

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA



***PROPUESTA DE MODIFICACIONES A UN MOTOR  
PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA  
(SHELL ECO MARATHON)***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

CHRISTOPHER TZOMPANTZI MIGUEL

DIRECTOR DE TESIS

DR. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ

MÉXICO, D.F.

2010

## *Agradecimientos*

*La vida para mí ha sido un constante aprendizaje. Deslumbrado por la maravilla que es la vida no me había percatado de esto. Durante la preparatoria entré a la primera clase de un amigo. Literatura, me infiltré como cualquier otro alumno. Con extrañeza vi que el profesor acompañaba a las estudiantes cual galán enamorado, con mochila al hombro y tomada de la mano. Cuando el salón se supo completo el ofreció un discurso inaugural que decía cada año, lo pude corroborar después porque años antes mi hermano tuvo la oportunidad de escucharlo como alumno y éste más o menos decía así:*

*Muchachos sepan que desde hoy están reprobados, pero, no se preocupen, por eso me caen bien. Porque eso quiere decir que necesitan aprender, y si aprenden, tal vez al final del curso ya no estén reprobados. Pero si a pesar de todo reprobaban me agradaban aun más pues tienen una segunda oportunidad para aprender- dijo el profesor-.*

*Esto no tardó en ser replicado por alguien, quien preguntó.*

*Bueno y ¿qué pasa si repruebo una tercera vez?.*

*A lo que el profesor contestó. Bueno eso querrá decir que no has aprendido nada, así que los invitó a asistir con la actitud de un reprobado.*

*No lo comprendí en ese momento, pero ahora sé que no se refería a acostumbrarnos al fracaso y mucho menos que era imposible pasar su materia. Como yo lo interpreto es que, si vamos con la disposición de aprender, en cualquier lugar sólo cosas buenas pueden pasar. Y la verdad tiene razón porque diariamente aprendemos cosas aún de las personas menos esperadas.*

*Por esto quisiera agradecer a todas esas personas que me han enseñado tanto y a las cuales les debo la persona que soy ahora. Espero no omitir a nadie y que mi falta de experiencia al escribir se compense con el deseo inevitable de expresarles todo lo que los quiero.*

*Mi amiga, mi confidente, mi inspiración, mi madre, Natalia Miguel gracias porque gracias a la gran mujer que eres sé que no importa que digan o piensen de mí, incluso que no importa si esas críticas vienen de mi familia, soy capaz de hacer grandes cosas si así me lo propongo, que los logros sólo*

*son el cimiento de algo mejor, que da el que quiere no el que tiene, que la mejor recompensa de la ayuda es la misma ayuda y tal vez lo más importante, que cuando se quiere a alguien no cabe la mentira. Te quiero.*

*Mi artista, mi rebelde, mi amiga, mi percepción, mi hermana, Claudia gracias porque entre música ligera y una muralla verde se que te vas acordar de mí, que ahora sé lo lindo que es ir a la escuela y que es mejor cuando te acompaña alguien que te quiere, ahora sé que la mejor pieza de arte es la que te genera un sentimiento y por ello es un punto de vista muy particular y por supuesto ahora sé que los pequeños detalles son los que hacen especial a las cosas.*

*Mi profesora, mi fuerza, mi amiga, mi hermana. Natalia gracias por enseñarme que no existe problema que no se pueda resolver, que puedo ser humilde sin agachar la cabeza y que una súper persona no es aquella que es poderosa ante cualquier situación si no aquella que se sabe vulnerable.*

*Mi compañero de juegos, mi sensibilidad, mi hermano, mi padre, mi mentor, Claudio gracias porque sé que la furia la puedo convertir en grandes cosa, sé que la diversidad nos quita la etiqueta y nos hace únicos, que no importa que nos digan que es correcto sino pensamos por qué lo es y lo más importante, que lo que hace hombre a un hombre no es el lugar de donde viene, ni la forma en que nace o crece, lo que hace hombre a un hombre son las decisiones que toma.*

*Mi niña, mi princesa, Ale gracias porque me enseñas que es importante recordar lo lindo que es crecer.*

*Mi brújula, Nelly gracias hermosa, por tí a prendí que no hay un momento ideal para hacer las cosas pero que el perfecto es cuando te nace del corazón, que todo es mejor si se piensa en dos, que mientras más brille es mejor, que no importa si es gratis lo que importa es con quien lo compartes, pero sobre todo que hay momentos en los cuales la razón y la lógica nos hacen perder la ruta y que sólo basta soltar la rienda para que los caballos nos muestren camino.*

*Evelyn y Yelba gracias ahora sé que se puede estudiar riendo, que la amistad puede más que el enojo, que de los errores puede surgir un buen momento, que siempre hay tiempo para un buen amigo y que la amistad no tiene ojos.*

*Pablo, Antonio, Christian, Nacho, Ange, Taba, Héctor, Cecilia gracias porque entre sabores amargos y oscuros, viajes costeros con toques Dantescos, charlas de Benedetti y frases de panda sé que el conocimiento no*

*es proporcional a los años, que no existen las casualidades pero cuando se presentan es toda una experiencia, que las opiniones son igualmente importantes no importa de dónde provengan y que siempre hay algo en que soñar.*

*Jimmy, Jolaus, Koji, Eugenio quienes fueron mi familia durante dos años gracias porque gracias a ustedes entendí que los días tienen algo más que 24 horas, que las carreras no se acaban hasta que se acaban, que se vale fallar siempre y cuando se intente y que en los momentos difíciles sólo basta pisarle al gas.*

*Gabael gracias porque me enseñaste que siempre existe un momento para relajarse porque existen personas que te apoyan.*

*Fernando, Felipe gracias porque entre un poco de Fermín IV, música hip hop, basquetbol y un recuerdo de campeones aprendí que los pasos hacia atrás no son para retroceder sino para tomar impulso y que pueden pasar los años pero nuestra esencia perdura.*

*Karla, Claudia gracias porque me enseñaron que el sonreír no cuesta y que se puede querer y desear lo mejor para las personas que quieres aún si no se encuentran a tu lado.*

*Mireya, Zeila, Maricela, César, Ernesto, José Luis Gracias por enseñarme que ni una pierna rota te puede impedir levantarte a las 8 de la mañana y hacer lo que tanto te gusta.*

*Mi Padre Claudio Tzompantzi gracias lentitos que de cierta forma a diario me enseñas cual es el camino.*

*Mi abuelo Don Heri gracias porque ahora sé que el atajo más corto es el que dice el camino, que siempre se le debe hacer caso a los presentimientos y que un payaso siempre debe reír.*

*Mi abuela Margarita gracias porque me has enseñado que no importa cuántos años se tengan siempre puedes ser joven y lo importante que es poner atención a la primera.*

*Mis tías Reyna, Paty gracias pues con dibujos de Mario Bros, Chaquira y lentejuela revuelta, protocolos, buenos modales, regaños, milanesas y bulé bulé me enseñaron que hasta en un conjunto hay diferencias y son esas diferencias las que lo mantienen unido.*

*Mis tíos José, Heri gracias porque sin su apoyo no hubiera aprendido el valor del trabajo y su importancia en la vida.*

*Tío Toño gracias pues me enseñaste el verdadero significado de la palabra padre.*

*Tía Male gracias sin duda sé que es lindo leer pero que se disfruta más cuando lo haces en voz alta.*

*Tía Lucero gracias porque contigo aprendí que siempre hay un abrazo y comida para todo aquel que llega a nuestra casa.*

*Mis Primos Aris, Eddy, Carelly, Josart, César, Pato, Marlene, Odi, Erwin, Fanny gracias que me mostraron que la cábula es otra forma de decir te quiero y que la lucha libre y los videojuegos son más que un lazo familiar.*

*A mis profesores los buenos y los malos gracias porque me enseñaron que el primer paso para resolver un problema es pensar, que la educación es un entrenamiento pero que siempre debemos sentirnos como campeones, que el conocimiento nos hacer libres y sobre todo que un logro es un logro no importa si se califica con 6 o con 10.*

*A mi tutor, Leopoldo González gracias por enseñarme lo importante que es tener un guía.*

*Armando Sánchez gracias porque me enseñaste que se necesita más que un título para ser líder.*

*Mariano García gracias porque me mostraste que no importa con quién trabaje pues mi trabajo hablara por mí.*

*Fernando Velázquez gracias porque aprendí que los profesores no son las vacas sagradas que nosotros pensamos y que la única diferencia entre nosotros y ellos es que ellos aprendieron las cosas antes.*

*Antonio Zepeda gracias porque ahora sé que las cosas no son lo que parecen y que si se aprende a utilizarlas hasta las más débiles nos puede dar una sorpresa.*

*Gracias a la UNAM que me ha permitido aprender que se puede respirar magia entre tanta ciencia y que se debe llevar con orgullo sus colores.*

*Y por último y no menos importante mi niño, Marlyn gracias porque sé que se puede decir te quiero sin necesidad de habar.*

***Gracias por permitirme ser parte de sus vidas.***

# **ÍNDICE**

## **Capítulo 1 INTRODUCCIÓN**

- 1.1 Objetivo 3
- 1.2 Alcances 3

## **Capítulo 2 ANTECEDENTES**

- 2.1 Características de la Competencia 4
- 2.2 Requerimientos de la Competencia 4
- 2.3 Características de los Motores Utilizados en Competencia 6

## **Capítulo 3 INVESTIGACIÓN**

- 3.1 Parámetros que influyen en el consumo de combustible 9
- 3.2 Sistemas de Arranque 16
- 3.3 Sistemas de Inyección 16
- 3.4 Sistemas de Admisión de Aire 22
- 3.5 Sistemas de Ignición de Combustible 24

## **Capítulo 4 PROPUESTA DE MODIFICACIONES**

- 4.1 Opciones existentes en el mercado de piezas y sistemas 27
- 4.2 Propuestas de modificaciones y adaptaciones 32
- 4.3 Evaluación y selección de la mejor propuesta 38

## **Capítulo 5 DISEÑO DE DETALLE**

5.1 Diseño Asistido por Computadora 43

5.2 Simulación 54

**CONCLUSIONES** 59

**ANEXOS** 61

**BIBLIOGRAFÍA** 94

# **Capítulo 1 INTRODUCCIÓN**

Debido a la disminución en las reservas de petróleo, las empresas dedicadas a la extracción y procesamiento de este recurso están interesadas en optimizar los sistemas de extracción y su aprovechamiento en los distintos productos derivados del mismo.

A pesar del decremento en las reservas de petróleo, los combustibles fósiles seguirán siendo la fuente importante de energía en el planeta durante tiempos venideros, a la par de este problema, se presenta la necesidad de producir fuentes de energía segura y sustentable para satisfacer una demanda creciente.

Se están generando nuevos combustibles y sistemas como una opción sustentable al problema de la obtención de energía. Estos desarrollos tienen sus inconvenientes, los cuales están en proceso de solución. El viento por ejemplo es una de las formas más limpias de obtener energía, pero, los proyectos de centrales eólicas en tierra se ven limitados por el impacto visual y sonoro que producen. Una de las soluciones que se está evaluando es la de la implementación de este sistema en mar abierto en donde los vientos son más fuertes.

Shell es una empresa interesada en satisfacer estas necesidades mediante el desarrollo de tecnología con una visión responsable del medio ambiente. Debido a su filosofía Shell ha creado el Shell Eco Marathon que es una competencia a nivel estudiantil que involucra a las universidades y a sus estudiantes en la generación de soluciones reales para un problema real.

El Shell Eco Marathon empezó como una competencia entre científicos de la misma empresa los cuales se proponían demostrar quién de ellos podía desarrollar un combustible que permitiera impulsar un vehículo la mayor distancia posible en igualdad de condiciones. Desde entonces se han llevado a cabo eventos similares en varios países casi cada año.

A pesar de que ya tiene más de 60 años, el reto está vigente. Las reservas de hidrocarburos son finitas, mientras que la necesidad de transportes limpios y eficientes aumenta en forma implacable. En comparación con la competencia de sus

pioneros, ahora el Shell Eco Marathon desafía a sus participantes a diseñar, construir y conducir un vehículo eficiente en consumo de combustible.

Esta competencia consiste en dar un recorrido de siete vueltas a un circuito a una velocidad mínima de 15[mi/h], utilizando combustibles como la gasolina, el diesel, hidrogeno y energía solar, esto sirve para hacer el cálculo de millas recorridas por galón de combustible o hacer un equivalente para los demás combustibles. Los equipos tienen oportunidad de hacer el recorrido a la velocidad que deseen siempre y cuando realicen el recorrido en no más de 35 minutos. La cantidad de pruebas no está restringida puesto que se puede entrar a pista cuantas veces se quiera en el intervalo de tiempo donde la pista está abierta. El ganador de la competencia es aquel que logre consumir la menor cantidad de combustible.

La Universidad Nacional Autónoma de México mediante la Escudería Puma participó en la edición 2008 del Shell Eco Marathon, logrando ser el primer equipo mexicano y latinoamericano que participaba en esta competencia, en la cual se logró posicionar en el lugar número 18 de un total de 29 competidores.

Por lo anterior, esta tesis tiene como fin, la búsqueda de oportunidades de mejora, desarrollo y discusión de propuestas de modificaciones a un motor, para un vehículo de competencia Shell Eco Marathon. Para lograr este fin, el documento presenta los aspectos más relevantes de la competencia. Posteriormente, se presenta una visión general de los sistemas más representativos de un motor y su influencia en el consumo de combustible. Con base en lo anterior, se presentan las propuestas, sus características y la comparativa entre ellas, para después dar paso a la elección de la mejor. Finalmente, se desarrolla y analiza la propuesta seleccionada.

Este trabajo permitirá obtener una solución a la necesidad de reducir el consumo de combustible. Además de sentar una base para futuros integrantes de la Escudería Puma que participen en dicha competencia.

## **1.1 OBJETIVO**

Desarrollar y analizar modificaciones a un motor, que le permitan reducir su consumo de combustible sin perder su potencia.

## **1.2 ALCANCES**

Generar el diseño de detalle de un motor modificado con el fin de plantear una base para su posible manufactura y utilización en competencia.

# **Capítulo 2 ANTECEDENTES**

## **2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA COMPETENCIA**

La competencia consiste en construir un vehículo con un alto rendimiento de combustible, el cual medirá sus capacidades a lo largo de un circuito. Éste debe ser recorrido en siete ocasiones. El tiempo de recorrido está restringido a no más de 35 minutos en pista, además la velocidad mínima de un auto en competencia debe ser de 15 mi/h.

Antes de entrar a la pista de competencia es necesario cumplir con los requerimientos de seguridad impuestos por el organizador. Entre estas pruebas están:

- La prueba de visibilidad del piloto la cual debe ser de 180°.
- La prueba de frenado realizada en una superficie plana y en una inclinada.
- La prueba del eslalon.
- La prueba de cargas en el Roll Bar.
- La prueba de tensión en el cinturón de seguridad.

Además de las pruebas antes mencionadas se revisa el peso y dimensiones del vehículo. Por último, previo a entrar a la pista se registran los datos de temperatura y cantidad de combustible.

De darse un desperfecto en el automóvil durante la competencia, el piloto tendrá un máximo de dos minutos para resolver el problema, en su defecto, será retirado de la pista.

Una vez finalizado el recorrido se toman las lecturas de temperatura y cantidad de combustible consumido, con estos datos se genera el resultado de la carrera.

## **2.2 REQUERIMIENTOS DE LA COMPETENCIA**

Se debe tener en cuenta durante la manufactura, que los posibles cambios a causa del viento en la carrocería, cuando el automóvil está en movimiento están prohibidos, también los vehículos con anexos externos que puedan causar algún daño a otros vehículos.

Durante el proceso de diseño se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

- La altura máxima del auto debe ser 100[cm].
- El ancho de vía debe ser de un mínimo de 50[cm], medido entre los puntos medios donde las llantas tocan el suelo.

- La altura debe ser proporcional al ancho de vía, de un orden de 1:1.25 con el propósito de asegurar la estabilidad de los vehículos.
- La distancia entre ejes debe cumplir con al menos 100[cm].
- El ancho total no debe exceder 130[cm].
- La longitud máxima del vehículo no debe exceder 350[cm].
- El peso máximo del vehículo sin el piloto debe ser de 140 [kg].

Los equipos deben considerar las altas temperaturas que se tienen en el interior del auto por lo cual es necesario que la cabina cuente con ventilaciones para proveer de aire fresco al piloto.

Por lo anterior, es necesario aislar térmicamente la cabina del motor, por lo cual se requiere una pared rígida resistente al fuego que debe estar montada entre estos dos elementos, y así prevenir cualquier acceso del piloto a ese compartimiento.

El sistema de combustible debe ubicarse detrás de la pared de fuego o en un compartimiento aislado de la cabina. Todo sistema de combustible debe ser inaccesible al conductor para protegerlo y que no pueda ser modificado durante la competencia, por el contrario debe ser accesible a los inspectores para su revisión.

El sistema de combustible requiere elementos transparentes en sus conductos. El sistema tiene que ser diseñado de tal forma que pueda ser drenado y rellenado completamente antes de la competencia. El sistema no puede incluir elemento adicional alguno (válvulas, monitores o galgas), entre el tanque y la entrada al motor, sólo puede tener filtro. Como regla es necesario omitir las bombas electrónicas, este tipo de bombas están permitidas sólo para vehículos de gas LP.

El tanque de combustible puede ser presurizado máximo 5[bar] y debe utilizarse el tanque de combustible que proporcionan los organizadores del evento.

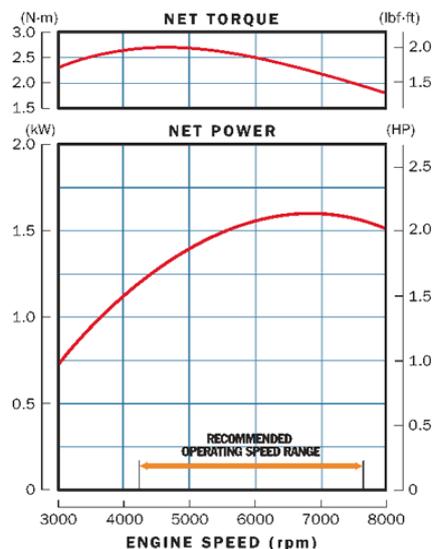
Cualquier sistema que tenga carburador debe tener adaptada una válvula para hacer posible que los inspectores drenen parcialmente esta cámara para asegurar la cantidad de combustible que va hacia el motor. De igual forma el aire que entre al motor no debe contener contaminantes, es decir no puede reutilizar los gases producto de la combustión.

Es recomendable eliminar cualquier incremento de temperatura de este sistema para evitar la generación de vapores, en consecuencia está prohibida la refrigeración del combustible a una temperatura menor de la temperatura ambiente.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES UTILIZADOS EN COMPETENCIA

Todos los motores descritos en las figuras 2.1, 2.2, 2.3 son la base del motor que algunas universidades ocuparon en competencia, es decir, que la mayoría de los

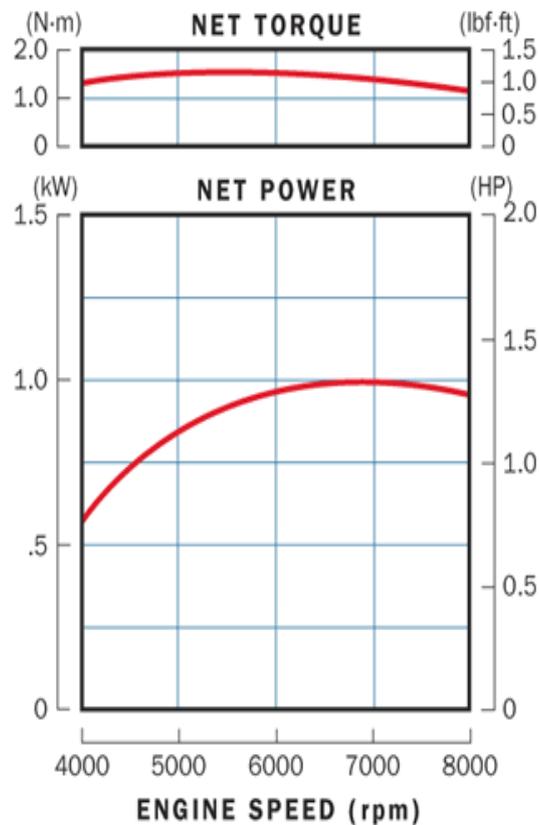
<b>Modelo</b>	<b>GHX50</b>
<b>Tipo de Motor</b>	Gasolina, 4 tiempos, monocilíndrico, enfriado por aire
<b>Diámetro y Carrera</b>	41.8 x 36 [mm] (1.65 x 1.42 [in])
<b>Desplazamiento</b>	50cc
<b>Radio de Compresión</b>	8.0:1
<b>Potencia Neta</b>	1.6 [kW] (2.1 [hp]) a 7000 rpm
<b>Torque Neto Máximo</b>	2.7 [Nm] (2.0 [lbs ft]) a 4500 rpm
<b>Sistema de Encendido</b>	Bobina Transistorizada
<b>Sistema de Arranque</b>	Retráctil
<b>Capacidad del Tanque de Combustible en Litros</b>	0.77
<b>Filtro de Aire</b>	Semiseco
<b>Capacidad de Aceite en Litros</b>	0.25
<b>Consumo de Combustible</b>	0.91 [L/hora] a 7000 rpm
<b>Dimensiones (Largo, Ancho y Alto)</b>	225 [mm] x 274 [mm] x 353 [mm]
<b>Peso en Seco</b>	5.5 [kg]



Fuente Portal de Honda Engines, <http://www.honda-engines.com/engines/gxh50.htm>.

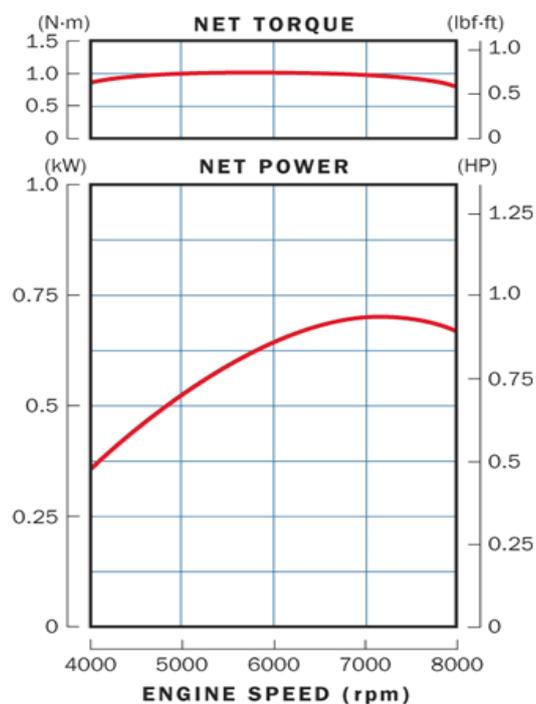
Figura 2. 1 Ficha técnica y diagramas de torque vs. rpm y poder vs. rpm del motor Honda GHX50.

<b>Modelo</b>	<b>GX35</b>
<b>Tipo de Motor</b>	Gasolina, 4 tiempos, monocilíndrico, enfriado por aire
<b>Diámetro y Carrera</b>	39 x 30 [mm] (1.5 x 1.2 [in])
<b>Desplazamiento</b>	35cc
<b>Radio de Compresión</b>	8.0:1
<b>Potencia Neta</b>	1.0 [kW] (1.3 [hp]) a 7000 rpm
<b>Torque Neto Máximo</b>	1.6 [Nm] (1.2 [kg m]) a 5500 rpm
<b>Sistema de Encendido</b>	Bobina Transistorizada
<b>Sistema de Arranque</b>	Retráctil
<b>Capacidad del Tanque de Combustible en Litros</b>	0.65
<b>Filtro de Aire</b>	Semiseco
<b>Capacidad de Aceite en Litros</b>	0.1
<b>Consumo de Combustible</b>	0.71 [L/hora] a 7000 rpm
<b>Dimensiones (Largo, Ancho y Alto)</b>	204[mm] x 234[mm] x 230[mm]
<b>Peso en Seco</b>	3.46 kg



Fuente Portal de Honda Engines, <http://www.honda-engines.com/engines/gxh50.htm>.  
 Figura 2. 2 Ficha técnica y diagramas de torque vs. rpm y poder vs. rpm del motor Honda GX35.

<b>Modelo</b>	<b>GX25</b>
<b>Tipo de Motor</b>	Gasolina, 4 tiempos, monocilíndrico, enfriado por aire
<b>Diámetro y Carrera</b>	37 x 26 mm (1.5 x 1.2 in)
<b>Desplazamiento</b>	25cc
<b>Radio de Compresión</b>	8.0:1
<b>Potencia Neta</b>	0.72 kW (1 hp) a 7000 rpm
<b>Torque Neto Máximo</b>	1.07 Nm (0.11 kg m) a 5000 rpm
<b>Sistema de Encendido</b>	Bobina Transistorizada
<b>Sistema de Arranque</b>	Retráctil
<b>Capacidad del Tanque de Combustible en Litros</b>	0.55
<b>Filtro de Aire</b>	Semiseco
<b>Capacidad de Aceite en Litros</b>	0.08
<b>Consumo de Combustible</b>	0.54 L/hora a 7000 rpm
<b>Dimensiones (Largo, Ancho y Alto)</b>	192 mm x 221 mm x 230mm
<b>Peso en Seco</b>	2.9 kg



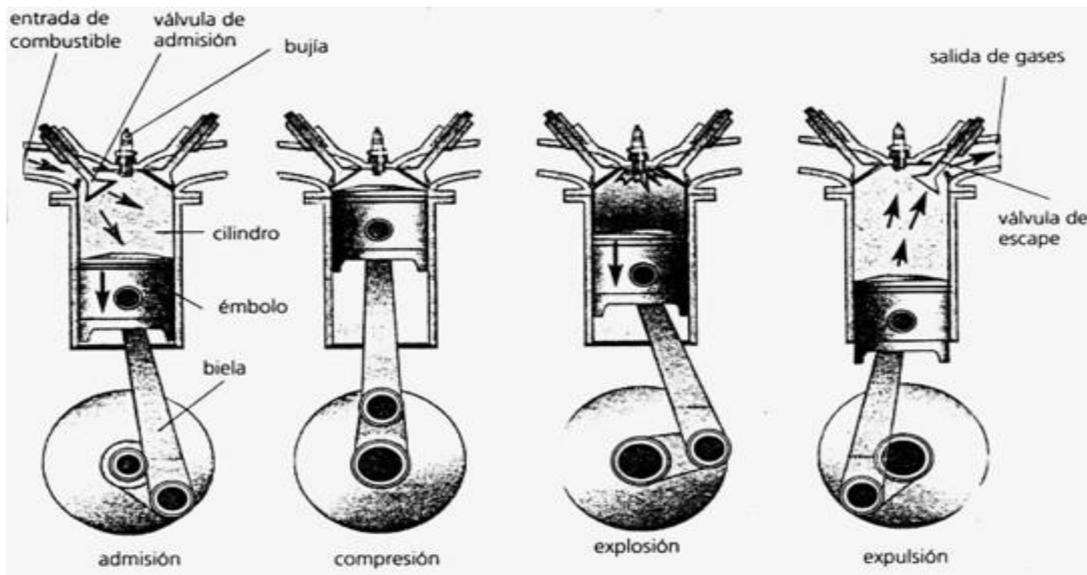
Fuente Portal de Honda Engines, <http://www.honda-engines.com/engines/gxh50.htm>.  
 Figura 2. 3 Ficha técnica y diagramas de torque vs. rpm y poder vs. rpm del motor Honda GX25.

equipos en competencias realizaron modificaciones a dichos motores para reducir el consumo de combustible. En estas ilustraciones se presentan tanto la ficha técnica como los gráficos de torque y potencia.

# Capítulo 3 INVESTIGACIÓN

## 3.1 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El motor de cuatro tiempos es una máquina térmica cuyo objetivo es transformar la energía térmica generada por la combustión de un combustible en energía mecánica, con base en esto es importante conocer el proceso que sigue para lograr este fin. Como toda máquina térmica el motor de cuatro tiempos debe tener una eficiencia que se relaciona con el tipo de ciclo que cumple dicho motor.



Fuente Planeta Senda, Motor de Explosión, [http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor\\_explosion.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor_explosion.htm).

Figura 3. 1 El ciclo Otto se compone de cuatro etapas; admisión, compresión, explosión o trabajo y expulsión o escape.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, es necesario conocer las características de dicho ciclo (Figura 3.1), identificar las diferencias entre el proceso ideal y el real, para así poder desarrollar sistemas que mejoren su eficiencia y con ello el consumo de combustible.

En el ciclo ideal se condicionan las cuatro etapas del ciclo, puesto que éste se lleva a cabo bajo condiciones ideales, que difícilmente ocurren en la realidad. A

continuación se desarrolla el ciclo Otto ideal, para posteriormente discutir sus diferencias con el ciclo real.

El ciclo ideal se desarrolla de la siguiente forma:

**1** El pistón se encuentra en punto muerto superior (PMS) a presión atmosférica. La válvula de admisión se abre y la de escape permanece cerrada. Se inicia una carrera descendente así como el tiempo de admisión.

**1 a 2** El pistón se desplaza hacia el punto muerto inferior PMI, aumentando el volumen del cilindro y llenándose éste de mezcla fresca, describiendo un proceso isobárico a presión atmosférica. La válvula de admisión se mantiene abierta.

**2** Pistón en PMI. Finaliza el tiempo de admisión, así como la carrera descendente del pistón, en este momento la válvula de admisión permanece cerrada. La presión es atmosférica. Se inicia el movimiento descendente del pistón así como la carrera de compresión.

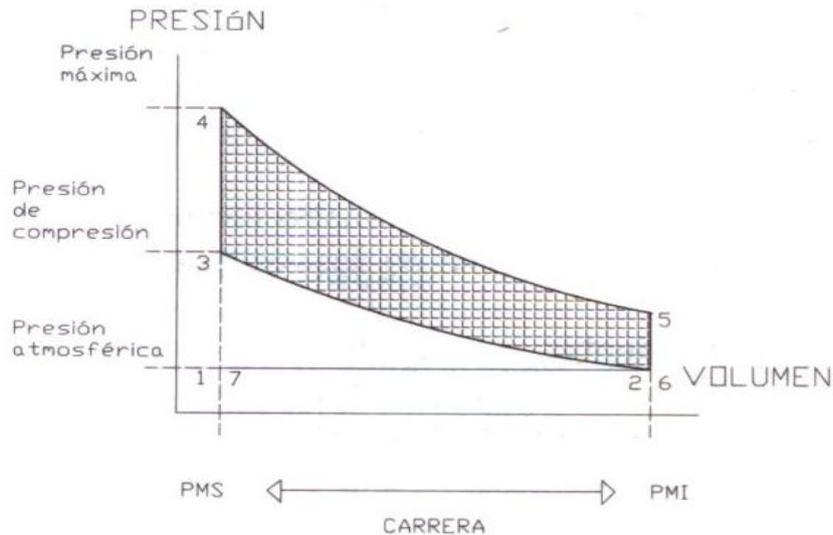
**2 a 3** El pistón se desplaza hacia el PMS disminuyendo el volumen del cilindro comprimiendo la mezcla aire-combustible, aumentando su presión y temperatura. Durante este proceso no existe intercambio de calor alguno, mas no de energía, la cual es aportada por el volante de inercia.

**3** El pistón esta en PMS. Finaliza la carrera de compresión y la carrera ascendente del pistón. En este momento salta la chispa que inflamará la mezcla.

**3 a 4** Como resultado de la combustión de la mezcla, provocada por la chispa, la presión y la temperatura aumenta. La línea descrita en la Figura 3.2 se lleva a volumen constante.

**4** La presión y la temperatura alcanzan sus valores máximos. Se inicia el tiempo de explosión o trabajo y una nueva carrera descendente.

**4 a 5** El pistón se desplaza hacia el PMI, impulsado por la fuerza de la detonación de la mezcla. Como consecuencia de esto se incrementa el volumen del cilindro, disminuyendo por tanto la presión de la misma. La curva se describe como adiabática, al no haber perdidas de calor.



Fuente: Miguel Ángel Pérez Bello, Tecnología De Los Motores, CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000-2003, Página 40.

Figura 3. 2 Diagrama Presión vs. Volumen del Ciclo Otto ideal.

**5** El pistón se encuentra en el PMI, en este momento se inicia el tiempo de escape y la válvula de dicho tiempo se abre.

**5 a 6** Como consecuencia de la apertura de la válvula de escape la presión baja, este proceso se lleva a volumen constante.

