una reducción de casi el 30% del peso.

Con respecto a la configuración en línea los resultados fueron:

- 87.26% del total del volumen del motor en línea.
- 78.48% del peso del motor en línea, dando una reducción mayor al 20%.

Finalmente la relación peso potencia queda de la siguiente manera:

- Motor opuesto: 0.5772 Kg/KW
- Motor en línea: 0.5165 Kg/KW
- Motor de configuración alternativa: 0.4053 Kg/KW

Análisis Cinemático

El análisis cinemático particular de la nueva configuración se rige por las siguientes ecuaciones, tomando en cuenta que “e” puede ser positivo o negativo:

Desplazamiento:

$$x = R + L - R' \cos \alpha - L' \sqrt{1 - \left(\frac{e}{L'}\right)^2 + \frac{2e\lambda' \operatorname{sen} \alpha}{L'} - \lambda'^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}$$

Velocidad:

$$v = \omega R' \left[\operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{\lambda'} \left(\frac{\frac{e}{L'} \lambda' \cos \alpha - \lambda'^2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha}{\sqrt{1 + \frac{2e\lambda' \operatorname{sen} \alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2}} \right) \right]$$

Aceleración:

$$a = \omega^2 R' \left\{ \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{\lambda'} \left[\frac{\sqrt{1 + \frac{2e\lambda' \operatorname{sen} \alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2} \left(-\frac{e}{L'} \lambda' \operatorname{sen} \alpha + \lambda'^2 \operatorname{sen}^2 \alpha \cos^2 \alpha \right) - \left(\frac{e}{L'} \lambda' \cos \alpha - \lambda'^2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha \right) \left(\frac{\frac{e\lambda' \cos \alpha}{L'}}{\sqrt{1 + \frac{2e\lambda' \operatorname{sen} \alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2}} \right)}{1 + \frac{2e\lambda' \operatorname{sen} \alpha}{L'} - \left(\frac{e}{L'}\right)^2} \right] \right\}$$

CONCLUSIONES

Un motor de combustión interna alternativo puede analizarse para su estudio por medio del ciclo Otto, llevándose por facilidad de manejo un estudio teórico o ideal, que es aproximado al ciclo real. Las variaciones entre estos se pueden dar a consecuencia de los tiempos en que se lleva a cabo los procesos del ciclo, componentes del motor, tiempos de apertura y cierre de válvulas, pérdidas por fricción, pérdidas por energía requerida de otros componentes, eficiencia de combustión, entre otros.

Según el estudio ideal del ciclo, la potencia entregada por el motor está en función de la presión media efectiva, la cilindrada y las revoluciones por minuto del motor. Teniendo en cuenta que la presión media efectiva se mantendría constante manteniendo el mismo volumen de control, y la misma eficiencia del combustible, esta se mantendría constante en cualquier recipiente que cumpla estas condiciones, por lo que la forma cilíndrica del volumen de control puede ser variada para así lograr la reducción de espacio y peso en el motor.

De igual manera se tendría que mantener la relación de compresión como condición para que la potencia entregada por el motor a ciertas revoluciones por minuto sea la misma sin importar la forma del volumen de control, mas no su tamaño.

Para poder modificar y reducir el espacio y peso en el MCIA, también deberán cambiar ciertos dispositivos de este para lograr la compatibilidad mecánica y lograr una regularidad cíclica o más condiciones de equilibrado del motor en funcionamiento. Algunos de estos componentes serán los anillos, el cigüeñal, la configuración del árbol de levas, los émbolos y el monoblock.

En el análisis cinemático se mostró que al haber un desfase debido a la configuración en "V", la carrera de potencia se tiene un retraso y un adelanto obteniendo un acoplamiento en las carreras de potencia con respecto a los émbolos en línea. Obteniendo una entrega de potencia mayor en algunos lapsos del ciclo.

En la configuración en línea existe un lapso de tiempo donde la aceleración en el émbolo es constante, sin embargo, en la configuración "V" no existe este lapso, teniendo una ganancia en la fuerza ejercida sobre el émbolo, pero obteniendo que el motor se tenga un desequilibrio en el transcurso del ciclo.

En el análisis cinemático se observo que en las 6 condiciones de equilibrio en el cigüeñal ninguna es factible por lo cual podemos concluir que el sistema completo esta desequilibrado.

Con la configuración alternativa se aprueba la hipótesis, ya que el peso y el espacio son reducidos con respecto a motores ya existentes, entregando la misma potencia que estos, lo que disminuye su relación peso/ potencia. Este rediseño puede ser aplicado en cualquier número de cilindros, es decir, siguiendo los principios desarrollados en el trabajo

se puede reducir el espacio y peso a partir de áreas semitriangulares equivalentes en los émbolos del motor.

