

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **EXTENSIÓN LATACUNGA**



### **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL  
TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN EL TUBO DE ESCAPE  
DEL VEHÍCULO CORSA WIND DEL LABORATORIO  
DIESEL - GASOLINA, CON EL FIN DE ELEVAR LOS  
PARÁMETROS DE POTENCIA Y EFICIENCIA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**FONSECA PAREDES FRANKLIN PATRICIO**

**SANTO GUANOLUISA MARCO PATRICIO**

**Latacunga, Junio 2011**

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores, Fonseca Paredes Franklin Patricio y Santo Guanoluisa Marco Patricio bajo nuestra supervisión.

.....

Ing. Luís Mena

DIRECTOR DEL PROYECTO

.....

Dr. Marcelo Román

CODIRECTOR DEL PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Fonseca Paredes Franklin Patricio

Santo Guanoluisa Marco Patricio

### **DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN EL TUBO DE ESCAPE DEL VEHÍCULO CORSA WIND DEL LABORATORIO DIESEL - GASOLINA, CON EL FIN DE ELEVAR LOS PARÁMETROS DE POTENCIA Y EFICIENCIA”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Junio del 2011

**Fonseca Paredes Franklin Fonseca**

C.I. 1803887858

**Santo Guanoluisa Marco Patricio**

C.I.0502919921

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Fonseca Paredes Franklin Patricio

Santo Guanoluisa Marco Patricio

**DECLARAMOS QUE:**

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la Biblioteca Virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN EL TUBO DE ESCAPE DEL VEHÍCULO CORSA WIND DEL LABORATORIO DIESEL - GASOLINA, CON EL FIN DE ELEVAR LOS PARÁMETROS DE POTENCIA Y EFICIENCIA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Junio del 2011

**Fonseca Paredes Franklin Fonseca**

C.I. 1803887858

**Santo Guanoluisa Marco Patricio**

C.I. 0502919921

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**CERTIFICADO**

Ing. Luís Mena (DIRECTOR)

Dr. Marcelo Román (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN EL TUBO DE ESCAPE DEL VEHÍCULO CORSA WIND DEL LABORATORIO DIESEL - GASOLINA, CON EL FIN DE ELEVAR LOS PARÁMETROS DE POTENCIA Y EFICIENCIA**” realizado por los señores Fonseca Paredes Franklin Patricio y Santo Guanoluisa Marco Patricio, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la publicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de **UN** empastado y **UN** disco compacto el cual contiene los archivos en forma portátil. Autorizan a los señores, Fonseca Paredes Franklin Patricio y Santo Guanoluisa Marco Patricio que lo entreguen al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Junio del 2011

.....

Ing. Luís Mena

DIRECTOR

.....

Dr. Marcelo Román

CODIRECTOR

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios,  
a mis padres Patricio y Mariana, a mi hermana Tatiana,  
a mis sobrinos Toñito y Daniela, que gracias  
a su constante apoyo económico y moral han  
logrado hacer de mí una persona de  
éxitos estudiantiles y personales...

Franklin

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar un profundo agradecimiento a todo el personal  
que forma parte de Politécnica, y de manera especial  
a todos mis maestros que desde el inicio compartieron  
conmigo sus conocimientos e hicieron que me forme como  
una persona de bien...

Franklin

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico a ti Dios porque me has regalado la vida y una maravillosa familia, por cuidarme y darme fortaleza para continuar en cada uno de mis pasos.

Principalmente a mis padres quienes me han brindado su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, a ustedes con quienes he compartido mis tristezas y alegrías, gracias por creer en mí, por regalarme esta carrera, por estar a mi lado, los quiero mucho y siempre los llevare en mi corazón.

A mis hermanos, mis cuñados y mis sobrinos gracias por estar a mi lado y brindarme su comprensión y apoyo en todo momento.

Con mucho cariño y amor a Eli gracias por estar conmigo brindándome tu compañía y comprensión, por ayudarme a continuar mi camino, y recuerda que siempre te llevare en mi corazón.

Marco

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Aníbal Santo, mi MADRE Beatriz Guanoluisa; a mis hermanos, a mis cuñados y sobrinos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

También un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Por último a mi compañero de tesis porque en armonía lo hemos logrado, a mi director y codirector de tesis quiénes nos ayudaron en todo momento.

Marco

## RESUMEN

El motor de combustión interna convierte parte de la energía del combustible en potencia útil, y esta potencia es la que mueve al vehículo.

Para los fabricantes al momento de diseñar y construir un motor se les presenta por lo general dos opciones: Pueden preparar el motor para producir la potencia máxima sin tener en cuenta el gasto de combustible, y esto se hace casi siempre en los motores destinados solamente a la competición o al construir un motor con alto rendimiento. Otros motores se proyectan para obtener la máxima economía de combustible.

Pero hoy en día gracias a la alta tecnología desarrollada en el campo automotriz se ha logrado conjugar estas dos ideas produciendo motores que desarrollen su máxima potencia y la economía máxima de combustible que se puede conseguir pero sin dejar de lado los altos estándares de conservación ambiental que se manejan en todo el mundo.

Aún así no se ha conseguido que los motores se conviertan ciento por ciento en eficientes y que desarrollen al ciento por ciento su potencia, es por eso que nuestro estudio se enfoca en la elevación de este factor importantísimo, la potencia del motor de combustión interna, mediante la adaptación del Tornillo de Arquímedes en el tubo de escape donde eleva su valor aproximadamente en un rango del 2% al 5% pues no necesita de un medio externo de movimiento porque según estudios realizados se cree que utiliza la inercia producida por los mismo gases de escape para que este mecanismo comience su funcionamiento.

El Tornillo de Arquímedes es un dispositivo inventado por el notable matemático e inventor griego Arquímedes en el siglo III A.C., que consiste en un tornillo sin fin dentro de un cuerpo cerrado y abierto en sus extremos, es decir, se trata de un tubo enrollado en espiral alrededor de un eje. Y que se utilizaba como una bomba para extraer agua de los ríos sumergiendo uno de sus extremos debajo del nivel del agua y el otro extremo se situaba en un nivel más alto.

Con el estudio y la consecución del presente proyecto se puede conjugar los dos principales campos de nuestra formación académica, el Mecánico y el Automotriz, donde se puso en práctica todos los conocimientos que adquirimos durante nuestra preparación en la Politécnica, al mismo tiempo medimos nuestra capacidad crítica e investigativa durante todo el desarrollo de este ya que al tratarse de un tema totalmente nuevo aprovechamos al máximo los recursos que dispone la universidad como son laboratorios, fuentes bibliográficas y lo más importante el personal docente.

## **PRESENTACIÓN**

La Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga al ser una institución líder en la formación de profesionales creativos, humanistas con alto pensamiento crítico, tiene la necesidad de que sus estudiantes realicen verdaderos proyectos de investigación donde saquen el mayor provecho posible de sus laboratorios y de los conocimientos de su personal docente calificado.

El departamento de Ciencias de La Energía y Mecánica, y de manera concreta la Carrera de Ingeniería Automotriz ha venido desarrollando planes de investigación nuevos y que sean de gran utilidad a la colectividad, es por eso que el presente proyecto va orientado a dar solución a un gran problema que tienen las máquinas que es la cantidad de potencia que pueden alcanzar, y los motores de combustión interna no son ajenos a esta realidad, por lo que hemos buscado nuevos mecanismos que sean capaces de incrementar la potencia de un automóvil sin que éste sufra modificaciones de su estado original de construcción y al mismo tiempo su eficiencia aumentaría con una notable ayuda al medio ambiente, siendo este último el punto de partida para cualquier proyecto de investigación en lo referente a utilización de mecanismo automotores en base a energías no renovables.

El Ecuador debe convertirse en un país capaz de crear su propia tecnología y no conformarse en ser un mero comprador e imitador de invenciones extranjeras pues tenemos la suficiente capacidad para encontrar la solución a los problemas que comúnmente se presentan en el campo de la Mecánica, ya que nosotros al ser estudiantes formados en el campo científico estamos intelectualmente preparados para ser entes competitivos en el campo laboral e investigativo, no solo en el área local sino también fuera de nuestras fronteras.

Los Autores

## ÍNDICE GENERAL

Portada .....	i
Certificación .....	ii
Declaración de Responsabilidad .....	iii
Autorización .....	iv
Certificado .....	v
Dedicatoria 01 .....	vi
Dedicatoria 02 .....	vii
Agradecimiento 01 .....	viii
Agradecimiento 02 .....	ix
Resumen .....	x
Presentación .....	xii
Índice General .....	xiii
Índice de Figuras .....	xvii
Índice de Cuadros .....	xix
Índice de Fotografías .....	xix

### **CAPÍTULO I: Marco Teórico**

1.1 GASES DE ESCAPE EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA..	1
1.1.1 Productos de la Combustión.....	2
1.1.1.1 Material Particulado (MP) .....	2
1.1.1.2 Monóxido de Carbono (CO).....	2
1.1.1.3 Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ).....	3
1.1.1.4 Aldehídos.....	3
1.1.1.4 Hidrocarburos (HC).....	3
1.1.2 Purificación de los Gases de Escape .....	4
1.1.2.1 Reactores Térmicos.....	4
1.1.2.2 Sistemas Catalíticos .....	5
1.1.3 Regulación Lambda .....	6

1.1.4	Valores Límites de los Gases de Escape .....	7
1.1.5	Aparatos de Medición de los Gases de Escape .....	7
1.1.5.1	Medidores de Presión .....	7
1.1.5.2	Analizador de Gases .....	7
1.1.5.4	Medidores de Concentración de HC .....	8
1.1.5.3	Medidores de Concentración de CO y CO <sub>2</sub> .....	9
1.1.5.5	Medidores de Concentración de NOx .....	10
1.2	CÁLCULOS DE POTENCIA .....	10
1.2.1	Potencia Efectiva .....	10
1.2.2	Potencia Indicada .....	11
1.2.3	Potencia Útil .....	11
1.3	FORMAS PARA EL AUMENTO DE POTENCIA .....	11
1.3.1	Por el Aumento de la Cilindrada .....	12
1.3.2	Por el Aumento de la Presión Media Efectiva .....	13
1.3.3	Por el Aumento del Régimen de Giro .....	14
1.4	LA CONTRAPRESIÓN EN EL SISTEMA DE ESCAPE .....	15
1.4.1	Diseños que Provocan la Contrapresión en el Escape .....	15
1.4.2	Influencia de la Contrapresión en la Recirculación de los Gases .....	17
1.4.3	Influencia de la Contrapresión en la Temperatura de los Componentes ..	18
1.5	COLECTORES Y TUBOS DE ESCAPE .....	19
1.5.1	Descripción de los Colectores de Escape .....	19
1.5.2	Tipos de colectores de escape .....	19
1.5.2.1	Múltiples de una Sola Pieza .....	19
1.5.2.2	Múltiples de Varias Piezas .....	20
1.5.3	Descripción de los Tubos de Escape .....	20
1.5.3.1	Tipos de Tubos de Escape .....	21
1.5.3.1.1	Tubos de Escape Regulares .....	21
1.5.3.1.2	Tubos de Escape Flexibles .....	21
1.6	SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES .....	21
1.6.1	Sistema de Recirculación de Gases de Escape (EGR).....	22
1.7	TORNILLO DE ARQUÍMEDES .....	24

1.7.1 Descripción y Funcionamiento del Tornillo de Arquímedes .....	24
1.7.2 Aplicaciones .....	25
1.7.3 Descripción Matemática del Tornillo de Arquímedes .....	28
1.8 SOLIDWORKS FLOW SIMULATION .....	31
1.8.1 Generalidades .....	31
1.8.2 Aplicaciones del SolidWorks ® Flow Simulation .....	31
1.8.3 Flujo de Capacidades Adicionales de Simulación .....	32

## **CAPÍTULO II: Diseño**

2.1 DISEÑO DE TUBOS DE ESCAPE .....	33
2.1.1 Determinación de las Propiedades de los Gases de Escape .....	33
2.1.2 Determinación del Flujo Másico de los Gases de Escape .....	33
2.1.3 Determinación de Presiones y Temperaturas de Gases de Escape .....	34
2.1.4 Determinación del Tipo de Flujo .....	35
2.1.5 Condiciones para el Diseño de los Tubos de Escape .....	35
2.1.6 Ficha Técnica del Automóvil Chevrolet Corsa Wind .....	36
2.1.7 Volumen Unitario del Cilindro .....	36
2.1.8 Parámetros Finales para el Diseño .....	37
2.1.9 Croquizado del Sistema de Escape.....	37
2.1.10 Modelado del Sistema de Escape .....	40
2.1.10.1 Modelado Antes del Ensamble del Tornillo de Arquímedes .....	41
2.1.10.1.1 Velocidad de los Gases de Escape .....	42
2.1.10.1.2 Presión de los Gases de Escape .....	43
2.1.10.1.3 Temperatura de los Gases de Escape .....	45
2.2 DISEÑO DEL TORNILLO DE ARQUÍMEDES .....	46
2.2.1 Selección del Material .....	46
2.2.2 Determinación del Paso .....	46
2.2.3 Croquizado del Tornillo de Arquímedes .....	48
2.2.4 Modelado del Tornillo de Arquímedes .....	51
2.2.4.1 Modelado del Tornillo con Diámetro de Entrada Menor .....	51
2.2.4.1.1 Velocidad de los Gases en el Tornillo de Sección Menor .....	51

2.2.4.1.2 Temperatura de los Gases en el Tornillo de Sección Menor	53
2.2.4.1.3 Presión de Gases en Tornillo de Sección Menor	54
2.2.4.2 Modelado del Tornillo con Sección de Entrada Mayor	55
2.2.4.2.1 Velocidad de los Gases en el Tornillo de Sección Mayor	56
2.2.4.2.2 Presión de los Gases en el Tornillo de Sección Mayor	57
2.2.4.3 Modelado del Tornillo con Sección de Entrada Igual	58
2.2.4.3.1 Velocidad de los Gases en el Tornillo de Sección Igual	59
2.2.4.3.2 Presión de los Gases en el Tornillo de Sección Igual	60

### **CAPÍTULO III: Construcción**

3.1 Construcción del Tubo de Escape	62
3.2 Construcción del Tornillo de Arquímedes	65

### **CAPÍTULO IV: Análisis de Resultados**

4.1 Determinación de Torque y Potencia del Motor montado en el Tornillo de Arquímedes	71
4.2 Curva de RPM vs Potencia del Motor montado el Tornillo de Arquímedes	72
4.3 Curva de RPM vs Torque del Motor montado el Tornillo de Arquímedes	73
4.4 Curva de la Cantidad de Gases Expulsados por el Motor	74
4.5 Determinación de Torque y Potencia del Motor del Automóvil Corsa Wind en Condiciones Iniciales	75
4.6 Curva de RPM vs Potencia del Motor en Condiciones Iniciales	77
4.7 Curva de RPM vs Torque del Motor en Condiciones Iniciales	78
4.8 Comparación de las Curvas Potencia vs RPM	78
4.9 Comparación de las Curvas Torque vs RPM	79

### **CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones**

5.1 Conclusiones	81
5.2 Recomendaciones	82
5.3 Bibliografía	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Consumo de Combustible y Emisión de Gases .....	1
Figura 02. Sistema de purificación catalítica cerrada y tres vías .....	4
Figura 03. Temperatura del Escape para Motores Otto .....	6
Figura 04. Sonda lambda en el tubo de escape .....	6
Figura 05. Medida de presión en el escape .....	7
Figura 06. Analizador de gases electrónico .....	8
Figura 07. Analizador FID .....	8
Figura 08. Analizador NDIR .....	9
Figura 09. Analizador CLD .....	10
Figura 10. Sistema de recirculación de gases (EGR).....	17
Figura 11. Vista sección de componentes del motor que elevan su temperatura ..	18
Figura 12. Colector de escape .....	19
Figura 13. Tubo de escape de acero inoxidable .....	20
Figura 14. Ubicación de los componentes del sistema de control de emisiones ...	21
Figura 15. Motor sin EGR.....	22
Figura 16. Motor con EGR .....	23
Figura 17. Variaciones en la presión del escape .....	23
Figura 18. Tornillo de doble entrada .....	25
Figura 19. Tornillo transportador .....	25
Figura 20. Elevador de agua .....	26
Figura 21. Bomba industrial de tornillo .....	27
Figura 22. Tornillo de Arquímedes con Ecuaciones Paramétricas .....	30
Figura 23. Dibujo del Tubo de Escape .....	37
Figura 24. Forma Interna del Tubo de Escape .....	38
Figura 25. Dibujo del Catalizador .....	39
Figura 26. Dibujo del Silenciador .....	39
Figura 27. Ensamble Final del Tubo de Escape .....	40
Figura 28. Caída de Presión en el Catalizador .....	41
Figura 29. Velocidad de los Gases de Escape .....	42

Figura 30. Curva de la Velocidad de los Gases de Escape .....	43
Figura 31 Presión de los Gases de Escape .....	44
Figura 32. Curva de la Presión de los Gases de Escape .....	44
Figura 33. Temperatura de los Gases de Escape.....	45
Figura 34. Curva de la Temperatura de los Gases de Escape .....	46
Figura 35. Eje del Tornillo de Arquímedes .....	48
Figura 36. Aleta del Tornillo de Arquímedes .....	49
Figura 37. Tubo de Envoltura del Tornillo de Arquímedes .....	49
Figura 38. Tubo de Entrada de los Gases .....	50
Figura 39. Ensamble Final del Tornillo de Arquímedes .....	50
Figura 40. Tornillo de Arquímedes con Entrada Menor Sección .....	51
Figura 41. Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Menor .....	52
Figura 42. Curva de la Velocidad de los Gases en Tornillo con Sección Menor ..	52
Figura 43. Temperatura de los Gases en el Tornillo con Sección Menor .....	53
Figura 44. Curva de Temperatura de los Gases en Tornillo con Sección Menor ..	53
Figura 45. Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Menor .....	54
Figura 46. Curva de la Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Menor ..	55
Figura 47. Tornillo de Arquímedes con Entrada Mayor Secci .....	55
Figura 48. Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor .....	56
Figura 49. Curva de la Velocidad de los Gases en Tornillo con Sección Mayor ..	57
Figura 50. Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor .....	57
Figura 51. Curva de la Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor ..	58
Figura 52. Tornillo de Arquímedes con Entrada de Igual Sección.....	58
Figura 53. Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Igual .....	59
Figura 54. Curva de la Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Igual ..	60
Figura 55. Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Igual .....	60
Figura 56. Curva de la Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Igual ....	61
Figura 57. Curva de Potencia vs RPM montado el Tornillo de Arquímedes .....	73
Figura 58. Curva de Torque vs RPM montado el Tornillo de Arquímedes .....	74
Figura 59. Cuadro de Cantidades de Gases de Escape .....	75
Figura 60. Curva de Potencia vs RPM en Condiciones Iniciales .....	77

Figura 61. Curva de Torque vs RPM en Condiciones Iniciales .....	78
Figura 62. Curva Comparativa de Potencia en el Motor.....	79
Figura 63. Curva Comparativa de Torque.....	80

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Límite de Valores de Gases de Escape .....	7
Cuadro 02. Tabla de Densidades .....	33
Cuadro 03. Datos experimentales de Presión, Temperatura a diferentes RPM ...	34
Cuadro 04. Especificaciones técnicas del Corsa Wind .....	36
Cuadro 05. Parámetros finales de diseño del tubo de escape .....	37
Cuadro 06. Parámetros Iniciales para Modelación .....	41
Cuadro 07. Tabla de Torque y Potencia del Motor montado Tornillo de Arquímedes ..	72
Cuadro 08. Tabla de Cantidad de Gases Residuales .....	74
Cuadro 09. Tabla de Torque y Potencia del Motor en Condiciones Iniciales .....	77

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 01. Cambio de sección del tubo de escape .....	16
Fotografía 02. Cambios de dirección del tubo de escape .....	16
Fotografía 03. Cambios de sección del tubo de escape .....	16
Fotografía 04. Defectos de soldadura del tubo de escape .....	17
Fotografía 05. Disposición de los componentes del sistema de escape .....	62
Fotografía 06. Conexión entre escape-múltiple .....	62
Fotografía 07. Brida para la conexión del tubo de escape con el múltiple .....	63
Fotografía 08. Catalizador de gases .....	63
Fotografía 09. Tubo de escape (vista longitudinal) .....	63
Fotografía 10. Determinación de las partes curvas del tubo .....	63
Fotografía 11. Medición y determinación del silenciador .....	64
Fotografía 12. Diámetro del tubo de escape .....	64

Fotografía 13. Doblado del tubo de escape .....	64
Fotografía 14. Doblado de partes curvas del tubo de escape .....	64
Fotografía 15. Ensamble final del tubo de escape .....	65
Fotografía 16. Ejes y placas utilizados en construcción del tornillo .....	65
Fotografía 17. Construcción del molde para la aleta .....	66
Fotografía 18. Molde de circunferencias base .....	66
Fotografía 19. Doblado de las aletas .....	66
Fotografía 20. Unión de partes individuales de la aleta .....	67
Fotografía 21. Elaboración de la segunda hélice .....	67
Fotografía 22. Unión de la hélice al eje del tornillo .....	68
Fotografía 23. Encaje de las aletas en el tubo exterior.....	68
Fotografía 24. Trazo del tubo de sección cuadrado-circular.....	69
Fotografía 25. Construcción del tubo de sección cuadrado-circular.....	69
Fotografía 26. Tubo de Arquímedes ensamblado .....	70

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 GASES DE ESCAPE EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

La combustión es una reacción termodinámica entre el oxígeno del aire y el combustible produciendo teóricamente un desprendimiento de energía en forma de calor más  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Para que esta reacción ocurra el combustible debe estar en estado gaseoso pudiendo ser mezclado en forma homogénea con el oxígeno. La combustión real difiere de la teórica ya que además de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  se producen sustancias contaminantes que son emitidas al medio ambiente en forma de emisiones.

Las temperaturas de los gases de escape (Figura 01) varían con la velocidad y la carga. Cargas y velocidades altas conducen a temperaturas más elevadas. Los primeros gases que escapan durante la liberación se encuentran a las temperaturas más elevadas.<sup>1</sup>

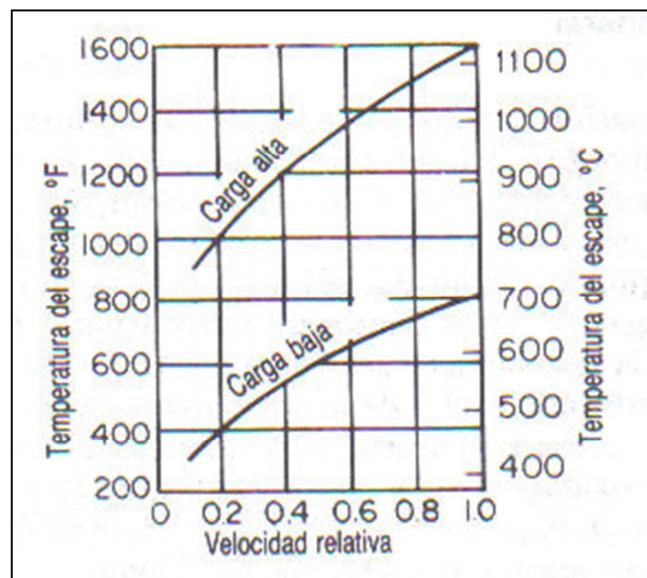


Fig. 01 Temperatura del escape para motores Otto

<sup>1</sup> Marks, MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, Editorial McGraw-Hill, 2003

### 1.1.1 Productos de la Combustión

La comparación de los gases de escape varía dependiendo de la relación de equivalencia y de la relación hidrógeno-carbono del combustible.