**6** La presión se iguala a la atmosférica, se inicia una nueva carrera ascendente.

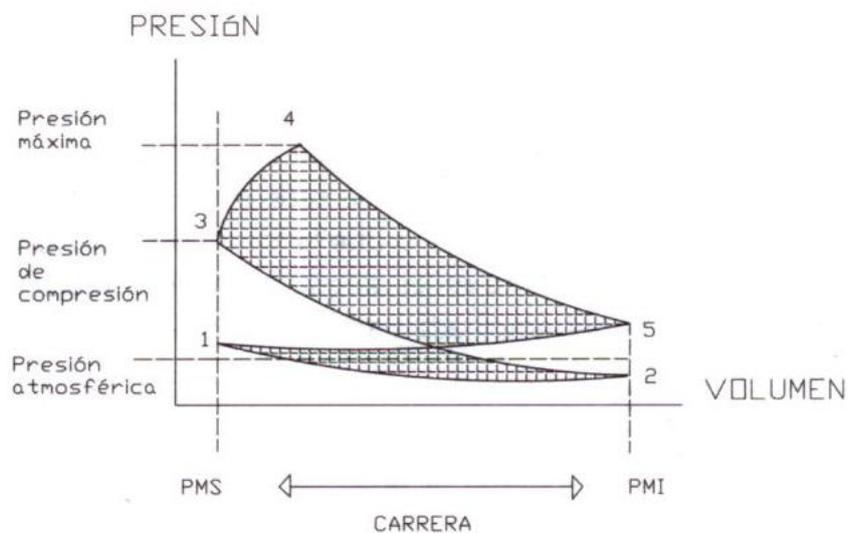
**6 a 7** El pistón se desplaza hacia el PMS, expulsando los gases residuales producto de la combustión. El proceso se realiza a presión constante y se muestra superpuesta con la línea 1 a 2.

**7** El pistón se encuentra en el PMS con lo cual se finaliza el ciclo. El cilindro y el pistón están listos para iniciar un nuevo ciclo. Este punto se superpone con el punto 1 del ciclo siguiente.

Las diferencias más sobresalientes entre el ciclo ideal y el real son, entre otras, la apertura y cierre de las válvulas de admisión no ocurren de forma instantánea, por otra parte la apertura plena de la válvula se genera sólo en un lapso de tiempo muy corto y debido a la apertura y cierre gradual de dicha válvula se genera una reducción en la sección de paso de la mezcla, lo cual reduce la cantidad de mezcla que entra en el cilindro. Este condicionante ocurre de igual forma con el tiempo de

escape, en consecuencia el barrido deficiente de los gases producto de la combustión influye en el tiempo de admisión donde se ve afectado puesto que dicho proceso no se lleva a presión atmosférica y mucho menos constante.

En el tiempo de compresión se ve el resultado del pobre suministro de mezcla, la temperatura y la presión son inferiores a las presentadas por el ciclo ideal, además el proceso no es adiabático, ya que gran parte del calor generado por la compresión es disipado.



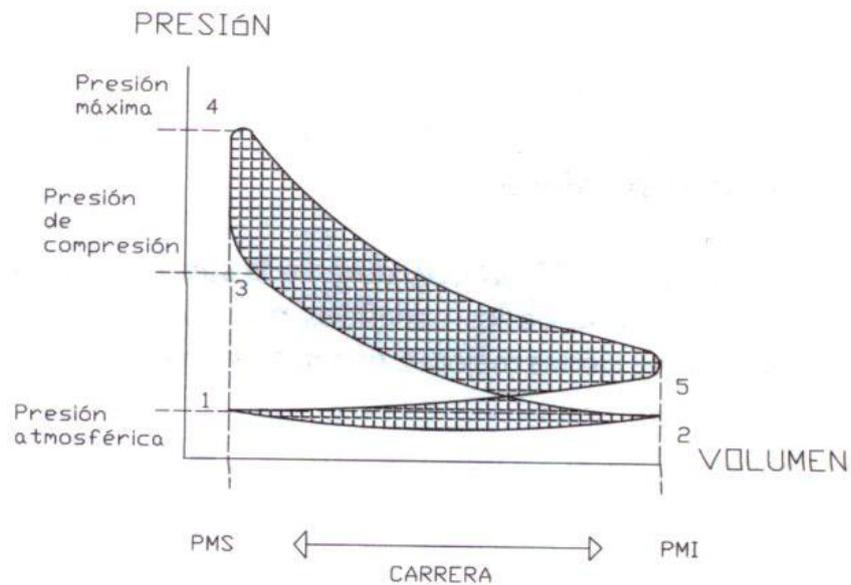
Fuente: Miguel Ángel Pérez Bello, Tecnología De Los Motores, CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000-2003, Página 45.

Figura 3. 3 Diagrama Presión vs. Volumen del ciclo Otto real.

Como se muestra en la Figura 3.3, tanto la presión como la temperatura son notablemente inferiores a los valores mostrados en el ciclo ideal lo que produce un retardo en el proceso de combustión. Además la combustión no es un proceso instantáneo y ésta se lleva a volumen variable y al igual que la compresión este proceso no se lleva acabo de forma adiabática si no que el calor debido a la combustión no es empleado por completo.

Para mejorar el desempeño del ciclo real se ha observado que el avance de la apertura de las válvulas puede aminorar estas diferencias. Dicho cambio consiste en adelantar el momento de apertura de la válvula de admisión momentos antes de que el pistón se encuentre en el PMS de la carrera de escape, y de retrasar su cierre momentos después de haber llegado al PMI.

De la misma forma que la antes mencionada válvula admisión, la válvula de escape es adelantada con lo cual se logra aprovechar la presión de los gases residuales para mejorar el barrido de los mismos. No se pierde eficiencia en la explosión como se podría suponer, puesto que la presión de los gases residuales no es suficiente para seguir impulsando al pistón al PMI.



Fuente: Miguel Ángel Pérez Bello, Tecnología De Los Motores, CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000-2003, Página 52.

Figura 3. 4 Diagrama Presión vs. Volumen del ciclo Otto práctico.

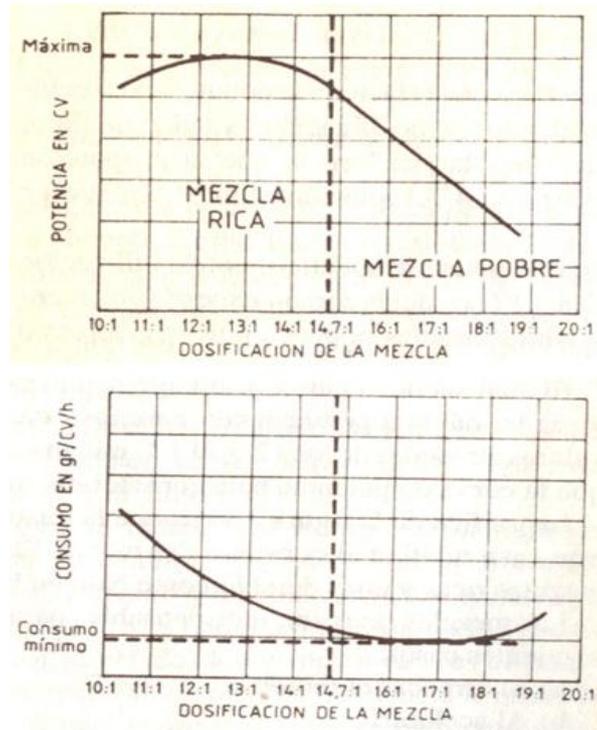
Otro punto que se debe resaltar es en el adelanto de la chispa poco antes de que el pistón llegue al PMS, dando oportunidad a que la combustión se lleve con más tiempo, cabe mencionar que este punto es variable pues depende del régimen o carga del motor. Las mejoras se hacen visibles en la Figura 3.4, la cual muestra una ligera tendencia al comportamiento del ciclo ideal.

La gasolina, como todos los elementos de origen orgánico, solamente puede quemarse si dispone del suficiente oxígeno (comburente) que haga posible el proceso químico que se establece en toda combustión de este tipo.

Para el proceso de combustión debe tenerse en cuenta la naturaleza del combustible para determinar la temperatura de inflamación de la mezcla, de igual manera es conveniente determinar la velocidad a la que se desarrolla la combustión. Así utilizando una mezcla adecuada, a su temperatura de inflamación, se tendrá

como resultado una propagación de la flama más rápida y por tanto una combustión más corta.

La chispa es un factor muy importante en el proceso de la combustión, ya que mientras más potente sea esta, mayor será la velocidad de propagación de la combustión, aumentando con ello el efecto multiplicador. Se puede reducir el tiempo y la distancia que recorre el frente de llama montando dos bujías por cilindro.



Fuente Ing. Juan Monroy López, Sistemas de inyección electrónica de gasolina, editorial Aconcagua ediciones y publicaciones, Página 22.

Figura 3. 5 Diagrama Potencia vs. Dosificación y Diagrama Consumo vs. Dosificación

Por otra parte, es interesante que la distancia a cubrir por el frente de flama sea lo más pequeña posible. La configuración en la forma de las cámaras de combustión responde a este problema. La forma de la cámara de combustión tiene una gran importancia a la hora de facilitar la homogeneidad de la mezcla y por tanto su total inflamación.

Actualmente, el montaje de una tercera válvula facilita la formación de turbulencias y a la par contribuye a conseguir una mezcla más homogénea. Esto es importante debido a que la turbulencia contribuye a la pulverización de la gasolina, este efecto

genera combustiones más fáciles de realizar debido a que tanto el aire como el combustible se encuentran en estado gaseoso.

La adición exacta del volumen de aire con respecto al volumen de gasolina necesaria para una combustión completa es lo que se le llama dosificación de la mezcla. Debido a que las condiciones de régimen de un automóvil no son constantes preparar una mezcla adecuada se vuelve una acción más compleja (Figura 3.5).

El régimen o carga del motor se ve influenciado por factores que impiden el libre movimiento del vehículo. El rozamiento en sus diferentes formas es uno de los factores que impiden el movimiento libre tanto del motor como del automóvil. Si bien las partes móviles del motor reducen su fricción mediante lubricantes, la pérdida de energía es evidente y se traduce en una pérdida que puede apreciarse en el calentamiento del aceite. Además el vehículo debe avanzar ocupando un volumen en la masa de aire que lo rodea, para lograrlo, debe desplazar el aire a su paso. Ello también implica un trabajo, el de desplazar el aire, y el de vencer la resistencia o viscosidad que este le presenta para deslizarse, ese trabajo no es para nada despreciable, y crece muy rápidamente en función de la velocidad.

También es importante el peso del vehículo fundamentalmente en las aceleraciones, mientras más pesa el vehículo, más energía se debe entregar para lograr una misma aceleración. En la aceleración brusca se produce un incremento significativo en la presión del múltiple de admisión, lo que incrementa la fase líquida de la mezcla en las paredes del múltiple de admisión.

En caso contrario al levantar el pie del acelerador, disminuye la presión de los colectores de admisión provocando una evaporación súbita del combustible depositado en las paredes del múltiple de admisión enriqueciendo la mezcla, lo que produce un aumento de las emisiones contaminantes y hasta falsas explosiones en el escape.

## **3.2 SISTEMAS DE ARRANQUE DE MOTORES**

Gran parte del consumo de combustible se realiza en el arranque del motor, sobre todo cuando se realiza el arranque en frío y se requiere el calentamiento del motor. El enriquecimiento en este momento de operación se debe en gran parte a la condensación de la mezcla que existe en las paredes frías del múltiple de admisión. Cuando se realiza el arranque con el motor caliente, el enriquecimiento de la mezcla es el producto de la necesidad de una mayor potencia para dar los primeros giros al motor.

El motor de arranque es el encargado de vencer el par de giro resistente que ofrecen los órganos que componen la cadena cinemática del motor. Existen diferentes formas para lograr este fin, se utiliza un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Por otro lado, algunos motores pequeños se arrancan a mano, girando el cigüeñal con una cadena o tirando de una cuerda que se enrolla alrededor del volante del cigüeñal.

Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia, que aceleran el volante manualmente o con un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente como para mover el cigüeñal, los iniciadores explosivos, que utilizan la explosión de un cartucho para mover una turbina acoplada al motor (grandes motores). Los iniciadores de inercia y los explosivos se utilizan sobre todo para arrancar motores de aviones.

## **3.3 SISTEMAS DE INYECCIÓN**

En este apartado se explica sólo al sistema de inyección electrónica dejando a un lado el sistema de carburador por las consideraciones siguientes:

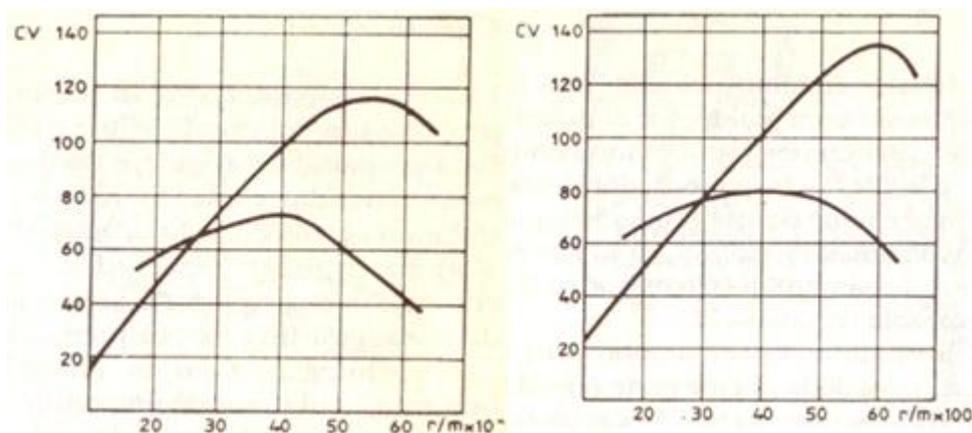
En el caso del carburador, el vacío producido por el motor, genera una fuerte corriente de aire aspirado a través del múltiple de admisión en cuyo extremo se encuentra el carburador. Dicha corriente de aire absorbe combustible a través del tubo que está conectado a un depósito (cuba) que contiene la gasolina, la cual al mezclarse con el aire se pulveriza. De este modo logra que al pasar por el cilindro,

el aire arrastre también la cantidad de gasolina proporcional a la dosificación conveniente.

En los sistemas de inyección electrónica, el aire no cumple con la función de aspirar gasolina; por el contrario, el aire sigue un camino independiente al de la gasolina. En los sistemas electrónicos, la unidad electrónica de control manda una señal al inyector-electromagnético para que se abra el tiempo necesario según las necesidades de dosificación de la mezcla.

En términos generales las ventajas de la inyección electrónica son las siguientes:

Mayor potencial al motor: la Figura 3.6 presenta a continuación las curvas de potencia y par como resultado de una prueba que se realizó a un mismo motor, con la finalidad de observar las ventajas que se obtienen al usar sistema de carburador o sistema de inyección, ambas pruebas fueron realizadas con las mismas condiciones de carga, manejo y distancia recorrida.



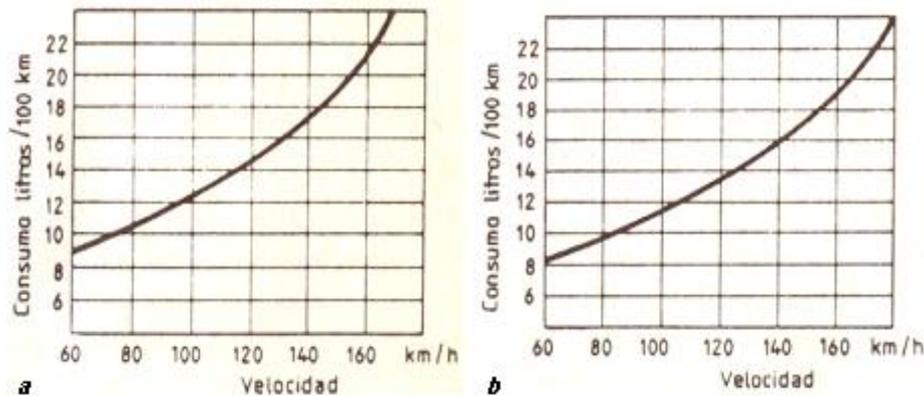
Fuente: Ing. Juan Monroy López, Sistemas de inyección electrónica de gasolina, editorial Aconcagua ediciones y publicaciones, página 17.

Figura 3.6 Comparativa de los diagramas de potencia vs. rpm y par vs. rpm, con sistema de carburador y con sistema de inyección electrónica.

El gráfico de la izquierda es el resultado de la prueba con carburador, el gráfico de la derecha se obtuvo al remplazar el carburador por un sistema de inyección.

Como se puede observar en la Figura 3.6 la inyección electrónica representa un incremento en el par y la potencia del motor.

Menor Consumo de combustible: Las curvas de consumo del mismo motor en sus dos versiones (Figura 3.7) muestran claramente una ventaja para la inyección electrónica.



Fuente: Ing. Juan Monroy López, Sistemas De Inyección Electrónica De Gasolina, editorial Aconcagua ediciones y publicaciones, página 17.

Figura 3.7 Comparativa de los diagramas de consumo vs velocidad a) con sistema de carburador y b) con sistema de inyección electrónica.

Las causas son, un mejor reparto de la mezcla a cada uno de los cilindros, una mejor dosificación según los estados de carga y temperatura.

Rapidez de Respuesta: La unidad electrónica de control ejecuta órdenes en valores de tiempo de milisegundos. De esta manera puede dar una respuesta más rápida que el carburador.

Menor Emisión de Contaminantes: El hecho de que la mezcla sea adecuada tiene como efecto una combustión mejor, y por consecuencia, una menor emisión de gases contaminantes.

Son notables las ventajas que ofrece la inyección electrónica, pero tiene como desventaja que el mapa de inyección de combustible sólo se logra calibrar con equipo especializado que sólo el fabricante posee.

Los sistemas electrónicos se caracterizan por su gran efectividad y elevado rendimiento, ya que consiguen un alto grado de perfección en la formación de la mezcla. Los sistemas electrónicos se adaptan fácilmente a las condiciones de trabajo y funcionamiento que se le exigen al motor.

El accionamiento de los inyectores es puramente electrónico, descartando así las diferencias inherentes, por su propia naturaleza, de los componentes de mando mecánico. Actualmente es el sistema de alimentación de combustible más empleado. Los aportes del sistema de inyección electrónica (Figura 3.8) se pueden dividir a su vez en:

**Inyección Monopunto:** La principal característica del sistema, es el empleo de un sólo inyector que sustituyendo al carburador, inyecta el combustible a todos los cilindros



Figura 3.8 Principales tipos de inyección

**Inyección Multipunto:** Este sistema dispone un inyector por cada cilindro, situados en el múltiple de admisión cerca de la válvula de admisión, dirigiendo hacia ésta el chorro de gasolina que producen.

Dentro de este tipo de inyección electrónica existen diferentes formas de dosificar el combustible.

Existen sistemas de Inyección Continua, esto implica que el suministro de combustible incluso cuando la válvula de admisión está cerrada, acumulándose la

gasolina hasta que abre la válvula de admisión y es arrastrada por la corriente de aire.

En cuanto a los sistemas de Inyección Intermitente, presentan como particularidad, el inyectar una vez cada ciclo. Dentro de este tipo de sistemas, se encuentran los de Inyección Simultanea, en los que el disparo del chorro de combustible se realiza en el mismo instante para todos los cilindros, con lo que cada cilindro estará realizando una fase diferente del ciclo termodinámico.

Una mejora de este sistema, lo constituye la Inyección Secuencial, en la que cada inyector suministra combustible a su cilindro únicamente durante la carrera de admisión, aprovechando de esta forma el flujo de aire para producir una mezcla más homogénea que mejora el proceso de combustión.

***Inyección Directa:*** La principal característica de este sistema es que la inyección se realiza de forma directa en el cilindro, con lo cual sólo circula aire por los conductos de admisión lo cual beneficia el llenado de aire del cilindro debido a que es más fácil succionar el aire que la mezcla pues esta última posee una inercia mayor que la del aire.

Las principales diferencias recaen en la forma del pistón el cual orienta el aire y genera turbulencia hacia la zona de la bujía, este hecho favorece la propagación del frente de flama.

Pero las grandes diferencias entre los motores de admisión convencional e inyección directa, no sólo estriban en el lugar donde se aporta el combustible, sino en la forma de hacerlo. Así estos motores poseen tres modos de funcionamiento, caracterizados por la diferencia de prestaciones y economía de marcha, en los que la inyección se realiza de forma diferente. A este tipo de motores, por la forma en que se concentra el combustible en la masa gaseosa, se le denomina de carga estratificada, dado que su dosificación difiere sensiblemente en función de la zona.

Alimentación de bajo consumo: la inyección de combustible se realiza al final de la carrera de compresión, con una dosificación en torno a 40:1 (cuarenta partes de aire por una de gasolina, medida en peso), casi tres veces inferior a la medida estequiometria clásica de 14.7:1. Con ello los consumos disminuyen ostensiblemente, en torno a un 20%, respecto a motores de admisión convencional.

Dada su naturaleza pobre de la mezcla, para favorecer la ignición del combustible, la inyección se realiza de modo compacto y a una presión superior a la de la inyección indirecta, incidiendo en la superficie cóncava del pistón, para así conseguir que el conjunto de la mezcla no sea homogéneo, concentrándose el combustible en la zona próxima a la bujía, con una dosificación cercana al valor estequiométrico.

**Alimentación Convencional:** En este caso, la aportación de combustible se inicia durante el tiempo de admisión, con el chorro del mismo muy disperso, para favorecer la homogeneidad de la mezcla, y con una dosificación próxima a los valores convencionales. Para lograr esto se varía la forma del chorro inyectado y adecuándolo al tipo de inyección empleado.

Una de las ventajas que se obtiene con este sistema es una mayor homogeneidad en la mezcla, además, mediante la inyección directa en el cilindro, dicho aporte se realiza en contracorriente de sentido ascendente, la cual se opone al sentido descendente del combustible, consiguiéndose una mejor unión de ambos fluidos.

Alimentación de altas prestaciones: con ésta se consigue aumentar el nivel de par proporcionado por el motor. En este caso la aportación de combustible se realiza en dos fases.

**Preinyección:** consiste en inyectar una pequeña cantidad de combustible justo durante el tiempo de admisión, al igual que la inyección convencional, mediante un chorro difuminado, para así refrigerar el cilindro y evitar la detonación, esto permite incrementar el valor del ángulo de avance al encendido, mejorándose el rendimiento y consecuentemente las prestaciones.

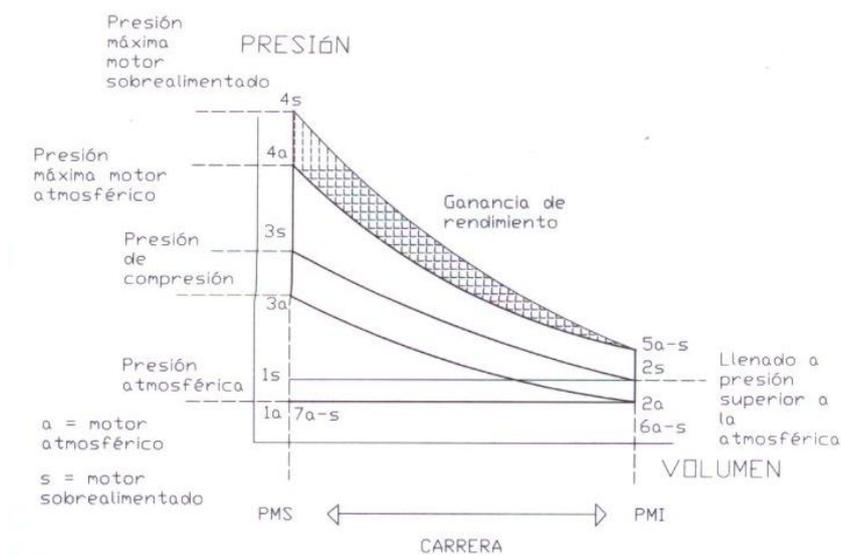
**Inyección Principal:** se realiza de forma similar a la alimentación de bajo consumo, pero con una dosificación total mucho más rica, en torno a 12:1. En este caso, la concentración de combustible no tiene como objetivo favorecer el inicio de la combustión, sino el que ésta se lleve a cabo en las mejores condiciones posibles para así obtener el máximo rendimiento de la misma.

### 3.4 SISTEMAS DE ADMISIÓN DE AIRE

Básicamente este sistema es el encargado de guiar el aire hacia el motor, las partes que lo componen son en general las mismas. El camino del aire es el siguiente: la entrada principal de aire se realiza a través del filtro de aire el cual está encargado de retener las impurezas que contiene el aire.

El flujo de aire es controlado por la mariposa de aceleración la cual restringe el paso del aire por medio de una aleta. Después, el aire pasa al múltiple de admisión el cual es el encargado de distribuir la cantidad necesaria de aire a cada cilindro y por su forma, ayuda a la vaporización del combustible, por último, las válvulas de admisión son las encargadas de permitir el paso hacia el cilindro.

La forma en que el motor se alimenta de aire, puede realizarse mediante dos formas. La primera se lleva a cabo mediante el vacío que genera el motor, a este tipo de alimentación se le conoce como aspiración natural, y la segunda se realiza forzando al aire a entrar mediante un compresor, a este método de alimentación de aire se le conoce como aspiración forzada. Con esta última el aire entra a una presión superior a la atmosférica.



Fuente: Miguel Ángel Pérez Bello, Tecnología de los motores, CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000-2003, Página 53.

Figura 3.9 Diagrama PV del ciclo Otto sobrealimentado comparado con el ciclo Otto teórico.

La sobrecarga de aire incrementa notablemente la eficiencia del ciclo, las diferencias entre los ciclos teórico y sobrealimentado (Figura 3.9) se ponen de manifiesto en los tiempos en que se ven afectados:

**Admisión:** el llenado aumenta considerablemente respecto a los motores atmosféricos o de aspiración natural. Además disminuye las pérdidas por trabajo aportado, ya que se evita el freno que ocurre cuando el motor absorbe la mezcla.

**Compresión:** debido a la sobrecarga de aire, los valores de presión y temperatura se incrementan notablemente, esto ocasiona que la mezcla quede mejor preparada para la combustión es decir con mayor homogeneidad, lo cual favorece a una mejor combustión.

**Explosión:** La presión que empuja al cilindro hacia el PMI es mayor lo que resulta en un incremento de rendimiento del mismo.

Los sistemas que se ocupan en la actualidad para sobrealimentar un motor son el turbocompresor y el compresor tradicional. En el caso de la alimentación por turbocompresor, el rendimiento es mayor, debido a que se aprovechan los gases residuales para impulsar el compresor, liberando al motor del freno que supone el arrastre del mismo. En estos motores su relación de compresión es inferior a la de los motores aspirados, para así compensar el incremento del llenado y evitar problemas de detonación.

Los motores de turbocompresor adolecen de una ineficiencia en la respuesta a bajas revoluciones pues los gases residuales no poseen la suficiente velocidad como para accionar la turbina.

Por su parte los compresores convencionales activados mediante una banda por el mismo motor presentan un buen rendimiento a bajo régimen, ya que el giro del compresor posee la suficiente velocidad como para sobrealimentar el motor. Por el contrario a diferencia de los motores con turbo, estos son ineficientes al girar a alto régimen.

### 3.5 SISTEMAS DE IGNICIÓN DE COMBUSTIBLE

En los motores de gasolina, este sistema tiene como objetivo proporcionar la chispa eléctrica dentro del cilindro momentos antes del PMS en la carrera de compresión, para conseguir el mayor aprovechamiento de la expansión de los gases.

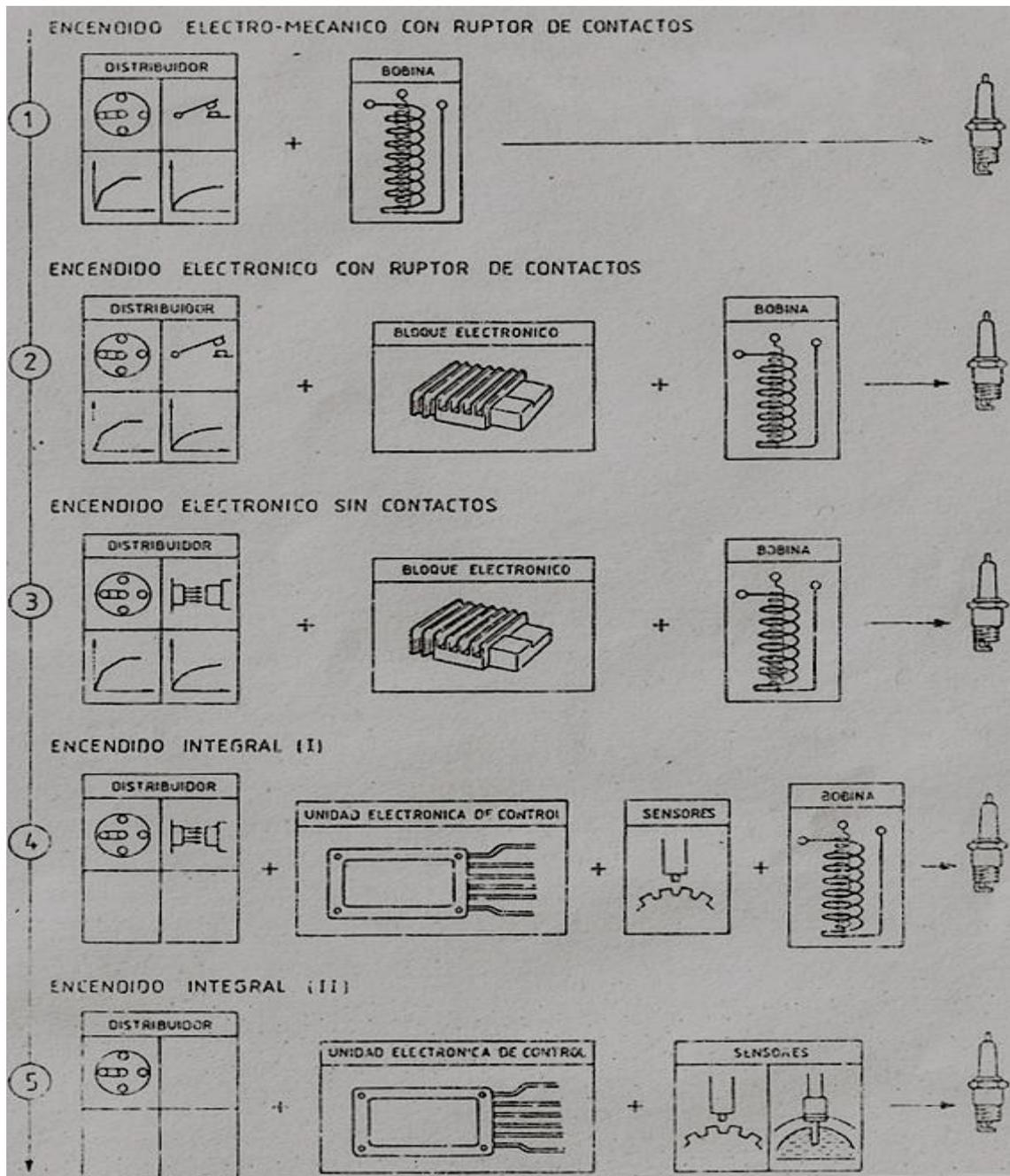
El sistema de encendido a evolucionado a partir del sistema convencional que consta de una fuente de alimentación (batería), el interruptor general o llave de contacto, un transformador comúnmente llamado bobina de encendido; el interruptor de la corriente del circuito primario de la bobina, denominado ruptor y los mecanismos de avance encargados de sincronizar la chispa con las condiciones de funcionamiento del motor. En los motores policilíndricos, un dedo distribuidor giratorio envía, al girar, la chispa a los diferentes cilindros del motor conforme al tiempo de encendido.

La Figura 3.10 muestra la evolución de sistema de encendido, en ésta el primer sistema corresponde al encendido con ruptor de contactos mecánicos (platinos), en el que el distribuidor se encarga al mismo tiempo de interrumpir el paso de corriente por el primario de la bobina, por medio de los contactos mecánicos y establecer los ángulos de avance requeridos de acuerdo con la velocidad de giro del motor. En realidad este efectúa un trabajo con cierta inexactitud y por su naturaleza mecánica este trabaja con desajustes los cuales se deben corregir periódicamente. Por otra parte su rendimiento en momentos críticos de funcionamiento del motor es muy limitado.

Con el fin de mejorar la chispa, reducir el mantenimiento de los contactos del ruptor y sus desajustes, se introdujo la electrónica, conservando el ruptor mecánico, esto dio origen a la primera generación de encendidos electrónicos, llamados transistorizados. La característica de estos sistemas es la obtención de una chispa más fuerte en cualquier régimen de giro además de proteger la labor de los contactos mecánicos para que estos trabajen haciendo pasar por ellos corrientes de mucha menor intensidad con lo que disminuye la temperatura de operación, se facilita el corte de la corriente del primario de la bobina.

Los cambios más relevantes se dan con el encendido electrónico sin contactos. Mediante estos encendidos el corte del paso de corriente por el primario de la

bobina se realiza sin contacto físico entre dos piezas, por lo que se elimina el desgaste. Este funcionamiento se realiza mediante procedimientos magnéticos, ya sea con efecto alternador, efecto hall que consiste en la interrupción de un campo magnético de un imán permanente mediante una placa semiconductora portadora de una corriente constante.



Fuente Miguel de castro Vicente, Electricidad del automóvil II, Encendido y accesorios, Ediciones CEAC 3a ed. 199, página 253.

Figura 3.10 Evolución de los Sistemas de Encendido.

Por el momento se han mencionado sistemas en los cuales el uso del distribuidor es un punto fundamental y tanto los contrapesos centrífugos como las membranas para los reguladores de vacío pueden y sufren alteraciones. Los sistemas de encendido integral se hacen cargo de los valores de avance que hay que proporcionar al salto de chispa teniendo en cuenta los estados y parámetros que el sistema recoge, los cuales se encuentran almacenados en la unidad electrónica de control. En estos sistemas el distribuidor se convierte sólo en un sensor que sólo efectúa la labor de distribuir la corriente de alta tensión y la señal electromagnética para el corte de corriente en el primario de la bobina. Para finalizar, en la última generación de este sistema de encendido, la unidad electrónica de control se hace cargo no solamente del encendido con todos sus elementos si no que es apto para realizar otras funciones del motor tales como la inyección electrónica de gasolina, estas funciones las combina para obtener una perfecta coordinación entre el estado de dosificación de la mezcla y el momento de salto de la chispa.