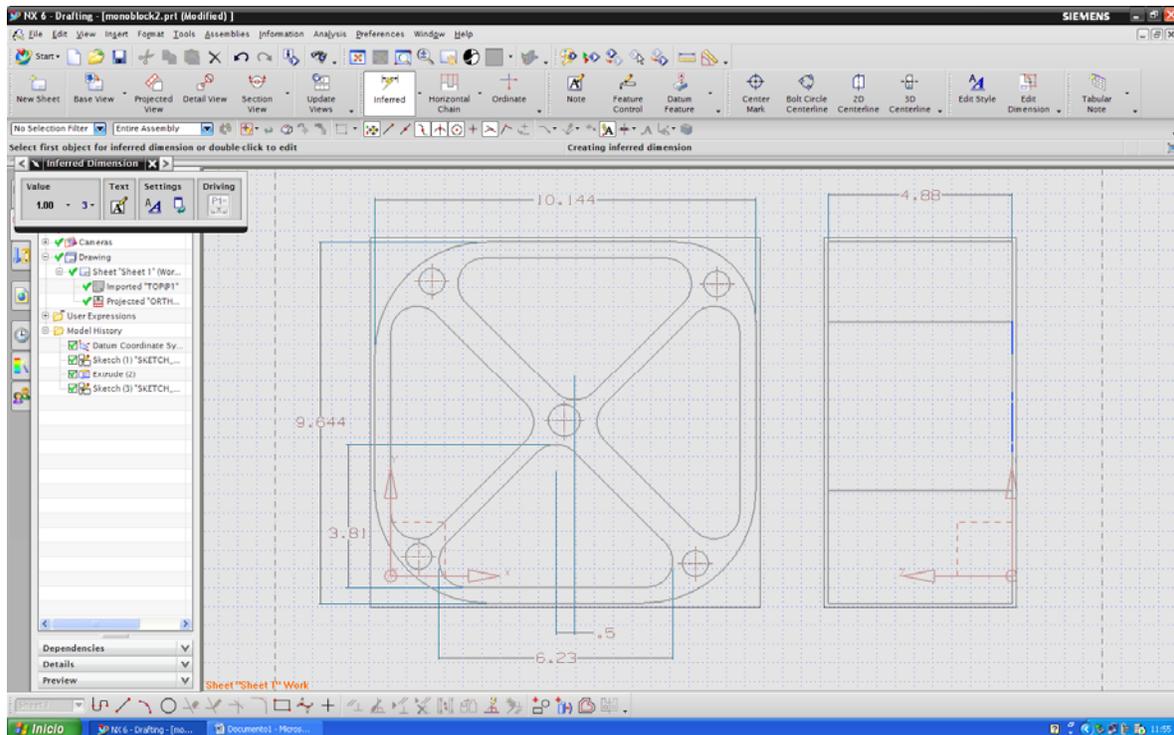
RECOMENDACIONES

Para poder tener un equilibrado óptimo se pueden emplear mecanismos de equilibrado que auxilian al motor para evitar la vibración de este. Estos son de gran ayuda en esta configuración debido a que no se equilibra por sí solo y es necesario tener contrapesos en el cigüeñal o algún otro dispositivo de auxilio.

Un factor que también puede afectar es la configuración de las bielas en tijera que comparten muñón, pudiendo significar un problema para la biela que hace la función de tijera, es decir la que divide el cuerpo de biela en dos, para que entre la biela del cilindro opuesto.

Para este posible problema se da una solución alternativa, haciendo que los centros de los cilindros no coincidan en una línea perpendicular al cigüeñal, sino mas bien con una distancia entre estos que permita entrar libremente con una configuración de cuerpo de biela común, y de este modo evitar fallas estructurales.

Esta modificación requiere un pequeño cambio en la configuración del monoblock, la cual se presenta a continuación:



En la nueva configuración que se plantea en este trabajo, no está dentro de los objetivos analizar el sistema de enfriamiento pero se observó que el enfriamiento puede ser sumamente complicado, así, se recomienda configurar el cigüeñal alargándolo, así obteniendo un espacio considerable para implementar un sistema de enfriamiento, obteniendo un monoblock rectangular.

El sistema de enfriamiento que recomienda usar es dual, usando canales para refrigeración, así también usar un sistema de enfriamiento indirecto, que pueden ser aletas.

BIBLIOGRAFIA

Libros

Cengel, Y., (2006) *Termodinámica*. Quinta edición, México, Mc Graw-Hill.

Cuesta, M., (1986) *Vuelo con motor alternativo*, sexta edición, España, Paraninfo.

Giacosa D., (1970) *Motores endotérmicos*, Tercera edición, España, Científico-Médica

Kroes M. J., (1995) *Aircraft Powerplant*, Séptima edición, E.U.A., Mc Graw-Hill

Liston J., (1942) *Aircraft engine desing*, Primera edición, E.U.A., Mc Graw-Hill

Sampieri, R. et al., (2006) *Metodología de la investigación*. México, Mc Graw-Hill.

Wark, K., (2000) *Termodinámica*. Tercera edición, E.U.A, Mc Graw-Hill.

Internet

[http://usuarios.lycos.es/eduardomacri/Motor%20Ferrari%2015%20\(reducido\).jpg](http://usuarios.lycos.es/eduardomacri/Motor%20Ferrari%2015%20(reducido).jpg)

Martínez, Leandro. (2008). "Ciclo Otto" en *Wikimedia Foundation, Inc.* [En línea]. México, disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Otto [Accesado el día 19 de septiembre del 2008]

Vázquez, Pedro. (2004). "Motores" en *Universidad de América*. [En línea]. Colombia, disponible en: <http://www.uamerica.edu.co/motores/images/ciguenal1.jpg> [Accesado el día 5 de septiembre del 2008]

Navarrete, Luís. (2003). "Sistemas Automotrices" en *Kilómetro 77*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.km77.com/marcas/toyota/2004/prius/tecnica/med/71.jpg> [Accesado el día 10 de septiembre del 2008]

Blanco, Ángel. (2004). "Par y Potencia" en *Charla del Motor*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.escharlamotor.org/info/parypotencia>
[Accesado el día 12 de septiembre del 2008]