#### 1.1.1.1 Material Particulado (MP)

Las emisiones de partículas sólidas de los motores de gasolina constan principalmente de carbono, metales, óxidos metálicos y haluros metálicos. Los metales como el plomo, fósforo, zinc y bario, provienen de los aditivos del combustible y del lubricante, así como del desgaste del motor y de la formación de herrumbre de éste.

$$\text{Hollín} \frac{[mg]}{m^3} = \frac{1}{0.405} * 4.95 * \text{hollín}[FSN] * \exp(0.38 * \text{hollín}[FSN]) \quad (\text{Ec.01})$$

#### 1.1.1.2 Monóxido de Carbono (CO)

La fuente principal de CO en el escape es la combustión de mezcla rica. La mala distribución de ciclo a ciclo y de cilindro a cilindro aumenta el CO. Puede tenerse CO adicional por la combustión incompleta de HC en un dispositivo de tratamiento del escape.



$$0.966 = [\text{PESO MOLECULAR CO}(\approx 28) \text{Y GASES DE ESCAPE} (\approx 28.9)] \quad (\text{Ec.03})$$

### 1.1.1.3 Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

El óxido principal de nitrógeno (Ec.05) emitido por los motores es el óxido nítrico (NO), que se forma con relativa lentitud en los gases de la combustión posteriores a la llama. La formación depende principalmente de la temperatura pico de los gases de la combustión y, en menor grado, del contenido de oxígeno.



$$NO_x \left( \frac{g}{h} \right) = 1.587 * NO_x(\text{ppm}) * \dot{m}_{ESC} \left( \frac{g}{h} \right) * K_H \quad (\text{Ec.05})$$

$\dot{m}_{ESC}$  = Flujo másico de gases de escape

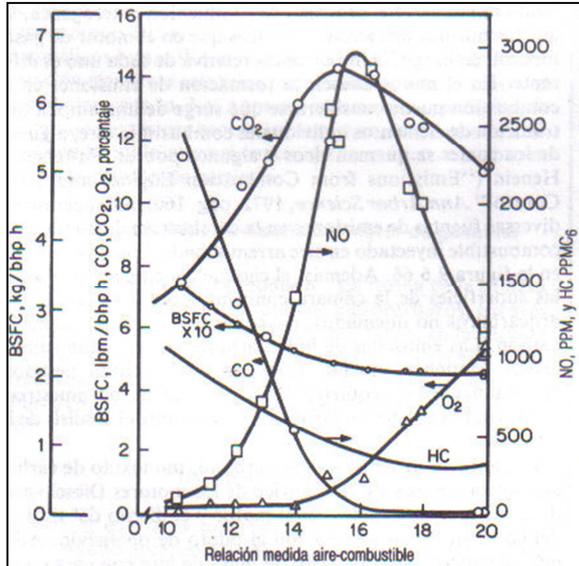
### 1.1.1.4 Aldehídos

Los aldehídos son producto de la oxidación de hidrocarburos por una combustión incompleta. Surgen de los mismos mecanismos de apagamiento en las paredes y de combustión incompleta, como los propios HC no quemados, pero además pueden formarse por reacciones de oxidación en el sistema de escape que está a baja temperatura.

### 1.1.1.5 Hidrocarburos (HC)

Las emisiones de hidrocarburos provienen de cinco fuentes al premezclar la mezcla aire-combustible. Estas fuentes son el apagamiento en el interior de resquicios (fuente principal) y en las inmediaciones de las paredes sencillas, la absorción y la desabsorción de la película de aceite, los depósitos de las paredes, las fugas en las válvulas y las pérdidas en el barrido. Lo común en motores de gasolina son emisiones de 300 a 500 ppm de C<sub>6</sub>.

La Figura 02 indica las cantidades de residuos de gases quemados en función al consumo de combustión.



BSFC = Consumo específico de combustible

PPM = Partículas por millón

HC = Hidrocarburos

CO = Óxido de carbono

NO = Óxido de nitrógeno

O<sub>2</sub> = Oxígeno

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono

Fig. 02 Consumo de Combustible y Emisión de Gases

## 1.1.2 Purificación de los Gases de Escape

Pueden utilizarse dispositivos de tratamientos en el escape, catalíticos o no catalíticos, para limpiar las emisiones restantes de escape.

### 1.1.2.1 Reactores Térmicos

Los reactores térmicos son dispositivos no catalíticos cuyo funcionamiento se apoya en reacciones masivas homogéneas de los gases para oxidar el CO y el HC; por lo general tienen la apariencia de múltiples de escape alargados pero pueden tener deflectores internos; en estos reactores quedan inalterados los NO<sub>x</sub>.

Un sistema eficaz de tratamiento del escape emplea un convertidor en el múltiple como un elemento de primera etapa. En el reactor térmico se inyecta aire en el arranque, con esto se proporciona una extinción rápida. Durante la operación

estacionaria, el reactor térmico actúa como un volumen mezclador antes de que el escape se pase a un catalizador.

### 1.1.2.2 Sistemas Catalíticos

Los sistemas catalíticos pueden reducir los NO<sub>x</sub>, así como oxidar el CO y los HC. Sin embargo, se necesita un medio ambiente reductor para el tratamiento de los NO<sub>x</sub>, lo cual exige una relación de la mezcla para el motor más rica que la químicamente correcta.

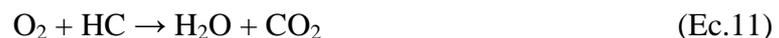
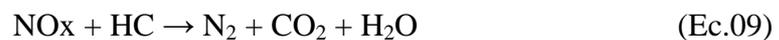
Pueden emplearse un convertidor de dos lechos, en el que se inyecta aire en la segunda etapa para oxidar el CO (Ec.06) y los HC (Ec.07).

Químicamente:



Se han desarrollado catalizadores de tres componentes y una sola etapa (Figura 03), pero para ser eficaces, requieren una carburación precisa en extremo. En estos sistemas se emplea un sensor de zirconio o de óxido de titanio y un sistema de retroalimentación de combustible para mantener la concentración de la mezcla requerida cerca de la estequiométrica.<sup>2</sup>

Químicamente:



---

<sup>2</sup> Toyota Service Training, SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES, Japón, 1998

Los lechos catalizadores de apoyo pueden ser del tipo granular o de panel (monolito). Los materiales para los catalizadores reductores comprenden el rodio, monel y rutenio.

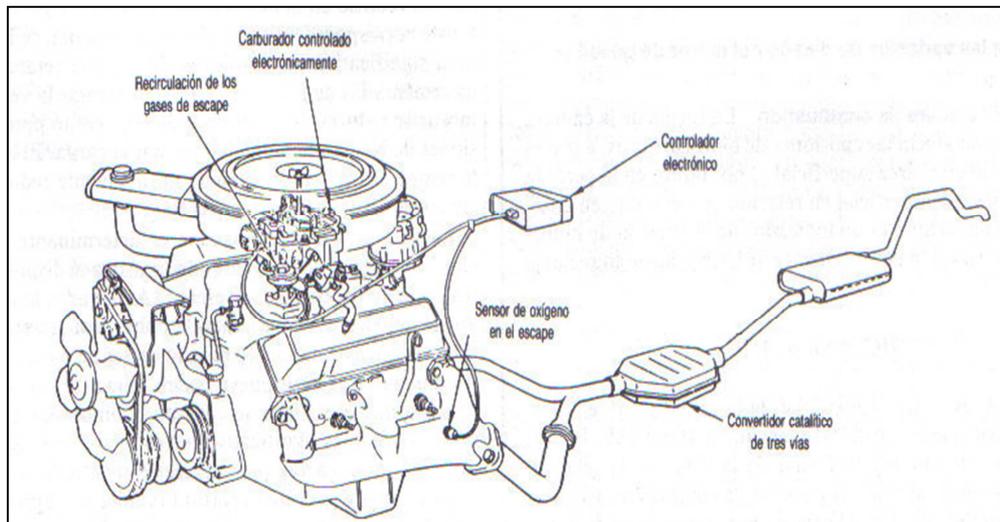


Fig. 03 Sistema de purificación catalítica cerrada y tres vías

### 1.1.3 Regulación Lambda

Todos los motores de inyección y los de carburador con control electrónico pueden estar dotados de regulación lambda (Figura 04). Esta sonda se utiliza, sobretodo, en los países con normas muy restrictivas en materia de contaminación atmosférica. Esta tiene la misión de contribuir a que la composición de la mezcla sea lo más aproximada posible a la relación estequiométrica.

Va instalada en el tubo de escape en un lugar que por su temperatura asegure el buen funcionamiento de la sonda a cualquier régimen, y determina la cantidad de oxígeno sin quemar que contienen los gases. De este dato se deduce la composición de la mezcla en cada momento<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> MANUAL CEAC DEL AUTOMÓVIL, Ediciones CEAC, España 2003

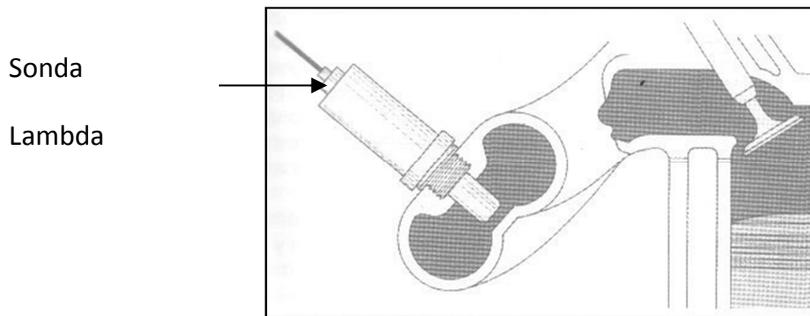


Fig. 04 Sonda lambda en el tubo de escape

### 1.1.4 Valores Límites de los Gases de Escape

GAS	AIRE LIMPIO	AIRE CONTAMINADO
Material Particulado	10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70-700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Óxidos de Azufre	0,001-0,01 ppm	0,02-2 ppm
Monóxido de Carbono	<1 ppm	1-200 ppm
Óxidos de Nitrógeno	0,001-0,01 ppm	0,01-0,5 ppm
Ozono	<0,01 ppm	>0,05 ppm

Cuadro 01: Límite de valores de gases de escape

### 1.1.5 Aparatos de Medición de los Gases de Escape

#### 1.1.5.1 Medidores de Presión

La medición de la presión (Figura 05) en el sistema de escape se realiza con un manómetro conectado en un agujero taladrado en la salida del tubo de escape, luego de la medición el orificio debe ser sellado con suelda.

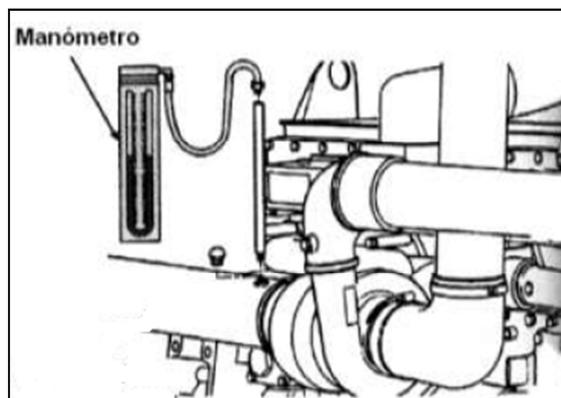


Fig. 05 Medida de presión en el escape

### 1.1.5.2 Analizador de Gases

El analizador de gases de escape (Figura 06) analiza la química de estos gases y nos dice en que proporciones se encuentran los mismos. Todos estos productos se obtienen a partir del aire y del combustible que ingresa al motor, el aire tiene un 80% de nitrógeno y un 20% de oxígeno (aproximadamente).

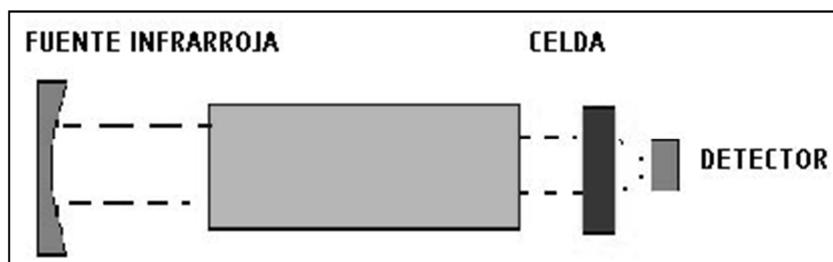


Fig. 06 Analizador de gases electrónico

### 1.1.5.3 Medidores de Concentración de HC

Un FID (detector de ionización de llama), figura 07, se utiliza para esta medición. El principio detrás de esto es que si cantidades pequeñas de hidrocarburos están presentes en una llama de carbón, la alta temperatura de la llama causará que los hidrocarburos se separen, generando iones. Estos iones son generados en proporción a la concentración de hidrocarburos.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Toyota Service Training, SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES, Japón, 1998

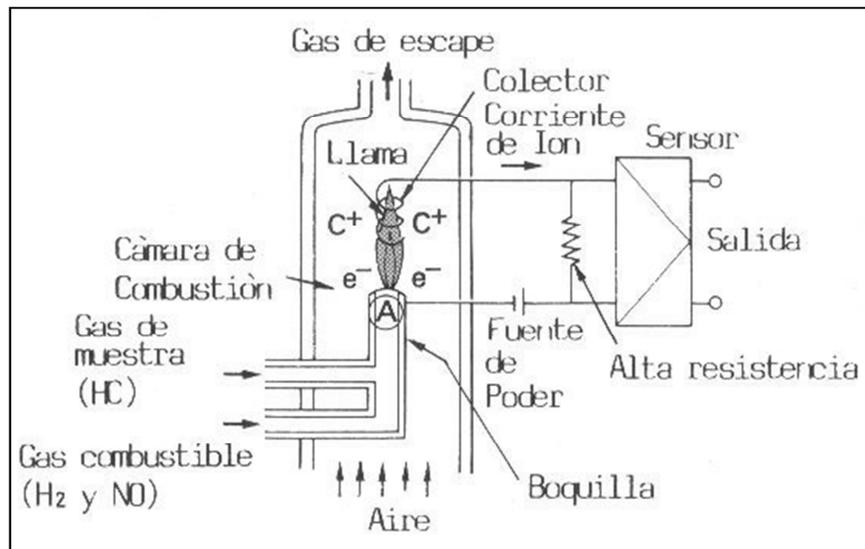


Fig. 07 Analizador FID

#### 1.1.5.4 Medidores de Concentración de CO y CO<sub>2</sub>

La luz NDIR (infrarroja no dispersiva), figura 08, se usa en este método.

El principio utilizado en este método de medición consiste en que la luz infrarroja es mostrada a través de una mezcla de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y otros gases, esta luz de longitudes de onda específica es absorbida por cada gas. El grado de absorción de estas longitudes de onda es proporcional a la concentración de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y otros gases.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Toyota Service Training, SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES, Japón, 1998

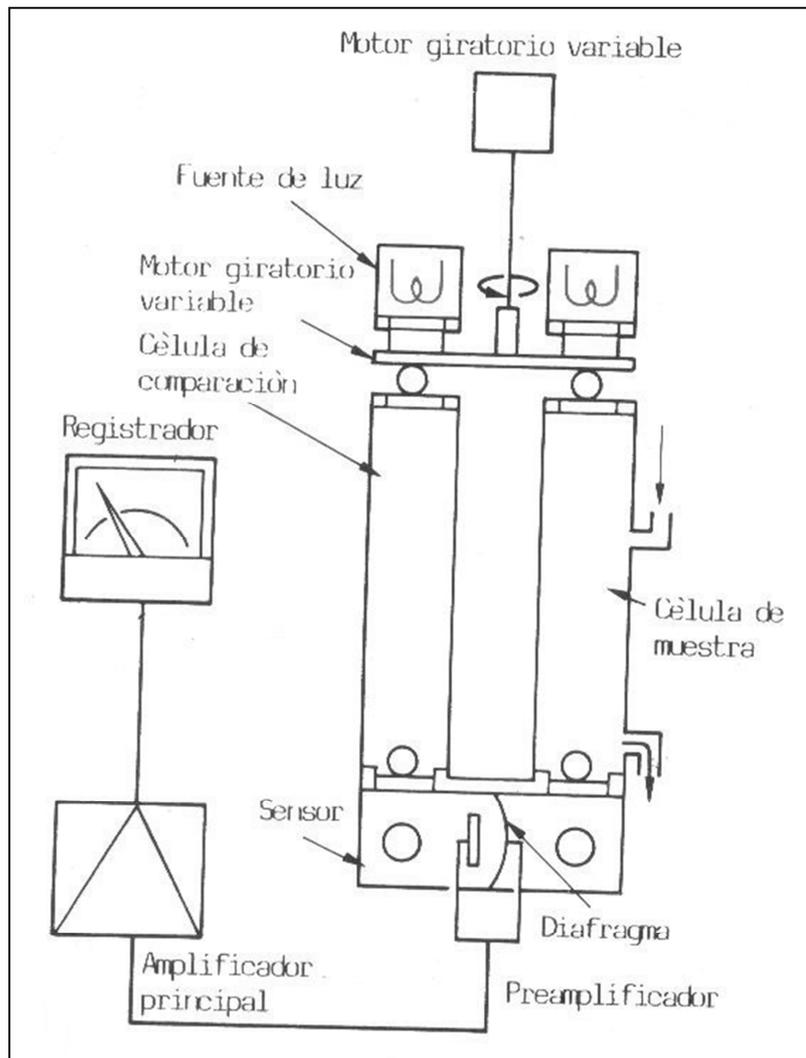


Fig. 08 Analizador NDIR

### 1.1.5.5 Medidores de Concentración de NOx

En esta medición, un NDIR ó CLD (detector químico luminiscente), figura 09, se usa para medir CO y CO<sub>2</sub>. En el CLD, cuando el óxido nítrico (NO) se pone en contacto con O<sub>3</sub> (ozono), se produce una reacción química. También se emite luz de una longitud de onda particular. La cantidad de luz emitida es proporcional a la concentración de NO.

Más aún, a altas temperaturas, el NOx es resuelto a NO, resultando con la misma reacción anterior. La cantidad de luz generada es medida en este momento.

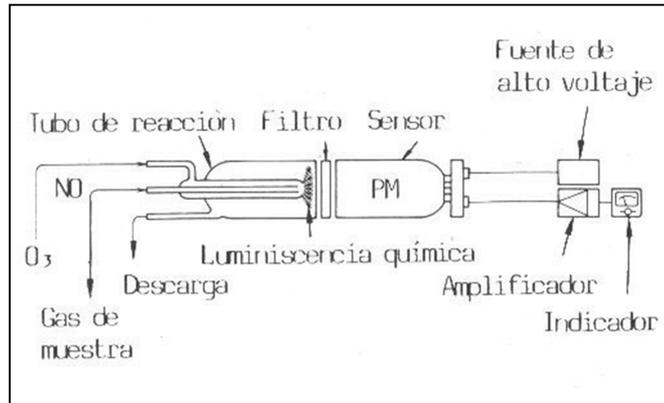


Fig. 09 Analizador CLD

## 1.2. CÁLCULOS DE POTENCIA

### 1.2.1 Potencia Efectiva

Este tipo de potencia (Ec.12) puede obtenerse en el cigüeñal del motor y aprovecharse para accionar cualquier máquina.

$$Ne = \frac{pe \cdot i \cdot Vh \cdot n}{300\tau} [KW] \quad (Ec.12)$$

Donde:

- $p_e$  = Presión media efectiva [bar]
- $i$  = número de cilindros
- $V_h$  = volumen de trabajo de cilindro [lt]
- $n$  = revoluciones del cigüeñal [rpm]
- $\tau$  = número de tiempos de motor [4 tiempos]

### 1.2.2 Potencia Indicada o Potencia Interna

$$Ni = \frac{pi \cdot i \cdot Vh \cdot n}{300\tau} [KW] \quad (Ec.13)$$

Donde:

- $p_i$  = Presión media indicada [bar]
- $i$  = número de cilindros
- $V_h$  = volumen de trabajo de cilindro [lt]

$n$  = revoluciones del cigüeñal [rpm]

$\tau$  = número de tiempos de motor [tiempos]

### **1.2.3 Potencia Útil**

La potencia útil de un motor es la que realmente tiene en un banco de pruebas, pero para poder comparar motores entre sí, hay que saber en qué condiciones se ha medido cada uno. Hay dos sistemas principales de medir la potencia: SAE y DIN. En el SAE (de origen norteamericano) la potencia se mide con el motor libre de accesorios que consuman potencia, esto es: sin alternador, sin ventilador, sin bomba de agua, etc.

En el sistema DIN (de origen alemán) la prueba se realiza con el motor completo.

## **1.3 FORMAS PARA EL AUMENTO DE POTENCIA<sup>6</sup>**

El motor de combustión interna de cuatro tiempos necesita mezclar una cantidad importante de oxígeno con el combustible para permitir que la combustión se realice en el interior de la cámara de combustión.

Para aumentar la potencia es necesario conseguir aumentar el consumo de aire mezclado debidamente con el combustible.

Por todo esto podemos aumentar la potencia solamente llevando a cabo alguna -o todas- de las siguientes posibilidades. En todas ellas existe aumento del consumo de aire.

### **1.3.1 Por el Aumento de la Cilindrada**

Por el aumento de cilindrada (Ec.14) se consigue mayor potencia porque cuanto mayor sea la capacidad volumétrica de un motor, mayor será la cantidad de aire y combustible que llenará las cámaras de combustión, por lo tanto tendremos mayor consumo de aire.

---

<sup>6</sup> Gillieri Stefano, PREPARACIÓN DE MOTORES SERIE PARA COMPETENCIA, CEAC, España, 1994

Para aumentar la cilindrada existen tres caminos:

- Aumentar el diámetro del cilindro (D).
- Aumentar la carrera del pistón (S).
- Aumentar el número de cilindros (cosa improbable)

Con la fórmula:

$$Vh = \frac{\pi}{4} D^2 S [cm^3]$$

$$Vh \propto D \propto S$$

(Ec.14)

Donde:         $Vh =$  Cilindrada [ $cm^3$ ]  
                   $D =$  Diámetro del cilindro [cm]  
                   $S =$  Carrera del pistón [cm]

En cualquiera de los tres casos obtendremos mayor consumo de aire a igualdad de régimen de giro, de modo que en todos ellos podemos esperar el aumento de potencia con respecto al motor del que se parte.

Ahora bien, el aumento de la cilindrada no siempre es aplicable fácilmente en todos los motores, ya que habría que modificar el block del motor y/o el cigüeñal, para lo cual sería necesario analizar cada motor en particular.

### **1.3.2 Por el Aumento de la Presión Media Efectiva**

La presión media efectiva se puede definir como el valor promedio de las presiones que se establecen en el interior de la cámara de combustión mientras ésta se está produciendo.

Dadas las características básicas que determinan el funcionamiento de un motor de combustión, la cantidad de energía calorífica liberada en el momento de la combustión es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura absoluta alcanzada en el momento del encendido de la mezcla.

Si se obtiene una considerable elevación de la presión en el interior de la cámara de combustión, se consigue como resultado un aumento considerable de potencia en el motor.

Generalmente para aumentar la presión media efectiva se utilizan los siguientes procedimientos:

- Aumentar la relación de compresión.
- Aumentar la entrada de la mezcla.
- Mejorar las condiciones de funcionamiento de las válvulas y sus conductos.

Con la fórmula:

$$h = \frac{S}{\varepsilon_o - 1} - \frac{S}{\varepsilon_f - 1} \text{ [cm]} \quad (\text{Ec.15})$$

Donde:         $h$  = altura de la cámara de combustión a disminuir [cm]  
                   $S$  = carrera [cm]  
                   $\varepsilon_o$  = relación de compresión inicial  
                   $\varepsilon_f$  = relación de compresión final

### 1.3.3 Por el Aumento del Régimen de Giro

Para lograr aumentar la potencia del motor también se lo puede someter a un aumento en el régimen superior al que está diseñado.

Esto dará como resultado un mayor consumo de aire, porque si en un minuto es capaz de girar 1000 R.P.M. más rápido de lo estipulado habrá consumido mayor cantidad de la mezcla aire-combustible, y de esta forma habremos obtenido una notable mejora en la potencia con la misma cilindrada.

$$We = R\omega^2(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi) \quad (\text{Ec.16})$$

Donde:  $W_e$  = Aceleración del émbolo [cm/seg<sup>2</sup>]  
 $R$  = Radio de giro [cm]  
 $\omega$  = Velocidad angular ( $2\pi n/60$ ) [rad/seg]  
 $\varphi$  = Ángulo de giro del cigüeñal  
 $\lambda$  =  $R/L$  [radio de giro/longitud de biela]

Para aumentar el régimen de giro el método más usado es de aligerar las masas que están en movimiento en el funcionamiento del motor, desde el volante de éste, cigüeñal, bielas y pistones, hasta la distribución y las válvulas.

Sin embargo esto es muy comprometido, porque consiste en el rebaje y eliminación de todas las partes de material que son más susceptibles de desecharse o despreciarse y que hacen que la pieza pese menos, por lo tanto que esté más sometida a los esfuerzos de inercia, efecto que crece extraordinariamente con el aumento de rotación.

Por lo que en lo posible se tiene que evitar esta forma de incremento de potencia por disminución de masas ya que al limitar esta también estamos limitando la vida útil del motor.