# Capítulo 4 PROPUESTA DE MODIFICACIONES

## 4.1 OPCIONES EXISTENTES EN EL MERCADO DE PIEZAS Y SISTEMAS

Para una mejor selección de las opciones presentadas a continuación, la descripción de los componentes y sistemas, que se realizara conforme al orden que fueron presentados los sistemas del motor anteriormente.

Sistemas de Arranque: la problemática de este sistema es que en la mayoría de los casos las marchas existentes en el mercado son demasiado pesadas y las fuerzas con las que trabajan son excesivas para este tipo de motores pequeños, sin embargo, es posible encontrar marchas para este tipo de motores en el sector de motocicletas tipo scooter, que tienen como característica la utilización de motores pequeños.

<i>Marcha</i>	<i>Modelo</i>	<i>Volts [V]</i>
	<i>YFM50 RAPTOR 50</i>	<i>12</i>
	<i>New Briggs &amp; Stratton 695550</i>	<i>12</i>

Fuentes Motorcityreman.com, Performance Starters & Alternators, Customers Service,  
<http://www.motorcityreman.com/lawn-and-garden-units-briggs---stratton.html>.Nation Starter & Alternator,  
<http://nations-starter.com/695550-new-briggs-s.html>.

Tabla 4.1 Posibles marchas a emplear.

Las marchas presentadas en la Tabla 4.1 tienen como característica que son empleadas en motores de 3.5 HP, por lo cual impulsaría sin problema alguno a cualquiera de los motores presentados anteriormente.

En cuanto al peso, la primera presenta un valor aproximado de 2Kg en contraparte la última que presenta un peso aproximado de 1.8Kg. Además esta última cuenta con el sistema para accionar el piñón impulsor, esto ahorraría el diseño de la pieza que acciona dicho piñón.

Sistemas de Inyección: las características de los componentes de una inyección electrónica varían dependiendo de la marca y el tipo de motor en el que estén empleados. Difícilmente se realizan controles de inyección para motores tan pequeños, pero es posible adaptar los componentes de un sistema de inyección ya establecido, el reto es buscar el inyector ya que el consumo de combustible depende en gran parte de la dosificación de éste.

<i>Inyector</i>	<i>Modelo</i>	<i>Dosificación</i>
	<i>Injector Pour Prototype Shell Ecomarathon EV6</i>	<i>10 [gr/min]</i>
	<i>Inyector para vehículo Atos 1[L]</i>	<i>1.45[gr/seg]</i>
	<i>Inyector Cavalier</i>	<i>1.952[gr/seg]</i>

Fuente Auto Técnica, El Consumo De Combustible, El Factor Aerodinámico Y Otras

Yerbas, <http://www.autotecnicatv.com.ar/ParaPublicar/El%20consumo%20y%20otras%20yerbas/El%20consumo%20y%20otras%20yerbas.html>.

Tabla 4.2 Posibles inyectores clasificados de acuerdo a su dosificación de combustible.

Como se puede observar en la Tabla 4.2 el inyector prototipo EV6 brinda una dosificación pobre con lo cual se puede lograr una mejora en cuanto al consumo de combustible, el inconveniente de éste es el costo ya que su valor duplica al de los presentados. Otro inconveniente de este sistema de inyección es que el mapa de inyección no puede ser modificado si no es por el fabricante, pero es posible modificar las señales de los sensores.

Para lograr un control del motor sólo se requiere de tres sensores los cuales dan los parámetros necesarios para conocer el momento de inyección y la cantidad mezcla.

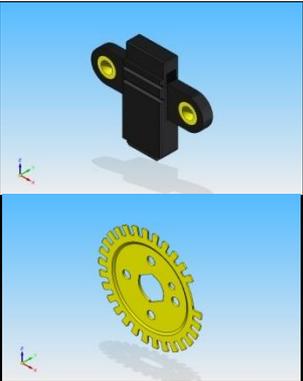
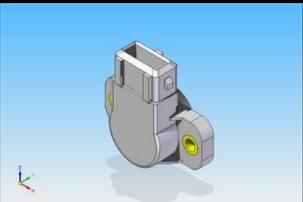
<i>Sensor</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
	<i>Lambda Sensor de oxígeno</i>	<i>Este sensor detecta la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape. Esta información es utilizada para determinar la relación aire combustible.</i>
	<i>Crankshaft Position Sensor (KPS)</i>	<i>Es un sensor magnético que genera la señal con la cual la computadora conoce cuando se encuentra el pistón en punto muerto superior, además de conocer la velocidad del motor.</i>
	<i>Throttle Position Sensor (TPS)</i>	<i>Este no es más que un potenciómetro el cual monitorea posición de la mariposa de aceleración, con esta información es posible conocer la carga a la que está sometido debido, es decir que tan restringido está el paso de aire en el sistema de admisión</i>

Tabla 4.3 Sensores básicos para controlar el sistema de inyección.

Adicionalmente se pueden emplear sensores de temperatura para saber si el motor está a una determinada temperatura de operación, con lo cual cambiaría la cantidad de combustible entregado en el cilindro. Aunado a éste, se puede utilizar un sensor de flujo y masa de aire el cual permite ver la cantidad de aire y la presión del aire que entra al motor.

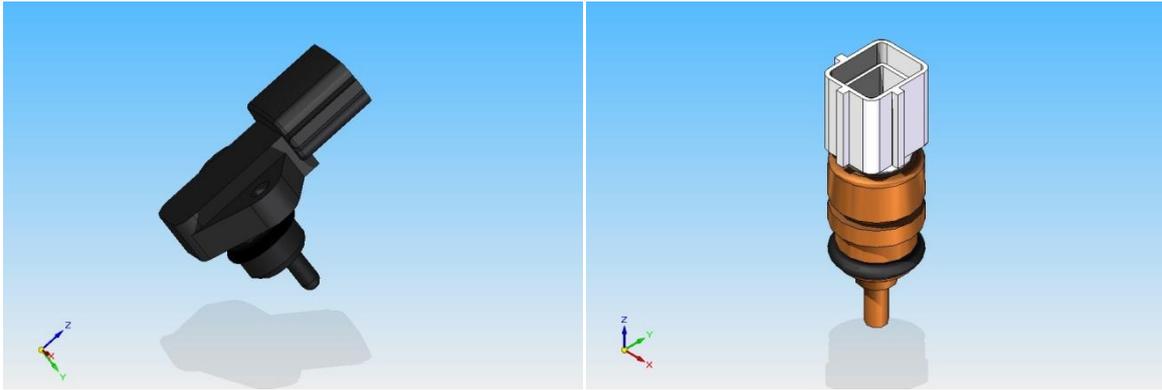


Figura 4.1 Sensor de presión y masa de aire, sensor de temperatura

Todas estas señales modifican tanto el tiempo como la cantidad en la inyección del combustible pero es el inyector en el que recae la mayor parte de la decisión.

Todos los sensores mostrados anteriormente en la Tabla 4.3 y en la Figura 4.1 son del sistema de inyección de un vehículo comercial (Atos 1[L]).

<i>FILTROS</i>	<i>MODELO</i>
	<p><i>"Cobra" airbox</i></p>
	<p><i>HA-2090</i></p>

Fuentes Comet car sales, <http://cometkartsales.com/store/air/boxes.htm> y Portal K&N, Honda Motorbike Air Filters, <http://www.ybfilters.co.uk/bikefilters/hondatable.htm>.

Tabla 4.4 Posibles Filtros de aire.

Sistemas de Admisión de Aire: Es importante mencionar que no existe en el mercado sistemas de admisión forzada para este tipo de motores. Es posible encontrar un equivalente a los sistemas de turbo y supecargador, sin necesidad de fabricar alguno de estos componentes. Es importante hacer notar que las condiciones de la competencia requieren que el auto viaje al límite inferior de

velocidad (15 [mph]), por cuestiones de ahorro de combustible, por lo cual es innecesario el turbo cargador, ya que a esa velocidad no marcaría una diferencia sustancial. En la Tabla 4.4 se muestran opciones que pueden permitir un flujo de aire mayor que el de un sistema de admisión convencional.

Los filtros presentados en la Tabla 4.4 son filtros de alta inducción de aire con lo cual se obtendría un extra de aire en la admisión, el primero es superior porque en la entrada consta de una tobera la cual permite que la velocidad del aire aumente en dirección del flujo, en comparación con el segundo que sólo es un elemento filtrante más grande.

Por otra parte, no existe múltiple de admisión como tal para adaptar este tipo de sistema o el sistema de inyección. En el mercado sólo se encuentra el múltiple de admisión como parte del carburador.

Sistemas de Ignición de Combustible: La bobina transistorizada es el sistema de ignición característico de estos motores (Figura 4.2), no existen en el mercado otros sistemas para motores pequeños. Esto se debe a que el sistema transistorizado es más pequeño y no depende de una batería para generar su chispa.

Este rubro depende mucho del sistema de inyección que se elija pues este sistema está muy ligado al sistema de inyección. Por otra parte cualquier sistema de algún vehículo comercial es demasiado grande y pesado para este fin, además



Figura 4.2 Sistema transistorizado (Motor Honda 50 cc).

estos sistemas requieren de una alimentación constante de la batería, debido a que el poner un alternador o un generador para cargar la batería sería un peso extra dentro del carro.

## **4.2 PROPUESTAS DE MODIFICACIONES Y ADAPTACIONES**

Para poder definir las propuestas es necesario elegir el motor y el inyector que se emplearán. Por su tamaño se utilizará el motor de 50cc que permitirá fabricar piezas de menor complejidad. Por otra parte, no se forzará demasiado, en el momento de romper la inercia del vehículo, cuando este comience su marcha. El inyector que presenta mejores características con respecto al consumo de combustible es el EV6, con este se pueden cubrir las necesidades del motor sin problemas.

Las propuestas se basan en el sistema de admisión y escape debido a que en estos se hacen la mayor parte de las adaptaciones del sistema de inyección. A continuación se describirán las propuestas para después dar paso a la decisión de éstas. Con respecto a la inyección se ha tomado como sistema base el sistema de inyección para el vehículo Atos (Motor 1L de capacidad) debido a que éste puede trabajar independiente del sistema de ignición, además se puede trabajar con sólo cuatro sensores. Por otra parte también se podría usar la misma computadora del automóvil para controlar dicho sistema. Cabe mencionar que requeriría información de otros sensores. La señal que emiten estos sensores como el de temperatura se pueden modificar debido a que este sensor es una resistencia que limita el paso de corriente dependiendo de la temperatura a la que se encuentre el motor. Pero como ya se ha mencionado se puede lograr la inyección con sólo los sensores indicados en la Tabla 4.3.

A continuación se presentaran las dos propuestas para el sistema de admisión:

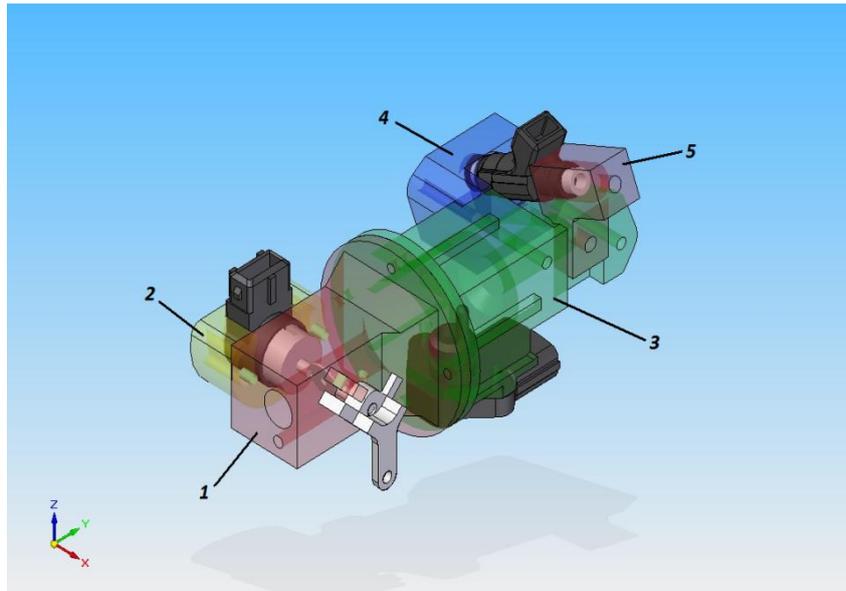


Figura 4.3 Propuesta del sistema de admisión #1

Este sistema consta de cinco piezas las cuales se enlistan a continuación:

#### Propuesta 1

1. Cuerpo de aceleración
2. Soporte del sensor TPS
3. Múltiple de admisión
4. Puerto de inyección
5. Conector de combustible

El cuerpo de aceleración (Figura 4.4) propone la reutilización de componentes provenientes del carburador original del motor como el papalote de aceleración y el sujetador del chicote.

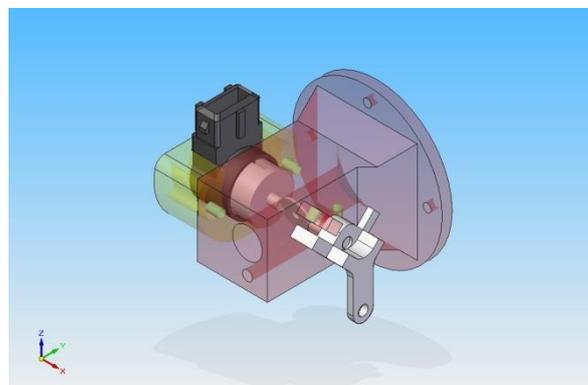


Figura 4.4 Vistas del cuerpo de aceleración de la propuestas #1

Además se compone por un sistema que permite la regulación del paso de aire en marcha mínima.

Con respecto al soporte del sensor TPS se propone de la forma mostrada en la Figura 4.5 puesto que este sensor requiere de una calibración previa, con esta disposición se logra el ajuste señalado pero es necesario modificar el sensor, eliminando las partes donde se sujetaba originalmente.

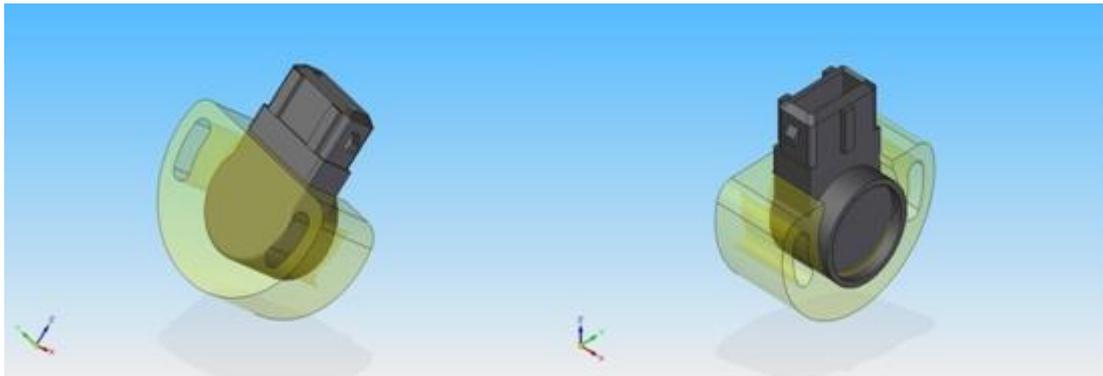


Figura 4.5 Soporte del TPS propuesta #1

En el múltiple de admisión solo está adaptado el sensor de Presión Absoluta del Múltiple, el cual debe estar aproximadamente a la mitad del múltiple.

El puerto de admisión por su parte requiere de la geometría mostrada en la Figura 4.6 puesto que su forma depende de la posición del inyector, la toma de aire del motor y de los barrenos que unen al sistema con el motor.

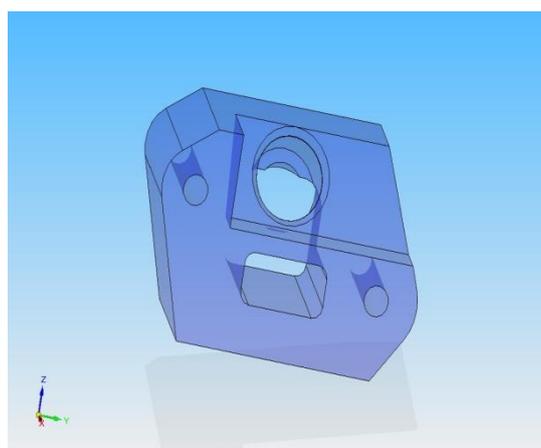


Figura 4.6 Puerto de admisión propuesta #1

Por su parte el conector del inyector tiene como función sujetar al inyector, éste está instalado sobre el múltiple de admisión.

La segunda propuesta consta de cuatro piezas que son las siguientes:

#### Propuesta 2

1. Cuerpo de aceleración
2. Puerto de admisión
3. Soporte del sensor TPS
4. Conector de combustible

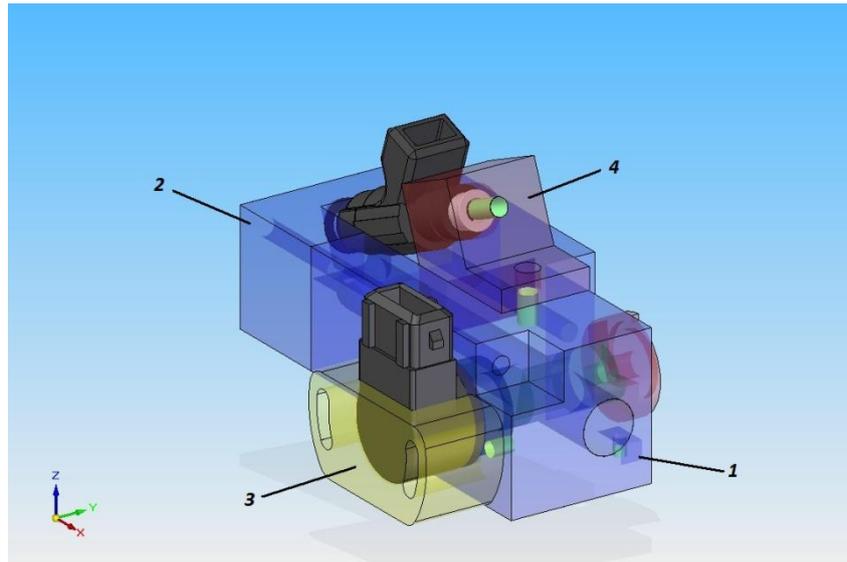


Figura 4.7 Propuesta del sistema de admisión #2

En esta propuesta a diferencia de la otra se elimina el sensor MAP, además el conducto principal de aire es más franco. Por otra parte esta propuesta no requiere de la utilización de algún componente extra proveniente del carburador con el que trabaja el motor originalmente.

Prácticamente el soporte del sensor TPS y el conector de combustible no sufren cambio alguno, sólo en su geometría.

Cabe mencionar que ambas propuestas eliminan el filtro de aire, pues a consecuencia de la reducción en el conducto de admisión la entrada de aire será menor a la que se tenía originalmente, por lo que la utilización del filtro generaría un freno más para el aire.

Por otra parte para la adaptación del sensor de Oxígeno (Lamda) se requiere la modificación del sistema de escape, que como ya se mencionó anteriormente una

buena evacuación de los gases producto de la combustión provoca menos pérdidas y una mejor entrada de aire al cilindro.

Se tienen dos propuestas para este sistema las cuales se presentan a continuación.



Figura 4.8 Propuesta del sistema de escape #1

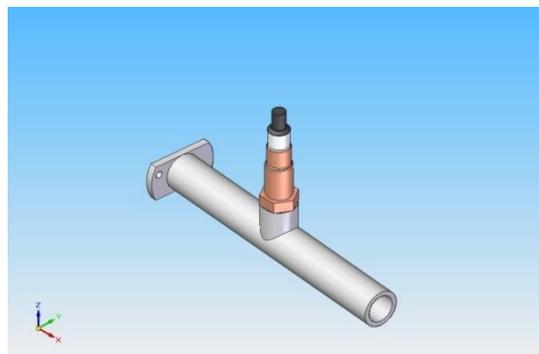


Figura 4.9 Propuesta del sistema de escape #2

La primera mostrada en la Figura 4.8 consta de cinco piezas las cuales se unen por medio de soldadura, la disposición del barreno para el sensor está dada por la forma del mismo.

La propuesta mostrada en la Figura 4.9 consta de tres piezas que al igual que la anterior se encuentran unidas mediante soldadura. La pieza donde se encuentra el barreno para sujetar el sensor es más grande para que el sensor quede posicionado a la mitad del conducto como en la propuesta anterior.

El último de los sensores que se propone utilizar es el sensor de posición del cigüeñal, para este objetivo sólo se tiene una opción, pues otra requeriría de implementarla por fuera del motor. Esta propuesta se relaciona con el sistema de tracción, debido a que el motor requiere de un adaptador para la flecha de salida Figura 4.10, se debe trabajar con éste para el posicionamiento tanto del sensor

como de la rueda dentada. Este adaptador se distribuye especialmente para este motor.



Figura 4.10 Adaptador para el sistema de tracción

El sensor se encuentra instalado en el adaptador, para la rueda dentada, el soporte se realiza mediante un prisionero que lo sujeta a la flecha del motor, debido a que no está sometida a esfuerzos axiales no se moverá de su sitio por lo cual se podrá hacer una lectura correcta de la señal Figura 4.11.

Por otra parte se utilizara la marcha New Briggs & Stratton 695550 la cual en costo es mejor a la YFM50 RAPTOR 50, además no requiere el sistema para engranar al piñón de ataque con la corona instalada en el motor. Por estas causas solo es necesario el diseño de la corona.

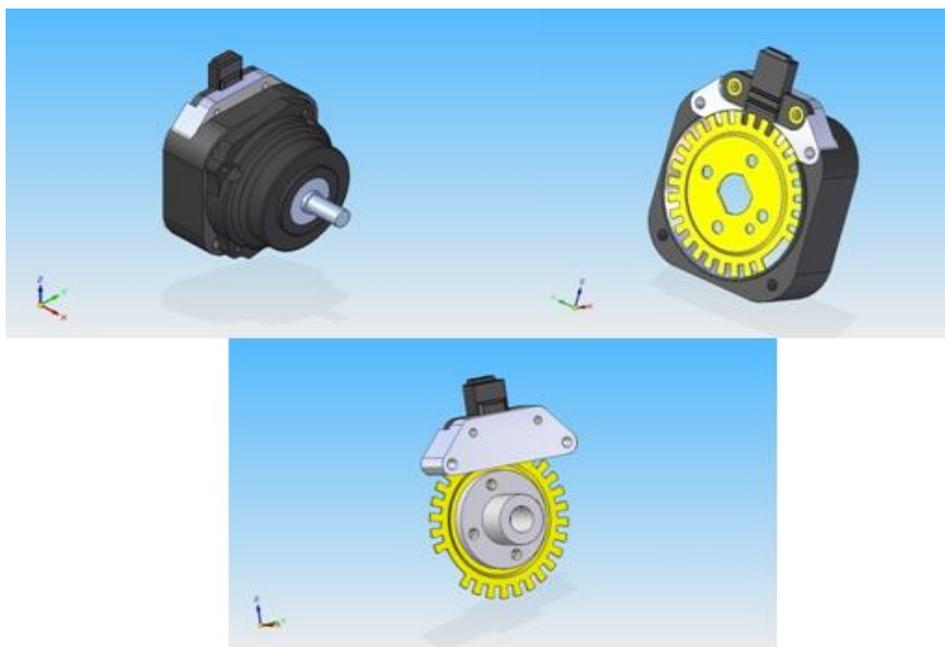


Figura 4.11 Adaptación del sensor KPS

Para finalizar se debe mencionar que el sistema de encendido que tiene de fabrica el motor es suficiente para llevar a cabo dicha tarea, pues la implementación de otro requeriría la utilización de un generador ya que como se mencionó, este sistema obtiene su energía de la batería, además por sus dimensiones y peso no son una buena opción.

### 4.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEJOR PROPUESTA

A continuación se presentaran las ventajas y desventajas de cada una de las propuestas para después dar paso a su selección. Para este propósito sólo se presentan los rubros donde existe una opción.

Como se puede observar en la Figura 4.11, el múltiple de admisión puede ser una pieza complicada de manufacturar, en especial un inconveniente en su forma seria la segunda parte de la cámara en donde se encuentra el MAP, pues debido a su geometría podría causar turbulencias las cuales afectarían la lectura del sensor de presión. Así también el puerto de admisión tiene una forma que podría dificultar su fabricación (Figura 4.12).

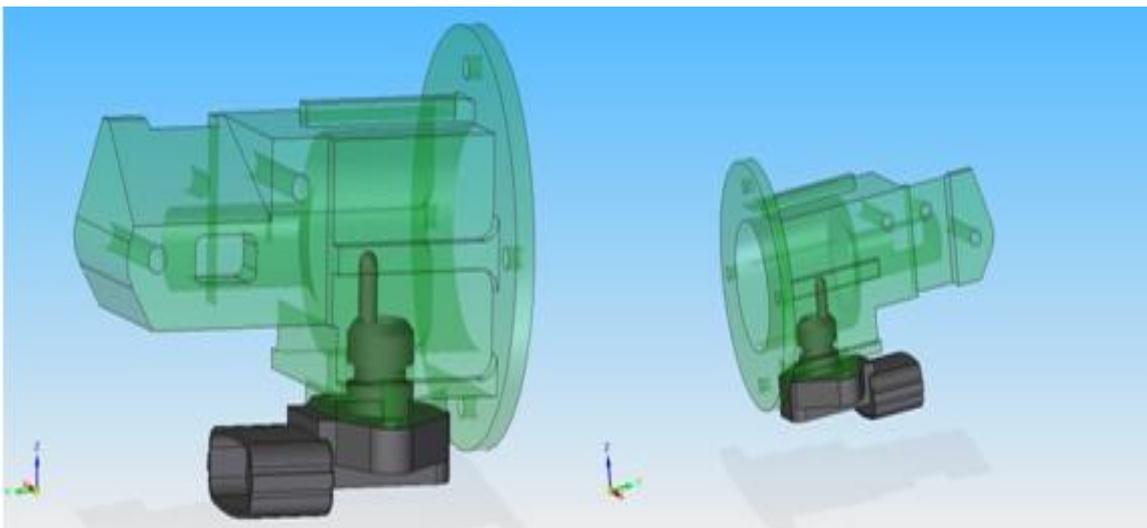


Figura 4.11 Múltiple de Admisión Propuesta #1

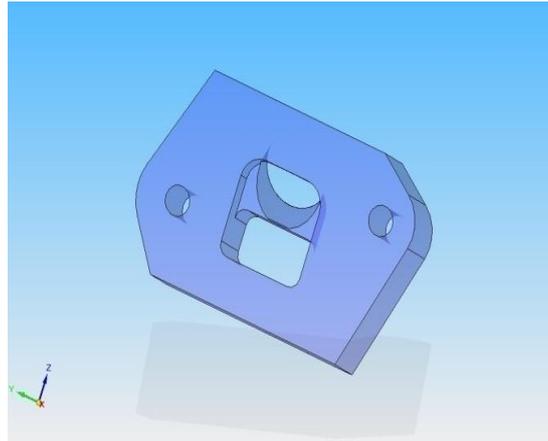


Figura 4.12 Puerto de Admisión Propuesta #1

Por otra parte uno de los inconvenientes es la construcción en eje del papalote de aceleración (Figura 4.13) puede ser bastante complicada por las dimensiones de este, aunado a este inconveniente se presenta la dificultad en restringir el aire por completo en la toma principal por el papalote de aceleración, por los mismos errores que se puedan presentar en la manufactura (Figura 4.14).



Figura 4.13 Papalote de Aceleración Propuesta #1

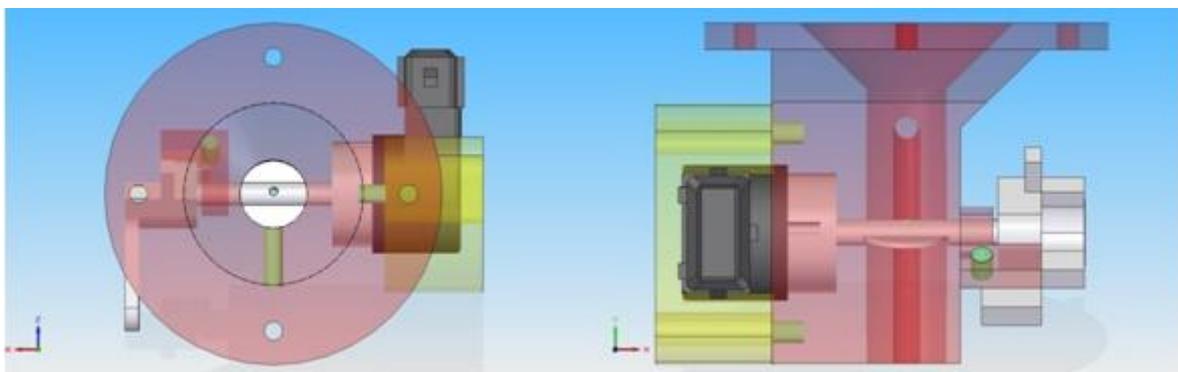


Figura 4.14 Cuerpo de Aceleración Propuesta #1

La propuesta número dos (Figura 4.15) presenta un menor número de componentes y una forma más simple con respecto a su posible construcción a excepción de la

mariposa de aceleración (Figura 4.16) que al igual que la propuesta anterior por sus dimensiones se complicaría el proceso de fabricación.

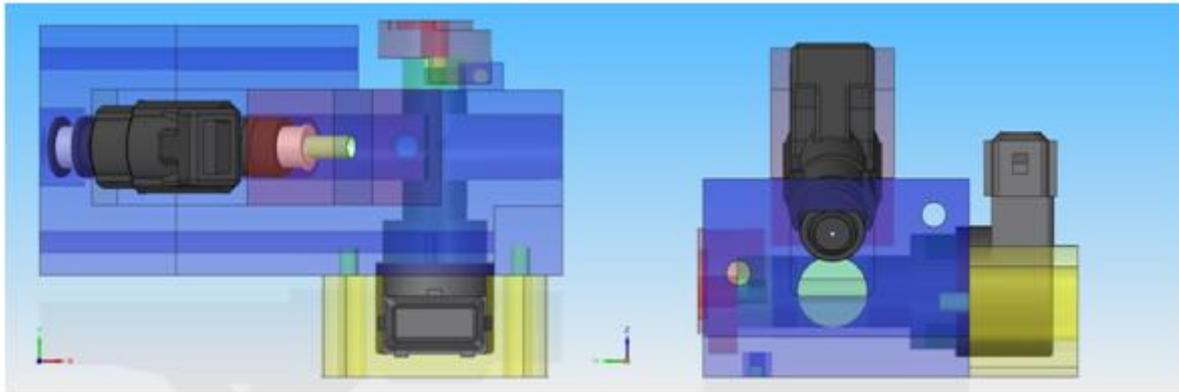


Figura 4.15 Vistas superior y frontal del sistema de admisión propuesta #2

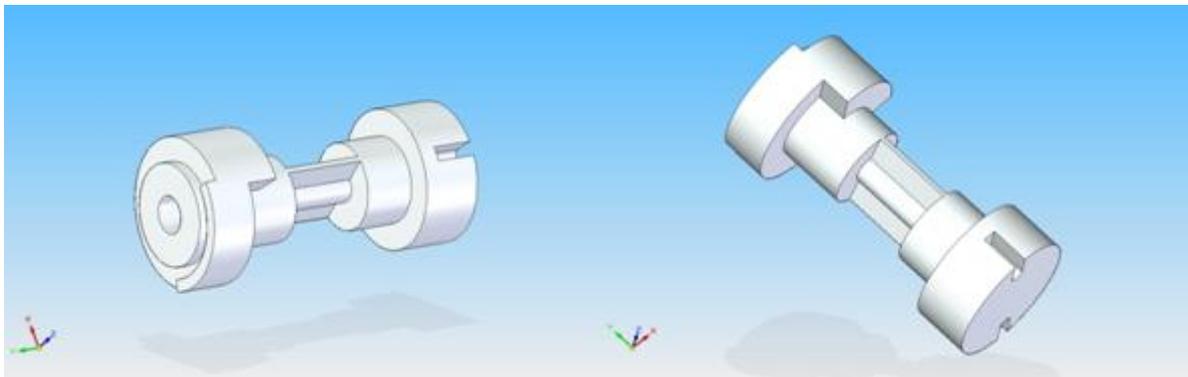


Figura 4.16 Papalote de Aceleración Propuesta #2

Por otro lado la ausencia del sensor de presión provocaría un sistema de inyección menos preciso. Además la trayectoria del conducto de admisión es más franca y más corta que la propuesta anterior (Figura 4.17).

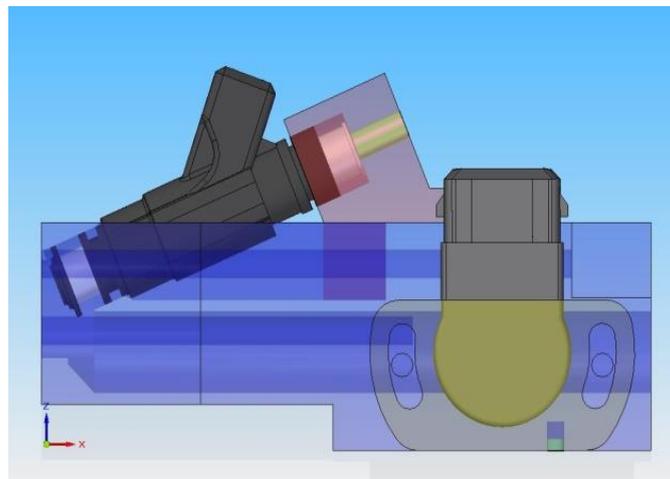


Figura 4.17 Vistas lateral del sistema de admisión propuesta #2

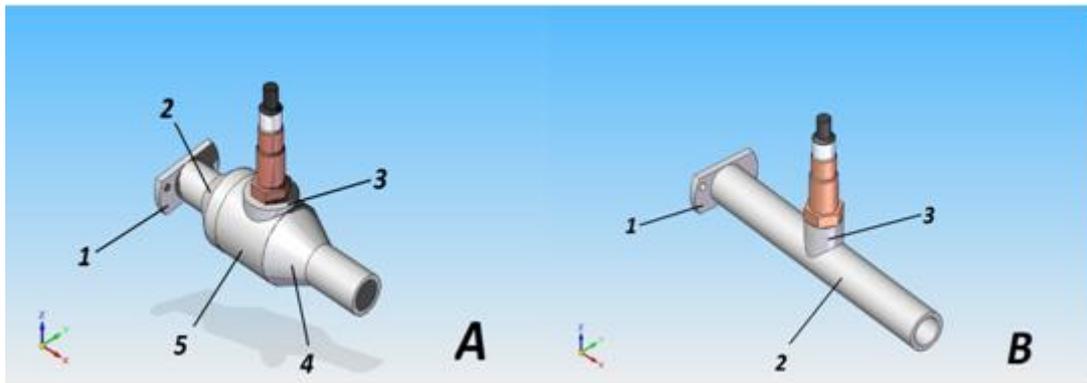


Figura 4.18 A Sistema de escape Propuesta #1, B Sistema de escape Propuesta #2

Por su parte para el sistema de escape, la primera propuesta (Figura 4.18 A) consta de 5 piezas, aunque los cambios en la sección transversal reducirían la velocidad de la salida de los gases de escape. En contra parte la propuesta dos (Figura 4.18 B) consta de 3 piezas lo que reduciría sustancialmente el tiempo de manufactura, además, la trayectoria de los gases de escape es más franca.

Las Tablas 4.4 y 4.5 presentan la toma de decisión de las propuestas, dándole valor a sus características con una escala de 0 a 10.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>C</b> <b>o</b> <b>n</b> <b>f</b> <b>i</b> <b>a</b> <b>b</b> <b>i</b> <b>l</b> <b>i</b> <b>d</b> <b>a</b> <b>d</b>	<b>D</b> <b>e</b> <b>s</b> <b>e</b> <b>m</b> <b>p</b> <b>e</b> <b>ñ</b> <b>o</b>	<b>M</b> <b>a</b> <b>n</b> <b>u</b> <b>f</b> <b>a</b> <b>c</b> <b>t</b> <b>u</b> <b>r</b> <b>a</b>	<b>C</b> <b>o</b> <b>s</b> <b>t</b> <b>o</b>	<b>P</b> <b>e</b> <b>s</b> <b>o</b>	<b>v</b> <b>o</b> <b>l</b> <b>u</b> <b>m</b> <b>e</b> <b>n</b>	<b>#</b> <b>P</b> <b>i</b> <b>e</b> <b>z</b> <b>a</b> <b>s</b>	<b>M</b> <b>a</b> <b>n</b> <b>t</b> <b>e</b> <b>n</b> <b>i</b> <b>m</b> <b>i</b> <b>e</b> <b>n</b> <b>t</b> <b>o</b>	<b>F</b> <b>a</b> <b>c</b> <b>i</b> <b>l</b> <b>d</b> <b>e</b> <b>A</b> <b>r</b> <b>m</b> <b>a</b> <b>r</b>	
<b>Propuesta 1</b>										
<i>cuerpo de aceleracion</i>	5	7	4	7	8	7	7	6	7	
<i>Múltiple de admision</i>	5	5	5	7	8	5	9	8	9	
<i>Puetro de admision</i>	9	9	7	7	9	10	10	8	9	
<i>Conector del combustible</i>	9	9	8	9	10	10	10	10	10	
<i>Soporte del TPS</i>	8	9	7	8	10	10	10	5	6	
	36	39	31	38	45	42	46	37	41	355
<b>Propuesta 2</b>										
<i>cuerpo de aceleracion</i>	8	9	7	8	9	9	9	8	8	
<i>Múltiple de admision</i>	9	10	9	8	9	9	10	8	9	
<i>Puetro de admision</i>	9	9	8	7	9	10	10	8	9	
<i>Conector del combustible</i>	9	10	7	9	10	10	10	10	10	
<i>Soporte del TPS</i>	8	9	7	8	10	10	10	5	6	
	43	47	38	40	47	48	49	39	42	393

Tabla 4.4 Decisión de las propuestas para el sistema de admisión

Como resultado del análisis se tiene que la propuesta de admisión número dos es la que presenta un mayor puntaje en cada uno de los parámetros.

<b>PARÁMETRO</b> <b>SISTEMA</b>	<i>C</i> <i>o</i> <i>n</i> <i>f</i> <i>i</i> <i>a</i> <i>b</i> <i>i</i> <i>l</i> <i>i</i> <i>d</i> <i>a</i> <i>d</i>	<i>D</i> <i>e</i> <i>s</i> <i>e</i> <i>m</i> <i>p</i> <i>e</i> <i>ñ</i> <i>o</i>	<i>M</i> <i>a</i> <i>n</i> <i>u</i> <i>f</i> <i>a</i> <i>c</i> <i>t</i> <i>u</i> <i>r</i> <i>a</i>	<i>C</i> <i>o</i> <i>s</i> <i>t</i> <i>o</i>	<i>P</i> <i>e</i> <i>s</i> <i>o</i>	<i>v</i> <i>o</i> <i>l</i> <i>u</i> <i>m</i> <i>e</i> <i>n</i>	<i>#</i> <i>P</i> <i>i</i> <i>e</i> <i>z</i> <i>a</i> <i>s</i>	<i>M</i> <i>a</i> <i>n</i> <i>t</i> <i>e</i> <i>n</i> <i>i</i> <i>m</i> <i>i</i> <i>e</i> <i>n</i> <i>t</i> <i>o</i>	<i>F</i> <i>a</i> <i>c</i> <i>i</i> <i>l</i> <i>d</i> <i>e</i> <i>A</i> <i>r</i> <i>m</i> <i>a</i> <i>r</i>	
<b>Propuesta 1</b>	9	8	7	9	8	9	6	10	7	73
<b>Propuesta 2</b>	10	8	9	10	8	7	9	10	9	80

Tabla 4.5 Decisión de las propuestas para el sistema de escape.

Por otro lado el resultado del análisis para el sistema de escape muestra que la propuesta dos es la mejor con base en los puntos evaluados.

# **Capítulo 5 DISEÑO DE DETALLE**

## **5.1 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA**

En este capítulo se presentan las diferentes formas de las piezas propuestas mediante la utilización de una herramienta de cómputo como lo es Solid Edge®, así como, algunos cálculos y criterios de diseño utilizados.

Para el comienzo del sistema de admisión se requiere de las dimensiones y formas que presenta la cabeza del motor y las cuales están representadas en la Figura 5.1. Así también, la forma del inyector es necesaria para definir la forma en donde estará instalado dicho componente.

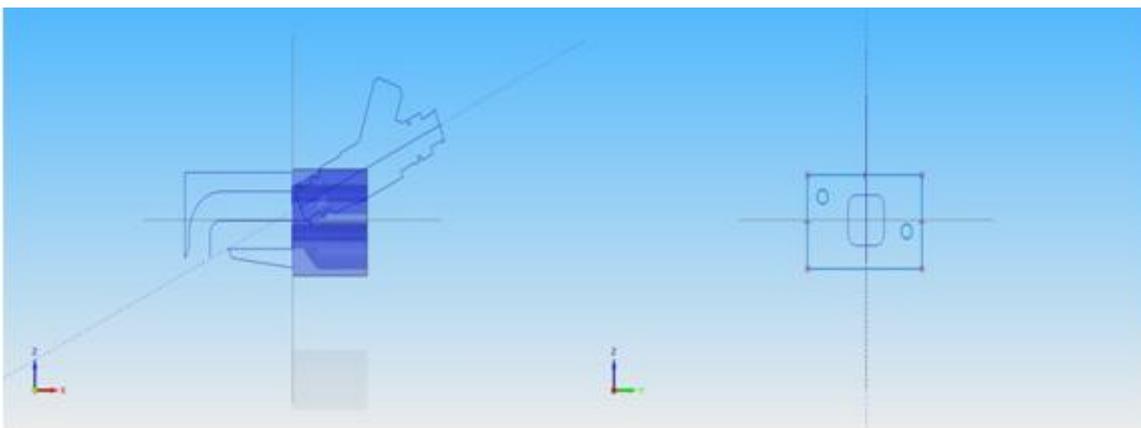
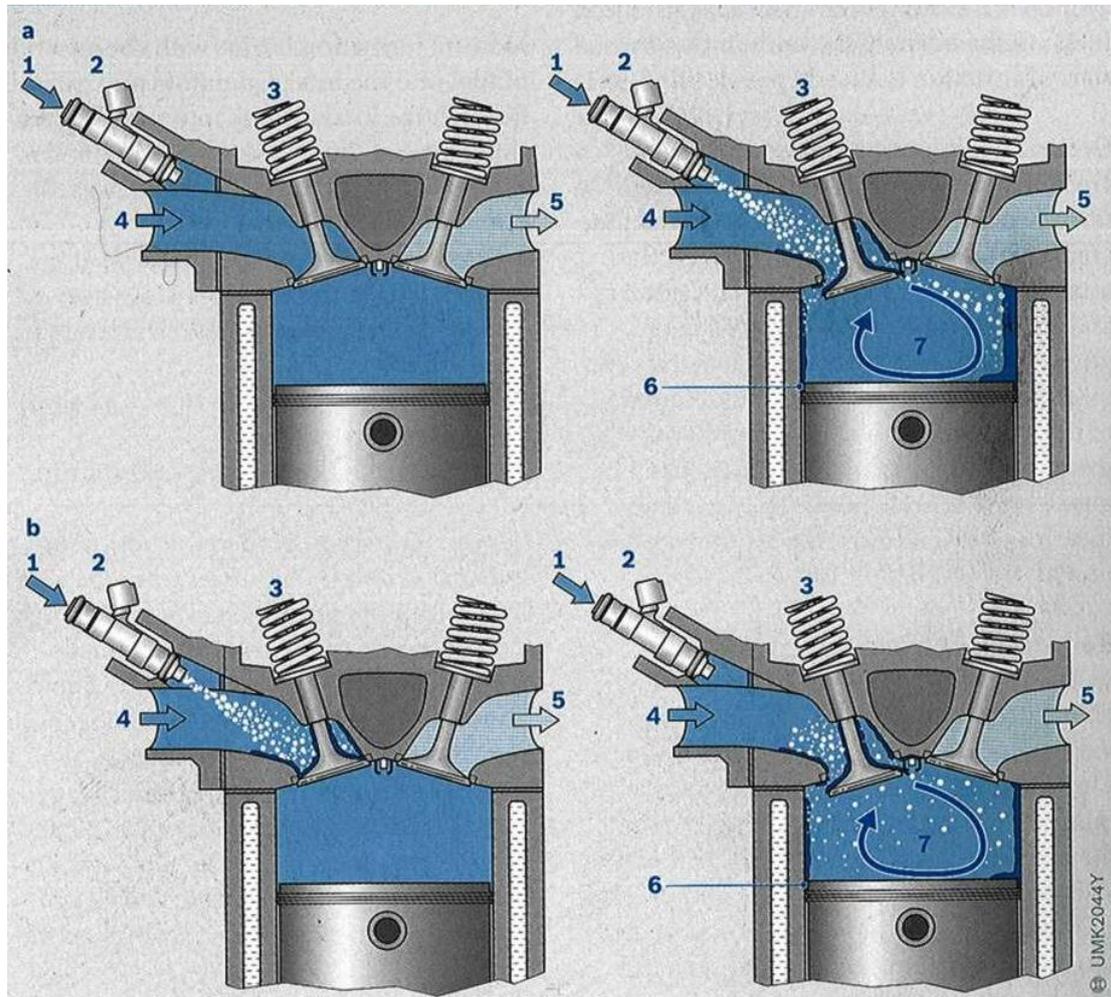


Figura 5.1 Forma del conducto y la toma de aire de la cabeza del motor.

Es importante hacer mención que durante la inyección, sólo una pequeña proporción del combustible entra de manera gasificada al cilindro que es en donde se lleva a cabo gran parte del mezclado y en donde el combustible tiende a dejar una película del mismo en las paredes del cilindro, todo esto depende de la posición y del tiempo de inyección. Este fenómeno se presenta a temperaturas bajas de operación.

Como se sabe, el tiempo de admisión tiene una influencia significativa en la formación de la mezcla, en especial cuando el motor está frío. Cuando la inyección se realiza a la par de la apertura de la válvula de admisión (Figura 5.2 a), el flujo de combustible tiende a formar una película gruesa del lado opuesto a la admisión, esta no se mezcla en el cilindro, además, no forma parte del proceso de combustión,

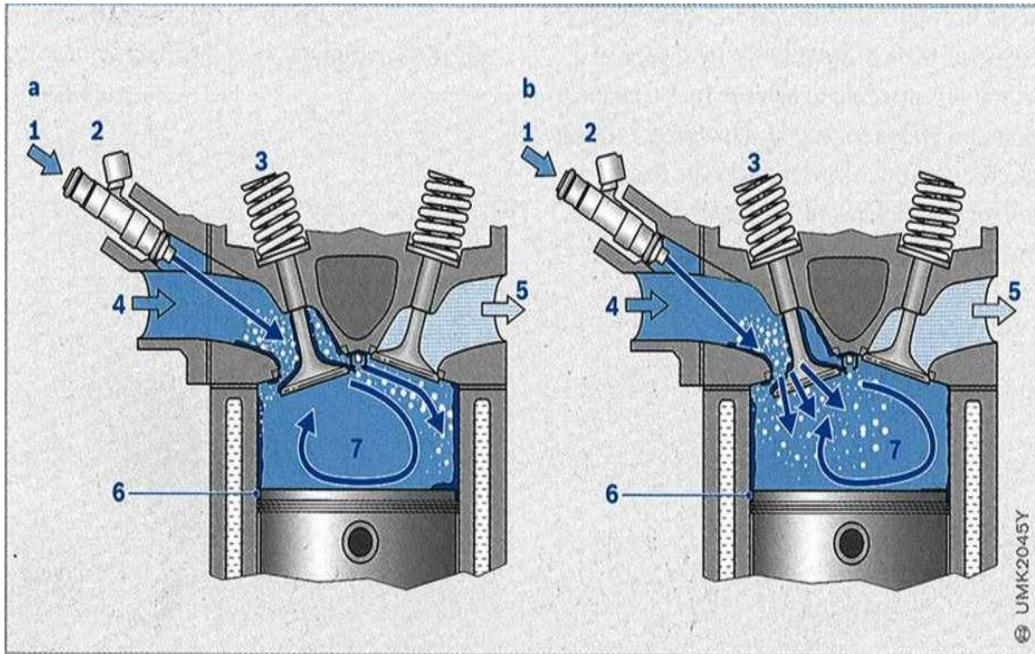
esto produce un incremento de emisiones contaminantes. Por otra parte cuando la inyección se hace previo a que la válvula de admisión abra (Figura 5.2 b), el flujo del combustible es forzado a dirigirse al centro del cilindro y a disminuir la dimensión de la película formada en las paredes, esto da como resultado una disminución en las emisiones contaminantes.



Fuente: Robert Bosch, Gasoline-engine Management, 3ª ed. 2006, página 110.

Figura 5.2 a) Inyección sincrona, b) Preinyección, 1.-Toma de combustible, 2.-Inyector, 3.-Válvula de admisión, 4.-entrada de aire, 5.-Escape de gases, 6superficie del embolo del pistón, 7.- Flujo del combustible.

Por otra parte, la inyección previa a la apertura de la válvula de admisión puede ser mejorada, redireccionando el disparo del inyector, como se muestra en la Figura 5.3, el cambio en el disparo, hace que la película se forme en el puerto de admisión, con lo cual, en el momento en que la válvula se abre, la película entra y se gasifica, además genera un flujo el cual dirige el combustible hacia el centro del cilindro, esto reduciría aún más las emisiones contaminantes.



Fuente Robert Bosch, Gasoline-Engine Management, 3ª ed. 2006, página 111.

Figura 5.3 a) Al centro de la toma de aire, b) En la base del puerto de admisión, 1.-Toma de combustible, 2.- Inyector, 3.-Válvula de admisión, 4.-entrada de aire, 5.-Escape de gases, 6superficie del embolo del pistón, 7.- Flujo del combustible.

Con base en lo antes mencionado, el inyector se propone posicionar en la forma mostrada en la Figura 5.1, pero debido a esta disposición la toma de admisión sufre una reducción en un tramo, el efecto de este se verá en el análisis de flujos del apartado 5.2 “simulación”, además el asiento del inyector requiere que de la forma mostrada en la Figura 5.4, el chaflán que se encuentra en el asiento tiene como función impedir movimiento entre el inyector y la pieza.

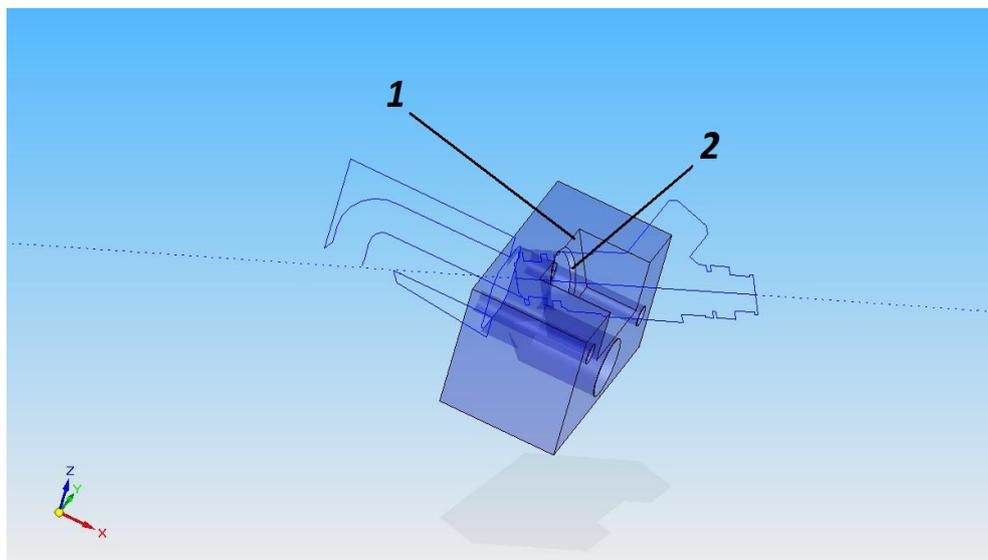


Figura 5.4 Forma del asiento del inyector, 1.-rampa debido al ángulo del inyector, 2.-Chaflan

Continuando con el múltiple de admisión (Figura 5.5), la forma de este se define por el conducto de admisión y los barrenos, esto es importante, puesto que los orificios darán la alineación del puerto de admisión y el múltiple de admisión.

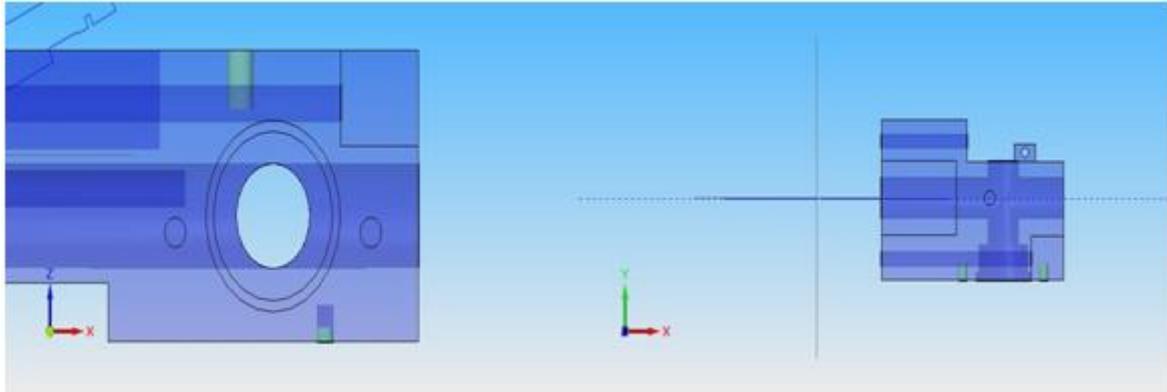


Figura 5.5 Forma del múltiple de admisión

Con respecto al conector del sistema de combustible con el inyector (Figura 5.6) se tienen que tomar en cuenta la posición del inyector y el espacio disponible entre este y el múltiple de admisión. Además se debe tomar en cuenta que no interfiera con el conector que energiza al inyector. Este componente sirve para reafirmar la posición del inyector, así como comunicar a la línea de combustible.

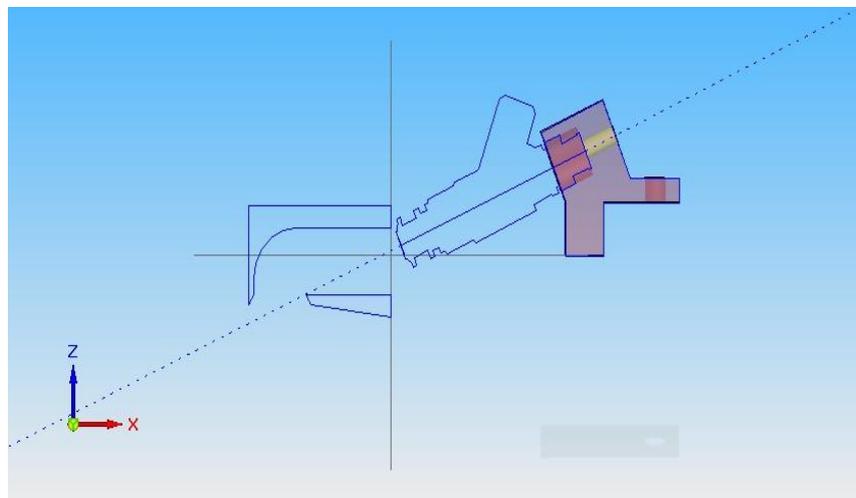


Figura 5.6 Posición y diseño del conector del inyector con la alimentación de combustible

La mariposa de aceleración se propone de la siguiente forma (Figura 5.6) debido que en las ranuras está alojado el mecanismo que mueve al sensor TPS, del lado contrario se dispone para la colocación del sujetador del chicote. Todas estas dimensiones definen los espacios dispuestos en el múltiple de admisión para la colocación de esta pieza.

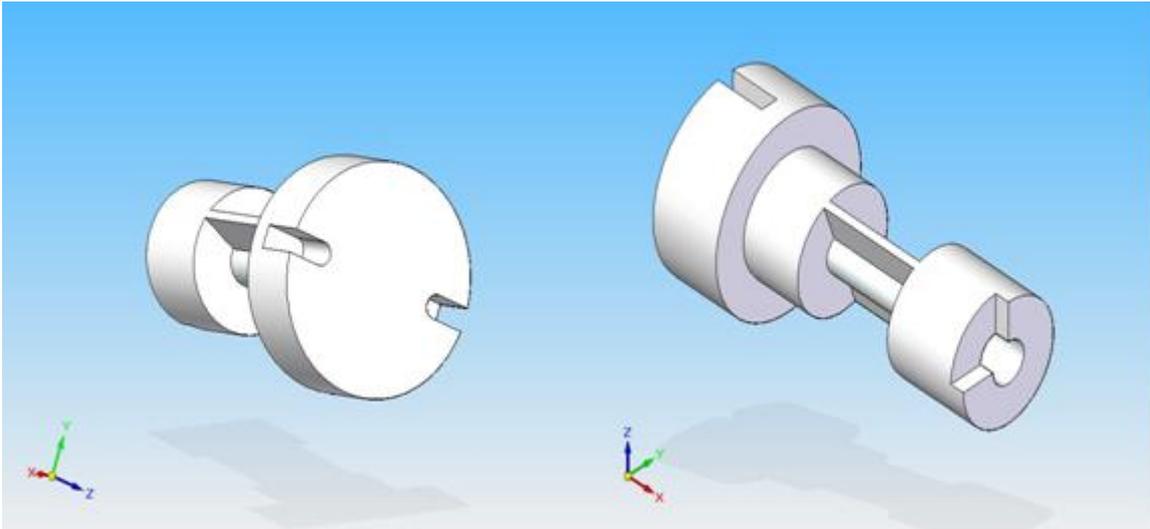


Figura 5.6 Forma de la mariposa de aceleración, del lado izquierdo se presentan las ranuras que alojan al sensor TPS, del lado derecho se encuentra el asiento del sujetador del chicote

Se puede observar un pequeño defasamiento entre las ranuras y la aleta que forma la mariposa, esto se debe a que tanto la mariposa como el sensor TPS requieren una calibración previa, la mariposa en su caso requiere ser ajustada en una posición para que permita un flujo de aire pobre al arranque y en el ralentí.

El sujetador del chicote (Figura 5.7) asienta sobre el papalote, por otra parte la ranura aloja al chicote, un punto importante es que en el momento del armado se requiere de una rondana que cierre este canal y que asegure al chicote, dicha rondana está sujeta mediante un tornillo que une la rondana, el sujetador del chicote y la mariposa de aceleración.

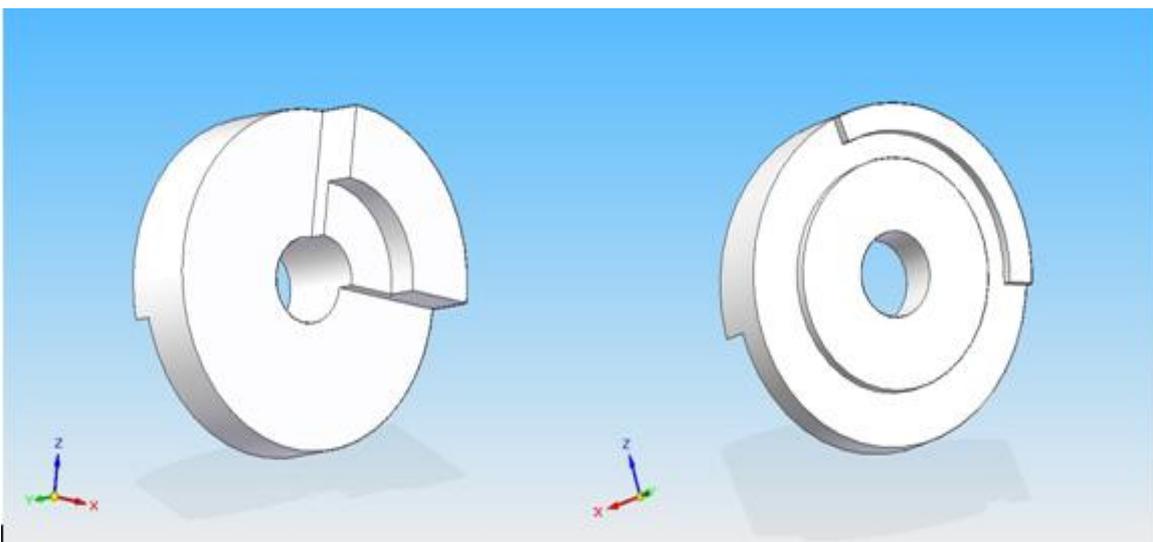


Figura 5.7 del lado izquierdo se presenta el asiento del sujetador, del lado derecho se presenta el canal para el chicote.

Con respecto al soporte del sensor TPS (Figura 5.8) se tiene que tomar en cuenta la forma del mismo sensor, además las correderas propuestas tienen como función permitir el movimiento del sensor para su ajuste, por lo cual, para lograr esta función deben seguir la misma trayectoria. Es importante mencionar que se debe tener especial cuidado en la dirección en que gira el sensor, pues una mala posición dará al control una lectura errónea.

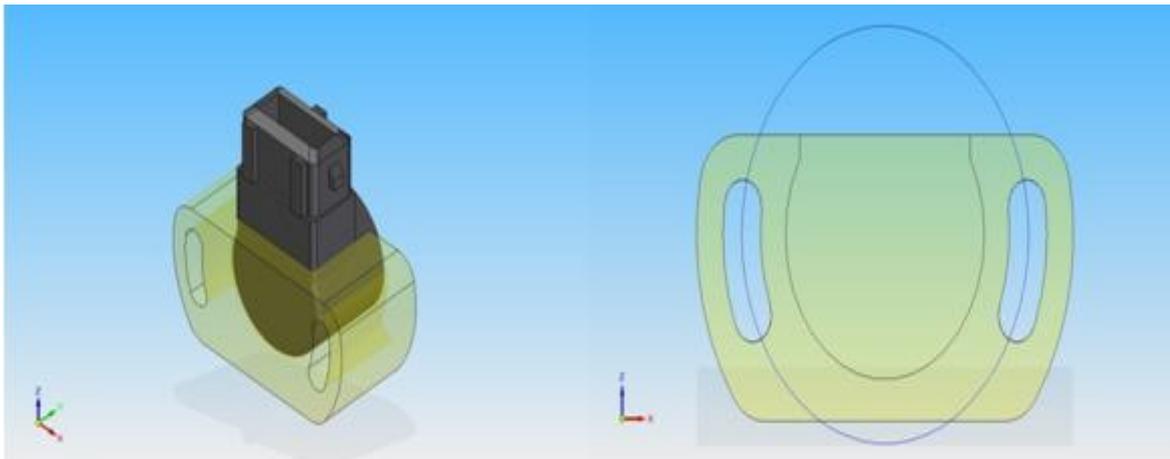


Figura 5.8 Soporte del sensor TPS

Continuando con el sistema de inyección, otro sensor que se requiere, es el sensor KPS, el cual está colocado sobre el adaptador para el clutch, el cual también requiere de un corte para alojar al soporte del sensor en cuestión (Figura 5.9).

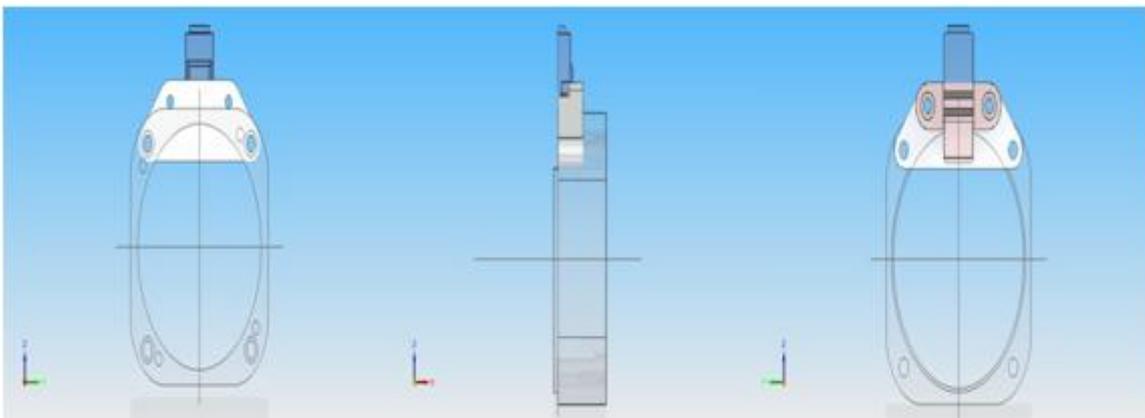


Figura 5.9 Soporte del sensor KPS

Para completar este sensor, se requiere de la adaptación de una rueda dentada, para lo cual, sólo se generó un soporte (Figura 5.10), el cual se sujeta al eje del motor con un prisionero, debido a que no existe ninguna carga sobre esta rueda que pudiera moverla, por otra parte, esto permite la calibración del mismo, pues este sensor está en sincronía con la posición en punto muerto superior de la carrera de

compresión, aunque, en realidad dependiendo del momento de inyección, estará defasado unos grados previos a que el pistón alcance esta posición. Un punto a resaltar con su elaboración, es que se requiere de la forma central de la rueda dentada, con esto, la rueda sólo podrá posicionarse en una sólo posición.