Con la fórmula:

$$V_e = R\omega(\text{sen}\varphi + \frac{\varphi}{2}\text{sen}2\varphi) \quad (\text{Ec.17})$$

Donde:  $V_e$  = Velocidad del émbolo [cm/seg]  
 $R$  = Radio de giro del cigüeñal ( $S/2$ ) [cm]  
 $\omega$  = Velocidad angular ( $2\pi n/60$ ) [rad/seg]  
 $\varphi$  = Ángulo de giro del cigüeñal

Pero también presenta el peligro de debilitar las piezas si no se hace el rebaje de material en los lugares adecuados para lo cual existen piezas construidas en otros

materiales más livianos con mayor resistencia como son las bielas de titanio, pistones forjados más livianos, etc.

#### **1.4 LA CONTRAPRESIÓN EN EL SISTEMA DE ESCAPE**

La diferencia entre la presión media en el tubo de escape y la presión atmosférica es la denominada contrapresión en el sistema de escape. El valor de la contrapresión es una medida de la resistencia del flujo libre de los gases a través de los diferentes componentes del sistema de escape; éste parámetro permite evaluar las restricciones ocasionadas por el silenciador, tuberías demasiado largas, tuberías de diámetro pequeño, cambios de dirección bruscos, etc.

##### **1.4.1 Diseños que Provocan la Contrapresión en el Escape**

En nuestro son muchos los diseños inadecuados del sistema de escape, estos diseños incrementan el valor de contrapresión ocasionando problemas en el funcionamiento del motor, a continuación se indican algunos ejemplos de sistemas con defectos constructivos:

- a) Contrapresión generada por tubería de menor diámetro



Fotografía 01: Cambio de sección del tubo de escape

b) Contrapresión generada por cambios de dirección bruscos



Fotografía 02: Cambios de dirección del tubo de escape

c) Contrapresión generada por la unión de tuberías de diferente diámetro



Fotografía 03: Cambios de sección del tubo de escape



Fotografía 04: Defectos de soldadura del tubo de escape

### 1.4.2 Influencia de la Contrapresión en la Recirculación de los Gases

La cantidad de gases recirculados (Figura 10) es directamente proporcional a la presión en el conducto de recirculación de gases de escape y al tiempo de apertura de la válvula EGR. Si el valor de presión de los gases aumenta por encima de los valores nominales, se tendrá mayor cantidad de gases enviados a la admisión en un mismo tiempo de la apertura de la válvula EGR. Por lo tanto, se tendrá mayor recirculación de gases de escape a medida que la contrapresión aumenta.

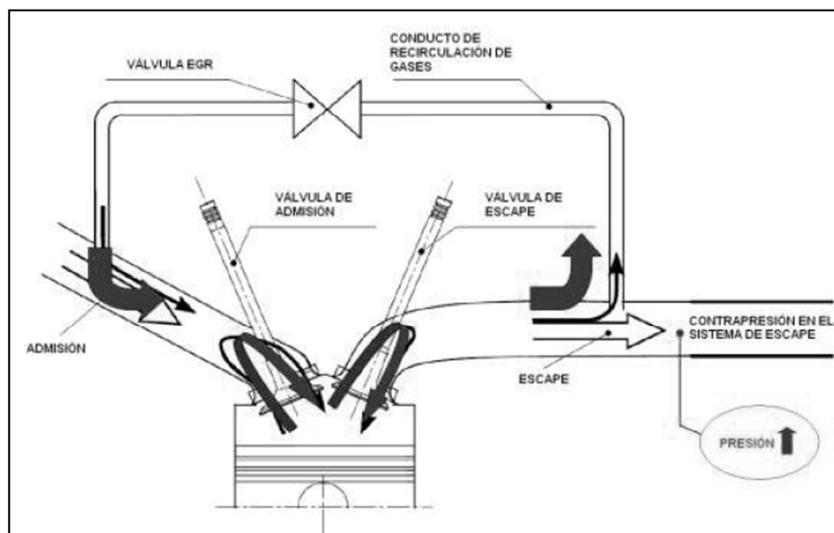


Fig. 10 Sistema de recirculación de gases (EGR)

Valores de recirculación de gases exagerados provocarán mayor empobrecimiento de la mezcla aire-combustible y a su vez menor cantidad de oxígeno presente en los procesos de combustión por lo que las emisiones contaminantes se verán modificadas.

### 1.4.3 Influencia de la Contrapresión en la Temperatura de los Componentes

El aumento de contrapresión produce un incremento en la temperatura de los gases de escape que afectará a componentes del motor, reduciendo su vida útil.

$$PV = nRT \quad (\text{Ec.18})$$

$$P \propto T$$

Donde: P = Presión de los gases de escape [atm]  
 V = volumen que ocupan los gases [lt]  
 n = Número de moles del gas [moles]  
 R = Constante universal de los gases [0,0823 atm.lt/mol °K]  
 T = Temperatura de los gases [°K]

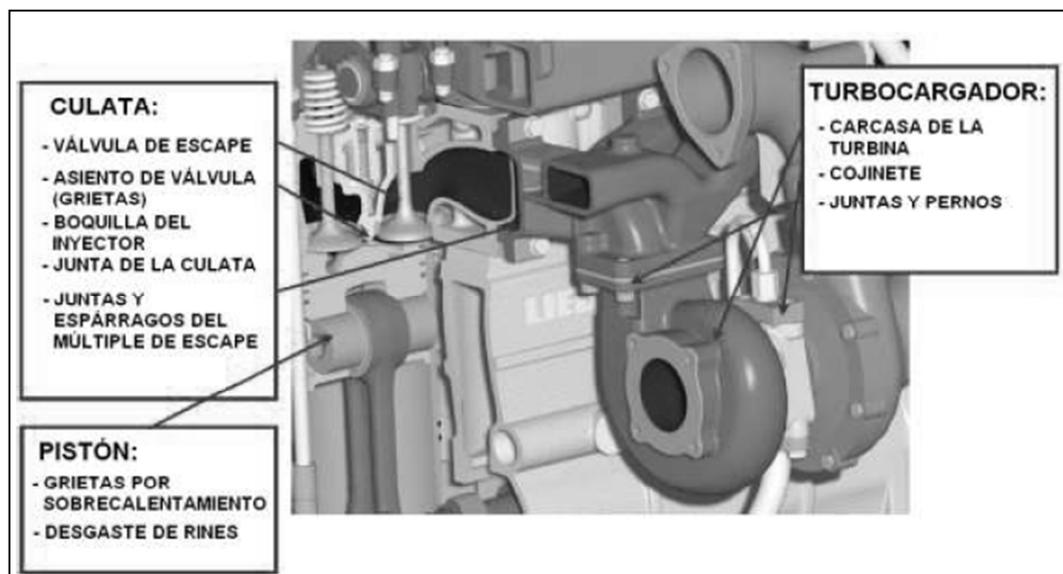


Fig. 11 Vista de sección de los componentes del motor que elevan su temperatura

## 1.5. COLECTORES Y TUBOS DE ESCAPE

### 1.5.1 Descripción de los Colectores de Escape

El colector de escape (Figura 12) es un componente generalmente construido en hierro fundido que permite la salida de los gases quemados desde el motor hacia el tubo de escape. Está fijado a la culata por medio de espárragos con interposición de juntas. Además de adecuar el área de flujo, la expansión es la consideración más importante en el diseño del múltiple de escape.

El área de flujo en el múltiple debe ser lo bastante grande como para evitar que se forme una contrapresión local durante el escape y, en relación con todo el sistema de escape, no debe elevarse la contrapresión en forma excesiva con el flujo máximo. Puede emplearse un área de flujo, en los motores de cuatro tiempos igual a 0,7 veces la del múltiple de admisión.



Fig. 12 Colector de escape

## **1.5.2 Tipos de colectores de escape**

### **1.5.2.1 Múltiples de una Sola Pieza**

En los motores pequeños de cilindros múltiples se emplea un múltiple de una sola pieza; este múltiple se ancla en el centro del motor y cuenta con agujeros alargados en otros puntos para permitir la expansión.

### **1.5.2.2 Múltiples de Varias Piezas**

En los motores grandes se emplean múltiples de varias piezas con juntas de expansión; generalmente en las aplicaciones marinas se enfrían con agua para evitar la deformación y por razones de seguridad. En los motores turbocargados, estos múltiples suelen estar aislados para conservar la energía.

## **1.5.3 Descripción de los Tubos de Escape**

Los tubos de escape (Figura 13) permiten contener y dirigir los gases quemados provenientes del motor hacia el medio ambiente de manera que se evite la entrada de los mismos en el habitáculo del motor. Están sometidos a altas temperaturas, lo que favorece a la oxidación. Se sabe que uno de los productos de la combustión es el agua, que si bien sale del cilindro en forma de vapor seco, cuando el tubo de escape está frío se condensa y favorece la corrosión.

Además, la parte exterior del escape está expuesta, por ir instalada en los bajos del coche, el agua y a impactos de piedras, todo ello hace que la vida del tubo de escape sea limitada. Se podría mejorar empleando materiales resistentes a la corrosión, como el acero inoxidable, pero su costo no compensa.



Fig. 13 Tubo de escape de acero inoxidable

### **1.5.3.1 Tipos de Tubos de Escape**

#### **1.5.3.1.1 Tubos de Escape Regulares**

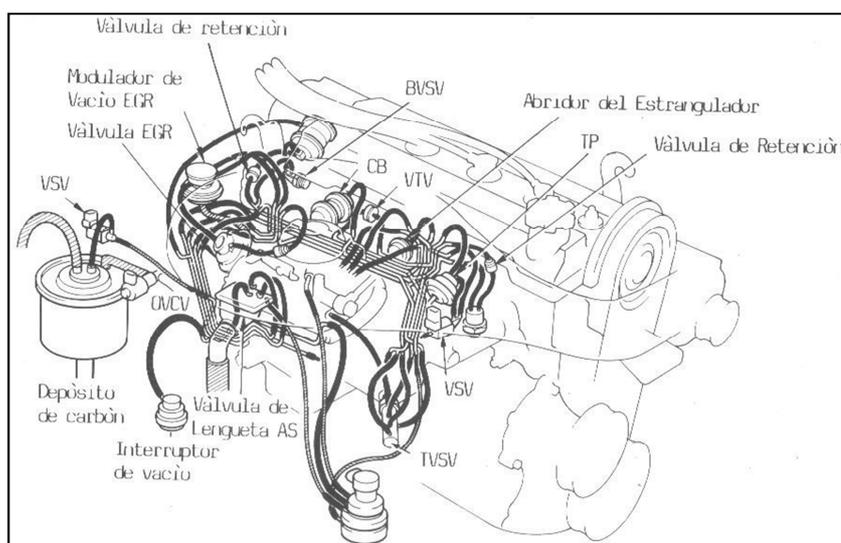
Son rígidos y son los comúnmente utilizados. De principio a fin están fabricados de un mismo tipo de material, con partes soldadas con el fin de esquivar ciertos elementos ubicados en la parte inferior del vehículo.

#### **1.5.3.1.2 Tubos de Escape Flexibles**

Son utilizados cuando el tubo de escape debe ser lo suficientemente flexible para acomodarse a las condiciones de camino y ajustarse a las expansiones térmicas de los tubos que en el caso de ser regulares podrán quebrarse o romperse.

## 1.6 SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES

Cada vehículo no sólo está equipado con dispositivos específicos (PCV, EVAP, EGR, TP, etc.), cada modelo usa una variante o la combinación de ellas para llegar a las condiciones óptimas necesarias para satisfacer las regulaciones de control de emisión de escape en cada país.



Por eso, el sistema instalado se diferencia dependiendo del tipo de motor y el país de destino.

Fig. 14 Ubicación de los componentes del sistema de control de emisiones

### 1.6.1 Sistema de Recirculación de Gases de Escape (EGR)

El sistema EGR es usado para reducir la cantidad de NOx en el escape. La producción de NOx aumenta a medida que la temperatura dentro de la cámara de combustión aumenta debido a la aceleración ó cargas pesadas en el motor, ya que las altas temperaturas propician la combinación de oxígeno y nitrógeno en el aire.

Por consiguiente, la mejor manera de disminuir la producción de NOx es manteniendo la temperatura en la cámara de combustión.

El sistema EGR (Figura 16) los recircula a través del múltiple de admisión para reducir la temperatura a la que ocurra la combustión.

Cuando la mezcla aire-combustible y los gases de escape se mezclan, la proporción de combustible en la mezcla aire-combustible baja naturalmente (la mezcla se vuelve pobre) y además una parte del calor producido por la combustión de la mezcla es desalojado por el gas de escape. La temperatura máxima en la cámara de combustión baja, reduciendo la cantidad de NOx producida.

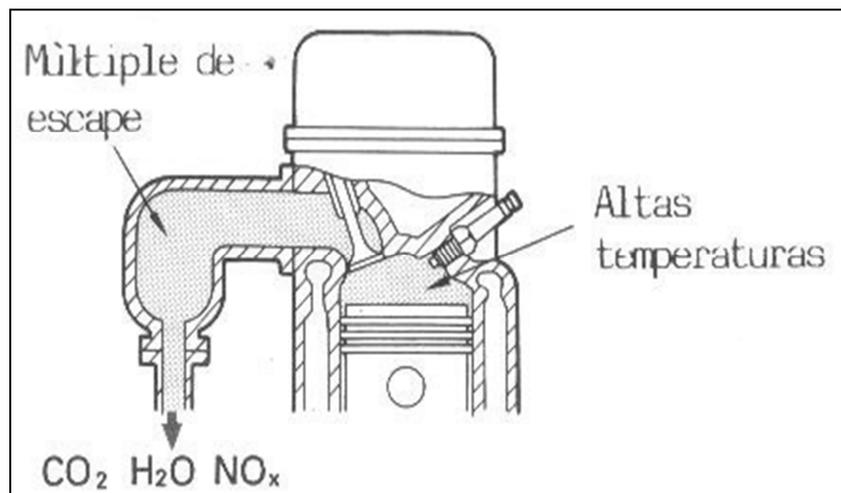


Fig. 15 Motor sin EGR

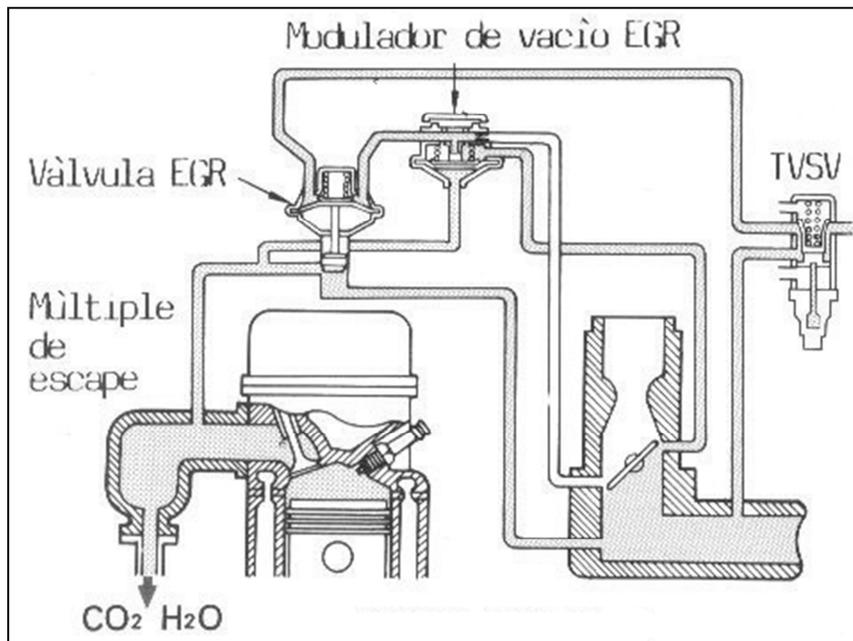


Fig. 16 Motor con EGR

En el sistema EGR, la cantidad de gas de escape que se recircula es controlado por un modulador de vacío EGR. Esto es necesario porque la presión en el múltiple de escape (Fig.17) varía por muchos mmHg sobre y debajo de la presión atmosférica.

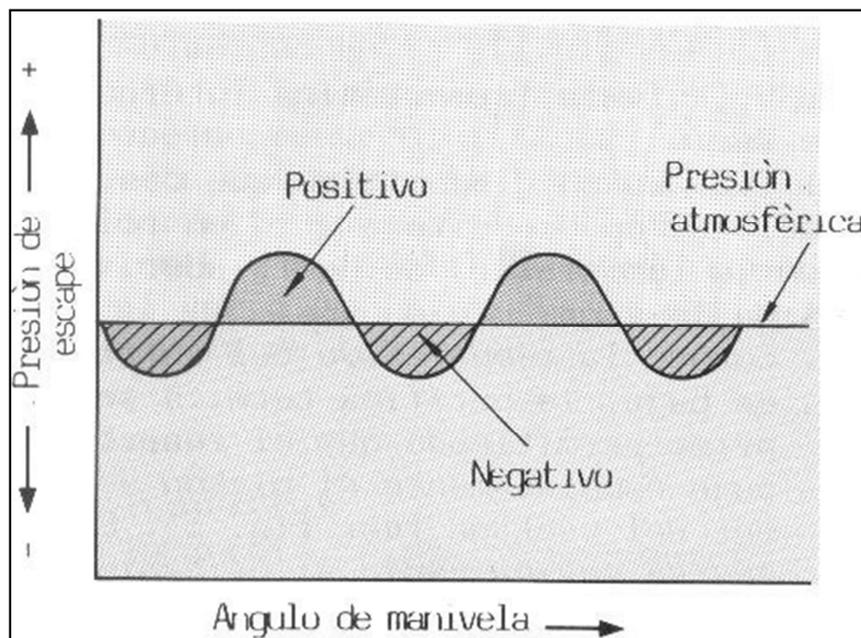


Fig. 17 Variaciones en la presión del escape

Al mismo tiempo, la presión de admisión es alta cuando la carga en el motor es pequeña. Por eso, si la cantidad de gas de escape recirculado por el sistema EGR no es controlado, recirculará más gas de escape que el necesario, debido a una alta presión en el múltiple, cuando la carga del motor es pequeña, esto hará que el motor no funcione correctamente.<sup>7</sup>

$$\%EGR = \frac{[CO_2]_{ADM} - [CO_2]_{ATM}}{[CO_2]_{ESC} - [CO_2]_{ATM}} \quad (Ec.19)$$

$$[CO_2]_{ATM} = CONSTANTE$$

Además, no es casi necesario que funcione el sistema EGR cuando la carga del motor es pequeña, ya que la mayor parte del NOx es producido con cargas pesadas.

## 1.7 TORNILLO DE ARQUÍMEDES

### 1.7.1 Descripción y Funcionamiento del Tornillo de Arquímedes

Entre los numerosos inventos de Arquímedes también es destacable el tornillo sin fin, que originariamente fue utilizado como sistema para sacar agua de la sentina de los barcos, y posteriormente como sistema para elevar agua, harina o grano.

Un Tornillo de Arquímedes (Figura 18) es una máquina gravimétrica utilizada para elevación de sustancias sólidas de pequeño tamaño y también líquidos. Fue inventado en el siglo III a. C. por Arquímedes, del que recibe su nombre, aunque existen hipótesis de que ya era utilizado en el Antiguo Egipto.

Se basa en un tornillo que se hace girar dentro de un cilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, y que permite elevar sustancias situadas por debajo del eje de giro.

---

<sup>7</sup> Molina Santiago A., INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN Y LA RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE SOBRE EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN UN MOTOR, Editorial Reverté, España, 2005

Desde su invención hasta ahora se ha utilizado para el bombeado de fluidos. También es llamado Tornillo Sin fin por su circuito en infinito.

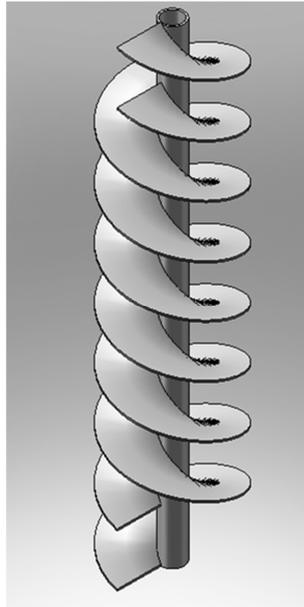


Fig. 18 Tornillo de doble entrada

### 1.7.2 Aplicaciones

- Se emplea en el área del proceso de transporte y manipulación de materiales, siendo un método muy eficaz y barato para el movimiento continuo de materiales al granel a cortas distancias.

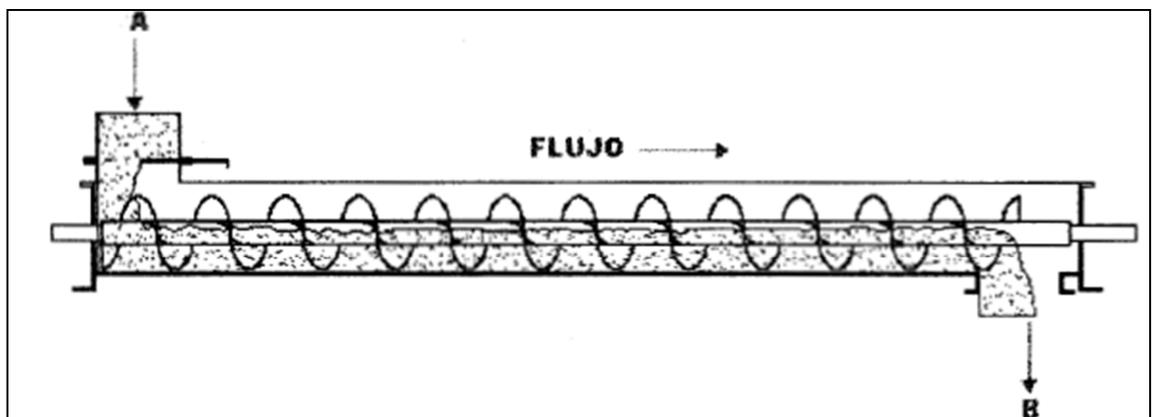


Fig. 19 Tornillo transportador

$$HP = \frac{Fd \cdot Fb \cdot L \cdot N}{1000000} \quad (\text{Ec.20})$$

Donde: HP = Potencia de operación en vacío

Fd = Factor de diámetro sin fin

Fb = Factor de rodamiento interno

L = Longitud total del sinfín [pie]

N = Velocidad [rpm]

- Este permite elevar las aguas (Figura 20) para regar ciertas zonas donde no llega la crecida de los ríos debido a la pendiente. Para ello se emplea el tornillo encajado en un cilindro, con un extremo con una manivela y el otro dentro del líquido. Al girar el mecanismo el agua va ascendiendo por el tornillo hasta salir por el extremo opuesto.

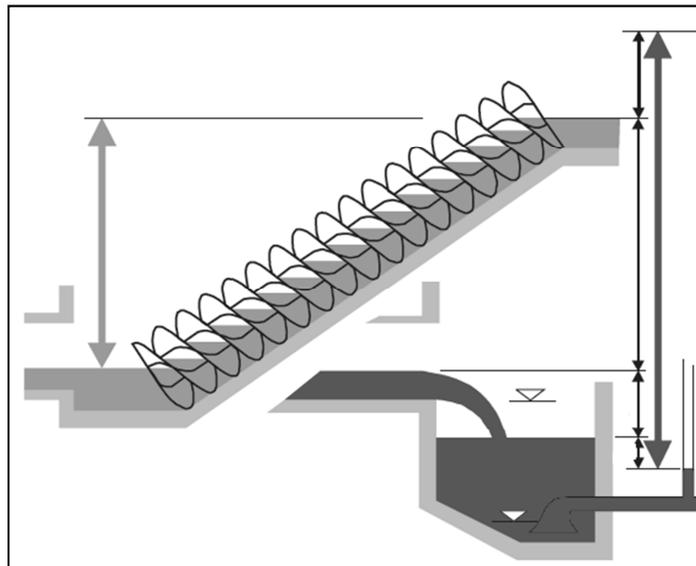


Fig. 20 Elevador de agua

$$P_{inc} = \frac{HWC}{(33000)(60)} \quad (\text{Ec.21})$$

Donde:  $HP_{inc}$  = Potencia para transportar en plano inclinado

H = Altura de inclinación [pie]

W = Peso del material [pulg/pie<sup>3</sup>]

C = Capacidad real

- En bombas de tornillo (Figura 21), que es un tipo de bomba hidráulica considerada de desplazamiento positivo, que se diferencia de las habituales, más conocidas como bombas centrífugas. Esta bomba utiliza un tornillo helicoidal excéntrico que se mueve dentro de una camisa y hace fluir el líquido entre el tornillo y la camisa. Uno de los usos que tiene es la de bombear fangos de las distintas etapas de las depuradoras, pudiendo incluso bombear fangos deshidratados procedentes de filtros prensa con un 22-25% de sequedad.<sup>8</sup>

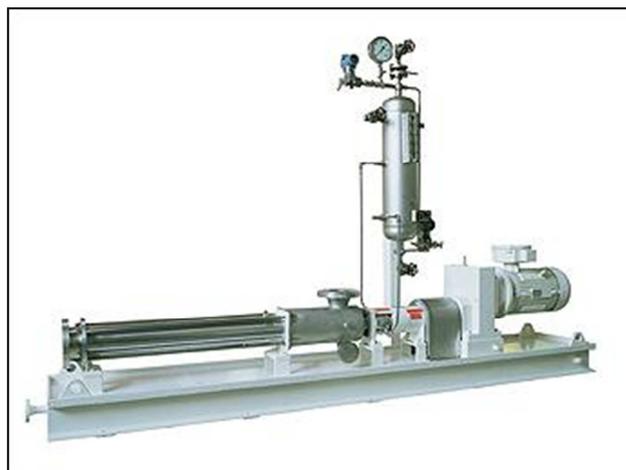


Fig.21 Bomba industrial de tornillo

<sup>8</sup> V.M. Cherkasski, BOMBAS VENTILADORES Y COMPRESORES, Editorial MIR Moscú, 1986

$$Q = \frac{d^2 n}{14500} \eta_o \quad (\text{Ec.22})$$

Donde: Q = Caudal

d = diámetro del tornillo sinfín [cm]

n = Frecuencia de rotación del tornillo sinfín [rpm]

$\eta_o = 0,70$

### 1.7.3 Descripción Matemática del Tornillo de Arquímedes

Se define como el lugar geométrico de un punto moviéndose a velocidad constante sobre una recta que gira sobre un punto de origen fijo a velocidad angular constante.

En coordenadas polares ( $r, \theta$ ) la espiral de Arquímedes puede ser descrita por la ecuación siguiente:

$$r = a + b\theta \quad (\text{Ec.23})$$

Siendo  $a$  y  $b$  números reales. Cuando el parámetro  $a$  cambia, la espiral gira, mientras que  $b$  controla la distancia en giros sucesivos.

Esta curva se distingue de la espiral logarítmica por el hecho de que vueltas sucesivas de la misma tienen distancias de separación constantes (iguales a  $2\pi b$  si  $\theta$  es medido en radianes), mientras que en una espiral logarítmica la separación está dada por una progresión geométrica.

Hay que notar que la espiral de Arquímedes tiene dos brazos, uno para  $\theta > 0$  y otro para  $\theta < 0$ . Los dos brazos están discretamente conectados en el origen y sólo se muestra uno de ellos en la gráfica. Tomando la imagen reflejada en el eje Y produciremos el otro brazo.

A veces, el término es usado para un grupo más general de espirales.

$$r = a + b\theta^{\frac{1}{x}} \quad (\text{Ec.24})$$

La espiral normal ocurre cuando  $x = 1$ .

Con ecuaciones paramétricas:

$$\begin{aligned} x &= r \cos(t) \\ y &= r \sin(t) \end{aligned} \quad (\text{Ec.25})$$

Donde  $r$  es el radio de la hélice y  $c$  es una constante que se relaciona con la separación vertical de los lazos de la hélice.

La curvatura de la hélice está dada por:

$$k = \frac{r}{r^2 + c^2} \quad (\text{Ec.26})$$

Además el lugar geométrico de los centros de la curvatura de una hélice es otra hélice.

La longitud del arco está dada por:

$$s = \int \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} dt = t\sqrt{r^2 + c^2} \quad (\text{Ec.27})$$

La torsión de una hélice está dada por:

$$\tau = \frac{1}{r^2(r^2 + c^2)} \begin{vmatrix} -r \sin(t) & \text{amp}; -r \cos(t) & \text{amp}; r \sin(t) \\ r \cos(t) & \text{amp}; -r \sin(t) & \text{amp}; -r \cos(t) \\ c & \text{amp}; 0 & \text{amp}; 0 \end{vmatrix} = \frac{c}{r^2 + c^2}$$

y es tal que:

$$\frac{\kappa}{\tau} = \frac{\frac{r}{r^2+c^2}}{\frac{c}{r^2+c^2}} = \frac{r}{c}$$

es una constante. En efecto, el Teorema de Lancret indica que una condición necesaria y suficiente para que una curva sea una hélice es que el cociente de la curvatura y la torsión sea constante.

El plano oscilador de la hélice está dado por:

$$\begin{vmatrix} z_1 - r \cos(t) & \text{amp}; z_2 - r \sin(t) & \text{amp}; z_3 - ct \\ -r \sin(t) & \text{amp}; r \cos(t) & \text{amp}; c \\ -r \cos(t) & \text{amp}; -r \sin(t) & \text{amp}; 0 \end{vmatrix} = \frac{c}{r^2 + c^2}$$

$$z_1 c \sin(t) - z_2 c \cos(t) + (z_3 - ct)r = 0$$

La superficie mínima de una hélice (figura 22) es una helicoides.

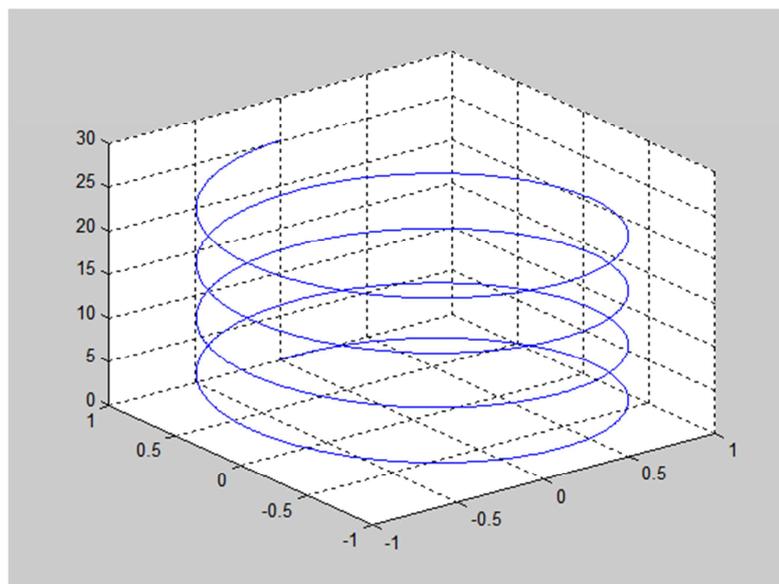


Fig. 22 Tornillo de Arquímedes con Ecuaciones Paramétricas

## 1.8 SOLIDWORKS FLOW SIMULATION<sup>9</sup>

### 1.8.1 Generalidades

SolidWorks ® Flow Simulation es la primera y más fácil de la simulación del flujo de fluidos y térmicos programa de análisis totalmente integrado con el software de SolidWorks.

SolidWorks Flow Simulation elimina la necesidad de modificar el diseño de una las diferentes Dinámicas de Fluidos Computacional (CFD) la aplicación de ahorro de tiempo y costo.

Con sus capacidades de análisis CFD, puede simular el flujo de líquido y gas en las condiciones del mundo real, ejecute "lo que si" los panoramas, y analizar rápidamente los efectos del flujo de fluidos, transferencia de calor, y las fuerzas relacionadas con el sumergido o componentes circundantes. Fluids of interest for analysis range from air, water, liquid chemicals, and gases to juice, ice cream, honey, plastic melts, toothpaste, blood, and others. Los líquidos de interés para el rango de análisis del aire, del agua, productos químicos, líquidos y gases al jugo, helado, miel, plástico se derrite, pasta de dientes, sangre, y otros.

### 1.8.2 Aplicaciones del SolidWorks ® Flow Simulation

- **La radiación de calor análisis de la transferencia:** Ver cómo el calor se transfiere entre temperatura superficies altas. También puede calcular la radiación solar.
- **Análisis del flujo interno:** Vea como los líquidos y gases a través de las válvulas, reguladores y conductos.
- **Rotación de marco de análisis de referencia:** Es fácil de comprender complejos flujos de rotación dentro de la maquinaria de turbo (es decir, bombas y turbinas).

---

<sup>9</sup> SOLID WORKS CORPORATION, Estados Unidos 2007

- **Análisis de los flujos transitorios:** para la simulación de flujo no permanente en el tiempo.

- **La conducción y la transferencia de calor por convección análisis:** Vea cómo el calor fluye a través de un objeto.

### **1.8.3 Flujo de Capacidades Adicionales de Simulación**

- Análisis de los flujos externos de líquidos y gases alrededor de cuerpos sólidos (es decir, el flujo de aire sobre el ala de un avión o el flujo de agua alrededor de un submarino).
- Análisis de flujo turbulento utilizando el modelo KE para ilustrar la turbulencia del flujo de dominio (es decir, los gases procedentes de una boquilla de motores de las aeronaves).
- Simulación de gases reales para la solución de precisión de alta presión o aplicaciones de gas a baja temperatura.
- Análisis de los flujos compresibles los flujos de gas en las zonas de velocidad subsónica, transónicas y supersónicas.
- Cálculo de la caída de presión en las tuberías utilizando los valores de rugosidad superficial.
- Optimización del diseño utilizando un flujo de CFD basados en parámetros y dimensiones.
- El análisis de flujo de fluidos no newtonianos (por ejemplo, sangre, pasta de dientes, y el plástico se derrite).
- Mover el análisis de flujo de la pared para el estudio de flujos relacionados con un sistema de referencia móvil.
- Cavitación análisis para identificar las áreas en un modelo donde se producirá la cavitación.
- Humedad de análisis para el cálculo de humedad relativa dentro de los recintos para aplicaciones de control climático.

## CAPÍTULO II

### DISEÑO

#### 2.1 DISEÑO DE TUBOS DE ESCAPE

##### 2.1.1 Determinación de las Propiedades de los Gases de Escape

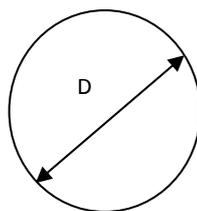
Los valores que a continuación se detallan en el cuadro 02 han sido tomados experimentalmente utilizando aparatos de medición con la finalidad de que el diseño cumpla con los objetivos planteados, que es elevar la potencia original.<sup>10</sup>

GAS	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	
	NTP	STP
Material Particulado	-	-
Óxidos de Azufre	2,279	2,926
Monóxido de Carbono	1,165	1,25
Óxidos de Nitrógeno	1,29	-
Ozono	1,32	-

Cuadro 02: Tabla de densidades

##### 2.1.2 Determinación del Flujo Másico de los Gases de Escape

Área del tubo de sección uniforme (A).-



$$D = 44,5 \text{ mm} = 4,445 \times 10^{-2} \text{ m}$$

(Diámetro original del tubo)

$$A = \pi r^2 \quad (\text{Ec.28})$$

$$A = \pi \left( \frac{4,445 \times 10^{-2}}{2} \right)^2$$

$$A = 1,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

<sup>10</sup> M.R. Valenzuela, APUNTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR, ESPOCH, 1999

Caudal volumétrico (Q).-

$$Q = Av \quad (\text{Ec.29})$$

$$Q = (1,55 \times 10^{-3})(650)$$

$$Q = 1,009 \frac{m^3}{seg}$$

v = velocidad de salida de los gases (650 m/seg)

Flujo másico (M).-

$$M = \rho Q \quad (\text{Ec.30})$$

$\rho$  = densidad de los gases de escape ( $kg/m^3$ )

Q = caudal volumétrico ( $m^3/seg$ )

$$\rho = 0,405 \text{ kg/m}^3$$

$$M = (0,405)(1,009)$$

$$M = 0,409 \frac{Kg}{seg}$$

### 2.1.3 Determinación de la Distribución de Presiones y Temperaturas de los Gases de Escape

Los datos que a continuación se tabulan en el cuadro 03 fueron tomados experimentalmente:

PRIMER AGUJERO			TERCER AGUJERO		QUINTO AGUJERO	
RPM	TEMPERATURA(C)	PRESIÓN(bar)	TEMPERATURA(C)	PRESIÓN(bar)	TEMPERATURA(C)	PRESIÓN(bar)
1000	330	7,1	250	7,0133	270	7,08
1500	30	7,087	320	7,0133	325	7,0733
2000	400	7,127	400	7,0867	330	7,0733
2500	450	7,107	450	7,0667	370	7,0733
3000	510	7,08	510	7,0666	420	7,0733
3500	630	7,107	615	7,1	450	7,0733
4000	700	7,107	660	7,1067	495	7,0733
4500	730	7,107	730	7,1133	570	7,0733

Cuadro 03: Datos experimentales de Presión, Temperatura a diferentes RPM

### 2.1.4 Determinación del Tipo de Flujo

Viscosidad de un gas ( $\mu$ ):-

$$\mu = (A + BT + CT^2) \times 10^{-7} \quad (\text{Ec.31})$$

A,B,C = constantes que dependen del gas

T = temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ )

$\mu = 37,9 \times 10^{-6}$  Pa.seg (valor interpolado) a T = 650 $^{\circ}\text{C}$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Ec.32})$$

$$Re = \frac{0,409(650)(4,445 \times 10^{-2})}{37,9 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 3,12 \times 10^5$$

Fluido turbulento completamente desarrollado

### 2.1.5 Condiciones para el Diseño de los Tubos de Escape

- Se puede usar tubo de hierro negro de grado 40 para tubería de escape. Otros materiales que se aceptan incluyen los prefabricados de acero inoxidable.
- La tubería de escape debe ser del mismo diámetro nominal (o más grande) que la salida del escape del motor a lo largo de todo el recorrido del tubo. Se debe verificar que el diámetro sea el correcto para evitar problemas de contrapresiones.
- El largo del tubo debe ser el necesario ya que el exceso provoca corrosión debido a la condensación y además reduce la velocidad de los gases disponible para que estos puedan dispersarse por medio de las corrientes externas.

- En las partes donde haya que desviar el tubo para evitar contacto con el resto de componentes debe hacerse por medio de curvaturas lo más suave posible ya que esto disminuye la incidencia de la contrapresión.
- Las costuras de soldadura utilizadas para unir partes del tubo tienen que ser lo más uniformes posible y con un excelente acabado.
- La dirección de la salida del tubo es contraria a la dirección a la posible entrada de agua producto de la lluvia, ya que su condensación provoca dificultades en el funcionamiento del motor.

### 2.1.6 Ficha Técnica del Automóvil Chevrolet Corsa Wind

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CHEVROLET CORSA WIND	
MOTOR	13NE
Tipo	Transversal Delantero
Cilindros	4
Cojinetes principales	5
Orden de encendido	1-3-4-2
Diámetro del cilindro	75,0 mm
Recorrido del émbolo	73,4 mm
Relación de compresión	9,2 :1
Cilindrada	1294 cc
Rotación en ralentí	950 ± 50 rpm
Potencia máxima	71 CV @ 5200 rpm
Torque	100 Nm @ 2800 rpm

Cuadro 04: Especificaciones técnicas del Corsa Wind

### 2.1.7 Volumen Unitario del Cilindro

$$Vh = \frac{\pi}{4} D^2 S \quad (\text{Ec.33})$$

$$Vh = \frac{\pi}{4} (7,5\text{cc})^2 (7,34)$$

$$Vh = 324,27 \text{ cc}$$

### 2.1.8 Parámetros Finales para la Construcción

Para diseñar un nuevo tubo de escape se consideró los parámetros que originalmente lo describe la empresa de fabricación Chevrolet, es decir, no se modificó ninguna dimensión ni tampoco ningún componente del sistema de escape, ya que el objetivo del presente proyecto es elevar la potencia pero sin afecta al sistema original.

PARAMETRO	ESPECIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
Material del tubo	Hierro gris SAE40	Opcional Acero inoxidable
Diámetro del tubo	1" 3/4	
Espesor del tubo	1 mm	
Longitud	2,5 m	
Tipo de suelda	Eléctrica	
Electrodo	E6011	

Cuadro 05: Parámetros finales de diseño del tubo de escape

### 2.1.9 Croquizado del Sistema de Escape

Croquizamos y le damos forma al tubo (Figura 23) con el diámetro y línea de trayectoria (largo) del tubo de escape con las dimensiones reales específicas, es decir, tomando en cuenta los valores previamente calculados.

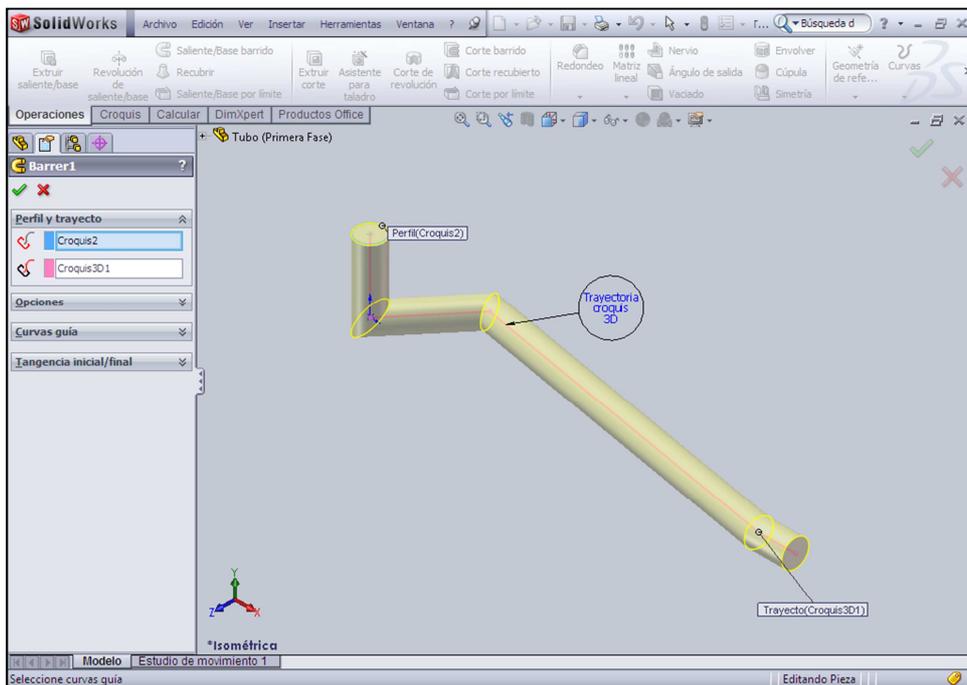


Fig. 23 Dibujo del Tubo de Escape

En la Fig. 24 observamos que para darle la forma final utilizamos la operación Cortar-Barrer para darle el espesor de pared del tubo que en base a nuestro diseño tiene un espesor de 1,5 mm.

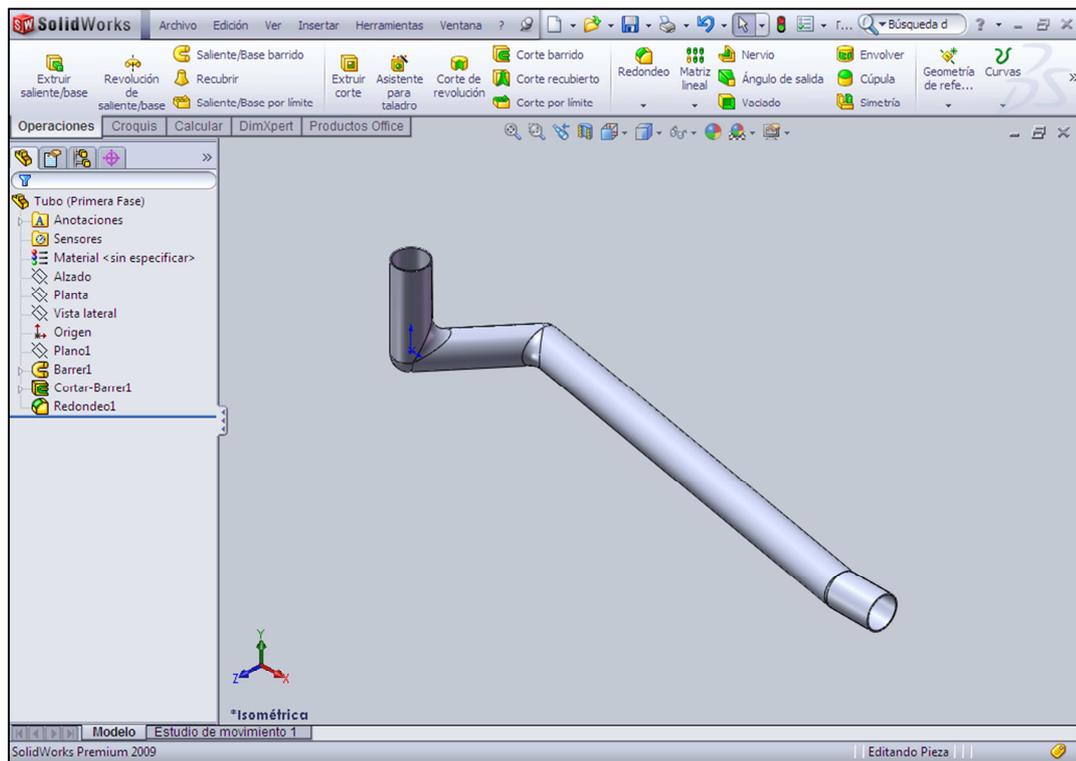


Fig. 24 Forma Interna del Tubo de Escape

Croquizamos con las dimensiones reales el catalizador y aplicamos las distintas relaciones que definan nuestro esquema, tratando en lo posible que se asemeje a modelo real y utilizamos la operación extruir para darle la forma completamente de sólido.

Dibujamos y extruimos (Figura 25) la entrada y salida al catalizador con el diámetro igual al tubo de escape original con la finalidad de no tener dificultades al momento del ensamble de los componentes.

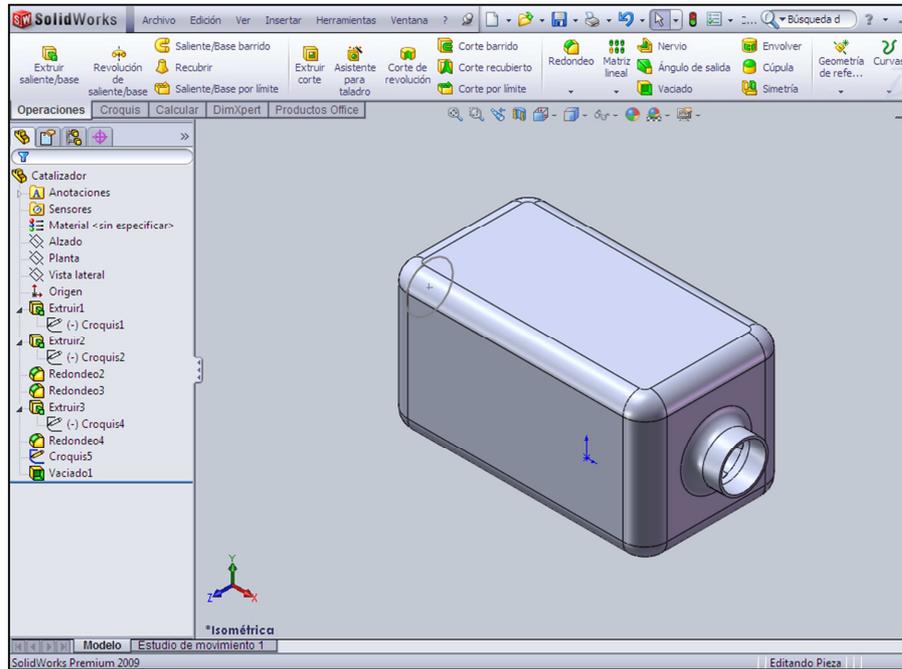


Fig. 25 Dibujo del Catalizador

Aplicamos los mismos pasos anteriores para dibujar el silenciador (Figura 26) pero con sus respectivas dimensiones.