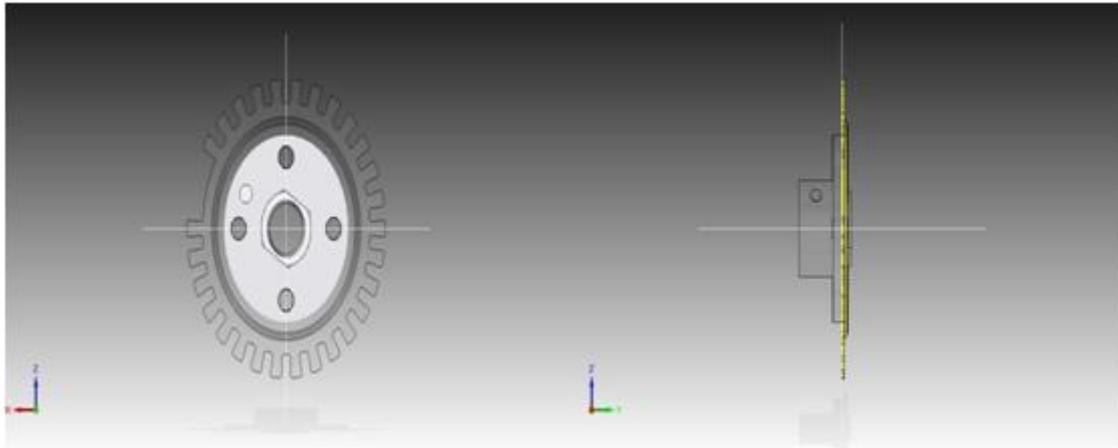


Figura 5.10 Soporte de la rueda dentada, a la izquierda la parte frontal para el ajuste, del lado derecho se muestra el barreno para el prisionero

Para finalizar con el sistema de inyección es necesario mencionar la posición del sensor Lambda y por supuesto de su papel en el diseño del sistema de escape. El sensor de oxígeno debe estar alejado de la salida del puerto de escape, pues de lo contrario, la saturación de gases de escape produciría una señal incorrecta, lo cual ocasionaría que la mezcla se empobrezca de manera tal que es posible que el motor se apague. Con base en esto, será suficiente con diez centímetros a partir del puerto de escape como se muestra en la Figura 5.11, además se muestra en donde se ubica el sensor transversalmente, que es justo a la mitad del tubo.

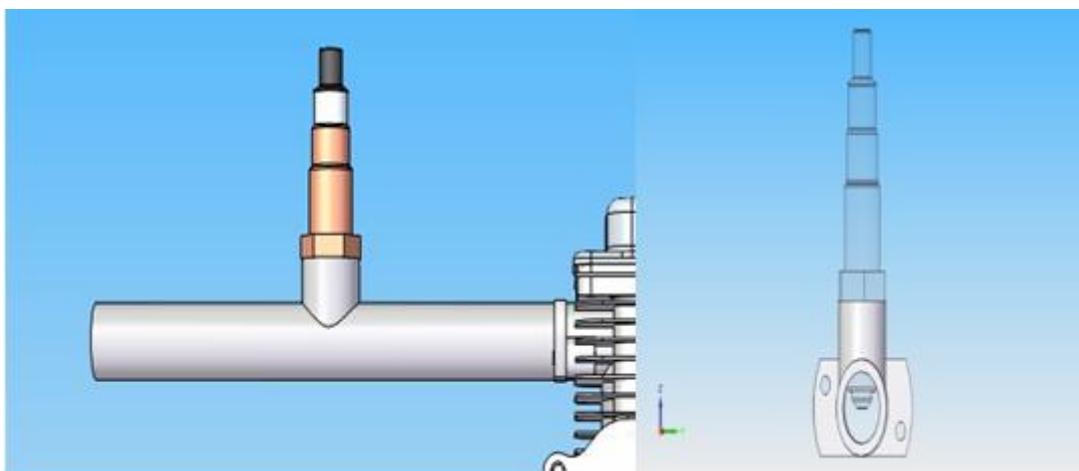


Figura 5.11 Adaptación del sensor de oxígeno (Lambda) en el sistema de escape.

Todas las piezas mostradas anteriormente se propone que sean manufacturadas de aluminio 6061, por su ligereza y la propiedad de buen conductor de calor, con lo cual permite que el sensor de oxígeno se caliente más rápido y con eso llegue a su temperatura de operación. Por otra parte, en la admisión se podrá calentar un poco el aire entrante, esto permite que no se requiera tanta energía para llegar al punto de ignición de la mezcla.

Por otro lado la dilatación de esta aleación en comparación del aluminio puro no genera un cambio sustancial en las dimensiones de las partes, por lo que este cambio se puede considerar despreciable (Anexos1: Tabla1 y Tabla2).

Para finalizar con este apartado, se presenta el diseño del engrane de la marcha, explicando algunas consideraciones que se deben tomar para su manufactura.

El material a utilizar es Naylamid SL®, el cual está cargado con Disulfuro de Molibdeno el cual reduce su coeficiente de fricción.

En general es posible hacer piezas de impacto con este material y es útil en lugares en donde la lubricación está restringida.

Existen dos modos de falla que afectan a los dientes de un engrane, la fractura por fatiga debida a los esfuerzos fluctuantes a la flexión en la raíz del diente y la fatiga superficial sobre la superficie de los dientes. Por estas razones es necesario que al diseñar un engrane se consideren estos dos métodos de falla.

Los resultados se engloban en el factor de seguridad para una falla a flexión y el factor de seguridad para falla superficial, que se presentan a continuación.

$$N_B = \frac{S_{fb}}{\sigma_b} = 5.903$$

$$N_C = \left(\frac{S_{fc}}{\sigma_c}\right)^2 = 6.431$$

Estos resultados indican que es confiable el diseño propuesto, debido a que el material soporta estos esfuerzos bajo las consideraciones hechas en el diseño del engrane que se presenta en el Anexo 2.

Por otra parte, es importante que el engrane sobrepase la rueda del ventilador, por lo cual, se propone hacer de la forma mostrada en la Figura 5.12, además, el engrane debe ser alineado y asegurado, es por esto que se propone sujetarlo hacia la rueda del ventilador, para el alineamiento se propone un buje (Figura 5.13) roscado el cual es montado en el eje del motor y cuya dimensión es igual al barreno central del engrane, el buje sujeta a la rueda del ventilador dando la alineación al engrane. Por otra parte, los orificios permiten el paso de dos tornillos los cuales sujetan al engrane con la ruda del ventilador.

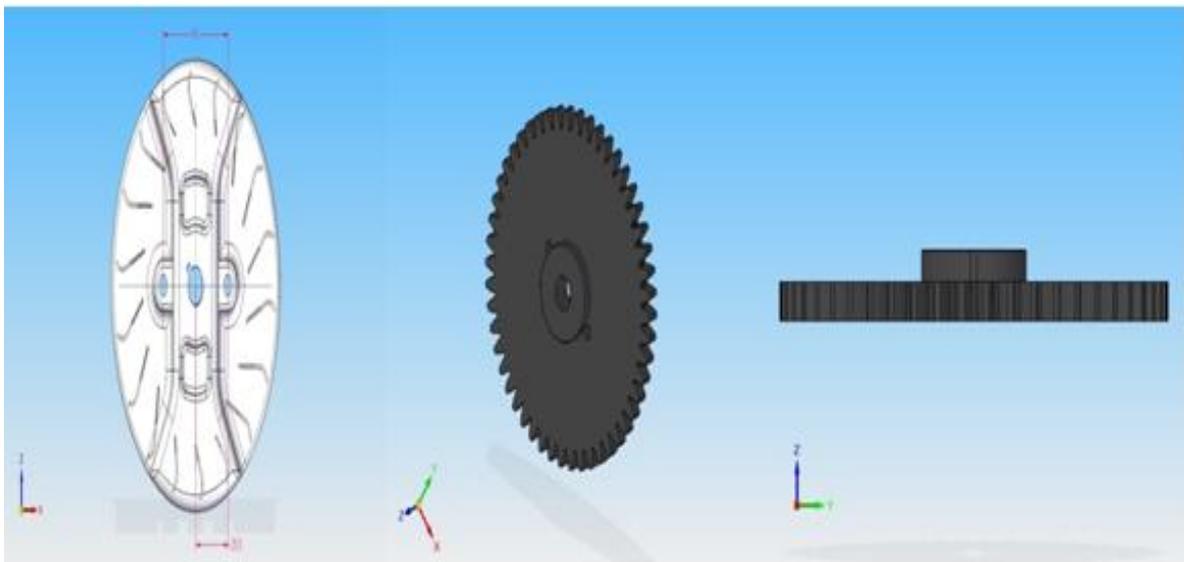


Figura 5.12 Figura de la rueda del ventilador y Forma del engrane de la marcha.

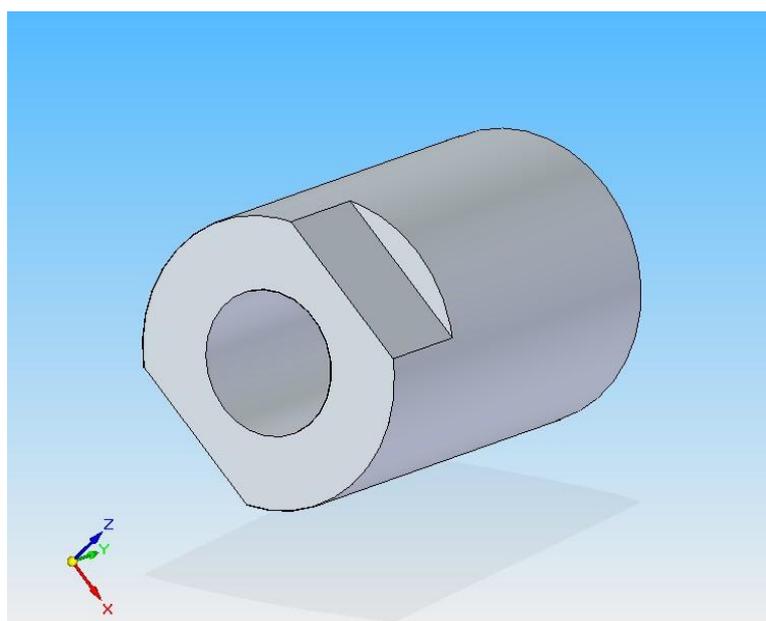


Figura 5.13 Buje para alinear el engrane de la marcha

Para finalizar, a continuación se presenta de la Figura 5.14 a 5.18 el ensamble de los componentes en el motor.

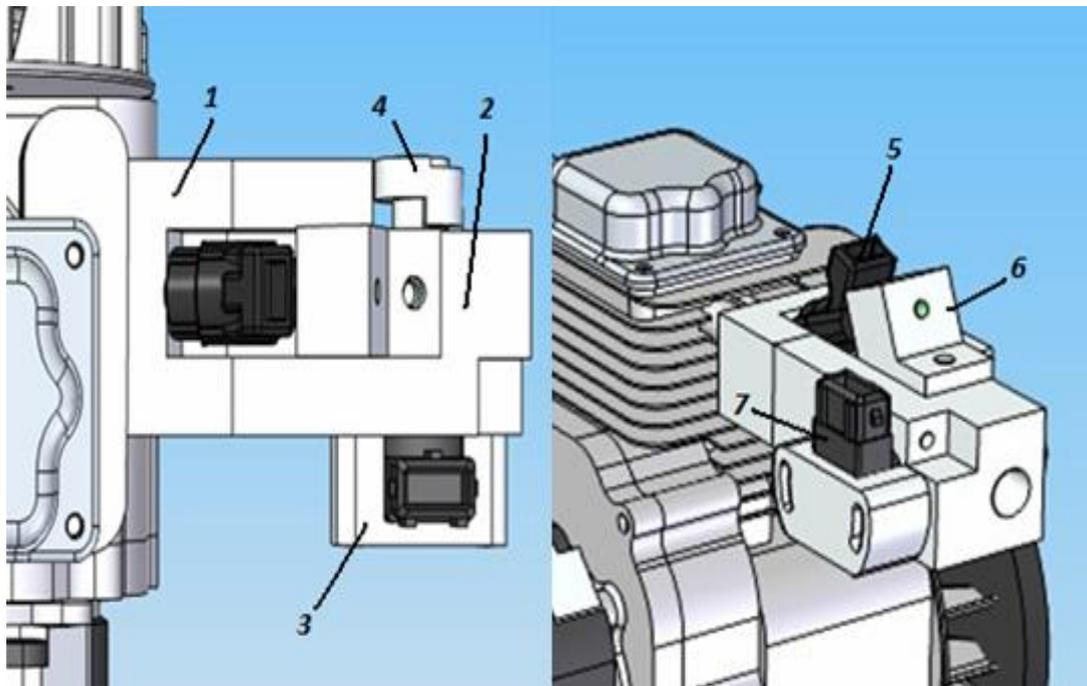


Figura 5.14 Ensamble del Sistema de Admisión.1Puerto de Admisión, 2Cuerpo de Aceleración, 3soporte del sensor TPS, 4sujetador del chicote, 5Inyector, 6Conector del combustible, 7Inyector.

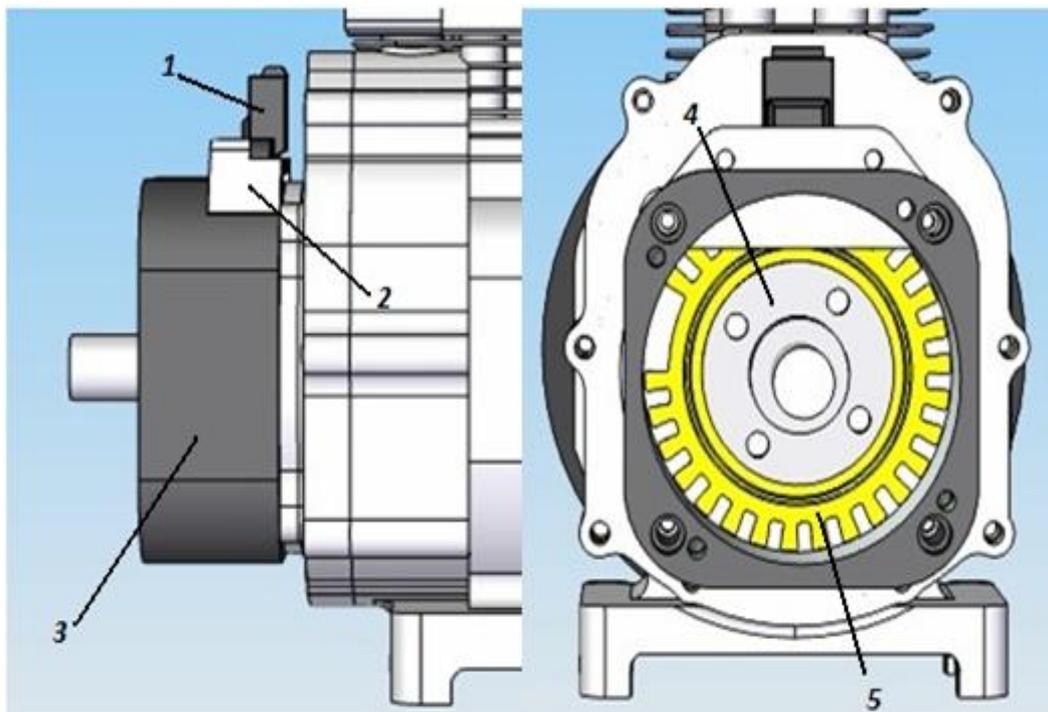


Figura 5.15, 1 Sensor KPS, 2Soporte del sensor KPS, 3Adaptador del clutch, 4Rueda dentada, 5Soporte de la rueda dentada.

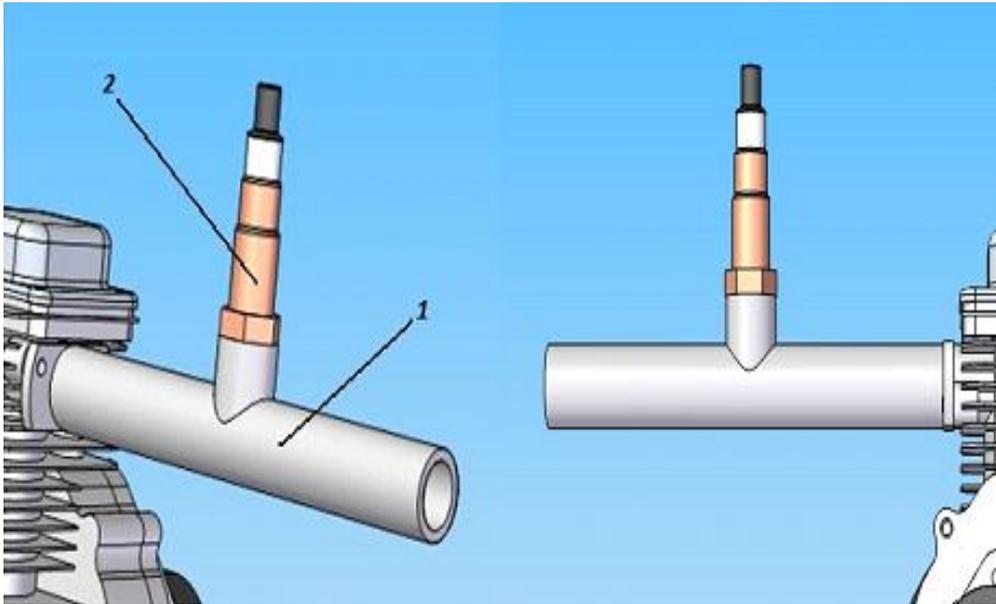


Figura 5.16 Ensamble del Sistema de Escape. 1 Conduto de escape, 2 Sensor de Oxígeno.

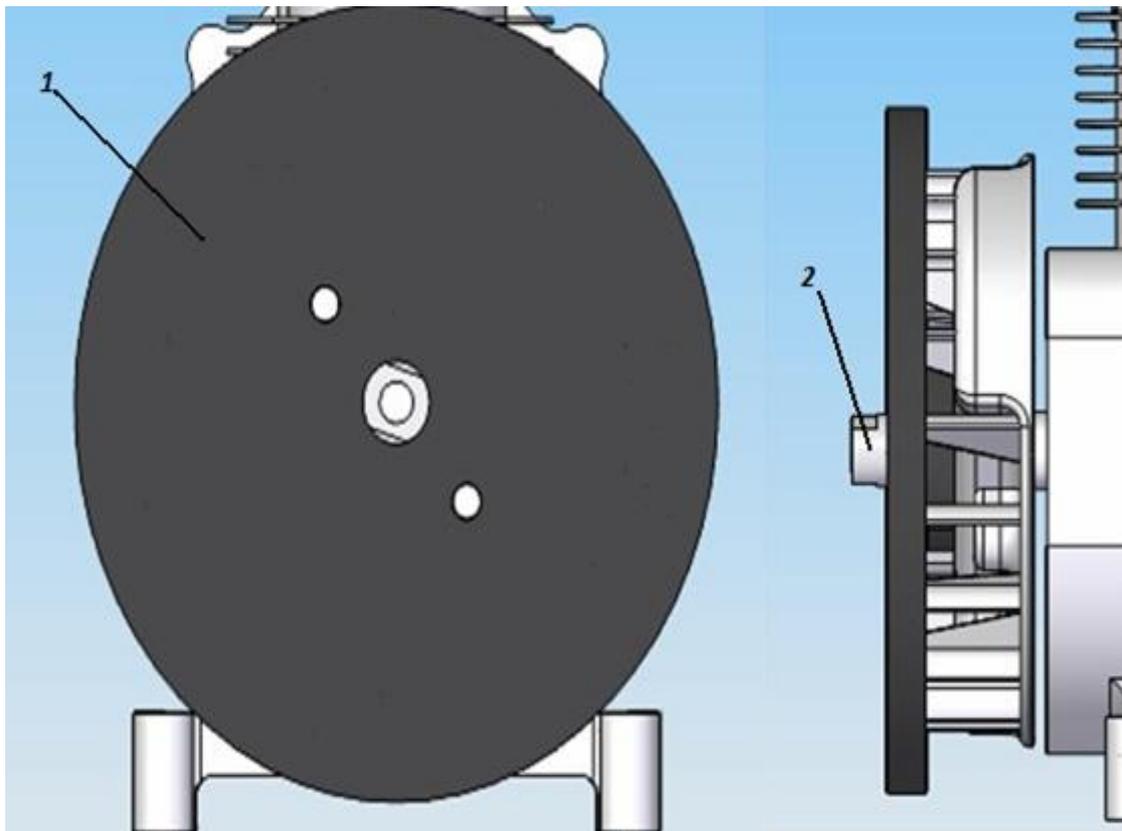


Figura 5.17 Ensamble del Sistema de Escape. 1 engrane, 2 buje roscado.

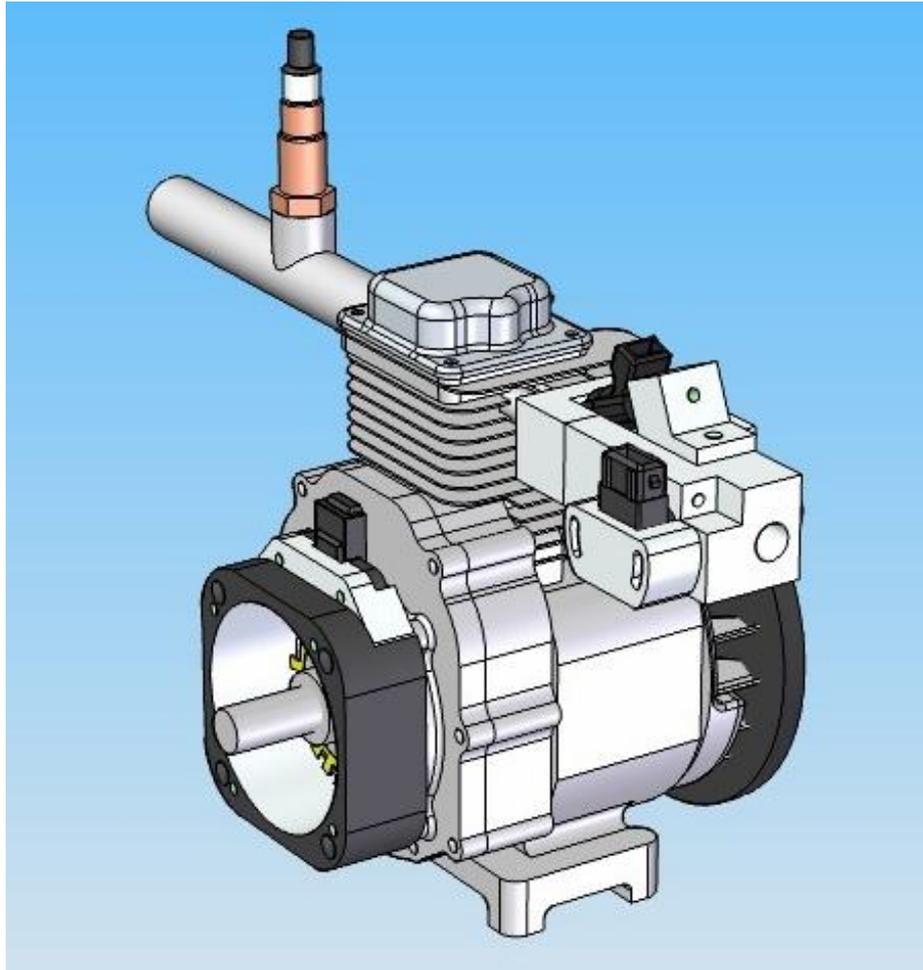


Figura 5.18 Ensamble del Sistema.

## 5.2 SIMULACIÓN

A continuación se presentara la simulación del aire dentro del sistema de admisión, ya que la eficiencia volumétrica y las características del flujo de aire entrante dependen en gran parte de su geometría, lo que repercute en la potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes del motor.

El modelo del flujo de aire se generó a partir de considerar dicho flujo como estacionario y a carga máxima, para observar cómo se comportaría dentro del conducto de admisión.

Es importante hacer mención que para las condiciones de frontera del fluido (Aire), se propuso un número de Reynolds para flujo turbulento, ésta es una suposición válida para todos los motores de combustión interna.

Se sabe que el flujo en una tubería se comporta de la siguiente forma para cada número de Reynolds:

$0 < Re < 1$ : Movimiento laminar (lento) altamente viscoso

$1 < Re < 100$ : Laminar, Fuerte dependencia del número de Reynolds

$100 < Re < 10^3$ : Laminar, es útil la teoría de capa límite.

$10^3 < Re < 10^4$ : Transición a la turbulencia.

$10^4 < Re < 10^6$ : Turbulento, moderada dependencia del número de Reynolds.

$10^6 < Re < \infty$ : Turbulento débil dependencia del número de Reynolds.

Para el análisis, es necesario proponer una velocidad que dé como resultado un número de Reynolds mayor ó igual a  $10^4$  como mínimo. Por lo tanto, del Anexo 3 se tiene que para un flujo turbulento con un número de Reynolds de  $10^4$  la velocidad en la entrada del múltiple de admisión es:

$$v = 16.056 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Este número de Reynolds está dentro del rango y es el mínimo en donde se puede considerar turbulento, por lo tanto, la velocidad antes mencionada será la que se emplee en el análisis.

Para el análisis se utilizó el software llamado ALGOR® como herramienta.

El resultado del análisis es el siguiente:

La Figura 5.17 muestra la magnitud de la velocidad del fluido en distintas áreas y cuyo valor máximo de velocidad es de  $V=23.2402$  [m/s]. Se puede observar que la velocidad disminuye al entrar al múltiple de admisión, pero va aumentando conforme se acerca a la reducción del conducto. Es importante resaltar que el fluido se acelera un poco más del 40% de su velocidad de entrada.

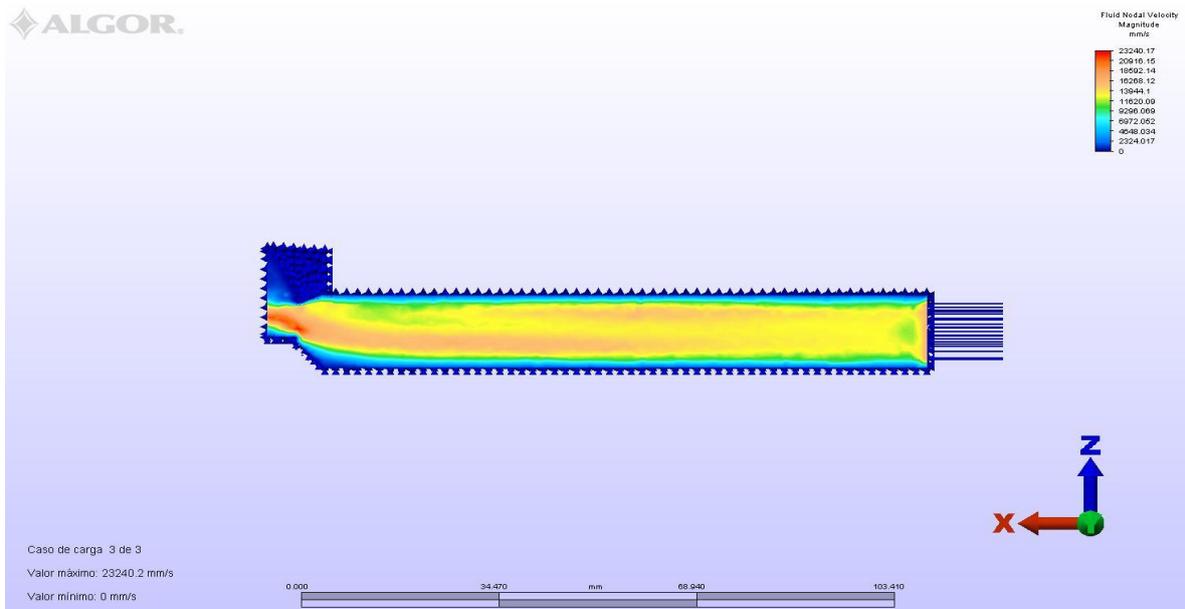


Figura 5.17 Magnitud de la velocidad del fluido.

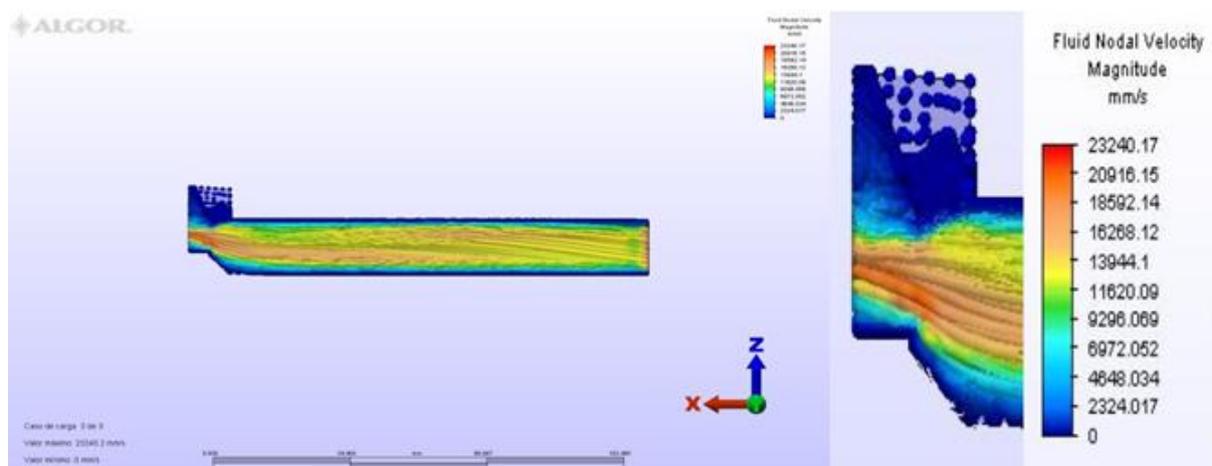


Figura 5.18 Análisis con líneas de flujo.

Las líneas de corriente (Figura 5.18) permiten ver la trayectoria que sigue el fluido, además, da un indicador de los posibles puntos en donde se pueden generar zonas de recirculación que disipan parte de la energía que el fluido debería ocupar para impulsar el aire hacia el motor. Dichas zonas se ubican en las esquinas puntiagudas en donde se puede ver que la velocidad del aire cae a cero.

Lamentablemente no se tienen suficientes datos para afirmar que a esta velocidad tanto la mezcla como la entrada de aire al cilindro sean mejor. Además, el comportamiento del fluido depende de la geometría de cada múltiple, es decir, que sólo se tienen datos para sistemas de admisión en particular.

A pesar de este problema, es posible calcular la velocidad en la admisión bajo ciertas condiciones. En términos ideales el cilindro debería admitir la cantidad de aire igual a su volumen, pero, la eficiencia volumétrica de un cilindro es aproximadamente 75% para un motor con aspiración natural y de 90 a 100% para motores turbocargados. La eficiencia volumétrica no es más que una comparación entre el volumen que puede admitir y el volumen que en realidad entra al cilindro, esto se representa en la ecuación siguiente.

$$\eta_v = \frac{V_{real}}{V_{teorico}} = 0.75$$

De acuerdo con el dato anterior y teniendo en cuenta tanto la cilindrada como el tiempo de admisión, la velocidad puede calcularse mediante el flujo volumétrico (Anexo 4). Entonces el valor de la velocidad en la admisión es:

$$v = 21.3668 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Por otro lado la velocidad que asegura un número de Reynolds de  $10^4$  en la admisión está calculada en el Anexo 5 y tiene un valor de:

$$v = 9.542 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Como se puede observar, la velocidad calculada con el flujo volumétrico sobrepasa a la velocidad mínima requerida para obtener un flujo turbulento en la admisión. Esto asegura que el fluido está en un régimen turbulento.

Si la velocidad calculada por medio del flujo volumétrico es introducida como dato en el análisis de ALGOR®, éste mostrará el resultado a la entrada en múltiple de admisión, lo cual permitirá comparar este dato con el obtenido en el primer análisis.

Se puede ver de la Figura 5.19 que la velocidad a la entrada en múltiple tiene un rango de 18.6 a 23.2 [m/s] aproximadamente. La velocidad que se introdujo como dato en el primer análisis está por debajo de este rango, lo cual indica que en condiciones de operación, el flujo en la entrada del múltiple de admisión siempre se comportara como turbulento.

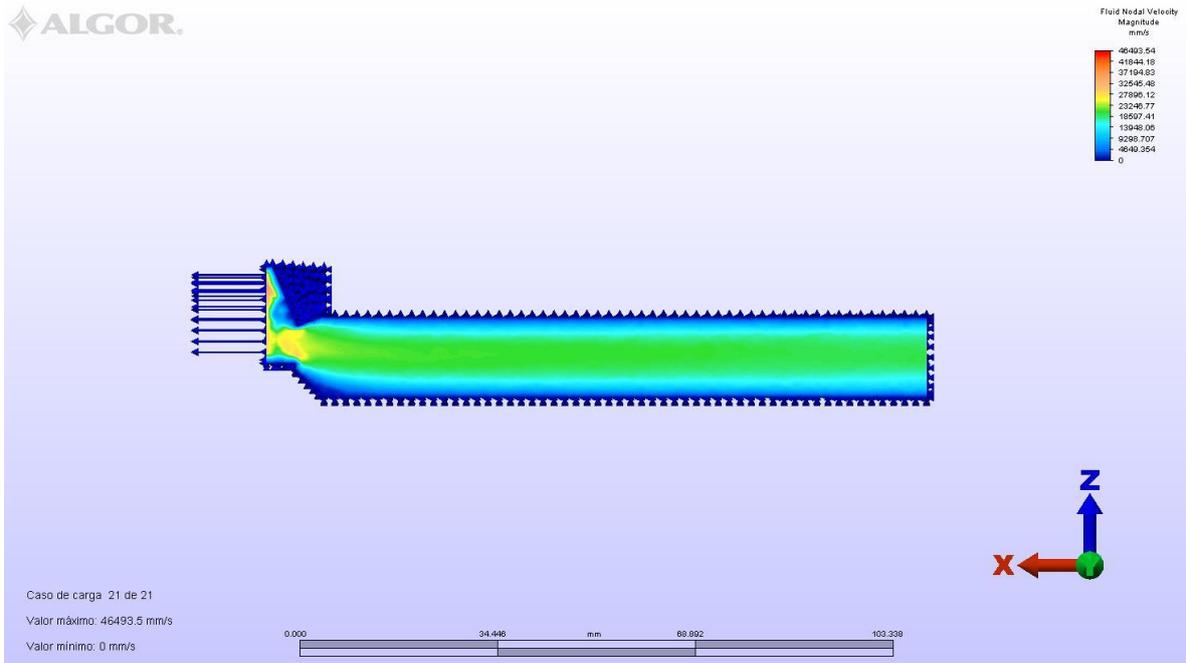


Figura 5.19 Análisis con líneas de flujo.