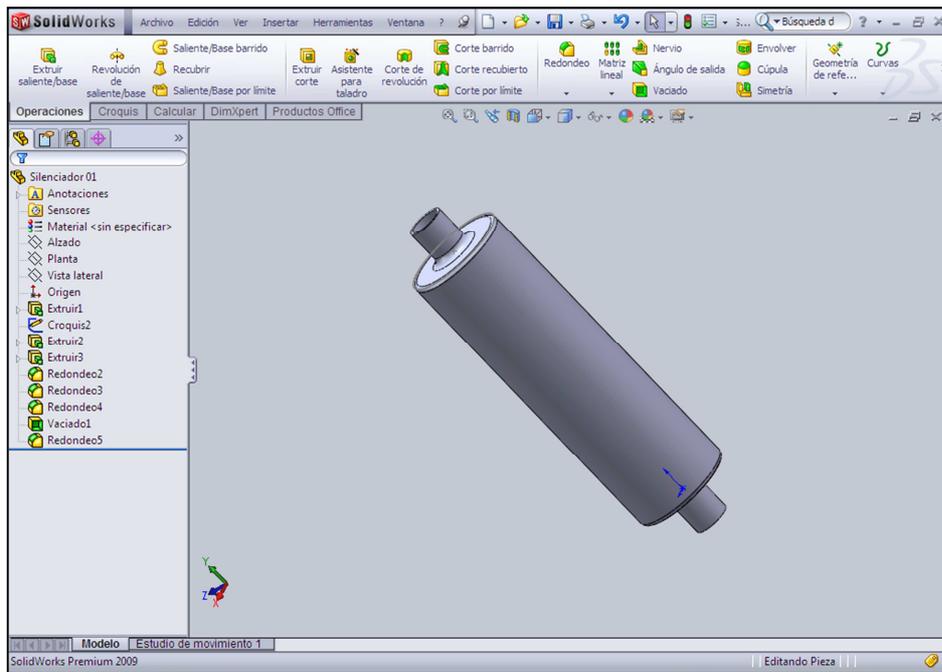


Fig. 26 Dibujo del Silenciador

Ensamblamos todos los componentes (Figura 27) aplicando las distintas relaciones de posición y finalmente apreciamos el sistema de escape completo listo para modelar.

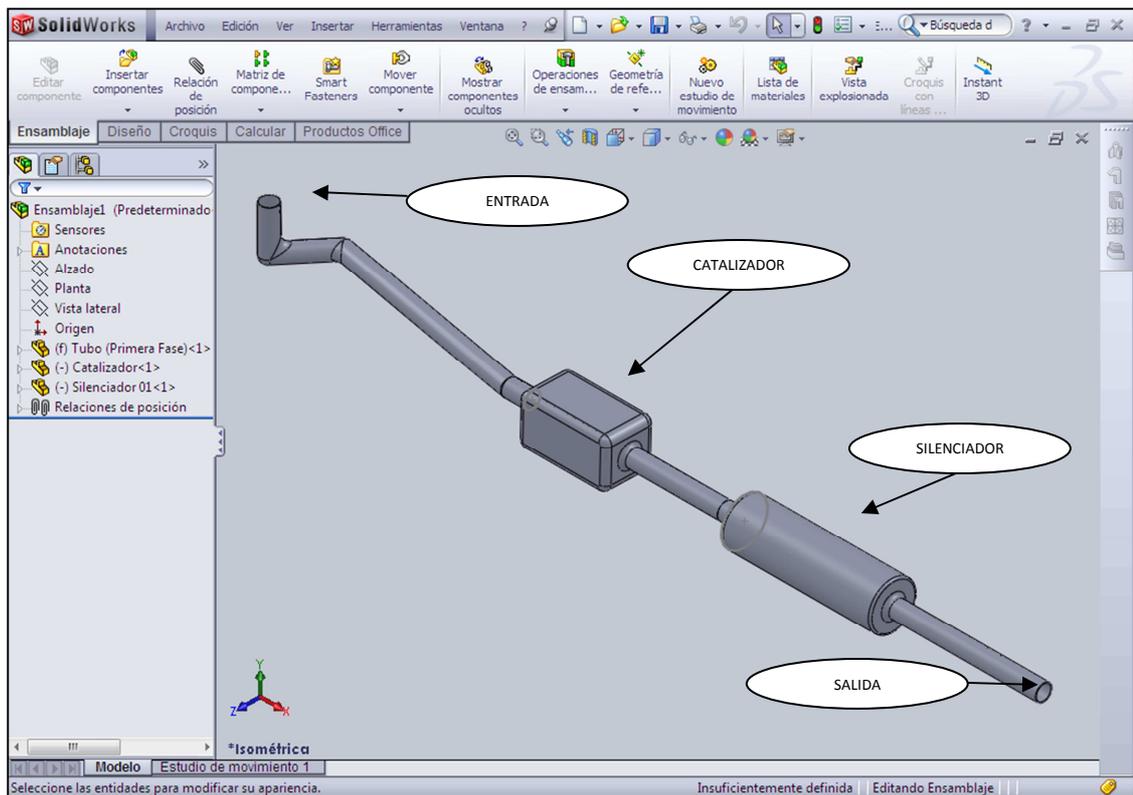


Fig. 27 Ensamble Final del Tubo de Escape

### 2.1.10 Modelado del Sistema de Escape

Para determinar la incidencia de los gases a lo largo de todo el recorrido en el sistema de escape, primero analizaremos la presión, temperatura y velocidad antes de ensamblar el Tornillo de Arquímedes por lo que utilizaremos el modelo completo del sistema de escape formado por el tubo principal, catalizador y silenciador.

En la Fig. 28 apreciamos que la presión cae considerablemente (aprox. 3%) al momento de atravesar el catalizador debido a que se crea una contrapresión capaz de frenar la libre salida de los gases.

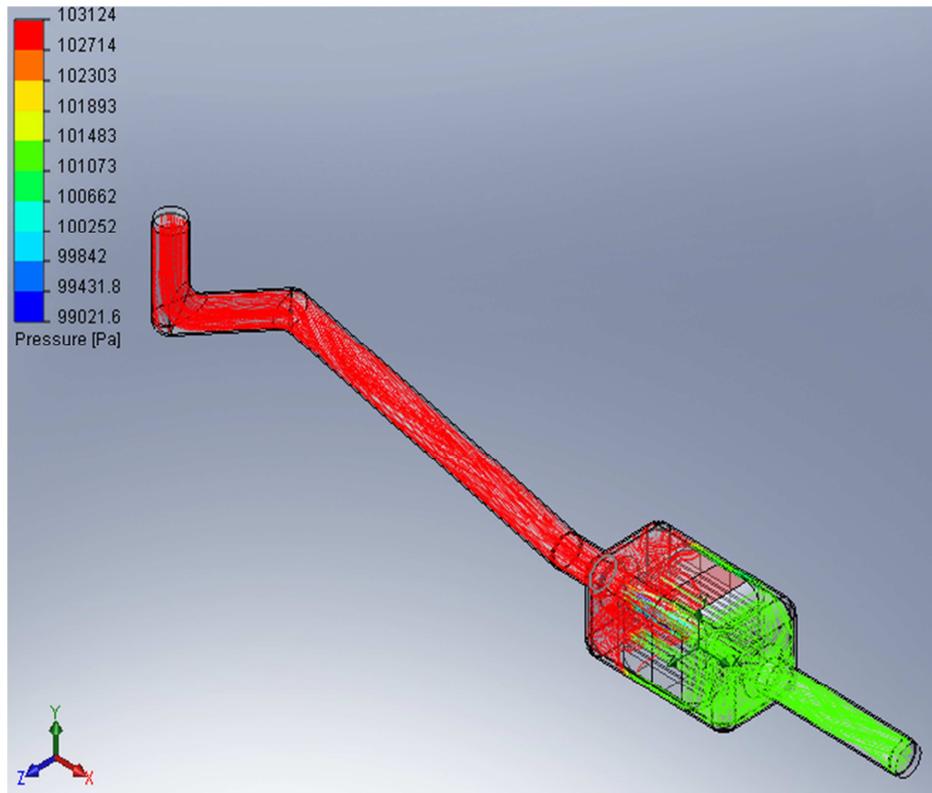


Fig. 28 Caída de Presión en el Catalizador

### 2.1.10.1 Modelado antes del ensamble del Tornillo de Arquímedes

Analizamos los parámetros principales del flujo de los gases de escape en su trayectoria desde el múltiple hacia la salida del catalizador que es nuestro tramo de estudio para determinar las distintas condiciones para el movimiento del gas.

Utilizaremos el programa SolidWork que nos permitirá visualizar el flujo de gases por lo que requerimos datos iniciales, cuadro 06, para empezar la modelación.

VARIABLE	VALOR
Velocidad de Flujo (m/seg)	650
Flujo másico (kg/seg)	0,409
Temperatura (°C)	650
Presión promedio (bar)	7,08

Cuadro 06: Parámetros Iniciales para Modelación

### 2.1.10.1.1 Velocidad de los Gases de Escape

En la Fig. 29 observamos que la velocidad de salida de los gases de escape se mantiene casi constante a lo largo del tubo, se nota pequeños incrementos una vez que atraviesa el catalizador debido al efecto de estrangulación producido por los componentes internos de este elemento.

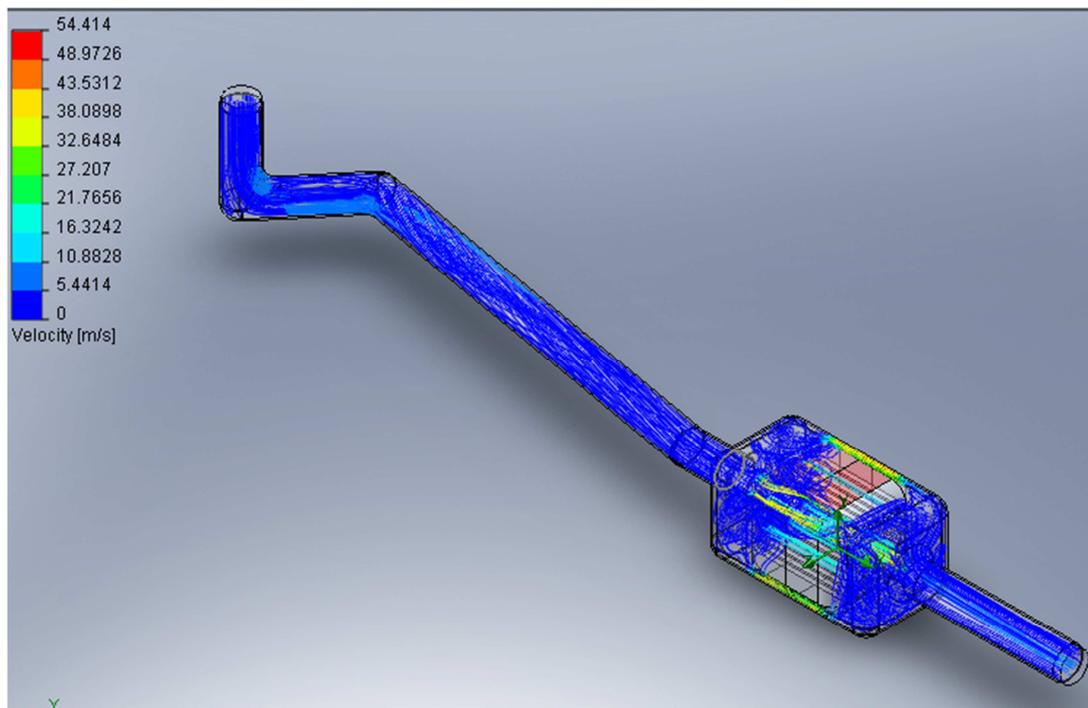


Fig. 29 Velocidad de los Gases de Escape

En la curva (Fig.30) descrita a continuación la velocidad de salida es variable debido a los diferentes cambios de dirección del tubo y por el tipo de fluido que es turbulento, existen fluctuaciones en cuanto a su valor original debido a la disminución del área de salida al atravesar el catalizador originado por su misma naturaleza de construcción.

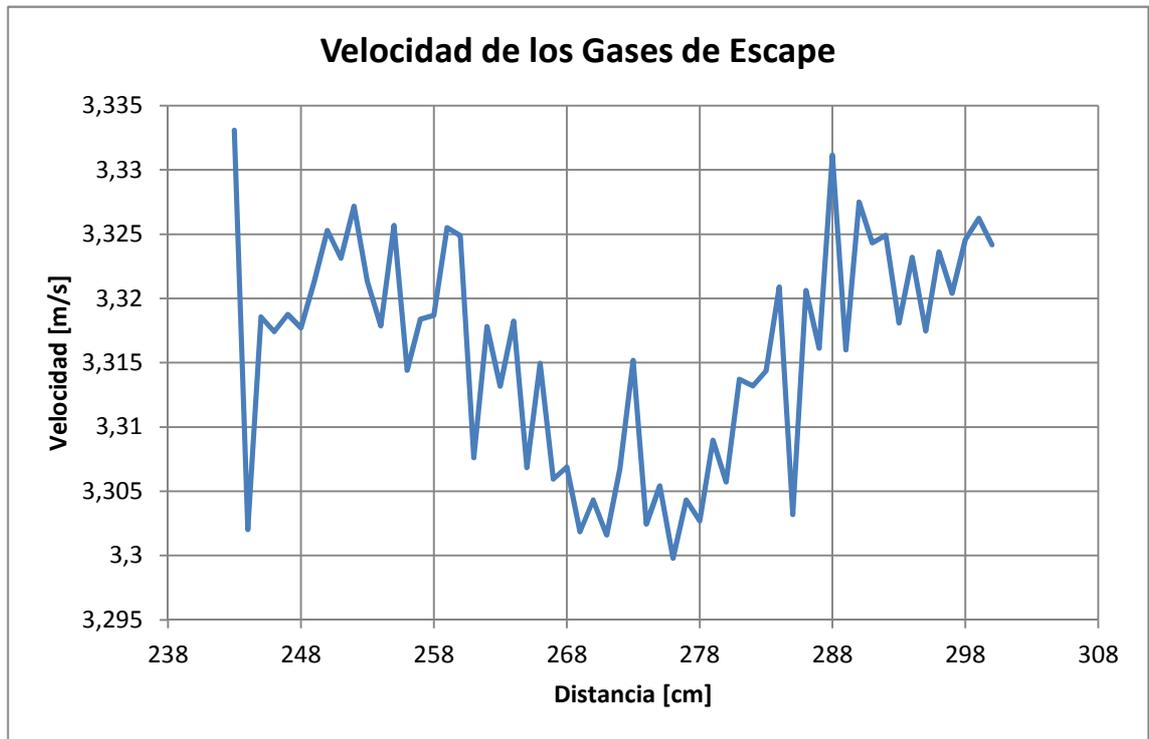


Fig. 30 Curva de la Velocidad de los Gases de Escape

### 2.1.10.1.2 Presión de los Gases de Escape

En la Fig. 31 la presión de salida de los gases se mantienen constante antes de llegar al catalizador pero al atravesarlo se produce un pérdida considerable de ésta debido a la contrapresión generada por la oposición que presentan los componentes internos del catalizador ocasionando una disminución en la potencia del motor.

En la curva generada en la Fig. 32 se puede apreciar la caída de presión que se da a la salida del catalizador debido a la obstrucción producida por los componentes internos de este elemento ya que impiden el libre movimiento de los gases a la salida.

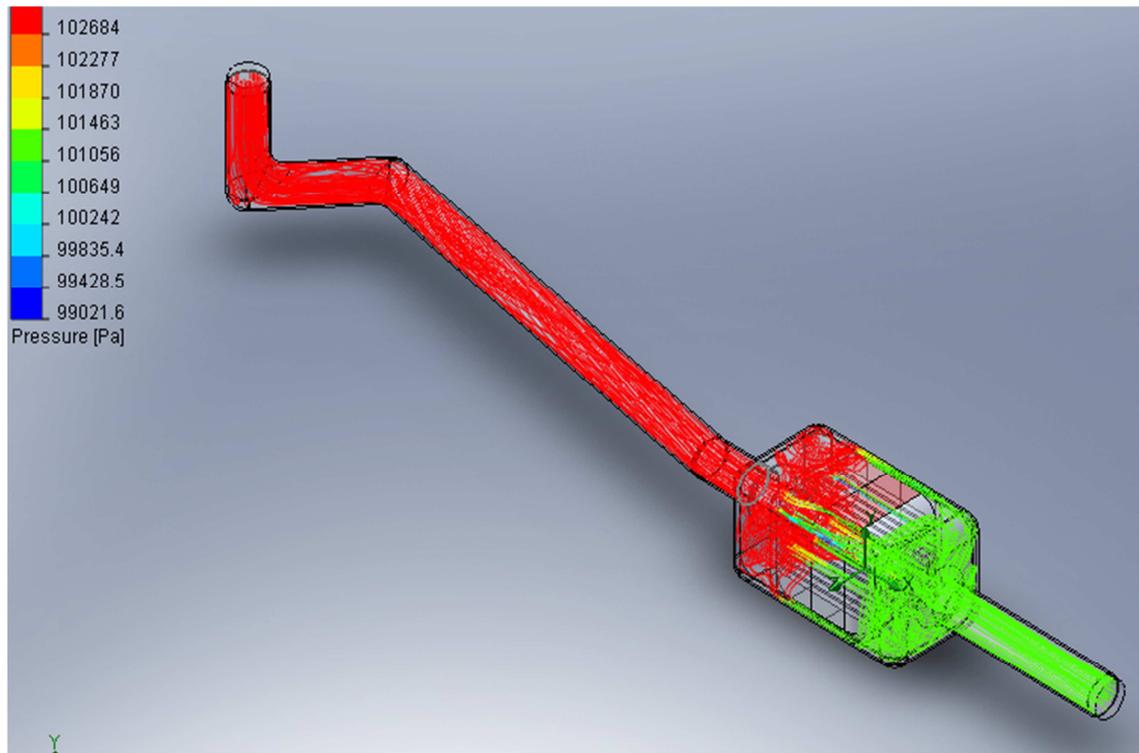


Fig. 31 Presión de los Gases de Escape

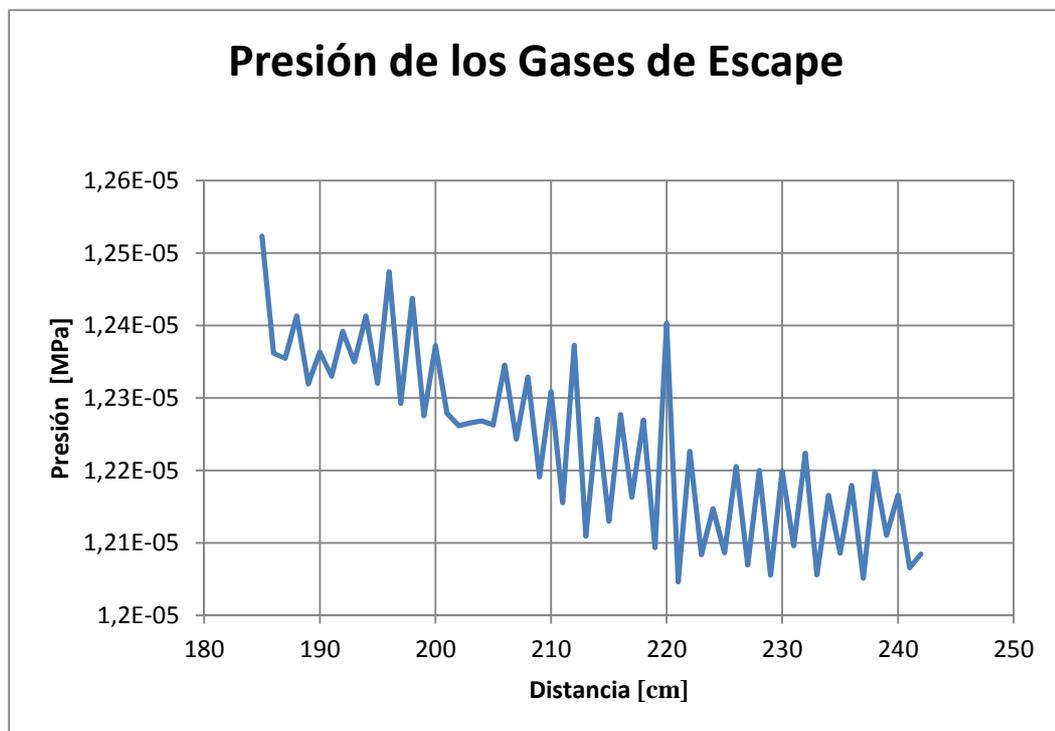


Fig. 32 Curva de la Presión de los Gases de Escape

### 2.1.10.1.3 Temperatura de los Gases de Escape

La temperatura de los gases ilustrada en la Fig. 33 se mantiene constante en todo el tramo de análisis, existen ciertas variaciones en el interior del catalizador pero en general se mantiene con el mismo valor que es de aproximadamente 650°C.

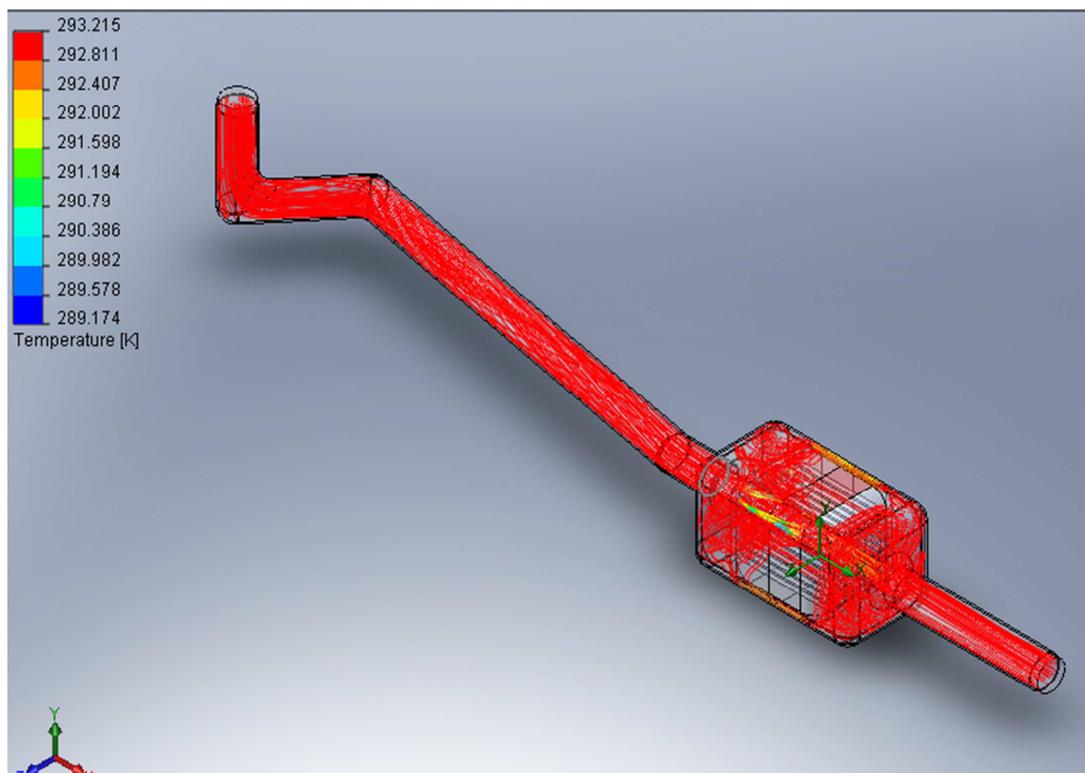


Fig. 33 Temperatura de los Gases de Escape

En la Fig. 34 se aprecia que la temperatura de los gases se mantiene uniforme antes de entrar en el catalizador y una vez que lo atraviesa la temperatura del flujo de gases disminuye en valores muy pequeños, lo que se aprecia en forma amplia en la curva que a continuación se presenta.

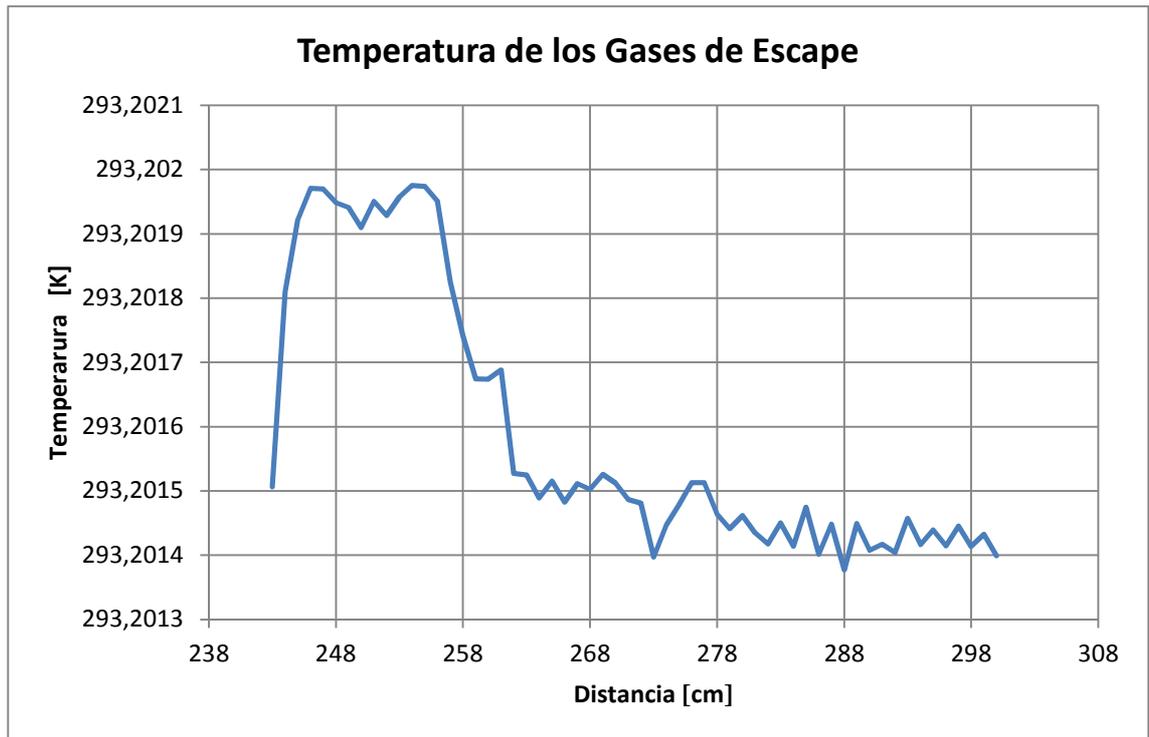


Fig. 34 Curva de la Temperatura de los Gases de Escape

## 2.2 DISEÑO DEL TORNILLO DE ARQUÍMEDES

### 2.2.1 Selección del Material

Para la construcción del Tornillo de Arquímedes se utilizara el mismo material del tubo de escape porque las condiciones a las que va a estar expuesto son similares y el hierro negro de grado SAE40 proporciona propiedades que proveen de resistencia al rápido deterioro.

### 2.2.2 Determinación del Paso

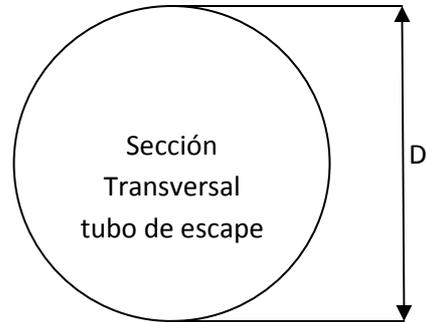
Basándonos en que el cambio brusco de dimensiones provoca una contrapresión en el sistema, aplicaremos el siguiente enunciado para empezar nuestro diseño: el área del tubo de escape debe ser igual al área de entrada al Tornillo de Arquímedes

$$A_{TubEsc} = A_{secTrans}$$

$$A_{TubEsc} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_{TubEsc} = \frac{\pi * (45.44mm)^2}{4}$$

$$A_{TubEsc} = 1551.79mm^2$$



$$A_{secTrans} = 1551.79mm^2$$

$$A_{secTrans} = l * h$$

si  $l = 25mm$

$$\Rightarrow h = \frac{A_{secTrans}}{l}$$

$$h = \frac{1551.79mm^2}{25mm}$$

$$h = 62mm = \text{PasoTornillo}$$

$$D_{TotalTornillo} = (2 * l) + D_{Eje}$$

$$D_{TotalTornillo} = (2 * 25mm) + 13mm$$

$$D_{TotalTornillo} = 63mm$$



$$\tan \theta = \frac{h/2}{D_{TotalTornillo}}$$

$$\theta = \left[ \tan \left( \frac{h/2}{D_{TotalTornillo}} \right) \right]^{-1}$$

$$\theta = \left[ \tan \left( \frac{62mm/2}{63mm} \right) \right]^{-1}$$

$$\theta = 25.46^\circ$$

$\theta = 25.46^\circ$ , es el ángulo calculado para la inclinación de los tubos de entrada y salida al Tornillo de Arquímedes.

### 2.2.3 Croquizado del Tornillo de Arquímedes

Croquizamos el diámetro y espesor de nuestro eje (Figura 35) en donde se va a ubicar las hélices que establecen la trayectoria del Tornillo de Arquímedes utilizando las opciones de extruir con las dimensiones establecidas.

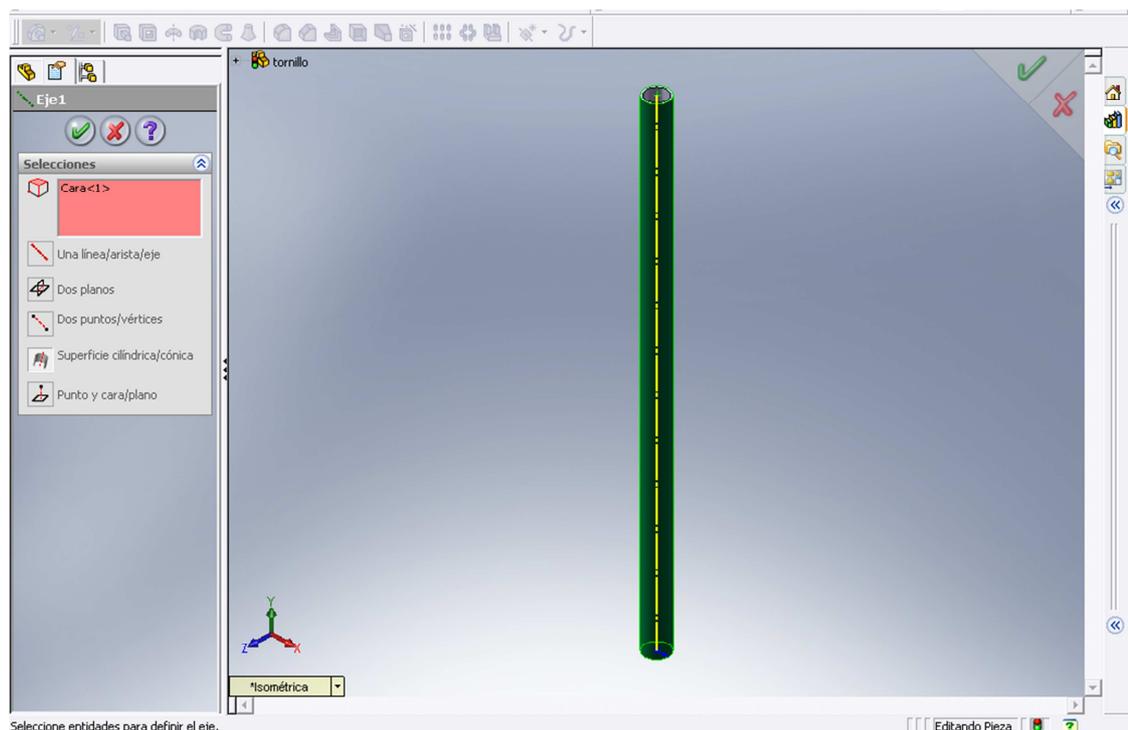


Fig. 35 Eje del Tornillo de Arquímedes

Para la obtención de las hélices croquizamos las trayectorias correspondientes y el perfil, y con la ayuda de la opción barrer establecemos las dos hélices (Figura 36) de nuestro tornillo.

Para encontrar el espesor correcto de la aleta nos basamos en las dimensiones que tiene de fábrica una plancha de tol, que es 1,5 mm. En cuanto a la longitud determinamos en base al espacio con el que disponemos en la parte inferior del automóvil.

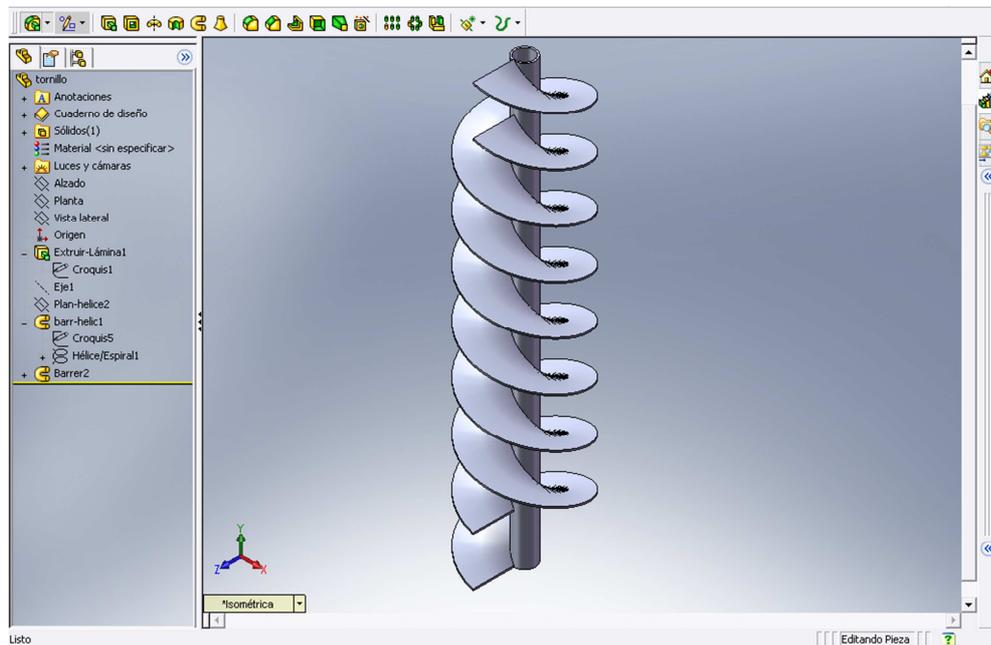


Fig. 36 Aleta del Tornillo de Arquímedes

Croquizamos los diámetros y espesor del recubrimiento del Tornillo de Arquímedes, y con la opción extruir le damos las dimensiones. Además realizamos los cortes en los extremos en donde empatan las conexiones del tubo de escape y el Tornillo.

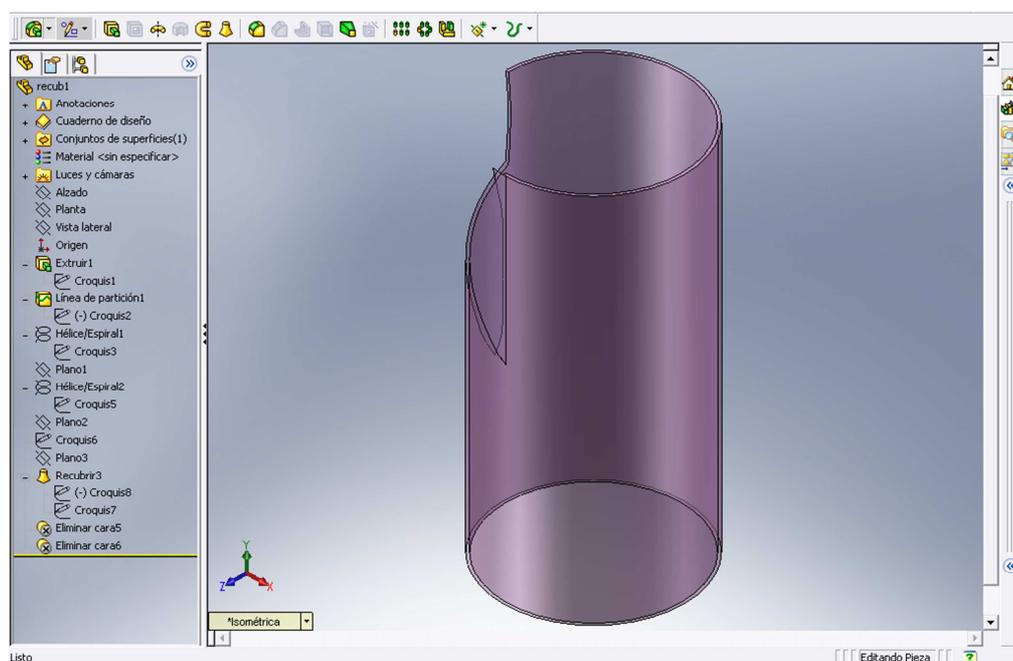


Fig. 37 Tubo de Envoltura del Tornillo de Arquímedes

Para facilitarnos las conexiones de nuestro proyecto al tubo de escape elaboramos conexiones que cambian de forma, redonda-cuadrada, Figura 38, croquizamos las dimensiones y con la opción recubrir formamos nuestras conexiones.

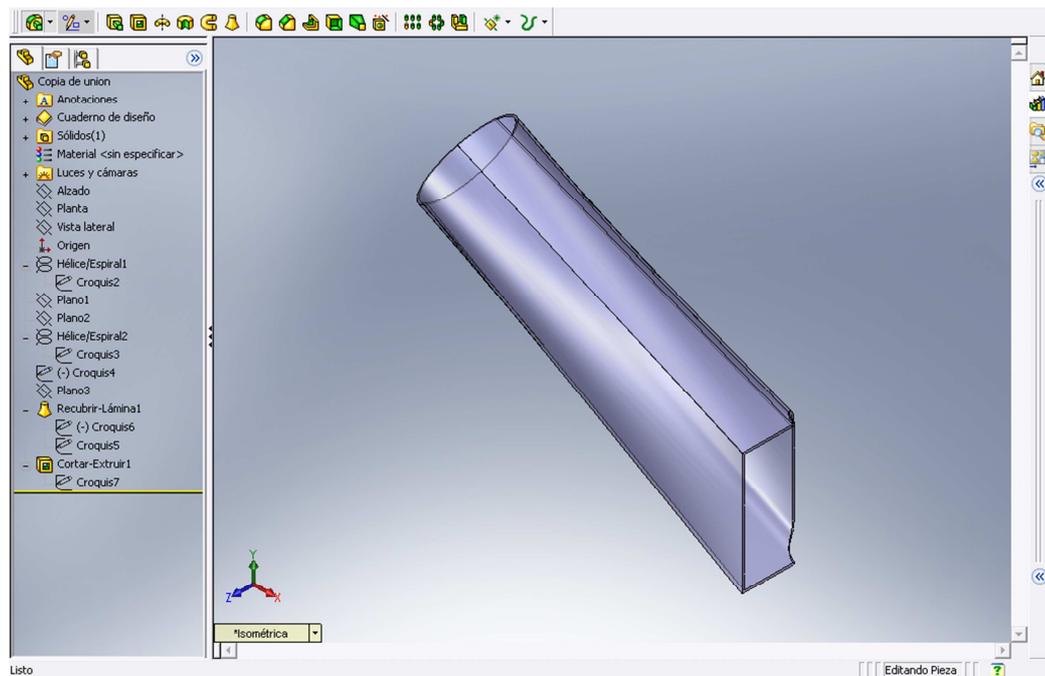
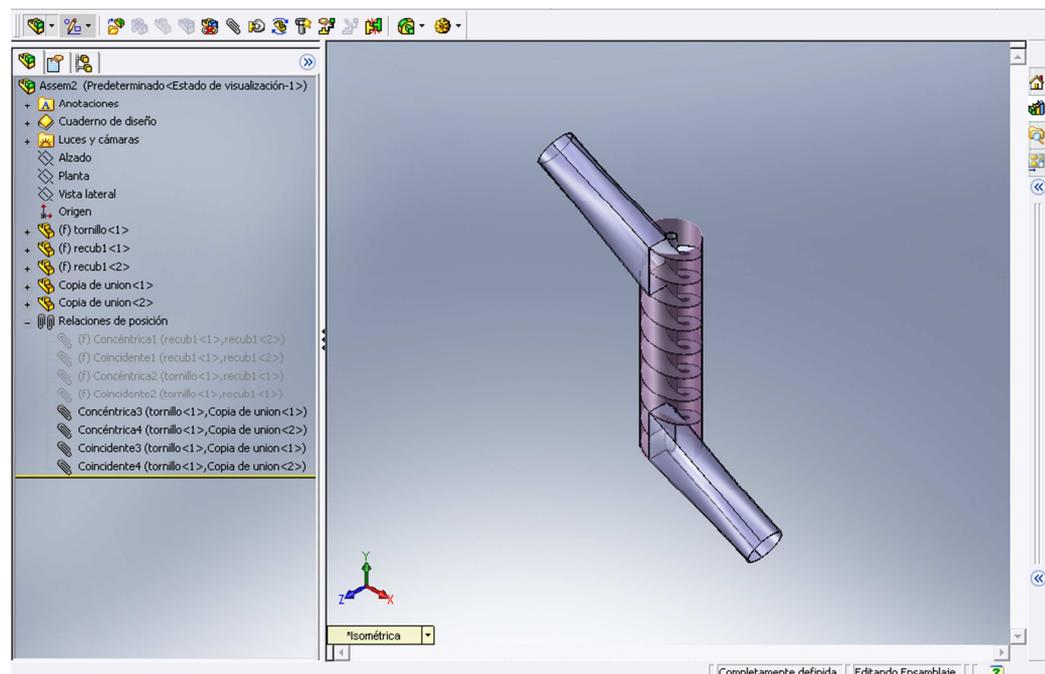


Fig. 38 Tubo de Entrada de los Gases

Para nuestro ensamble ubicamos todas las partes (Figura 39) para establecer las relaciones de posición con cada una de ellas.



## 2.2.4 Modelado del Tornillo de Arquímedes

### 2.2.4.1 Modelado del Tornillo con Diámetro de Entrada Menor

En la Fig. 40 analizaremos que incidencia tienen los parámetros de velocidad, temperatura y presión cuando el diámetro de entrada y salida en el Tornillo de Arquímedes se reducen a un área de  $392 \text{ mm}^2$ .

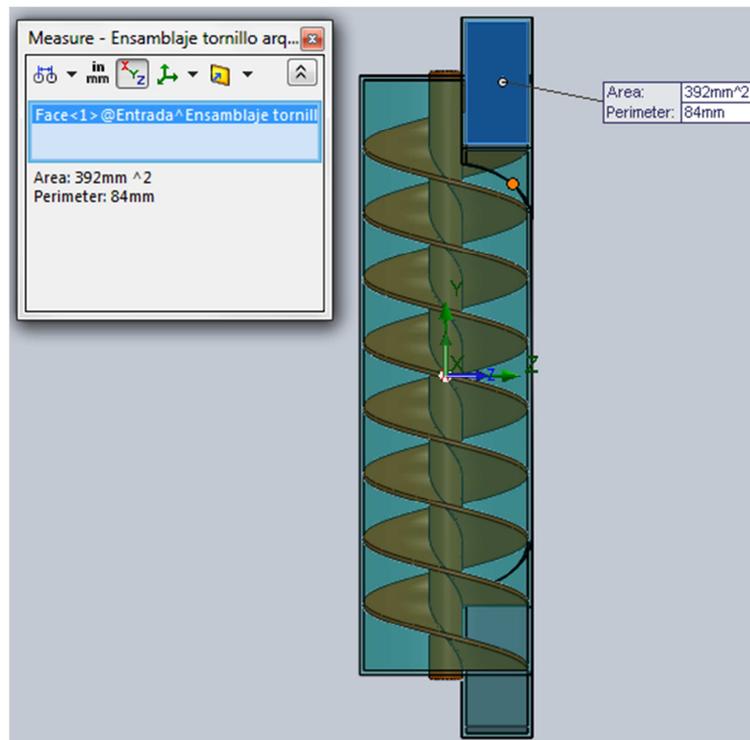


Fig. 40 Tornillo de Arquímedes con Entrada Menor Sección

#### 2.2.4.1 .1 Velocidad de los Gases en el Tornillo de Sección Menor

La Fig. 41 describe como la velocidad a lo largo de su recorrido en el tornillo se incrementa en comparación a sus valores a la entrada debido a que existe una disminución en las dimensiones de la sección transversal en ambos extremos.

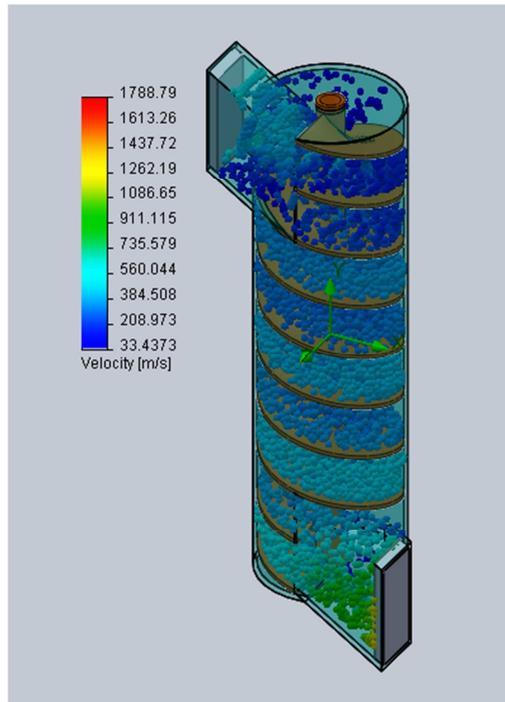


Fig. 41 Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Menor

Los valores se representan en la curva de la Fig. 42 donde no existe mayor variación y mas bien se la puede considerar constante.

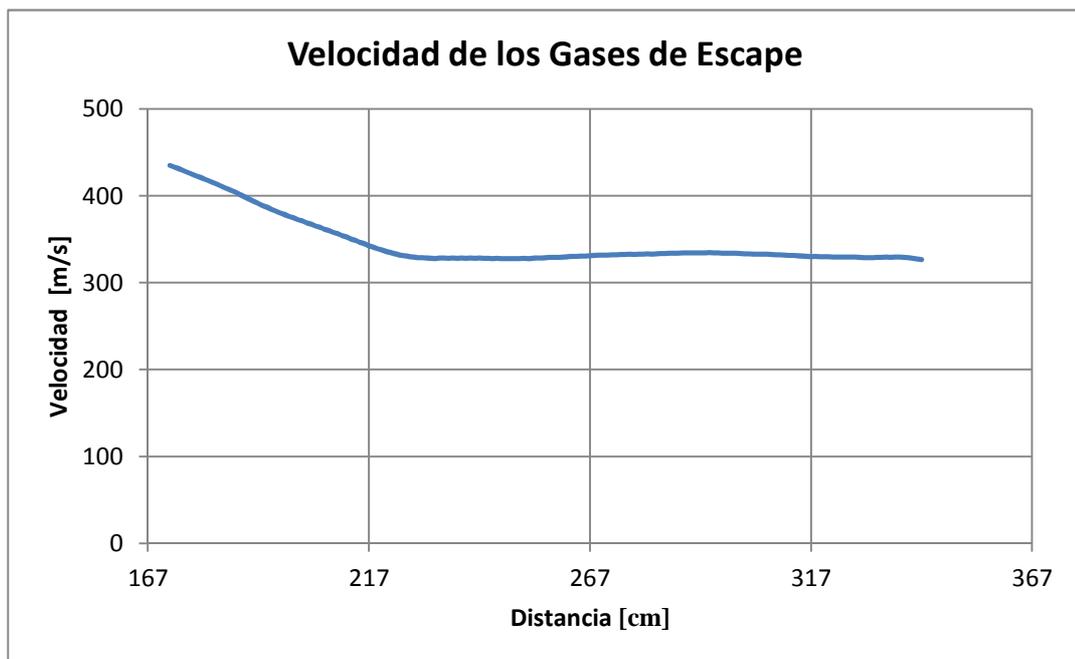


Fig. 42 Curva de la Velocidad de los Gases en Tornillo con Sección Menor

### 2.2.4.1 .2 Temperatura de los Gases en el Tornillo de Sección Menor

La temperatura en el tubo de escape descrita en la Fig. 43 se mantiene constante en todo el tramo de análisis, al igual que dentro del tornillo, existen ciertas variaciones en el interior del catalizador pero en general se mantiene con el mismo valor que es de aproximadamente 650C.

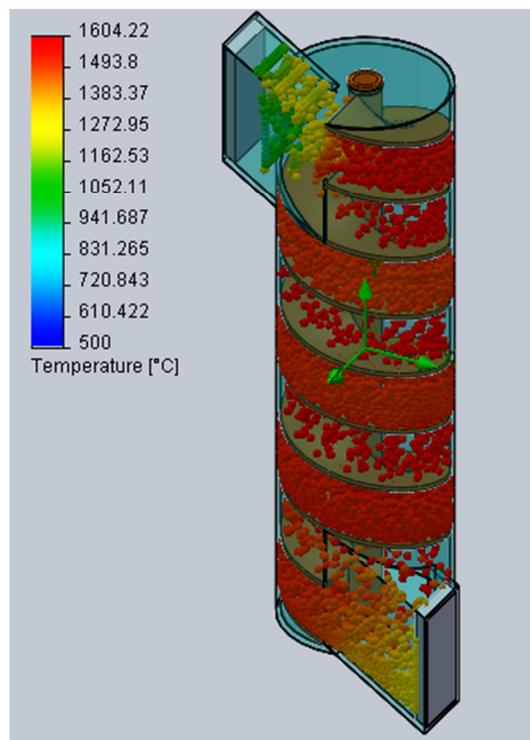


Fig. 43 Temperatura de los Gases en el Tornillo con Sección Menor



Fig. 44 Curva de la Temperatura de los Gases en el Tornillo con Sección Menor

### 2.2.4.1 .2 Presión de los Gases en el Tornillo de Sección Menor

Al analizar la Fig. 45 observamos que la presión se mantiene prácticamente con valores constantes, es decir, desde la entrada hasta la salida del tornillo no existe mayor variación por lo que no podemos superar a la contrapresión que se genera por el catalizador, y no permite alcanzar el objetivo de nuestro proyecto.