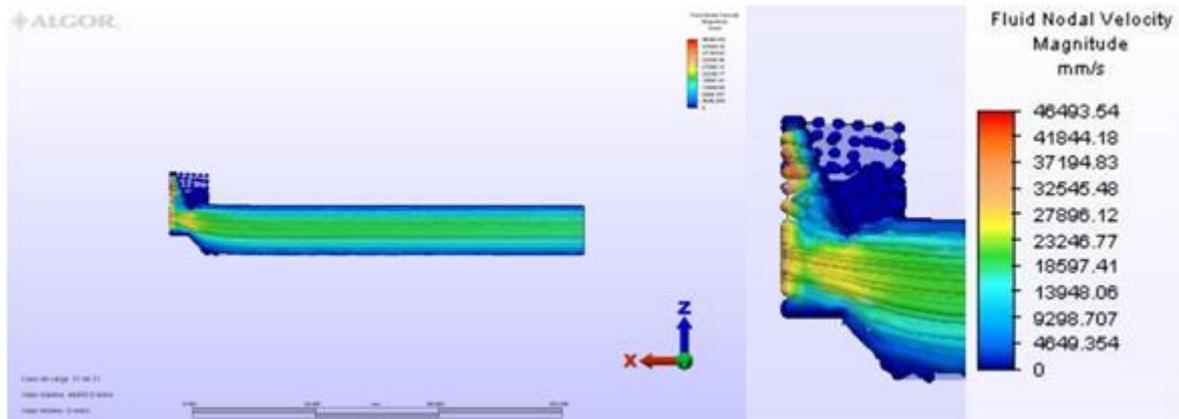


Figura 5.20 Análisis con líneas de flujo.

Además, como se puede observar, el comportamiento del fluido en la admisión es diferente para cada análisis (Figuras 5.17 y 5.20), debido a que la entrada al sistema está en diferente posición. El segundo análisis por su parte presenta una distribución más uniforme en la admisión, lo cual es más cercano a la realidad.

Por otra parte, es importante mencionar que el análisis permite ver el problema desde un punto de vista muy particular, ya que el flujo en un múltiple, no es estacionario, si no que es un fenómeno no estacionario y pulsante, que además depende de la carga a la que se encuentra sometido el motor.

# CONCLUSIONES

Después de realizado el trabajo se puede concluir que los objetivos se han cumplido satisfactoriamente. El modelo del sistema de admisión propuesto permite adaptar los sensores necesarios para un control del sistema de inyección.

Es importante indicar que es requerida una gran cantidad de pruebas antes de que el sistema de inyección funcione adecuadamente, debido a que se debe sincronizar el momento de inyección con la apertura de la válvula. Para este fin se propone que la rueda dentada se adelante  $20^\circ$  antes de que el pistón se encuentre en el punto muerto superior.

Con respecto al múltiple de admisión, se puede apreciar que el flujo de aire hace un frente con la inyección de combustible, es decir, que choquen los flujos de gasolina y de aire con lo que se conseguiría obtenerse un mejor mezclado. Por otra parte, la reducción de la entrada de aire puede hacer que el motor tenga dificultades en admitir aire en el pistón, pero, es posible que este efecto lo compense aspirando un poco de los gases producto de la combustión que como se sabe contiene partículas de combustible no quemado y aire caliente no utilizado en la combustión.

El consumo de combustible se puede disminuir con la utilización del inyector propuesto ya que su dosificación es la más pobre existente en el mercado, esto no quiere decir que con esta dosificación el motor no arranque o no tenga la suficiente potencia para impulsar al motor, si no que para cuando el motor está en marcha mínima, o con poca carga, puede ser un poco castigado para reducir el consumo de combustible. Todo esto depende del tiempo que dure la inyección de combustible, así como de la formación de la mezcla. Para esto se requiere hacer pruebas del tiempo de apertura del inyector a distintas cargas y decidir cuál es la mejor comparando con los datos que proporcione el sensor de oxígeno.

Por su parte el sistema de escape permite una salida más franca que la que tenía con el sistema original. Esto eliminaría en parte el freno que produce al motor la purga de los gases de escape.

El diseño del engrane propuesto presenta buenas cualidades de resistencia, tanto a la flexión como al desgaste. Es importante mencionar que se debe tener atención en

la alineación, lo cual, depende de los soportes tanto del motor como de la marcha que están instalados en el carro. Cuando el motor no requiera de potencia para impulsar el motor, es decir, que la inercia que el carro a tomado durante la marcha sea suficiente para que el vehículo continúe su paso, el motor deberá apagarse, cuando estas condiciones sean insuficientes, el sistema de arranque permitirá iniciar nuevamente la marcha del motor.

Cabe mencionar que se requiere hacer pruebas una vez armado el motor con todas las modificaciones propuestas, lo anterior, con el fin de cuantificar la disminución de combustible, lamentablemente no se cuenta con un banco de pruebas propio para este tipo de motores, por lo que se deberá probar en el vehículo.

Por otro lado, resta mucho por hacer para tener un modelo más eficiente a éste. El desarrollo de un sistema de inyección directa es sin lugar a dudas el paso siguiente, ya que con dicho sistema se han alcanzado los mejores resultados en cuanto a reducción de consumo de combustible y por supuesto desarrollar sistemas que permitan cuantificar la eficiencia y el consumo de combustible de este tipo de motores.

# ANEXOS

## 1. TABLAS

*Tabla 1 Constantes Físicas del Aluminio.*

*Tabla 2 Propiedades Físicas de Algunas Aleaciones de Aluminio.*

*Tabla 3 Propiedades Mecánicas del Nylon con Partículas de Disulfuro de Molibdeno.*

*Tabla 4 Factor de Aplicación  $K_a$ .*

*Tabla 5 Factor de Distribución de Carga  $K_m$ .*

*Tabla 6 Factor de Confiabilidad  $K_R$ .*

*Tabla 7 Propiedades del aire.*

## 2. DISEÑO DEL ENGRANE

### 3. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA EN EL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN

### 4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN LA ADMISIÓN

### 5. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN LA ADMISION MEDIANTE EL NÚMERO DE REYNOLDS

## 6. PLANOS

*1. Puerto de Admisión*

*2. Múltiple de Admisión*

*3. Conector del Inyector*

*4. Soporte del Sensor TPS*

*5. Mariposa de Aceleración*

*6. Sujetador del Chicote*

*7. Escape*

*8. Adaptador del Sensor KPS*

*9. Adaptador del Clutch*

*10. Soporte de la Rueda Dentada*

*11. Engrane del Sistema de Arranque*

*12. Alineador del Engrane*

# 1. TABLAS

**Tabla 1**

<b>Constantes Físicas del Aluminio</b>	
<b>Peso específico</b>	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Conductividad Térmica a 25°C</b>	0.53 cal. gr. por seg. por cm <sup>2</sup> por cm. de espesor por °C
<b>Coefficiente de Dilatación Térmica (20 a 100°C)</b>	0.0000239 mm/°C
<b>Módulo de Elasticidad</b>	7030 Kg/mm <sup>2</sup>
<b>Punto de Fusión</b>	660°C

Fuente: Portal La Paloma Compañía de Metales S.A de C.V., Propiedades del Aluminio,

[http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma\\_metales/propiedades/c\\_aluminio.htm](http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/propiedades/c_aluminio.htm).

**Tabla 2**

<b>Propiedades Físicas de algunas aleaciones de Aluminio</b>						
<b>Aleación</b>	<b>Coefficiente de Exp. Térmica 68°F a 212 °F por cada °F. (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>Conductividad Térmica (77 °F) btu-in/ft<sup>2</sup>hr°F</b>	<b>Punto Aproximado de Fusión (°C)</b>	<b>Dureza Brinell 500 kg carga de 10 mm</b>	<b>Módulo Elasticidad 1000xpulg<sup>2</sup>x10<sup>3</sup></b>	<b>Fatiga 450Kg x pulg<sup>2</sup></b>
<b>1100 – F 1200-O H-14</b>	13.1	1540	643-657	32	10	7
<b>3003- F</b>	12.9	1340	643-654	35	10	8
<b>6061-T6 T651</b>	13.1	1160	582-652	95	10	14
<b>6063-T5</b>	13	1450	616-654	60	10	10
<b>IPS 6063-T6</b>	13	1390	616-654	73	10	10
<b>7075-T6 ó T651</b>	13.1	900	477-635	150	10.4	23

Fuente: Portal La Paloma Compañía de Metales S.A de C.V., Propiedades del Aluminio,

[http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma\\_metales/propiedades/c\\_aluminio.htm](http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/propiedades/c_aluminio.htm).

**Tabla 3**

<i>Propiedades</i>	<i>Norma ASTM</i>	<i>Valor</i>
<i>Módulo de elasticidad</i>	<i>D638 D695</i>	<i>400000 [psi]</i>
<i>Módulo de Poisson</i>	<i>D638</i>	<i>0.3</i>
<i>Resistencia a la Tensión</i>	<i>D638</i>	<i>10500 [psi]</i>
<i>Resistencia a la Flexión</i>	<i>D790</i>	<i>16000 [psi]</i>
<i>Resistencia a la Compresión</i>	<i>D695</i>	<i>14000 [psi]</i>
<i>Resistencia a la Fatiga superficial</i>	<i>D732</i>	<i>10500[psi]</i>
<i>Dureza Brinell</i>	<i>D2240</i>	<i>De 542 a 573 HB</i>

Fuentes QUADRANT, Guía técnica del Naylamid, <http://www.naylamid.com.mx/pdf/NylamidSL.pdf>, Portal de LUTZ Blades, Tabla De Conversión Para Dureza Brinell, Resistencia A La Tracción, Dureza Rockwell, Dureza Vickers Y Dureza Shore, <http://www.lutz-blades.com/index.php?id=47&L=3> y QUADRANT Engineering Plastic Products, Principales Propiedades Del Naylamid SL, [http://www.nylamid.com.mx/pdf/guia\\_tecnica\\_nylamid.pdf](http://www.nylamid.com.mx/pdf/guia_tecnica_nylamid.pdf).

**Tabla 4**

<b>Factor de Aplicación <math>K_a</math></b>			
<b>Maquina impulsada</b>	<b>Máquina Impulsora</b>		
	<b>Uniforme</b>	<b>Impacto Medio</b>	<b>Impacto severo</b>
<b>Uniforme</b> <i>(Motor Eléctrico, Turbina)</i>	1.00	1.25	1.75 o superior
<b>Impacto Ligero</b> <i>(Motor Multicilindro)</i>	1.25	1.50	2.00 o superior
<b>Impacto Medio</b> <i>(Motor de un solo cilindro)</i>	1.50	1.75	2.25 o superior

Fuente Robert L. Norton, Diseño de máquinas, editorial Prentice Hall, 1ª ed. 1999, página 741.

**Tabla 5**

<b>Factor de Distribución de Carga <math>K_m</math></b>	
<b>Ancho de cara</b> <b><math>l_n</math> [mm]</b>	<b><math>K_m</math></b>
<b>&lt;2 50</b>	1.6
<b>6 150</b>	1.7
<b>9 250</b>	1.8
<b>&gt;2 500</b>	2.0

Fuente Robert L. Norton, Diseño de máquinas, editorial Prentice Hall, 1ª ed. 1999, página 740.

**Tabla 6**

<b>Factor de Confiabilidad <math>K_R</math></b>	
<b>Porcentaje de Fiabilidad</b>	$K_R$
<b>90</b>	0.85
<b>99</b>	1.00
<b>99.9</b>	1.25
<b>99.99</b>	1.50

Fuente Robert L. Norton, Diseño de máquinas, editorial Prentice Hall, 1ª ed. 1999, página 752

**Tabla 7**

<b>Propiedades del Aire a 1atm.</b>			
<b><math>T, ^\circ C</math></b>	$\rho[kg/m^3]$	$\mu[N*s/m^2]$	$\nu[m^2/s]$
<b>20</b>	1.20	$1.80 \times 10^{-5}$	$1.50 \times 10^{-5}$
<b>50</b>	1.09	$1.95 \times 10^{-5}$	$1.79 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	0.946	$2.17 \times 10^{-5}$	$2.30 \times 10^{-5}$

Fuente Frank M. White, Mecánica de fluidos, editorial Mc Graw Hill, 5ª ed. 2004. Tabla A.2, página 787.

## **2. DISEÑO DEL ENGRANE**

Para comenzar el diseño del engrane se requiere obtener los siguientes parámetros básicos.

Para el paso diametral  $p_d$  se tiene:

$$p_d = \frac{N}{d} \dots\dots\dots 1$$

Donde:

$N$ = número de dientes.

$d$ = diámetro de paso medido en pulgadas

Se sabe que la marcha tiene un engrane con las siguientes características:

Número de dientes  $N = 19$ .

Paso diametral  $p_d = 8 [1/in]$ .

Diámetro de paso  $d=2.375[in]=6.033[cm]$ .

Se propone que el engrane tenga un número de dientes igual a  $N = 50$ , por lo que, calculando el diámetro de paso a partir de la ecuación 1, se tiene:

$$d = \frac{N}{p_d} = \frac{50}{8} = 6.25[in] = 15.875[cm]$$

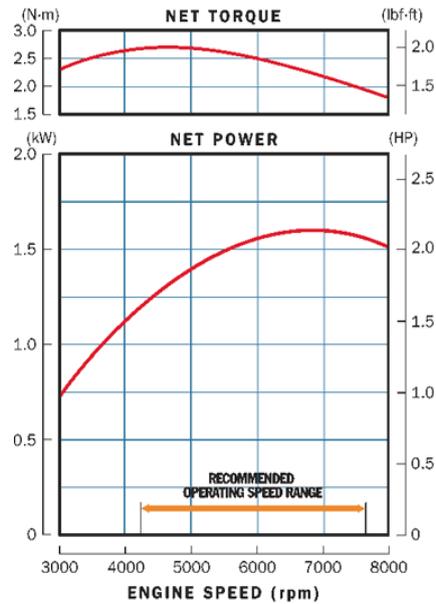
Para la razón de engranes se tiene que:

$$m_G = \frac{N_g}{N_p} \dots\dots\dots 2$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2 se tiene:

$$m_G = \frac{N_g}{N_p} = \frac{50}{19} = 2.632$$

Para continuar es necesario la obtención del torque de la flecha. Para este fin, se hace la siguiente suposición: debido a que no se tiene suficiente información de la marcha, se consideran los datos del motor para el cálculo del torque debido a que éste es el que debe entregar la marcha para romper la inercia de la cadena cinemática del motor, entonces de la Figura 1 se tiene:



Fuente Portal de Honda Engines, <http://www.honda-engines.com/engines/gxh50.htm>.

Figura 1 Gráfica velocidad [rpm] vs Potencia neta [kW] y [HP].

Para una velocidad de  $\omega = 3000 \text{ [rpm]}$ , y sabiendo que la potencia del motor es de  $1 \text{ [HP]}$ . Para obtener el torque se utiliza la ecuación 3:

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots 3$$

Donde:

T: Torque del motor

P: potencia del motor

$\omega$ : velocidad del motor

Sustituyendo los datos e introduciendo factores de conversión para que las unidades sean congruentes, en la ecuación 3 se tiene:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{1 \text{ [HP]} \left( \frac{6600 \text{ [lb} \cdot \text{in/sec}]}{\text{HP}} \right)}{3000 \text{ [rpm]} \left( \frac{2\pi \text{ [rad/sec}]}{60 \text{ [rpm]}} \right)} = 21.009 \text{ [lb} \cdot \text{in]}$$

Para conocer los esfuerzos en el engrane, se requiere calcular las fuerzas que actúan de manera tangencial en el diente, por lo cual se debe descomponer el

torque entregado en sus dos componentes, pero sólo la componente tangencial  $W_t$  es la que se empleará para el cálculo de los esfuerzos.

Para el cálculo de  $W_t$  se tiene la ecuación 4:

$$W_t = \frac{2T}{d} \dots\dots\dots 4$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4, se tiene:

$$W_t = \frac{2(21.009[lb * in])}{6.25 [in]} = 6.723[lb]$$

El cálculo de los esfuerzos a flexión en el engrane están definidos por la ecuación 5:

$$\sigma_b = \frac{w_t p_d}{FJ} \frac{K_a K_m}{K_v} K_s K_B K_I \dots\dots\dots 5$$

Donde:

$W_t$ : Componente tangencial [lb]

$p_d$ : Paso diametral [1/in]

F: Ancho de cara [in]

J: Factor geométrico de resistencia a la flexión

$K_a$ : Factor de aplicación

$K_m$ : Factor de distribución de carga

$K_v$ : Factor dinámico

$K_s$ : Factor de tamaño

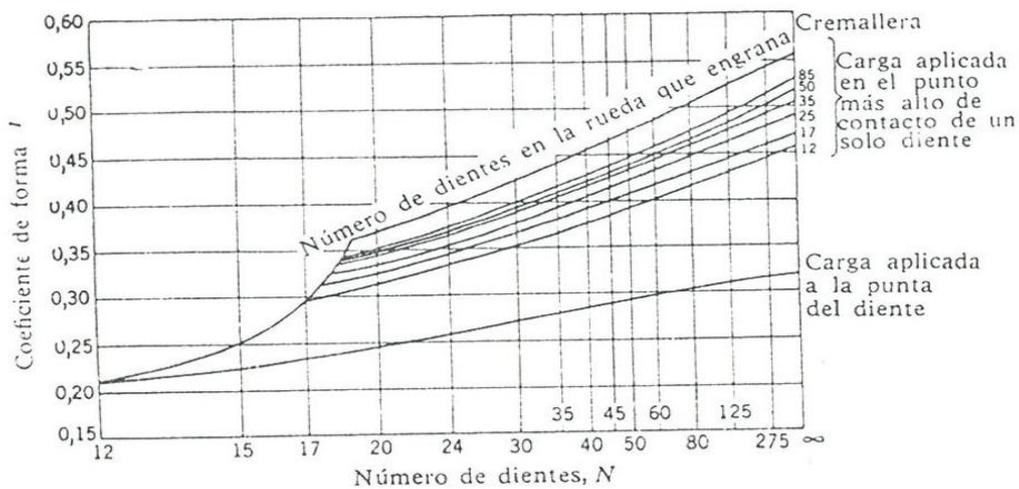
$K_B$ : Factor de espesor de aro

$K_I$ : Factor de engrane intermedio o loco

El factor geométrico se requiere para tomar en cuenta factores como:

- La forma de los dientes
- La posición del diente en que se aplica la carga crítica
- Concentraciones de tensiones
- La manera en que se distribuye la carga entre uno o más pares de dientes que engranan.

Para su cálculo, se requiere de la grafica mostrada en la Figura 2.



Fuente Shigley, Diseño en ingeniería mecánica, editorial Mc Graw-Hill, 6ª ed, 2003, página 424.

Figura 2 Coeficiente geométrico, para engranes cilíndricos de 20° de altura completa. La abscisa es el número de dientes del engrane cuyo Factor geométrico se desea.

Con base en la gráfica de la Figura 2 se tiene que el factor geométrico “J” tiene un valor igual a

$$J=0.42$$

Por otro lado, el factor de aplicación  $K_a$  se utiliza para incluir factores como que pueden cambiar la fuerza tangencial “ $W_t$ ” debida a las características de operación.

Es importante hacer mención que para elementos sometidos a impactos, el factor debe ser elevado debido a que una carga aplicada súbitamente genera esfuerzos que son varias veces mayor que los calculados convencionalmente, además, se requiere que el material absorba toda la energía debida al impacto.

Con base en lo anterior de la Tabla 4 se tiene que el valor del factor de aplicación es:

$$K_a=2.25$$

El factor de distribución de carga  $K_m$  se aplica para considerar cualquier desalineación axial que provoca que la carga  $W_t$  no se aplique uniformemente en el ancho de cara del diente. Para la determinación de este factor se, requiere el ancho de cara el cual se obtiene mediante la regla siguiente:

$$\frac{8}{p_d} < F < \frac{16}{p_d} \dots\dots\dots 6$$

Para nuestro caso la regla resulta de la siguiente forma:

$$\frac{8}{8} < F < \frac{16}{8}$$

$$1 < F < 2$$

Se propone un ancho de cara con un valor igual a  $F = 10 [mm] = 0.3937 [in]$ . Entonces utilizando la Tabla 5 se tiene que para el ancho de cara propuesto se obtiene un valor de:

$$K_m = 1.6.$$

El factor dinámico “ $K_v$ ” es utilizado para incluir las cargas debidas a las vibraciones generadas por el impacto de los dientes. Éstas cargas son conocidas como errores de transmisión y se intensifican en engranes de baja precisión. Su cálculo está definido por la ecuación 7:

$$K_v = \left( \frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B \dots\dots\dots 7$$

Donde:

$V_t$ : Velocidad en la línea de paso del acoplamiento de los engranes

A y B: Factores que definen la forma

Por su parte A y B se calculan de la siguiente forma:

$$V_t = \frac{d_p}{2} \omega \dots\dots\dots 8$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \dots\dots\dots 9$$

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{\frac{2}{3}}}{4} \text{ para } 6 \leq Q_v \leq 11 \dots\dots\dots 10$$

Donde:

$Q_v$ : Índice de calidad del engrane de menor calidad en el acoplamiento

Cálculo de  $V_t$ , A y B:

$$V_t = \frac{d_p}{2} \omega = \frac{6.25[in]}{2} 3000[rpm] \left( \frac{1[ft]}{12[in]} \right) \left( \frac{2\pi[rad]}{1[rev]} \right) = 4908.74[ft/min]$$

Se considera un índice de calidad  $Q_v=8$  debido a que no es un engrane que este en operación continua, pero, es necesario que tenga una buena calidad en el acoplamiento ya que este se realiza de manera súbita. Con base en este valor se tiene:

$$B = \frac{(12 - 8)^{\frac{2}{3}}}{4} = 0.63$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.63) = 70.7$$

Sustituyendo valores en la ecuación 7 se tiene:

$$K_v = \left( \frac{70.7}{70.7 + \sqrt{4908.74}} \right)^{0.63} = 0.648$$

El factor de tamaño " $K_s$ " permite modificar el esfuerzo en el diente. No se han establecido normas para factores de tamaño, pero el autor del libro "Diseño de Máquinas", Robert L. Norton recomienda que "el valor de  $K_s$  se defina con un valor de 1, a menos que el diseñador desee elevar su valor para tomar en consideración situaciones particulares, como por ejemplo dientes muy grandes. Un valor de 1.25 a

1.5 en dichos casos sería una hipótesis conservadora”. Con base en lo anterior se propone un factor de tamaño con un valor de:

$$K_s=1.5.$$

El factor de aro  $K_B$  considera situaciones en las cuales un engrane es manufacturado con un aro y rayos en vez de ser un disco sólido, ya que estos diseños llegan a fallar a la fractura radial a través del aro. Debido a que el engrane se propone como sólido, se considera el valor del factor de aro como:

$$K_B=1.$$

Debido a que un engrane intermedio o loco está sometido a más ciclos de esfuerzo por unidad de tiempo y a cargas alternantes elevadas, el factor de engrane intermedio o loco se define mediante un valor  $K_I=1.42$  para este tipo de engranes, y  $K_I=1$  para aquellos que no se consideran intermedios. En nuestro caso de estudio se toma el factor:

$$K_I=1.$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5 se tiene:

$$\sigma_b = \frac{6.723(8)}{0.3937(0.42)} \frac{(2.25)(1.6)}{0.648036} (1.5)(1)(1) = 2710.28 [psi]$$

Los esfuerzos superficiales se definen mediante la ecuación 11:

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{W_t C_a C_m}{F I d} \frac{C_s C_f}{C_v}} \dots\dots\dots 11$$

Donde:

I: Factor de Geometría Superficial.

$C_p$ : Coeficiente Elástico.

$C_f$ : Factor de Terminado Superficial.

Mientras que los factores  $C_a$ ,  $C_m$ ,  $C_v$  y  $C_s$  son iguales respectivamente a  $K_a$ ,  $K_m$ ,  $K_v$  y  $K_s$ .

El factor de geometría superficial “I” considera los radios de curvatura y el ángulo de presión de los engranes y se define con la ecuación 12:

$$I = \frac{\cos \varphi}{\left(\frac{1}{\rho_p} \pm \frac{1}{\rho_g}\right) d_p} \dots\dots\dots 12$$

Donde:

$\rho_p$ : Radios de curvatura del piñón

$\rho_g$ : Radios de curvatura del engrane

$\varphi$ : Ángulo de presión

El signo  $\pm$  se refiere a si son engranes internos o externos, para engranes externos se utiliza el signo +. Los radios de curvatura de los dientes se calculan a partir de la geometría del acoplamiento. A continuación se presentan las ecuaciones 13 y 14 con las cuales se obtendrán los radios de curvatura:

$$\rho_p = \sqrt{\left(r_p - \frac{1+x_p}{p_d}\right)^2 - (r_p \cos \varphi)^2} - \frac{\pi}{p_d} \cos \varphi \dots\dots\dots 13$$

$$\rho_g = C \sin \varphi - \rho_p \dots\dots\dots 14$$

Donde:

$r_p$ : Radio de paso del piñón.

$x_p$ : Coeficiente de cabeza del piñón

C: Distancia entre centros.

En el caso de dientes estándar el valor de  $x_p=0$ . Para dientes con cabeza larga del 25%, es decir, que sobrepasan la altura de un diente estándar en un 25 %, el valor del coeficiente de cabeza es  $x_p=0.25$ . Para nuestro caso el valor es

$$x_p=0$$

Sustituyendo valores en la ecuación 13 y 14 y sabiendo que para el piñón se tienen los siguientes datos  $d_p=2.375[in]$ ,  $r_p=1.188 [in]$  y para el engrane los valores son  $d_g=6.25 [in]$ ,  $r=3.125[in]$ . Además considerando un ángulo de presión  $\phi=20^\circ$  se tiene:

$$\rho_p = \sqrt{\left(1.188 - \frac{1+0}{8}\right)^2 - (1.188 \cos 20)^2} - \frac{\pi}{8} \cos 20 = 0.322 [in]$$

$$\rho_g = (1.188 + 3.125) \sin 20 - 0.322 = 1.153[in]$$

Sustituyendo los valores de radio de curvatura tanto del piñón como del engrane en la ecuación 12 se tiene:

$$I = \frac{\cos 20}{\left(\frac{1}{0.322} + \frac{1}{1.153}\right) 2.375} = 0.093$$

El coeficiente elástico toma en consideración las diferencias de material entre engranes mediante la ecuación 15:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[ \left( \frac{1-\nu_p^2}{E_p} \right) + \left( \frac{1-\nu_g^2}{E_g} \right) \right]}} \dots\dots\dots 15$$

Sabiendo que tanto el piñón como el engrane están fabricados con Naylamid SL® se tiene que de la Tabla 3 el módulo de elasticidad y el modulo de Poisson son:

$$\nu = 0.3$$

$$E = 400000[psi]$$

Por lo que sustituyendo los valores en la ecuación 15 se tiene:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[ \left( \frac{1-0.3^2}{400000} \right) + \left( \frac{1-0.3^2}{400000} \right) \right]}} = 264.496$$

El factor de terminado superficial se aplica para considerar acabados superficiales normalmente ásperos en los dientes. AGMA recomienda asignar un valor de  $C_f=1$  para engranes fabricados con métodos convencionales e incrementar este valor para acabados superficiales extraordinariamente ásperos. Con base en lo anterior, el valor del coeficiente de terminado superficial para nuestro caso se propone que sea

$$C_f=1.$$

Sustituyendo valores en la ecuación 11 se tiene:

$$\sigma_c = 264.498 \sqrt{\frac{6.723}{0.3937(0.093)(6.25)} \frac{2.25(1.6)}{0.648} 1.5(1)} = 4140.63[psi]$$

Los resultados de esfuerzo son:

$$\sigma_b = 2710.28[psi]$$

$$\sigma_c = 4140.63[psi]$$

Por otra parte se debe comparara estos resultados con los esfuerzos que permite el material, por esta razón es necesario calcular la resistencia tanto a la flexión como a la fatiga superficial del material, para determinar el factor de seguridad que nos ofrece este diseño.

La resistencia a la flexión está dada por la ecuación siguiente:

$$S_{fb} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb'} \dots\dots\dots 16$$

Donde:

$S_{fb}$ : Resistencia a la fatiga por flexión corregida

$S_{fb'}$ : Resistencia a la fatiga por flexión AGMA

$K_L$ : Factor de vida

$K_T$ : Factor de temperatura

$K_R$ : Factor de confiabilidad

La resistencia a la flexión " $S_{fb}$ " de acuerdo a AGMA se obtiene de la Tabla 3, siendo:

$$\sigma=16000 \text{ [psi]}.$$

El factor de vida  $K_L$  toma en consideración los ciclos de carga que se definen como el número de contactos de acoplamiento bajo carga del diente que se está analizando. Desafortunadamente los gráficos y fórmulas para la obtención de este factor están referidas a cierto tipo de aceros, por lo cual, el valor que se considera en este caso de análisis es

$$K_L=1.$$

El factor de temperatura " $K_T$ " incluye la temperatura de servicio del lubricante, para temperaturas por debajo de 250°F, el valor de este factor es 1, en caso contrario se debe calcular de otra forma. Debido a que la temperatura de operación de nuestros engranes propuestos es aproximadamente de 212°F, por lo que el factor de temperatura es igual a

$$K_T=1.$$

El factor de confiabilidad " $K_R$ " se basa en la probabilidad estadística de una falla en cada 100 muestras, es decir, una confiabilidad de 99%. Puede ser que sea suficiente considerar dicho porcentaje aceptable pero puede modificarse según la Tabla 6.

Con base en la información se propone utilizar un factor de confiabilidad  $K_R=1$ , debido a las condiciones de trabajo del engrane, en gran medida por el choque brusco al que es sometido durante el acople del engrane de la marcha y el engrane del motor.

Sustituyendo valores en la ecuación 16 se tiene:

$$S_{fb} = \frac{1}{1(1)} 16000 = 16000 \text{ [psi]}$$

La resistencia a la fatiga superficial de materiales para engranes está definida por la ecuación 17:

$$S_{fc} = \frac{C_L C_H}{C_T C_R} S_{fc'} \dots\dots\dots 17$$

Donde:

$S_{fc}$ : Resistencia a la fatiga superficial corregida

$S_{fc'}$ : Resistencia a la fatiga superficial AGMA

$C_L$ : Factor de vida superficial

$C_H$ : Factor de razón de dureza

$C_T$  y  $C_R$  : Son idénticos respectivamente a  $K_T$  y  $K_R$ , y se eligen de la misma forma.

El factor de vida superficial  $C_L$  al igual que el factor  $K_L$  se mide a través de datos aplicables al acero, aunque para este factor de vida las relaciones son diferentes. Por lo tanto de igual forma se tomara un valor de  **$C_L=1$** .

El factor de razón de dureza  $C_H$  permite aumentar la resistencia aparente del engrane: toma en consideración situaciones en las cuales los dientes del piñón son más duros que los dientes del engrane. Existen relaciones que permiten obtener este factor pero son aplicables cuando los materiales son diferentes, es decir, que el piñón esté fabricado de un material diferente al engrane y viceversa, por esta razón, el factor de razón de dureza adquiere un valor de  **$C_H=1$** .

Sustituyendo valores en la ecuación 17 se tiene:

$$S_{fc} = \frac{1(1)}{1(1)} 10500 = 10500[psi]$$

$$S_{fb} = 16000[psi]$$

$$S_{fc} = 10500[psi]$$

Con estos datos es posible obtener los factores de seguridad que permiten comparar los esfuerzos calculados con los esfuerzos que soporta el material. El factor de seguridad para una falla a flexión y una falla superficial se definen por las ecuaciones 18 y 19:

$$N_B = \frac{S_{fb}}{\sigma_b} \dots\dots\dots 18$$

$$N_C = \left(\frac{S_{fc}}{\sigma_c}\right)^2 \dots\dots\dots 19$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$N_B = \frac{16000}{2710.28} = 5.903$$

$$N_B = \left(\frac{10500}{4140.63}\right)^2 = 6.431$$

### **3. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA EN EL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN**

Para el obtener el valor de la velocidad de entrada al múltiple de admisión se requiere de la ecuación del Número de Reynolds que se define de la siguiente forma:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \dots\dots\dots 20$$

Donde:

$\rho$ : densidad del fluido

V: velocidad del fluido

L: Longitud característica transversal

$\mu$ : Viscosidad

El conducto de admisión tiene una dimensión de  $d=9/16[in]=0.014287 [m]$ . Por otra parte se toma un número de Reynolds de  $10^4$  y las características del aire se consideran a una temperatura de  $100^\circ C$  (Tabla 7), como base para el cálculo, por lo que sustituyendo valores en la ecuación 20 se tiene:

$$v = \frac{Re \mu}{\rho L} = \frac{10000 (2.17 \times 10^{-5})}{0.946 (0.014287)} = 16.056 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

#### **4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN EL PUERTO DE ADMISIÓN**

Es posible la velocidad en el puerto de admisión mediante el flujo volumétrico en la admisión, si se considera que el 75% de aire pasa por la admisión.

El flujo volumétrico es calculado mediante las siguientes ecuaciones:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \dots\dots\dots 21$$

$$\dot{V} = v A \dots\dots\dots 22$$

Donde:

V = Volumen de fluido.

t = Tiempo en el que pasa el volumen de fluido.

v = Velocidad del fluido.

A = Área por donde pasa el fluido.

Por otra parte, se sabe que la admisión se lleva a cabo en media vuelta del cigüeñal y que el desempeño del motor en promedio es mejor a las 5000 rpm, con base en esto se puede calcular el tiempo de la siguiente manera:

$$\frac{5000}{60} = \frac{0.5}{t}$$

$$t = 0.006[s]$$

De la ficha técnica del motor (capítulo 2, figura 2.1), se sabe que el volumen del cilindro es 49.4 [cm<sup>3</sup>]. Sustituyendo los valores en la ecuación 21 se tiene:

$$\dot{V} = \frac{49.4 (0.75)}{0.006} = 6.175 [cm^3]$$

Para la obtención de la velocidad en la admisión es necesario el cálculo de el área de admisión, la cual es aproximadamente un cuadrado de 1.7 [cm] por lado. Por lo tanto el valor del área de admisión es:

$$A = a^2 = 1.7^2 = 2.89[cm]$$

Sustituyendo valores en la ecuación 22 se tiene:

$$v = \frac{6.175}{2.89} = 2136.68 \left[ \frac{cm}{s} \right] = 21.3668 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

## **5. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN LA ADMISIÓN MEDIANTE EL NÚMERO DE REYNOLDS**

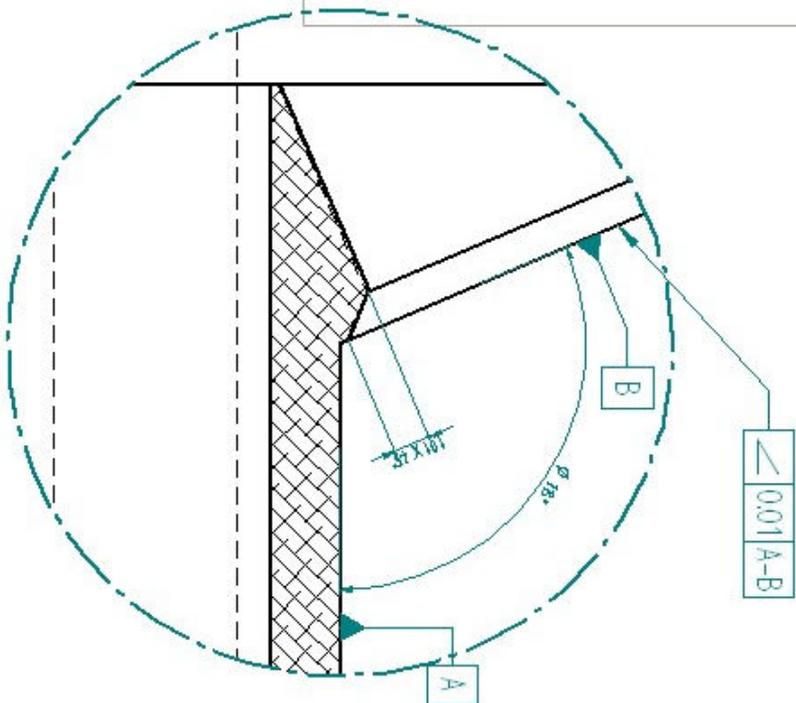
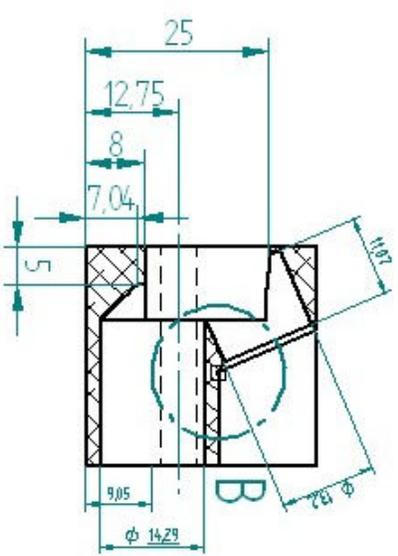
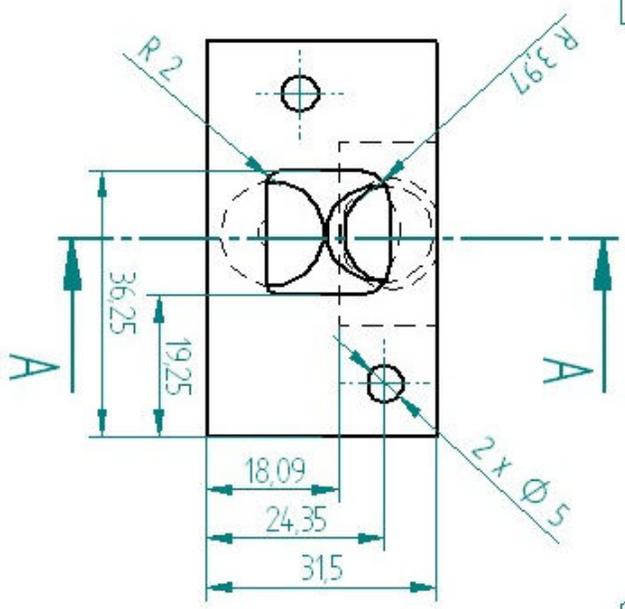
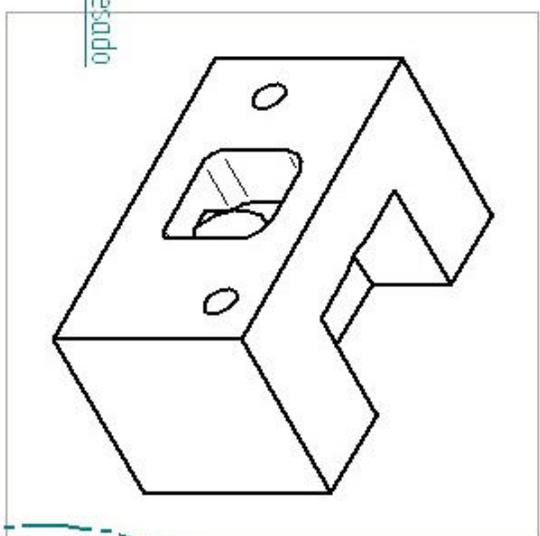
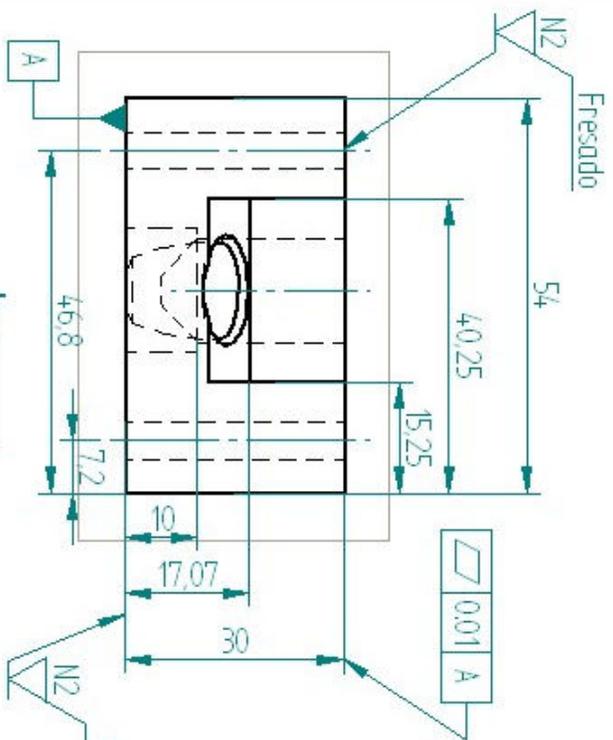
Si las aristas del área de admisión son de 1.7 [cm], entonces la diagonal es igual a:

$$L = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{1.7^2 + 1.7^2} = 2.404[cm] = 0.02404[m]$$

Utilizando un número de Reynolds con un valor de 10<sup>4</sup> y considerando la temperatura de trabajo como 100°C (Tabla 7). Sustituyendo valores en la ecuación 20 se tiene:

$$v = \frac{Re \mu}{\rho L} = \frac{10000 (2.17 \times 10^{-5})}{0.946 (0.02404)} = 9.542 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

## **6. PLANOS**



DETAIL B  
5:1

Fresado  
En todas las superficies excepto  
en donde se indique

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguuel

Material: Aluminio 6061

Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia

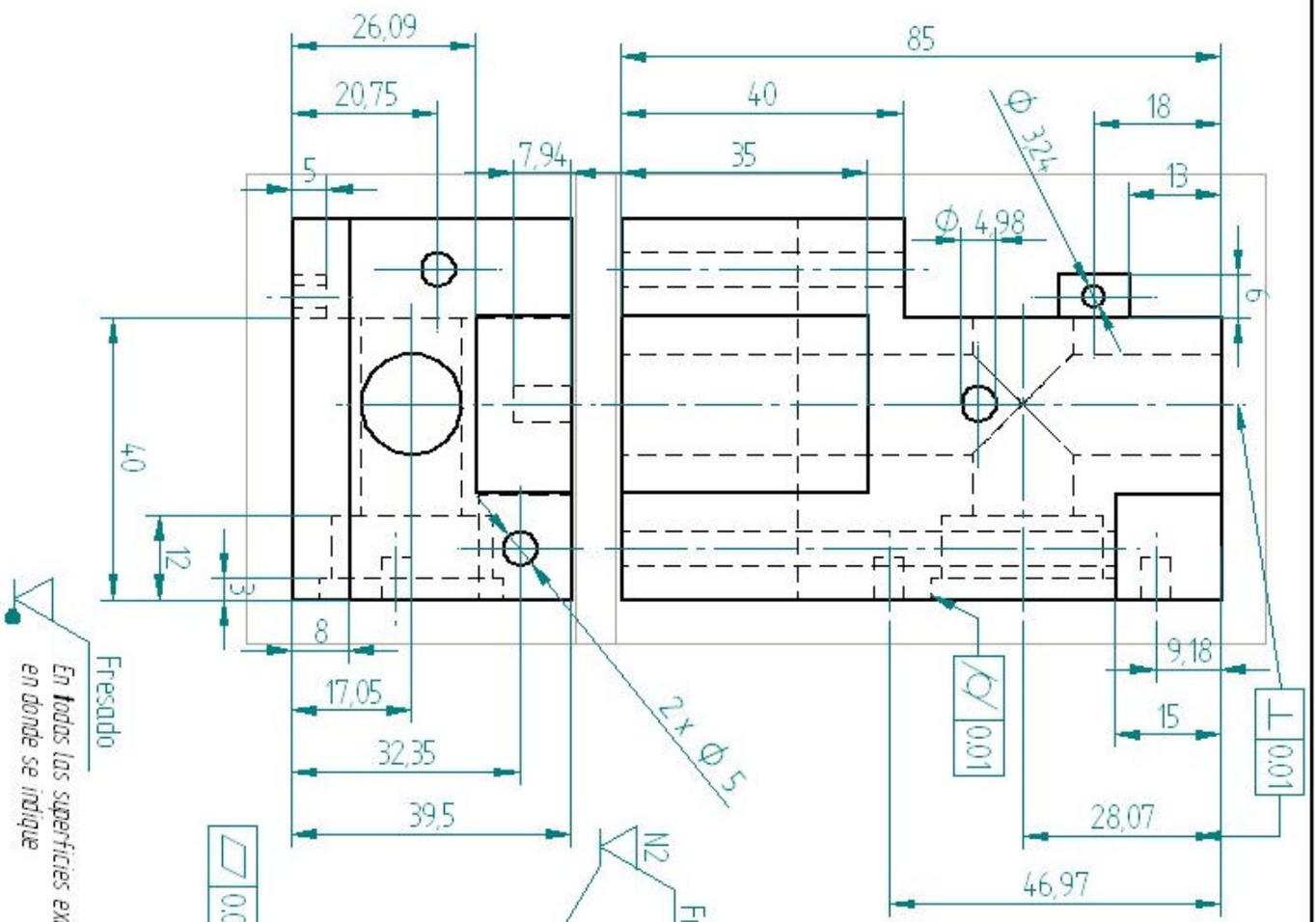
Shell Ecomarathon

Lamina 7/2  
Escala: 1:1

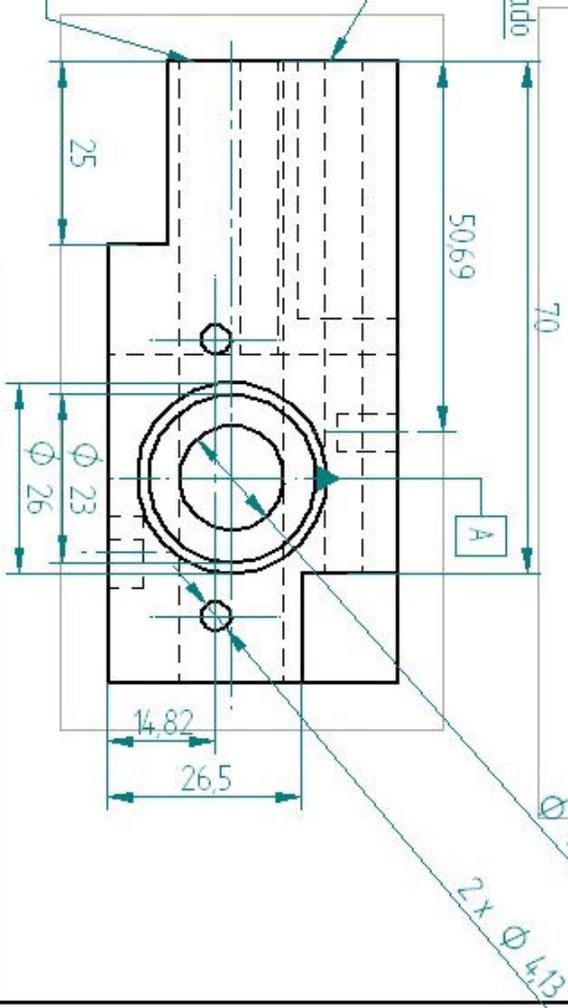
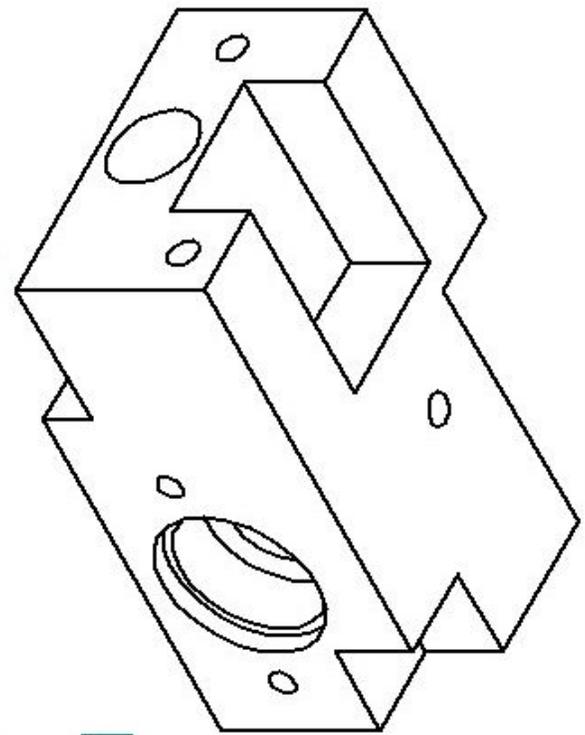
Unidades: mm



Título de la Laminas: Puerto de Admisión



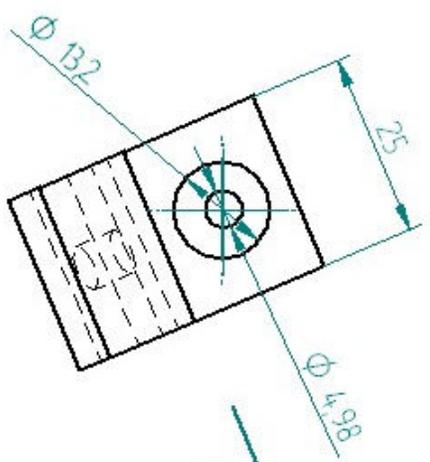
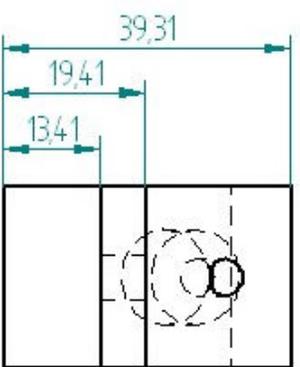
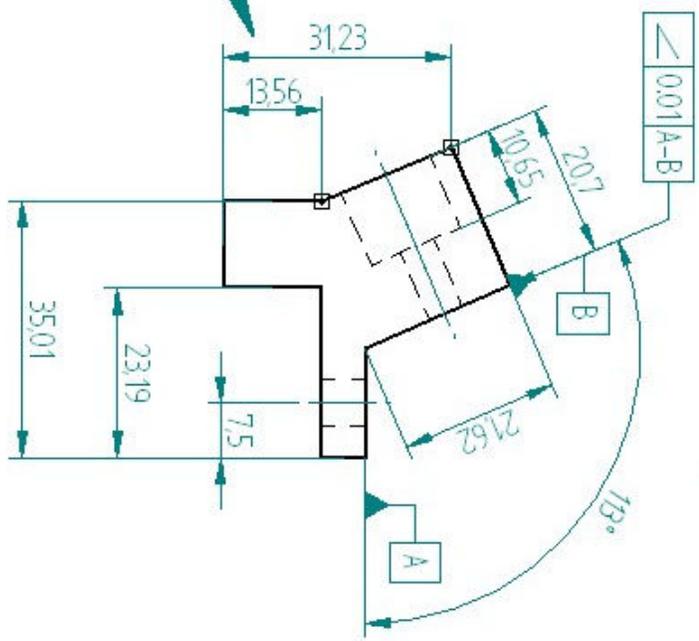
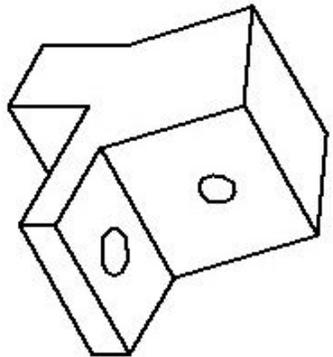
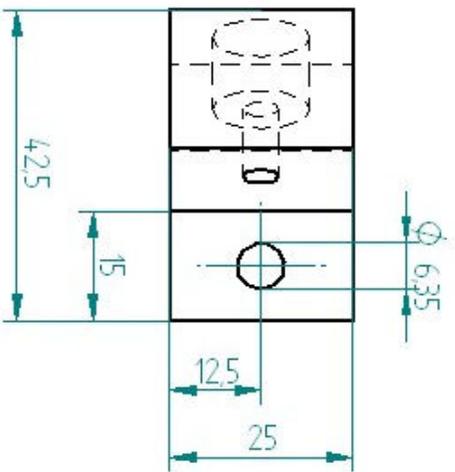
Fresado  
En todas las superficies excepto en donde se indique



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Laminas 2/12
Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguuel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: $\pm 0,1$	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Laminas: Múltiple de Aluminio		



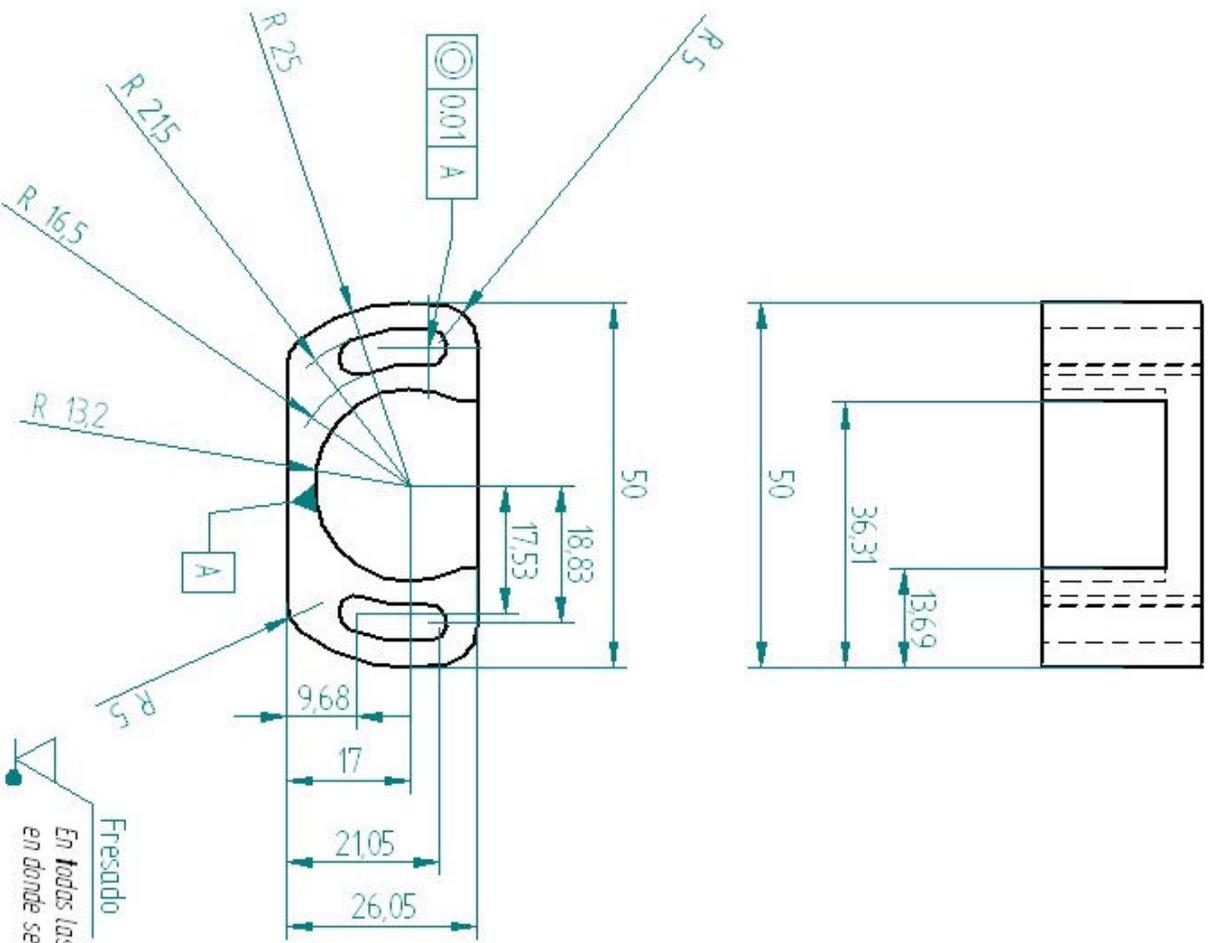
Fresado  
 En todas las superficies excepto  
 en donde se indique



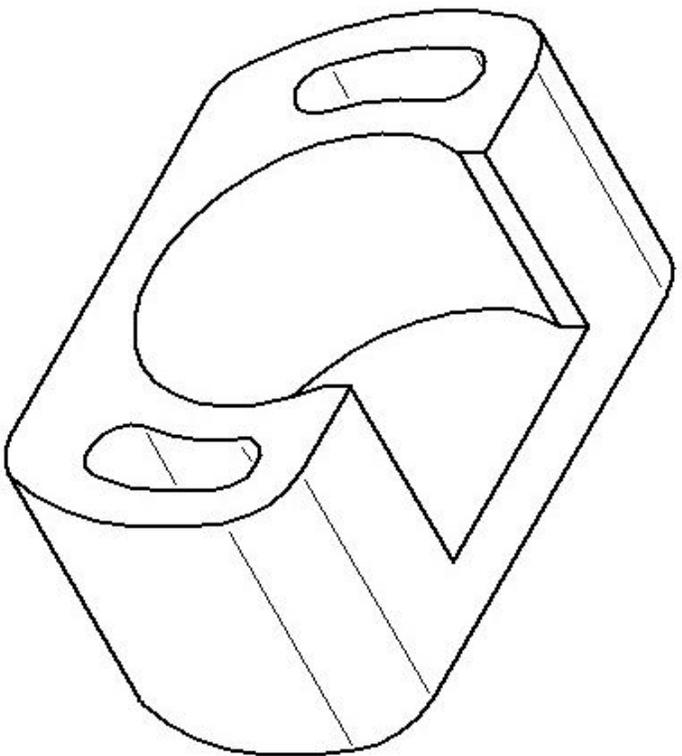
VIEW C

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Laminas 3/2
Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguuel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Laminas: Conector del inyector		





Fresado  
 En todas las superficies excepto  
 en donde se indique

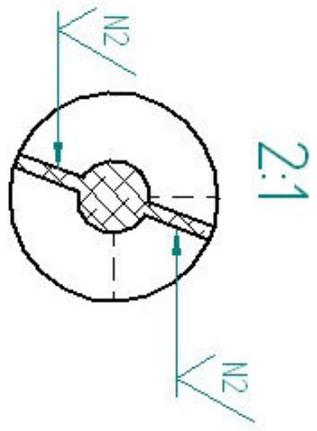
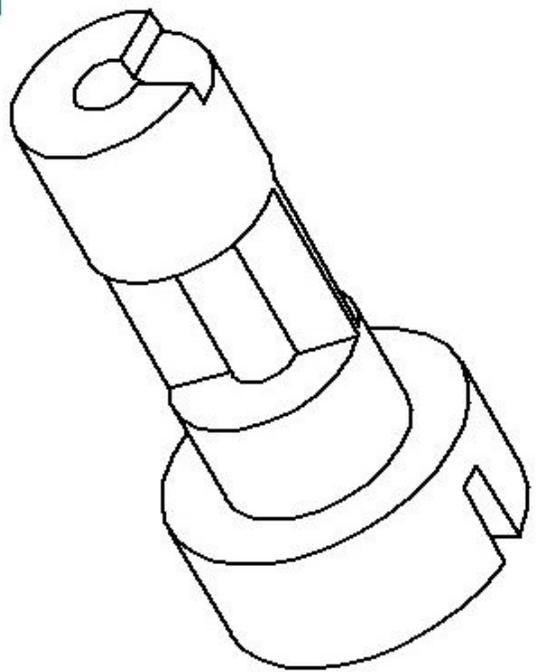
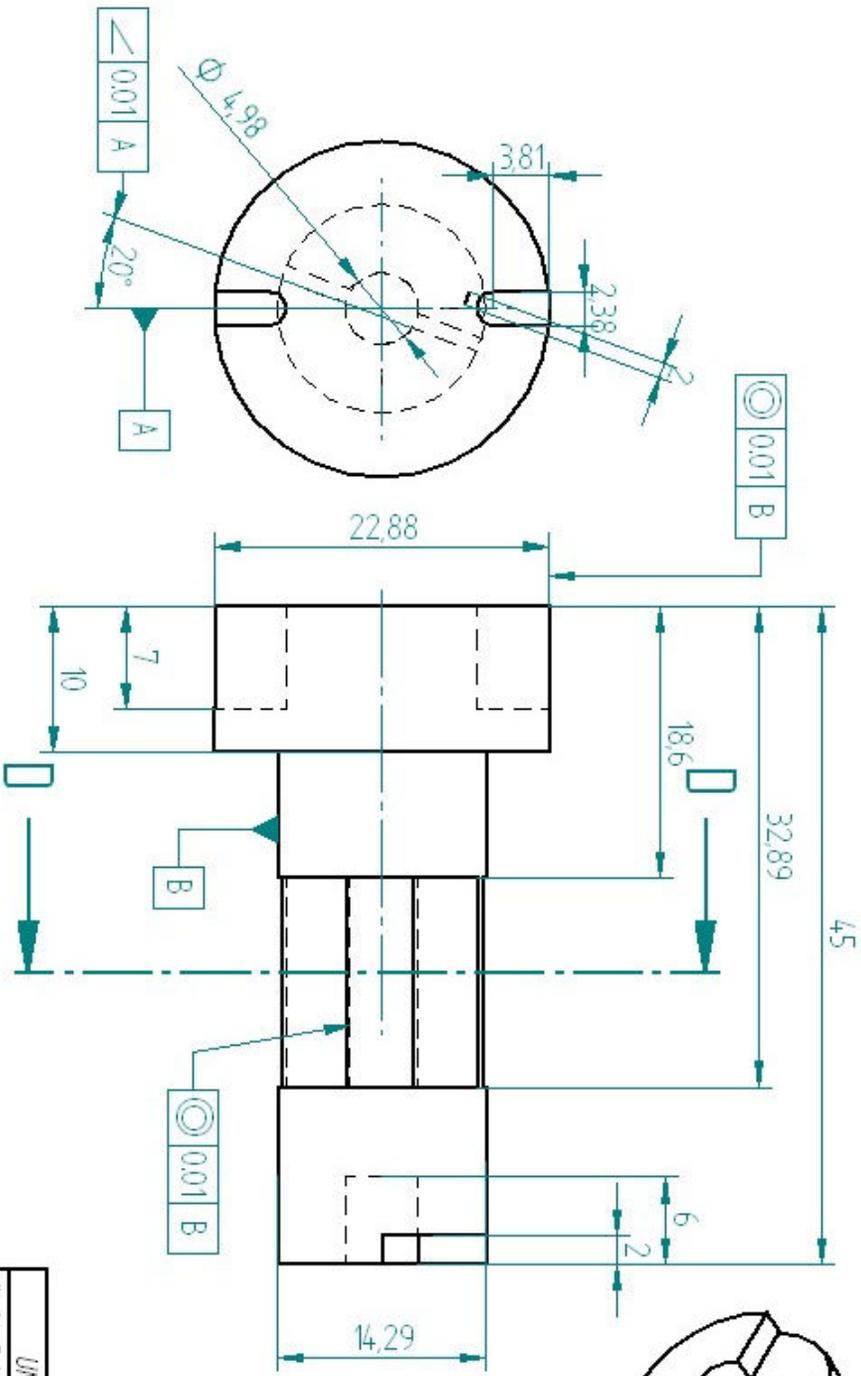


2:1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Lamina 4/2
Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Laminas: Soporte del Sensor TPS		

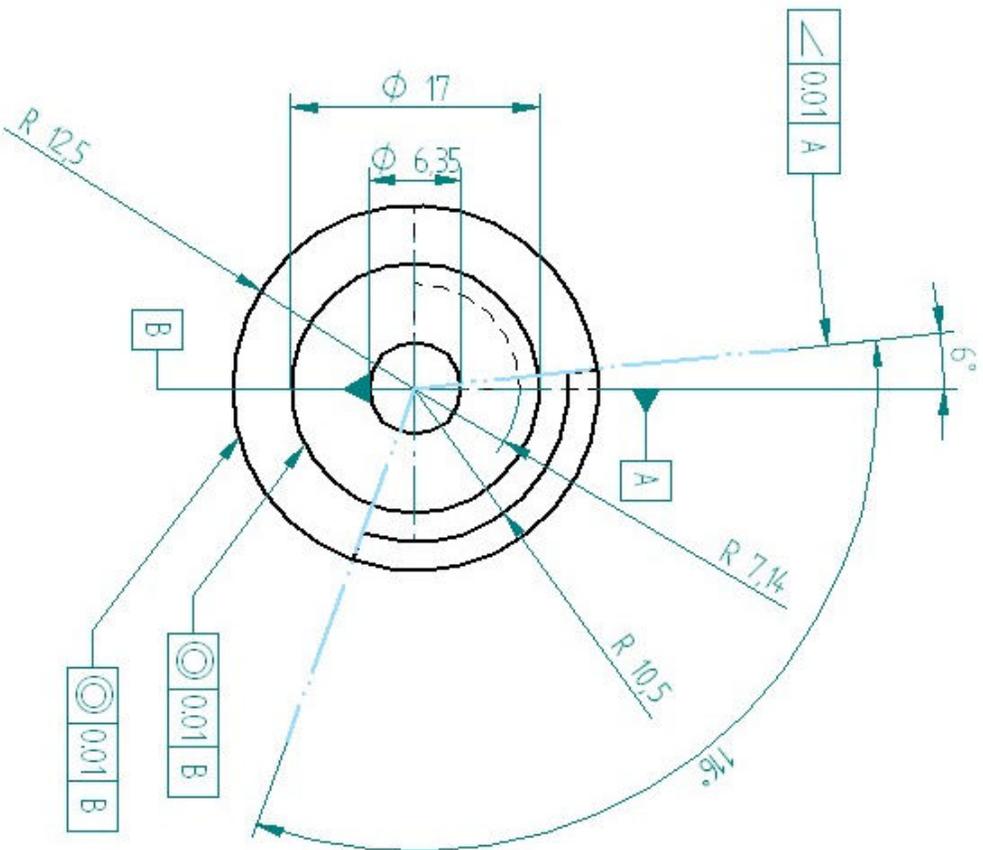


Torneado  
 En todas las superficies excepto  
 en donde se indique

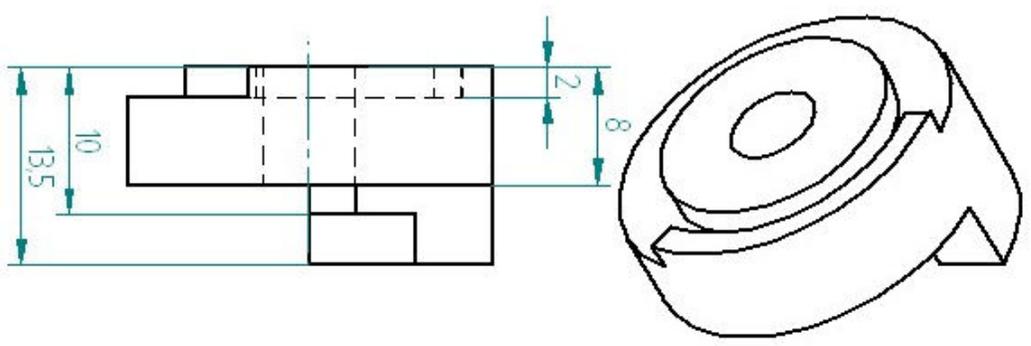


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Laminas 5/22
Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguuel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 2 - 1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Laminas: Manguera de Aceleración		