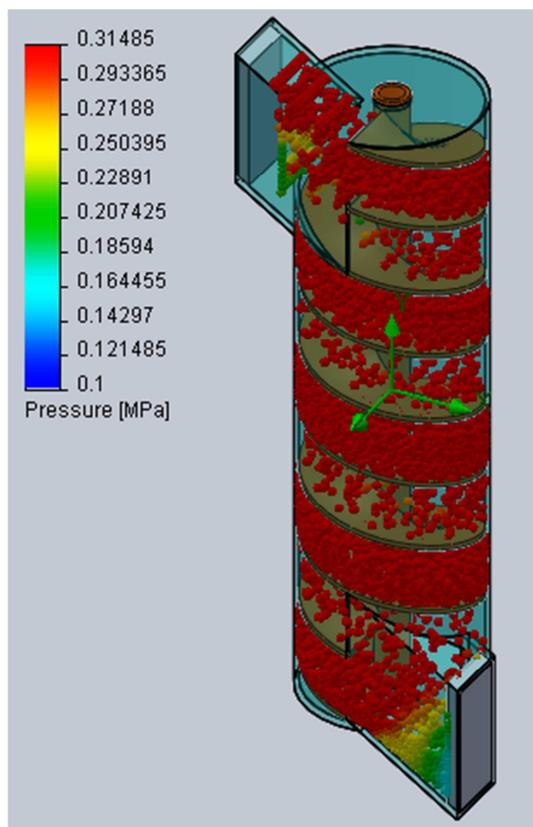


Fig. 45 Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Menor

La curva descrita en la Fig. 46 nos indica numéricamente los valores de variación de la presión, a la salida la presión tiende a disminuir por lo que es una desventaja para vencer la resistencia del catalizador.

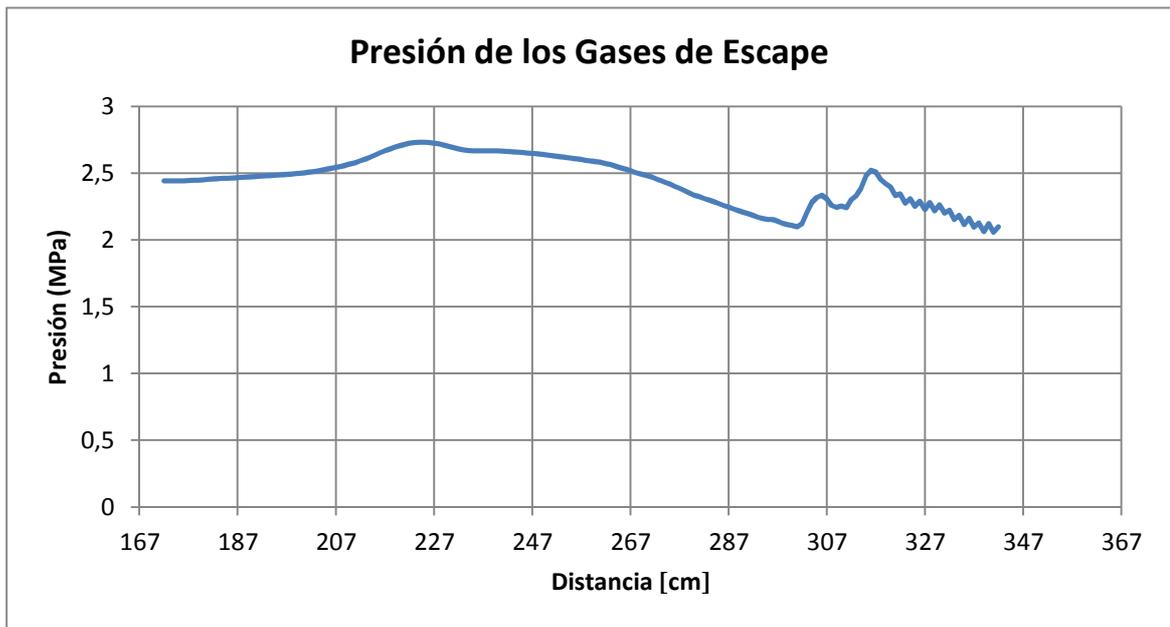


Fig. 46 Curva de la Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Menor

### 2.2.4.2 Modelado del Tornillo con Sección de Entrada Mayor

En la Fig. 47 analizaremos que incidencia tienen los parámetros de velocidad, temperatura y presión cuando el diámetro de entrada y salida en el Tornillo de Arquímedes se incrementan a un área de 3528 mm<sup>2</sup>.

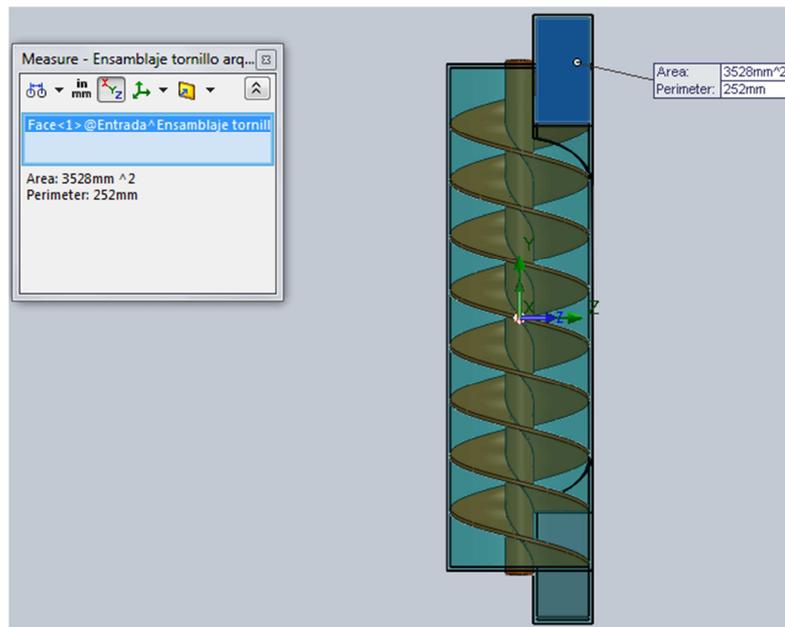


Fig. 47 Tornillo de Arquímedes con Entrada Mayor Sección

### 2.2.4.2.1 Velocidad de los Gases en el Tornillo de Sección Mayor

La velocidad de los gases a lo largo del recorrido en el tornillo disminuye conforme sale de este en comparación con los valores de entrada, como se aprecia en la Fig. 48, debido a que las secciones de entrada y salida son mayores a la sección del tubo de escape.

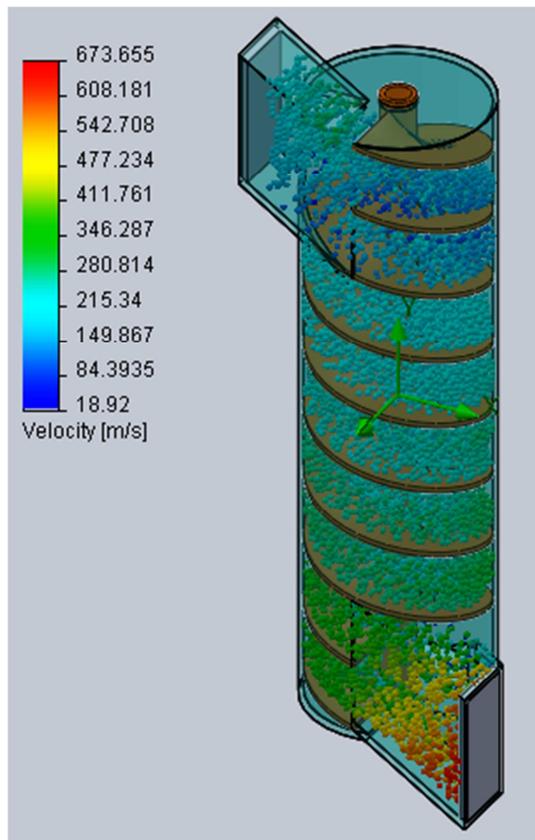


Fig. 48 Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor

La curva de la velocidad indicada en la Fig. 49 nos da una idea más clara del comportamiento cinético de los gases, donde apreciamos una considerable disminución de la velocidad.

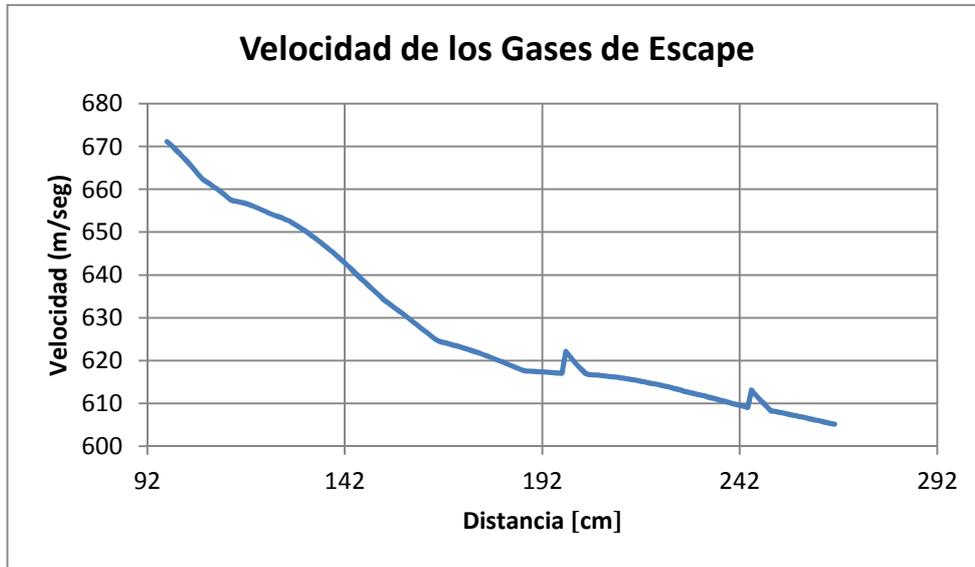


Fig. 49 Curva de la Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor

#### 2.2.4.2.2 Presión de los Gases en el Tornillo de Sección Mayor

La presión en el tornillo, descrita en la Fig. 50, se mantiene casi constante pero con la particularidad de que a la salida de los gases su valor se decrementó en comparación a los valores de entrada por lo que impide vencer la resistencia producida por la contrapresión en el catalizador, estos valores son fácilmente apreciables en la curva de la Fig. 51

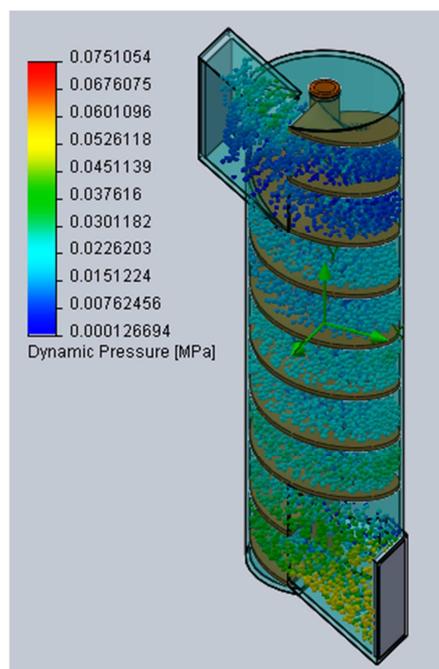


Fig. 50 Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor

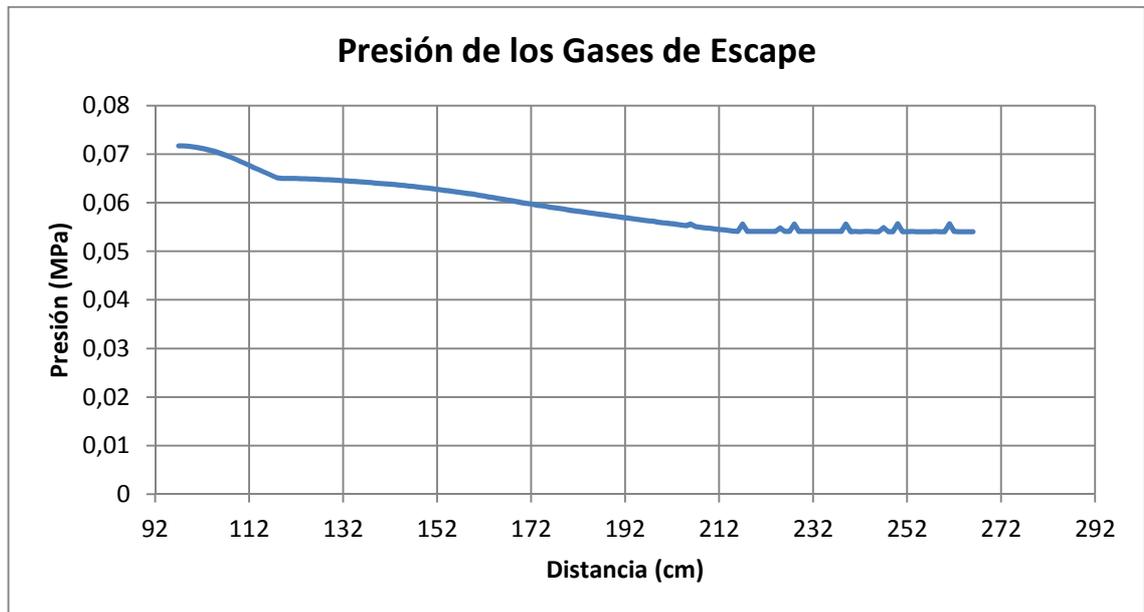


Fig. 51 Curva de la Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Mayor

### 2.2.4.3 Modelado del Tornillo con Sección de Entrada Igual

En la Fig. 52 analizaremos que incidencia tienen los parámetros de velocidad, temperatura y presión cuando el diámetro de entrada y salida en el Tornillo de Arquímedes se mantienen igual a la sección del tubo de escape original que tiene un área de  $392 \text{ mm}^2$ .

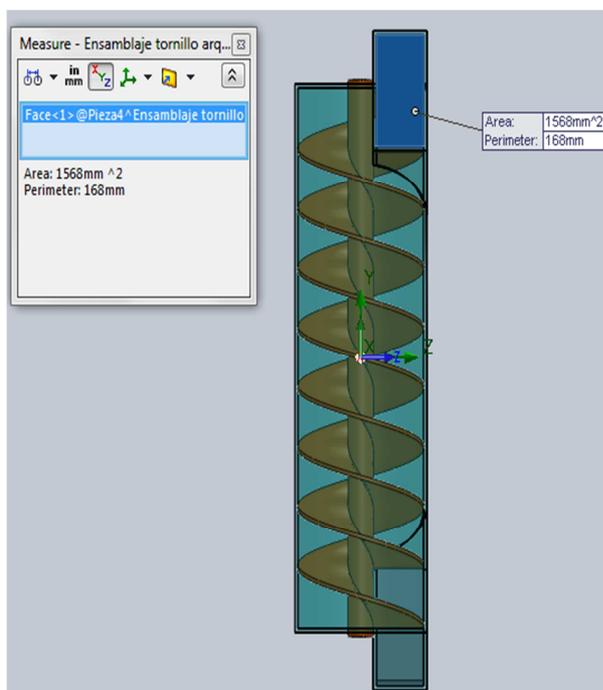


Fig. 52 Tornillo de Arquímedes con Entrada de Igual Sección

### 2.2.4.3.1 Velocidad de los Gases en el Tornillo de Sección Igual

La Fig. 53 indica que la velocidad de los gases en su recorrido por el tornillo decrementa su valor en comparación con el de entrada ya que los fluidos en movimiento rápido ejercen menos presión que los fluidos que se desplazan con lentitud.

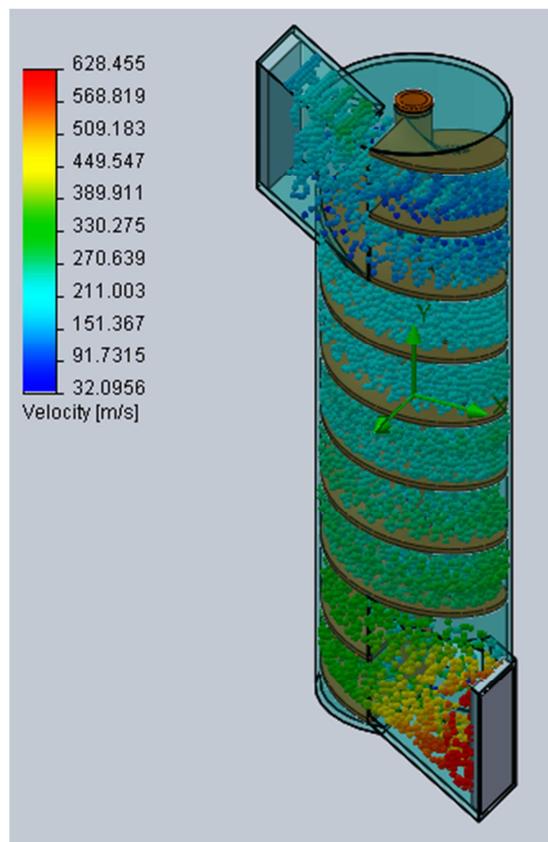


Fig. 53 Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Igual

La curva descrita en la Fig. 54 nos da una idea más clara sobre la disminución de la velocidad, con la podemos concluir el tipo de variación que esta sufre en su recorrido por un tubo y específicamente en el Tornillo de Arquímedes con estas especificaciones.

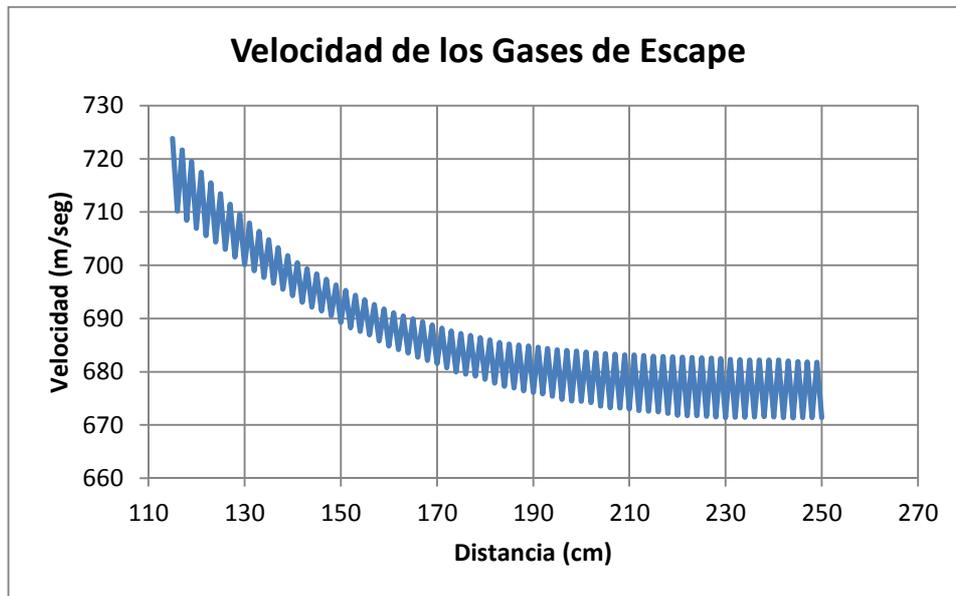


Fig. 54 Curva de la Velocidad de los Gases en el Tornillo con Sección Igual

### 2.2.4.3.2 Presión de los Gases en el Tornillo de Sección Igual

La presión a la salida del tornillo, Fig. 55, aumenta considerablemente ya que en función de los principios de fluidos en movimiento si la velocidad a la salida disminuye la presión aumenta, lo que resulta beneficioso y es lo que se quiere conseguir para vencer a la contrapresión que es provocada por el catalizador, resultando así, nuestro diseño idóneo para la construcción.

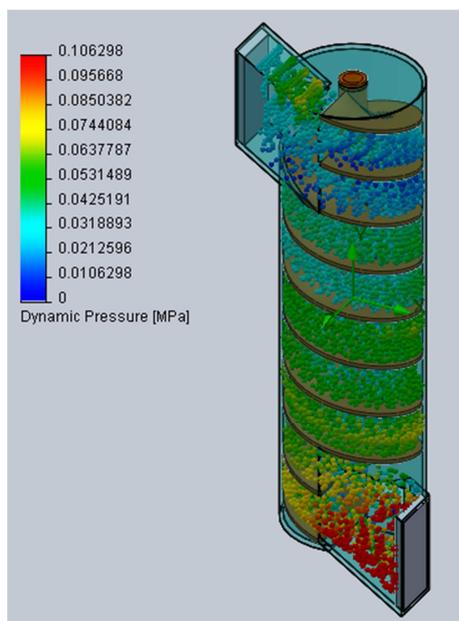


Fig. 55 Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Igual

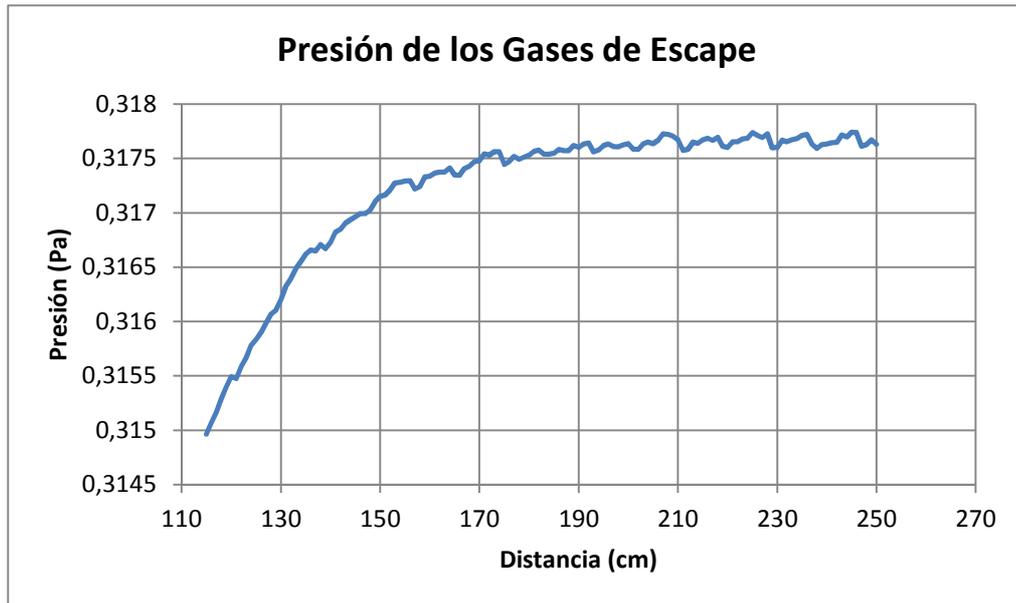


Fig. 56 Curva de la Presión de los Gases en el Tornillo con Sección Igual

## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN

#### 3.1. Construcción del Tubo de Escape

- a) Revisar todo lo que tiene el automóvil. Los tubos de escape dependen de la disposición de transmisión, de la carrocería (o de qué diferentes piezas conforman la carrocería de tu automóvil), del múltiple de admisión y la suspensión entre otras cosas.



Fotografía 05. Disposición de los componentes del sistema de escape

- b) Explorar el interior del auto antes de comenzar. Para instalar tubos de escape es necesario desarmar alguna parte del motor en la mayoría de los modelos, en este caso para facilitar la toma de datos se tiene que retirar los soportes sujetos a la carrocería.



Fotografía 06. Conexión entre escape-múltiple

- c) Tomar mediciones del tubo de escape original para construir uno perfectamente igual. Entre los datos tomados esta el diámetro, espesor, largo.