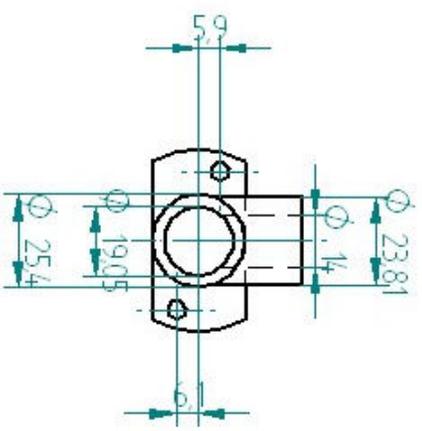
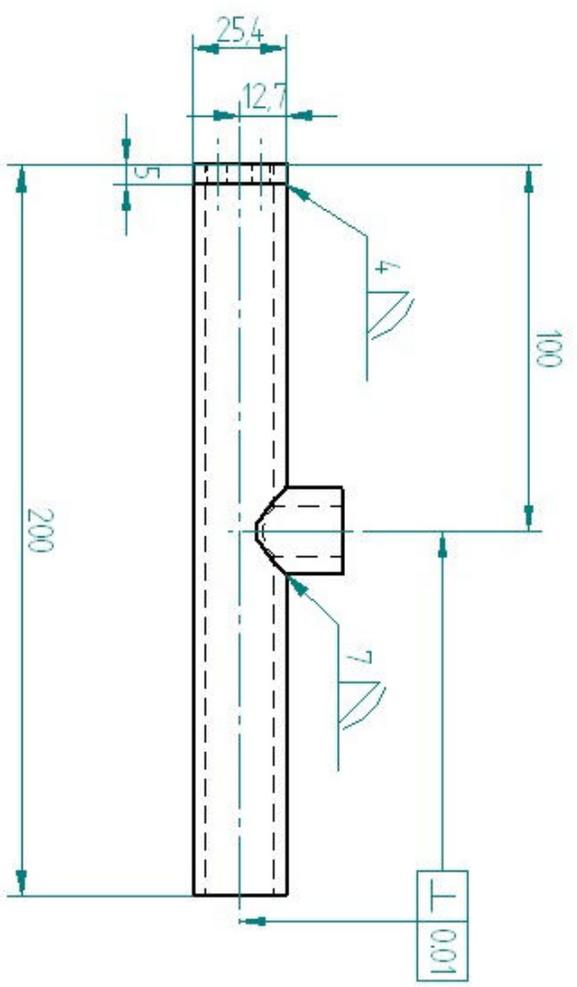
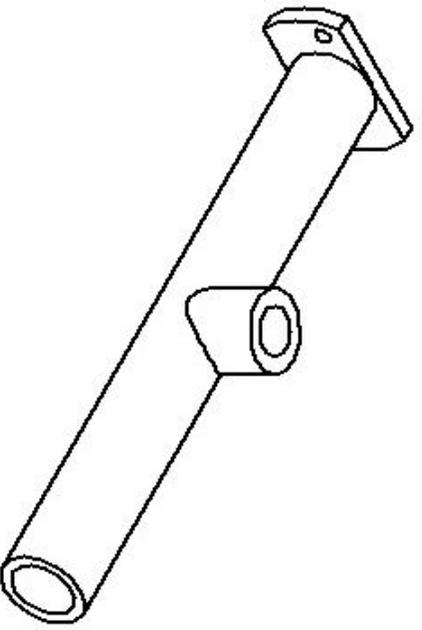




En todas las superficies excepto en donde se indique

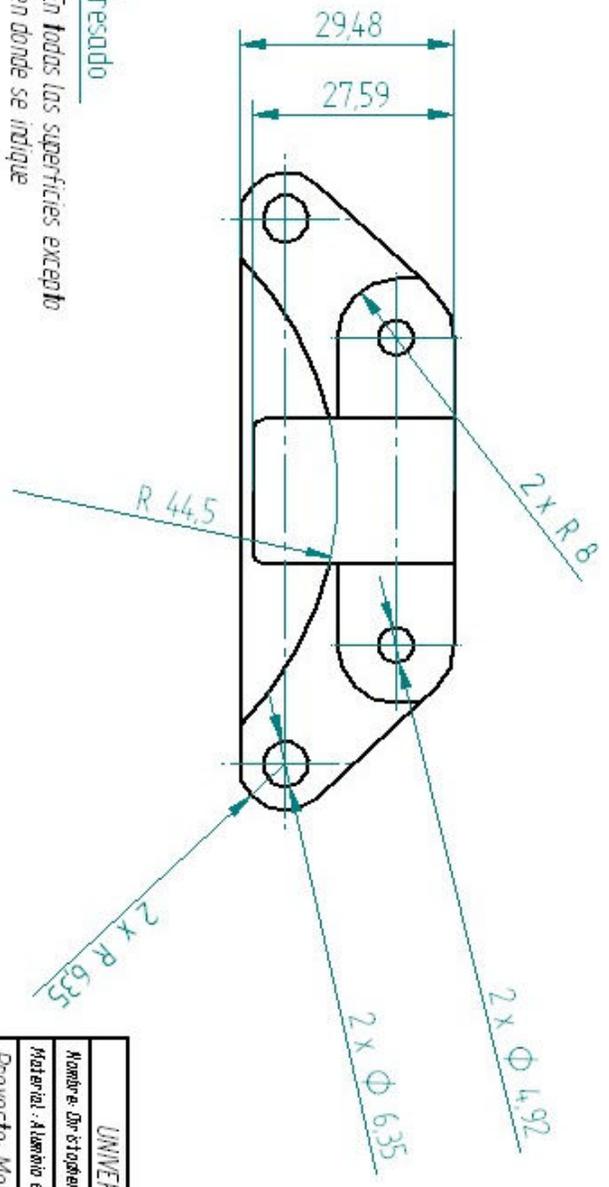
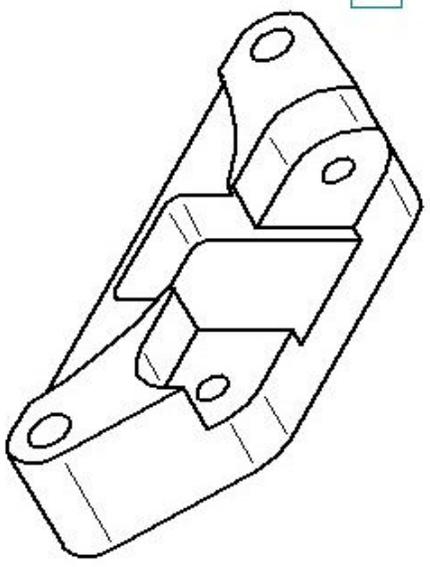
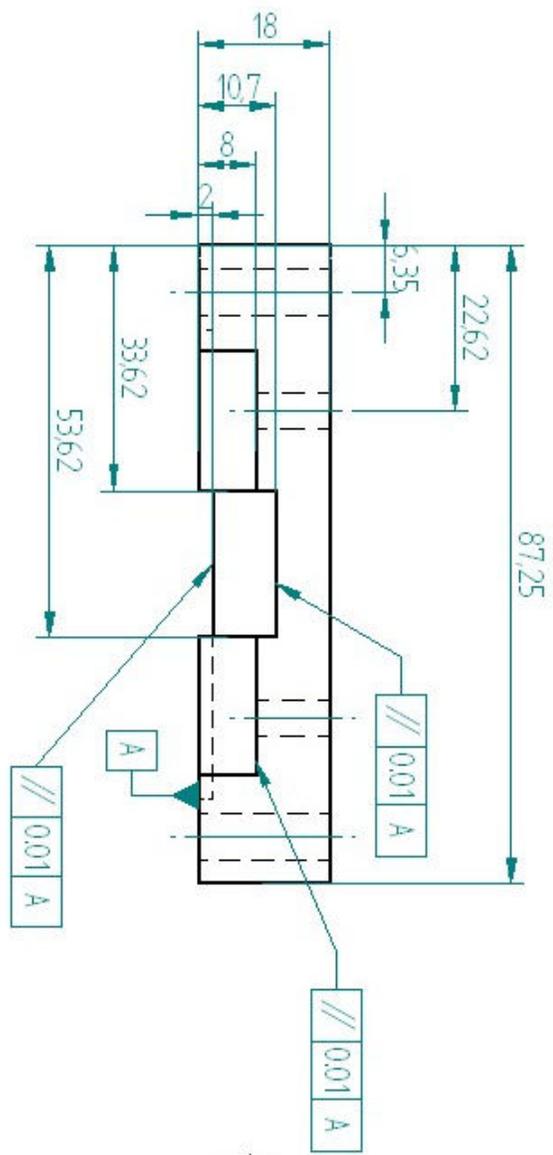


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Laminas 6/22
Nombre: Dr. Estephan Izcomanizti Miguel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 2 - 1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Laminas Supervisor del Director		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Lamina 7/2
Nombre: Dr. Esteban Izamantzi Miguel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:2
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: $\pm 0.1$	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Lámina: Escapes		

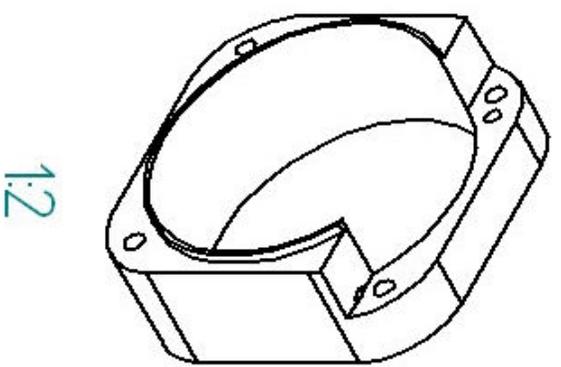
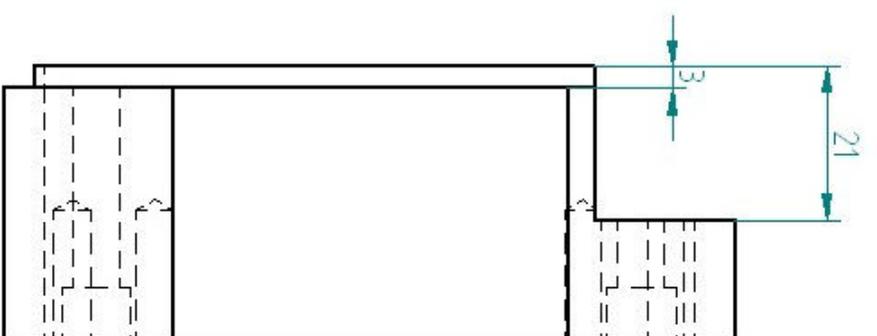
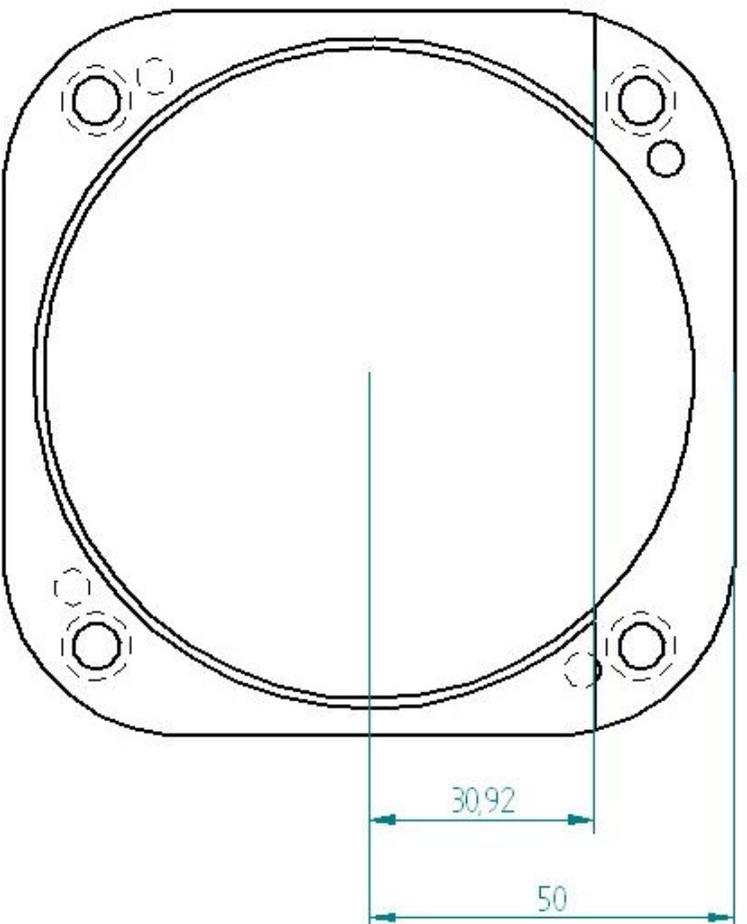




Fresado  
 En todas las superficies excepto  
 en donde se indique

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Laminas 8/2
Nombre: Dr. Esteban Izamanzuri Miguuel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Laminas: Adaptador Sensor XPS		





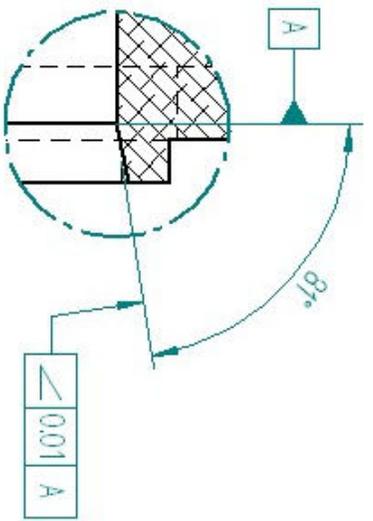
1:2

La pieza esta predeterminada, por lo tanto, sólo se presentan las dimensiones del corte

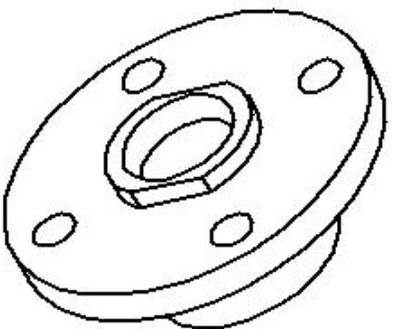
Fresado  
En todas las superficies excepto en donde se indique

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Lamina 9/2
Nombre: Dr. Esteban Izamanzuri Miguel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:1
Materia: Mecanizado por el fabricante	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Lámina: Adaptador del Cuchó		

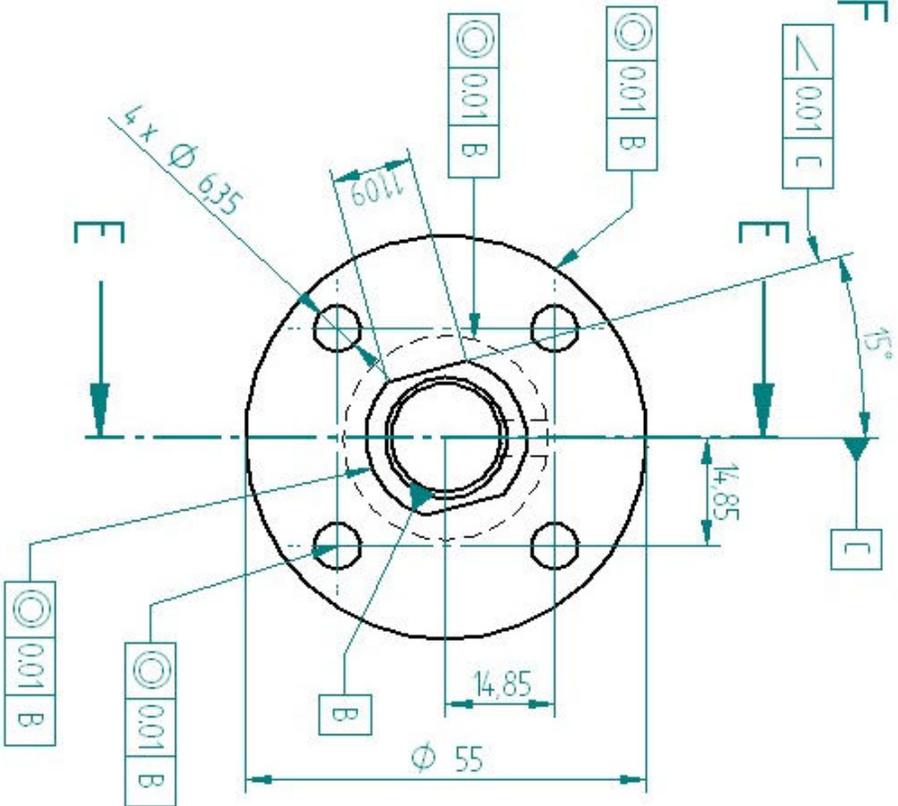




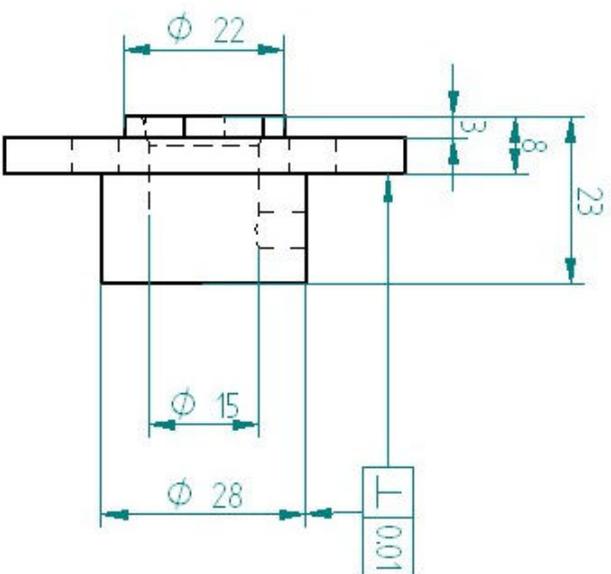
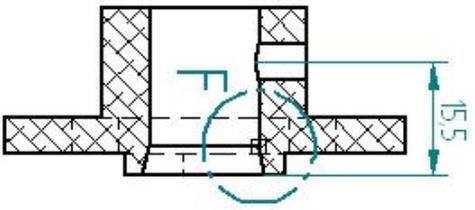
Torneado  
 En todas las superficies excepto  
 en donde se indique



### DETAIL F 2:1

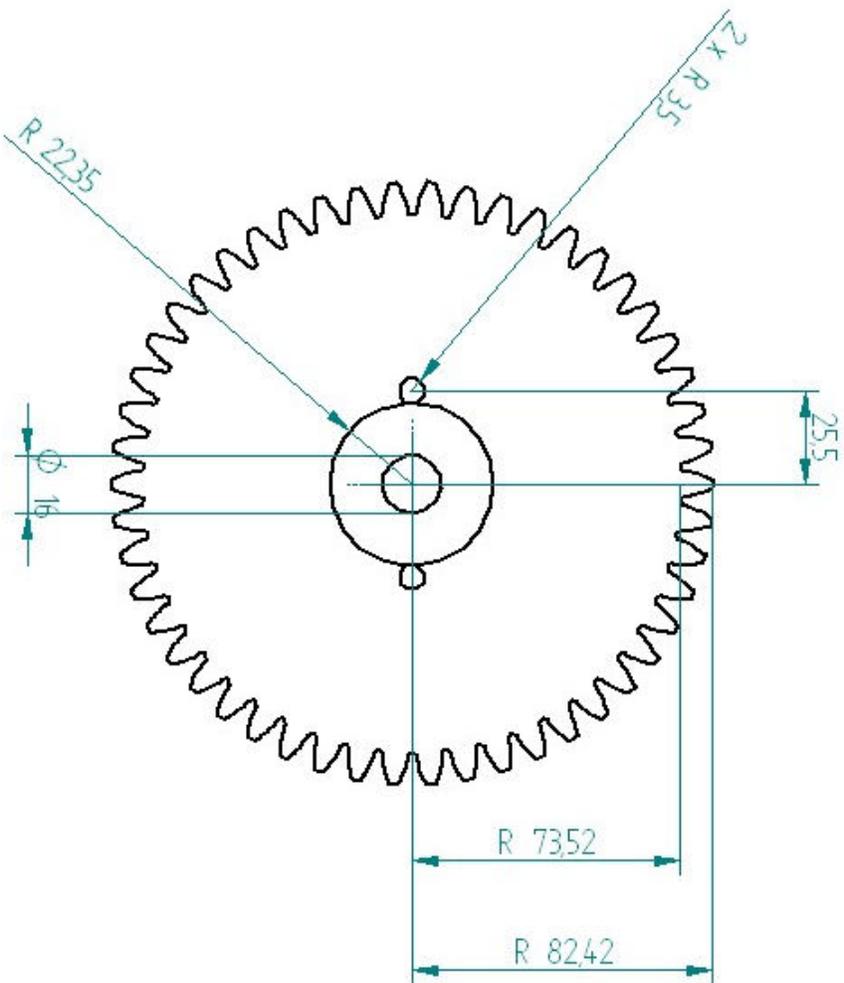


### SECTION E-E

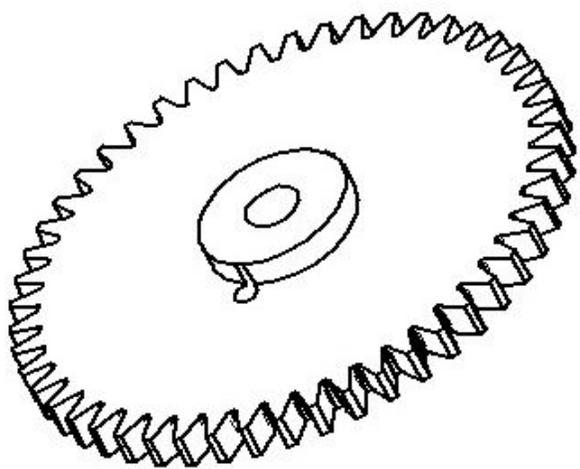
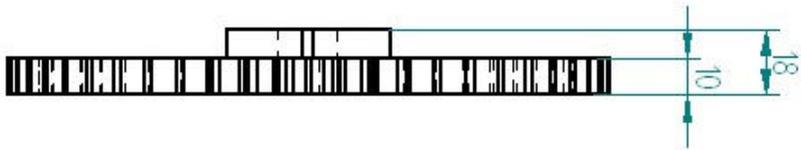


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Laminas 10/12
Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguuel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 2 - 1
Materia: Aluminio 6061	Tolerancia: ± 0.1	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Trabajo de la Laminas - Soporte de la Rueda Dentada		





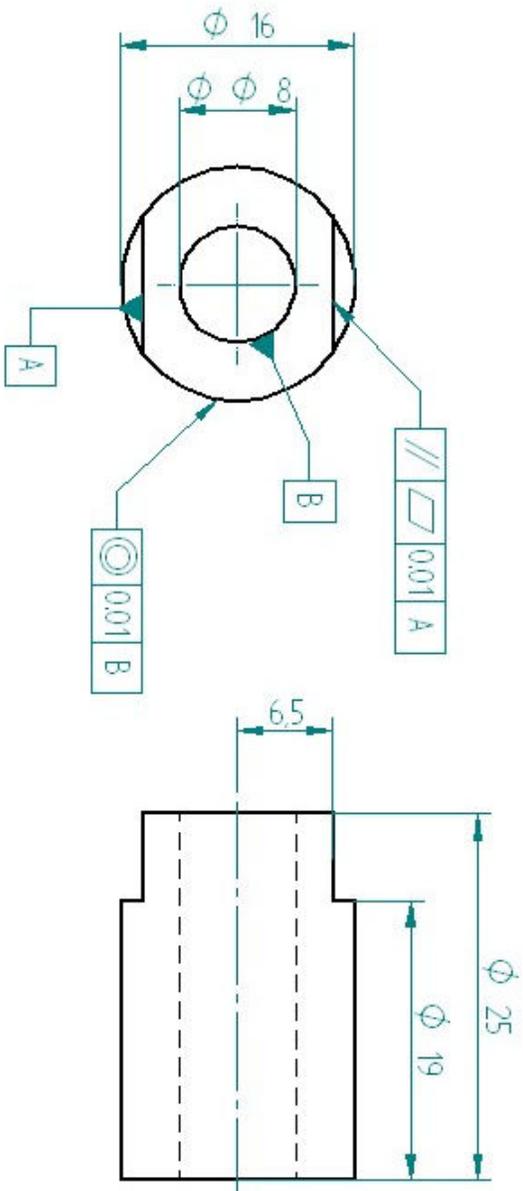
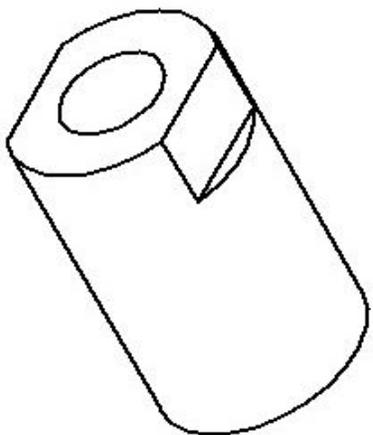
Fresado  
 En todas las superficies excepto  
 en donde se indique



Características del Engaraje
Paso Diametral: 8 (DIN)
Número de Dientes: 50
Módulo: 3/175 (mm)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Lomita 17/12
Nombre: Dr. Estephan Izamanzuri Miguuel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:2
Materia: Mecánica	Tolerancia: $\pm 0.1$	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de su Laminilla: Diagrama del Sistema de Arranque		





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Lamina 27/2
Nombre: Dr. Esteban Izamanzuri Miguel	Fecha: 16-06-2009	Escala: 1:2
Materia: Acero 1080	Tolerancia: $\pm 0.1$	Unidades: mm
Proyecto: Modificaciones a un Motor de Competencia Shell Ecomarathon		
Título de la Lámina: Alveador del Engarce		



# BIBLIOGRAFÍA

1. Albert Martí Parera, **Encendido Electrónico**, editorial Alfaomega 1992
2. Charles F. Reinholtz y Hamilton H. Mabie, **Mecanismos y Dinámica de Maquinaria**, editorial Limusa Wiley, 2ª ed.
3. Damazo N. Jiménez, Francisco J. Solorio. **Campo de Flujo No Estacionario en un Modelo del Múltiple de Admisión de un Motor de Combustión Interna**, Artículo publicado por el Instituto Tecnológico de Apizaco y Departamento de Termoenergía de la facultad de ingeniería UNAM.
4. Delfi, **Catálogo de Fuel Injection y Control de Motor**, Delfi 2008.
5. Frank M. White, **Mecánica de Fluidos**, editorial Mc Graw Hill, 5ª ed. 2004.
6. Ing. Juan Monroy López, **Sistemas de Inyección Electrónica de Gasolina**, editorial Aconcagua ediciones y publicaciones.
7. José Font Mezquita, **Tratado Sobre Automóviles**, Alfaomega, tomo 1 y 2.
8. Miguel Ángel Pérez Bello, **Tecnología de los Motores**, CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000-2003.
9. Miguel de castro Vicente, **Electricidad del Automóvil II, Encendido y Accesorios**, Ediciones CEAC 3a ed. 1991.
10. Morán y Shapiro, **Fundamentos de Termodinámica Técnica**, Editorial Reverte, tomo 1 y 2.
11. Pat L. Mangonon, **Ciencia De Materiales, Selección Y Diseño**, editorial Prentice Hall, 1ª ed. 2001.
12. Robert L. Norton, **Diseño de máquinas**, editorial Prentice Hall, 1ª ed. 1999.
13. Robert Bosch, **Gasoline-Engine Management**, 3ª ed. 2006.
14. Shigley, **Diseño En Ingeniería Mecánica**, Mc Graw Hill, 6ª ed. 2003.
15. **Mecánica Automotriz Plus**, Editorial Cultural SA ed. 2004.
16. SAE, **Internal Combustion Engine Handbook**, SAE international 2002.
17. Yamagata Hiroshi, **The Science and Technology of Materials in Automotive Engines**, editorial Woodhead Publishing Limited, England 2005.

# REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Portal de SHELL global, [WWW.SHELL.COM/TECHNOLOGY](http://WWW.SHELL.COM/TECHNOLOGY) , Consulta 25-03-2008,2009.
2. Portal de Honda Engines, <http://www.honda-engines.com/engines/gxh50.htm>, Consulta 28-03-2008
3. HONDA General Purpose Engine GXH50, ***The smallest, lightest 4-stroke engine in the world.*** <http://www.scanhi.com.au/uploads/specifications/Honda/GXH50-GXV50.pdf>, Consulta 30-03-2008.
4. HONDA GXH50 dimensions, ***HONDA GXH50 4-strokeengine,*** [http://farmex.now.tc/dimensions/honda/GXH50\\_dimensions.pdf](http://farmex.now.tc/dimensions/honda/GXH50_dimensions.pdf), Consulta 30-03-2008.
5. Planeta Senda, [http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor\\_explosion.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor_explosion.htm), Consulta 30-03-2008.
6. **University of California Berkeley, *CaISMV The Super Mileage Vehicle Team Final Report 2007***, <http://smv.berkeley.edu/>, Consulta 07-06-2008
7. Auto Técnica, ***El Consumo De Combustible, El Factor Aerodinámico y Otras Yerbas,*** <http://www.autotecnicatv.com.ar/ParaPublicar/El%20consumo%20y%20otras%20yerbas/El%20consumo%20y%20otras%20yerbas.html>, Consulta 20-06-2008.
8. Coches de Lujo. Net, Información Sobre Marcas y Coches de Lujo, ***Más Consumo y Factores Que Influyen,*** <http://cocheslujo.net/informacion-general/mas-consumo-factores-que-influyen>, Consulta 28-06-2008.
9. Portal Bosch, ***Injector Prototype Pour EV6 Court,*** [http://www.eshopsem.com/images/Injecteur\\_Bosch.pdf](http://www.eshopsem.com/images/Injecteur_Bosch.pdf), Consulta 05-08-2008.
10. Portal NGK, ***Bujias NGK,*** <http://www.ngk.es/Home.1004.0.html>, Consulta 20-08-2008.
11. Motorcityreman.com, Performance Starters & Alternators, ***Customers Service,*** <http://www.motorcityreman.com/lawn-and-garden-units-briggs---stratton.html>, Consulta 28-10-2008.
12. Nation Starter & Alternator, <http://nations-starter.com/695550-new-briggs-s.html>, Consulta 28-10-2008..
13. Portal de MIDSA Mar Industrial Distribuidora S.A. de C.V., ***Alta Tecnología En Materiales Plásticos,*** [http://www.midsa.com.mx/prod\\_ nylon.php](http://www.midsa.com.mx/prod_ nylon.php), Consulta 15-11-2008.

14. Portal La Paloma Compañía de Metales S.A de C.V., ***Propiedades del Aluminio***, [http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma\\_metales/propiedades/c\\_aluminio.htm](http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/propiedades/c_aluminio.htm), Consulta 15-11-2008.
15. QUADRANT Engineering Plastic Products, ***Principales Propiedades Del Naylamid SL***, <http://www.naylamid.com.mx/pdf/NylamidSL.pdf>, Consulta 15-11-2008.
16. QUADRANT, ***Guía Técnica Del Naylamid***, [http://www.nylamid.com.mx/pdf/guia\\_tecnica\\_nylamid.pdf](http://www.nylamid.com.mx/pdf/guia_tecnica_nylamid.pdf), Consulta 15-11-2008.
17. Portal de LUTZ Blades, ***Tabla De Conversión Para Dureza Brinell, Resistencia A La Tracción, Dureza Rockwell, Dureza Vickers Y Dureza Shore***, <http://www.lutz-blades.com/index.php?id=47&L=3>, Consulta 15-11-2008.
18. ***Calculo de Turbocompresores***  
[http://streetfighters.com.ar/home/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=17](http://streetfighters.com.ar/home/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=17), Consulta 20-11-2009
19. Predict, ***Eficiencia Volumétrica***,  
[http://www.predic.com/mediawiki/index.php/Eficiencia\\_volum%C3%A9trica](http://www.predic.com/mediawiki/index.php/Eficiencia_volum%C3%A9trica),  
Consulta 20-11-2009
20. Deposito de documentos de la FAO, ***Calculo de potencia disponible de un motor con gas de madera***, <http://www.fao.org/docrep/T0512S/t0512s09.htm>, Consulta 20-11-2009