Fotografía 07. Brida para la conexión del tubo de escape con el múltiple



Fotografía 08. Catalizador de gases



Fotografía 09. Tubo de escape (vista longitudinal)

- d) Buscar todas las partes curvas del tubo de escape para plasmarlas con la misma longitud de arco en nuestro diseño, ya que estas están ejecutadas de acuerdo a la ubicación de los componentes inferiores del automóvil.



Fotografía 10. Determinación de las partes curvas del tubo

- e) Determinación del tipo de catalizador y silenciador, sus dimensiones y ubicación.



Fotografía 11. Medición y determinación del silenciador

- f) Selección del material a utilizar, en este caso utilizaremos un tubo de hierro gris 40 de 1''3/4 de diámetro, en el que procedemos hacer los cortes de acuerdo a las dimensiones antes anotadas.



Fotografía 12. Diámetro del tubo de escape



Fotografía 13. Doblado del tubo de escape

- g) Doblamos el tubo en las secciones específicas de acuerdo al diseño original y juntamos las partes individuales mediante soldadura eléctrica con electrodos E6011.



Fotografía 14. Doblado de partes curvas del tubo de escape

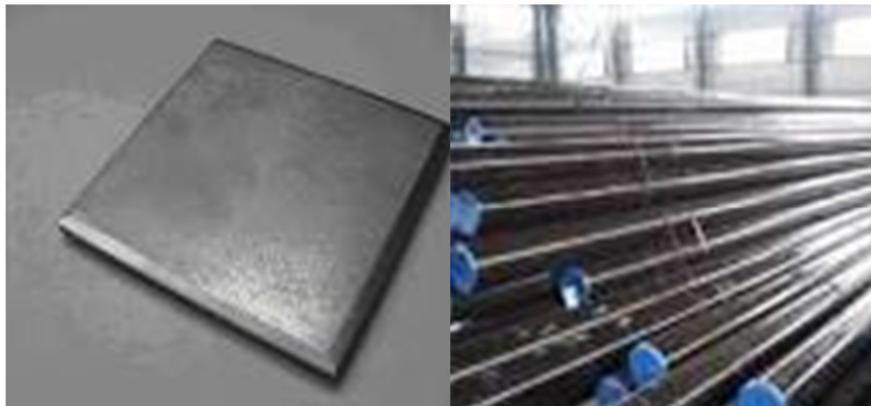
- h) Pasamos la amoladora por las soldaduras para un pulido final y mejor rendimiento. Esto siempre termina siendo lo que más tiempo demanda ya que se busca perfección en el acabado.



Fotografía 15. Ensamble final del tubo de escape

### 3.2 Construcción del Tornillo de Arquímedes

- a) Selección del tipo de material, en este caso utilizamos un eje de acero al carbón de ½” de diámetro y una plancha de acero de 1 mm de espesor.



Fotografía 16. Ejes y placas utilizados en la construcción del tornillo

b) Una vez determinado el paso y diámetro del tornillo procedemos a plasmar en un molde las dimensiones antes descritas.



Fotografía 17. Construcción del molde para la aleta

c) Cortamos circunferencias de diámetro calculado del tornillo en la plancha de acero, las mismas que son perforadas con un diámetro igual al eje para luego ser dobladas con una distancia igual al paso de las aletas.



Fotografía 18. Molde de circunferencias base



Fotografía 19. Doblado de las aletas

d) Unimos las secciones individuales mediante soldadura MIC para formar una sola hélice con la altura, paso y diámetro requeridos y modelados en el diseño.



Fotografía 20. Unión de partes individuales de la aleta

e) De la misma manera elaboramos la segunda hélice, ya que en nuestro diseño el tornillo corresponde a uno de doble entrada.



Fotografía 21. Elaboración de la segunda hélice

f) Enlazamos las hélices con el eje de acero de 1/2'' utilizando soldadura MIC.



Fotografía 22. Unión de la hélice al eje del tornillo

g) Introducimos a presión las hélices y el eje en un tubo de 63mm de diámetro. Dicho tubo tiene la característica de ser sin costura ya que al insertar la hélice se requiere de un ajuste de 0,004 mm entre aleta-tubo con la finalidad de evitar fugas presión de gases.



Fotografía 23. Encaje de las aletas en el tubo exterior

h) Como la sección de entrada a las hélices es de forma rectangular, se construyó dos tubos con características especiales, su forma pasa de ser circular a rectangular con el propósito de facilitar la unión a la entrada y salida del tubo de escape.



Fotografía 24. Trazo del tubo de sección cuadrado-circular

i) En base al diseño, trazamos en la plancha de acero el desarrollo de los tubos de entrada y salida, cortamos y soldamos dando la forma requerida.



Fotografía 25. Construcción del tubo de sección cuadrado-circular

j) Juntamos los tubos a la entrada y salida de las hélices con un ángulo de  $25,46^\circ$  calculado en base al paso y diámetro del tornillo.

Eliminamos los residuos de la soldadura utilizando una moladora para obtener un buen acabado y finalmente pintamos.



Fotografía 26. Tubo de Arquímedes ensamblado

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Determinación de Torque y Potencia del Motor montado el Tornillo de Arquímedes

Una vez montado el Tornillo de Arquímedes en el Sistema de Escape, utilizamos el dinamómetro MOTORROLL del Laboratorio de Motores para medir los valores de Torque y Potencia en el automóvil Corsa Wind del mismo laboratorio.

RPM Vehículo	Torque (Kgm)	Potencia (Cv)	Potencia (HP)
650	0,17	0,08	0,08
700	0,31	0,34	0,33
750	0,46	0,59	0,59
800	0,60	0,85	0,84
850	0,75	1,11	1,09
900	0,89	1,37	1,35
950	1,04	1,62	1,60
1000	1,18	1,88	1,86
1050	1,32	2,14	2,11
1100	1,47	2,40	2,36
1150	1,61	2,65	2,62
1200	1,76	2,91	2,87
1250	1,90	3,17	3,13
1300	2,05	3,42	3,38
1350	2,19	3,68	3,63
1400	2,33	3,94	3,89
1450	2,48	4,20	4,14
1500	2,62	4,45	4,40
1550	2,77	4,71	4,65
1600	2,91	4,97	4,90
1650	3,05	5,23	5,16
1700	3,20	5,48	5,41
1750	3,34	5,74	5,67
1800	3,49	6,00	5,92
1850	3,58	6,25	6,17

1900	3,73	6,51	6,43
1950	3,88	6,77	6,68
2000	4,03	7,03	6,94
2050	4,18	7,28	7,19
2100	4,33	7,54	7,44
2150	4,48	7,80	7,70
2200	4,63	8,06	7,95
2250	4,78	8,31	8,20
2300	4,93	8,57	8,46
2350	5,26	8,76	8,64
2400	5,60	8,94	8,83
2450	5,93	9,13	9,01
2500	6,26	9,32	9,19
2550	6,60	14,00	13,82
2600	6,93	14,27	14,09
2650	7,26	14,55	14,36
2700	7,60	14,82	14,63
2750	7,93	15,10	14,90
2800	8,26	15,37	15,17
2850	8,60	15,65	15,44
2900	8,93	15,92	15,71
2950	9,26	16,20	15,99
3000	9,60	16,47	16,26
3050	9,93	16,75	16,53
3100	10,26	23,98	23,67
3150	10,60	31,93	31,51
3200	10,93	32,44	32,02
3250	12,54	32,94	32,52
3300	14,99	37,46	36,97
3350	15,76	38,03	37,53
3400	16,06	41,40	40,86
3450	16,45	42,01	41,46
3500	16,81	44,14	43,57
4000	15,17	34,68	34,23
4500	14,30	28,54	28,17

Cuadro 07. Tabla de Torque y Potencia del Motor montado Tornillo de Arquímedes

#### 4.2 Curva de RPM vs Potencia del Motor montado el Tornillo de Arquímedes

Con los valores de la tabla de potencias indicados en el Cuadro 06 procedemos a graficar la curva en función de las revoluciones del motor. Al analizar la curva

determinamos que el valor de potencia máximo obtenido a 3500 RPM es de 43,57 HP (44,14 Cv).

En esta curva podemos determinar paso a paso cual es la variación de la potencia de acuerdo a la aceleración que se da al motor.

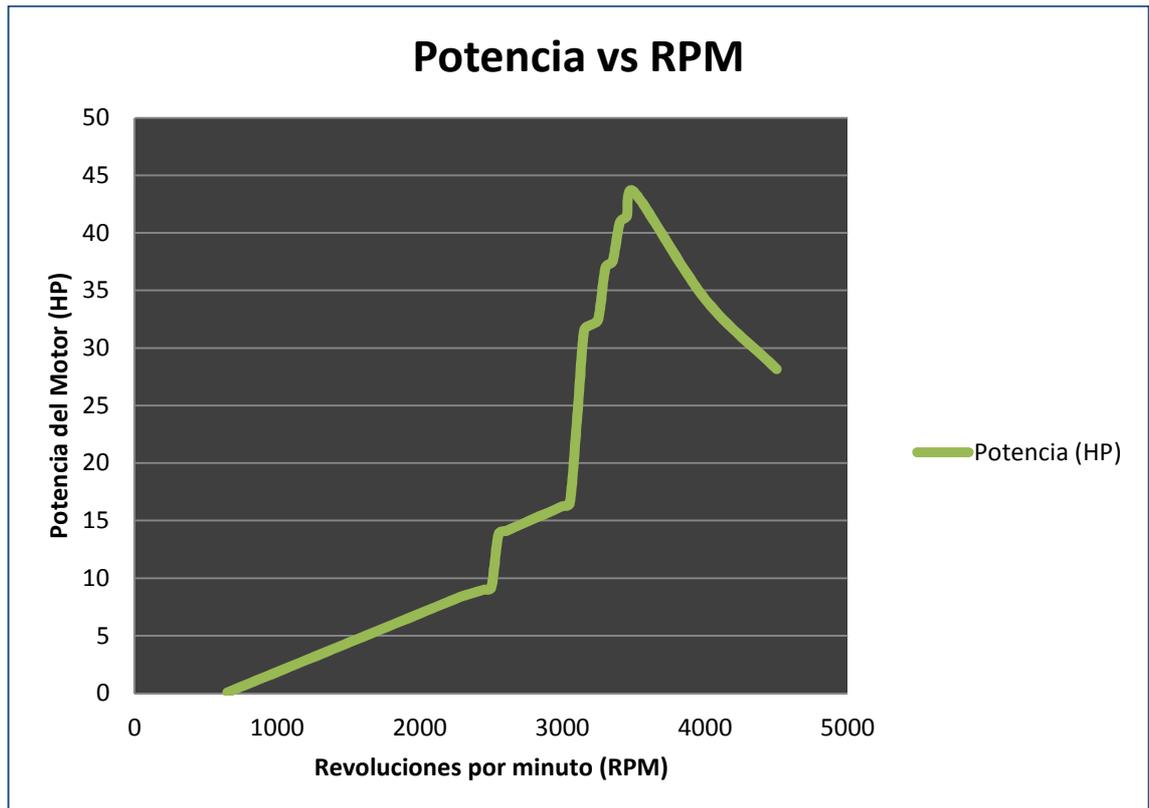


Fig. 57 Curva de Potencia vs RPM montado el Tornillo de Arquímedes

### 4.3 Curva de RPM vs Torque del Motor montado el Tornillo de Arquímedes

Con los valores de la tabla de Torques indicados en el Cuadro 06 procedemos a graficar la curva en función de las revoluciones del motor. Al analizar la curva determinamos que el valor de torque máximo obtenido a 3500 RPM es de 16,81 Kgm.

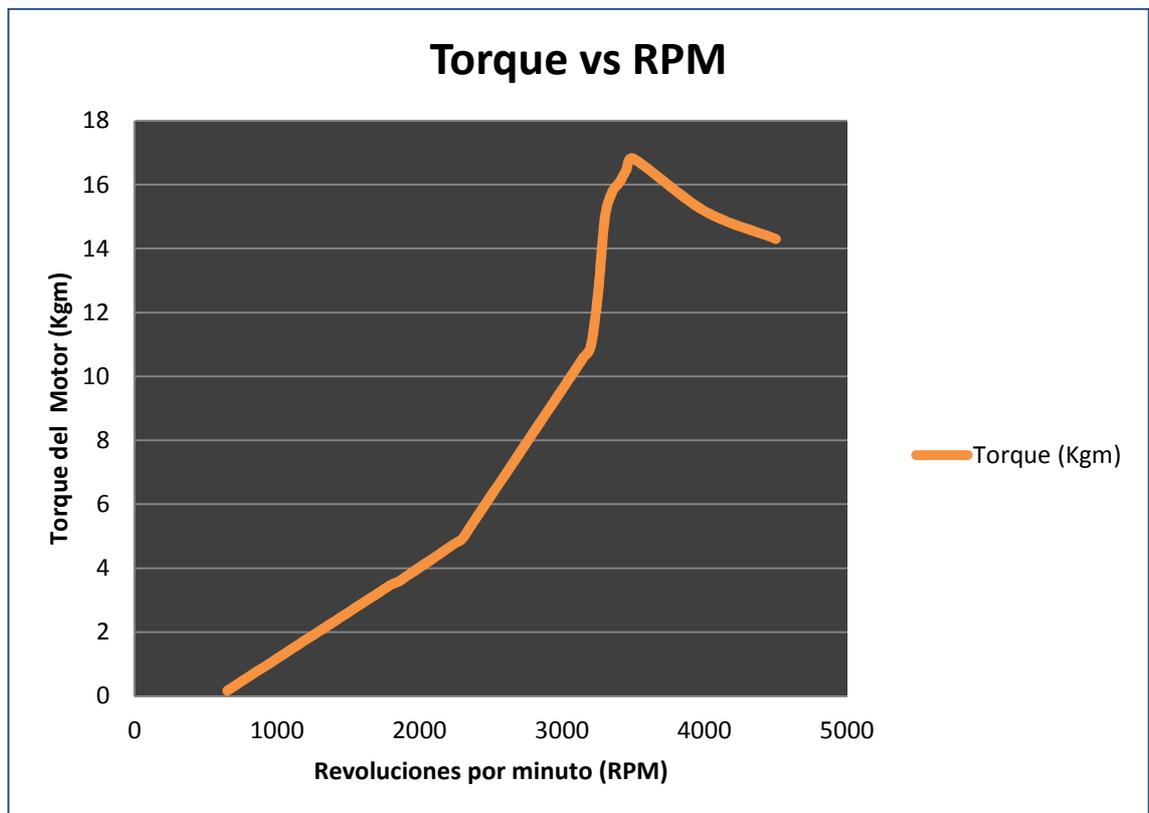


Fig. 58 Curva de Torque vs RPM montado el Tornillo de Arquímedes

#### 4.4 Curva de la Cantidad de Gases Expulsados por el Motor

Mediante la utilización del Analizador de Gases podemos encontrar las concentraciones de los residuos de la combustión y que a continuación detallamos en el Cuadro 07.

GAS	PORCENTAJE %
CO	3,612
CO2	6,21
NOx	0,093
HC	762 ppm

Cuadro 08. Cantidad de Gases Residuales

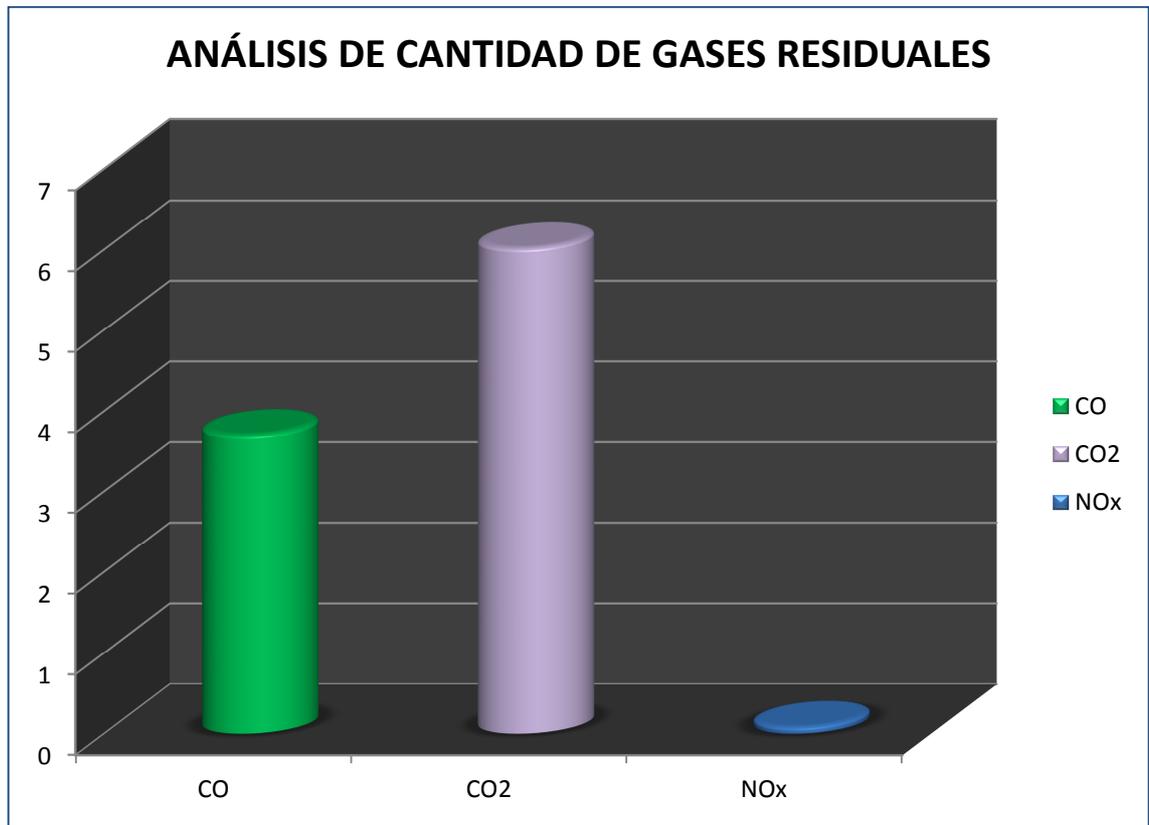


Fig. 59 Cuadro de Cantidades de Gases de Escape

#### 4.5 Determinación de Torque y Potencia del Motor del Automóvil Corsa Wind en Condiciones Iniciales

Utilizamos el dinamómetro MOTORROLL del Laboratorio de Motores para medir los valores de Torque y Potencia en el automóvil Corsa Wind del mismo laboratorio pero en condiciones iniciales, es decir, sin montar el Tornillo de Arquímedes lo que nos arroja los siguientes datos que reflejamos en el Cuadro 08.

RPM Vehículo	Torque (Kgm)	Potencia (Cv)	Potencia (HP)
650	0,10	0,07	0,07
700	0,19	0,21	0,20
750	0,49	0,34	0,34
800	0,68	0,48	0,47
850	0,86	0,62	0,61
900	1,03	0,75	0,74
950	0,97	0,89	0,88

<b>1000</b>	1,98	1,03	1,01
<b>1050</b>	1,65	1,16	1,15
<b>1100</b>	1,75	1,30	1,28
<b>1150</b>	1,87	1,43	1,42
<b>1200</b>	0,67	1,57	1,55
<b>1250</b>	2,03	1,71	1,69
<b>1300</b>	2,23	1,84	1,82
<b>1350</b>	2,44	1,98	1,96
<b>1400</b>	2,65	2,12	2,09
<b>1450</b>	2,85	2,25	2,22
<b>1500</b>	3,06	2,39	2,36
<b>1550</b>	3,26	2,53	2,49
<b>1600</b>	3,46	2,66	2,63
<b>1650</b>	3,66	2,80	2,76
<b>1700</b>	3,86	2,94	2,90
<b>1750</b>	4,06	3,07	3,03
<b>1800</b>	4,32	3,21	3,17
<b>1850</b>	4,53	3,35	3,30
<b>1900</b>	4,68	3,48	3,44
<b>1950</b>	4,80	3,62	3,57
<b>2000</b>	4,93	3,76	3,71
<b>2050</b>	5,05	3,89	3,84
<b>2100</b>	5,17	4,03	3,98
<b>2150</b>	5,30	4,16	4,11
<b>2200</b>	5,42	4,30	4,25
<b>2250</b>	5,54	4,44	4,38
<b>2300</b>	5,67	5,86	5,78
<b>2350</b>	5,79	7,28	7,18
<b>2400</b>	5,91	8,70	8,59
<b>2450</b>	6,04	10,12	9,99
<b>2500</b>	6,16	11,54	11,39
<b>2550</b>	6,28	12,96	12,79
<b>2600</b>	6,40	14,38	14,19
<b>2650</b>	6,53	15,80	15,60
<b>2700</b>	6,65	17,22	17,00
<b>2750</b>	6,77	18,64	18,40
<b>2800</b>	6,90	20,06	19,80
<b>2850</b>	7,02	20,06	19,79
<b>2900</b>	7,14	20,05	19,79
<b>2950</b>	7,27	20,04	19,78
<b>3000</b>	9,11	21,85	21,56
<b>3050</b>	9,53	23,66	23,35

3100	9,74	25,47	25,14
3150	9,84	27,28	26,92
3200	9,99	29,09	28,71
3250	10,15	30,90	30,50
3300	10,30	32,71	32,28
3350	10,46	34,52	34,07
3400	10,62	36,33	35,86
3450	10,77	38,14	37,64
3500	13,34	39,95	39,43
4000	13,56	20,85	20,58
4500	12,30	15,76	15,56

Cuadro 09. Tabla de Torque y Potencia del Motor en Condiciones Iniciales

#### 4.6 Curva de RPM vs Potencia del Motor en Condiciones Iniciales

Con los valores de la tabla de Potencias indicados en la Fig. 60 procedemos a graficar la curva en función de las revoluciones del motor. Al analizar la curva determinamos que el valor de potencia máximo obtenido a 3500 RPM es de 39,43 HP (39,95 Cv).

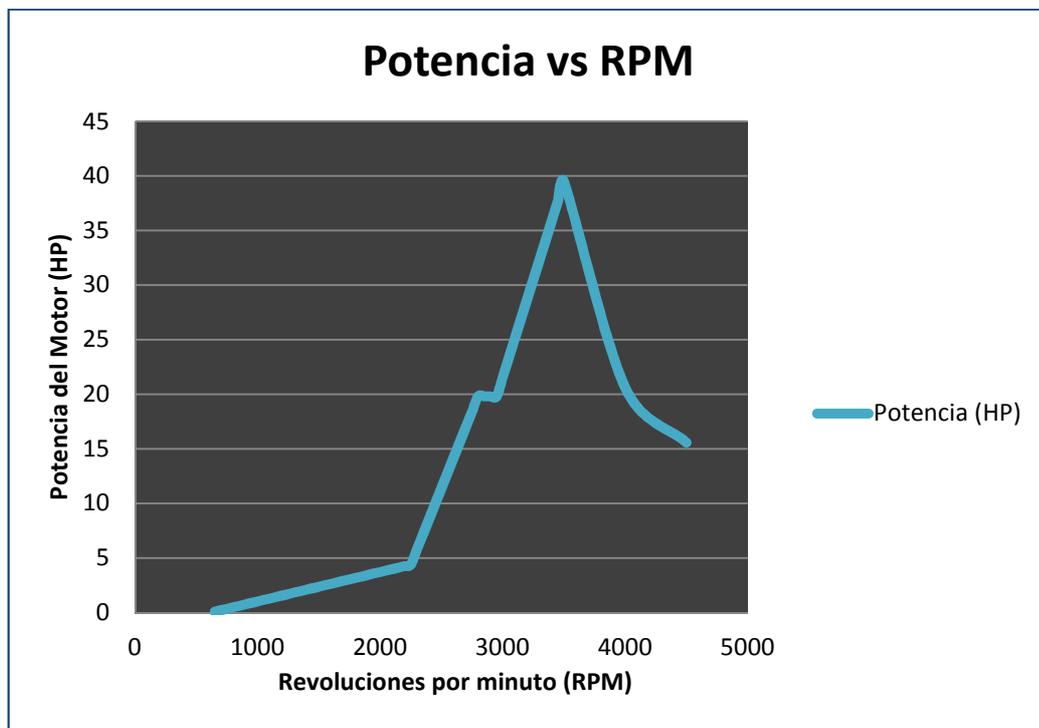


Fig. 60 Curva de Potencia vs RPM en Condiciones Iniciales

#### 4.7 Curva de RPM vs Torque del Motor en Condiciones Iniciales

Con los valores de la tabla de Torques indicados en la Fig. 61 procedemos a graficar la curva en función de las revoluciones del motor. Al analizar la curva determinamos que el valor de torque máximo obtenido a 3500 RPM es de 13,34 Kgm.

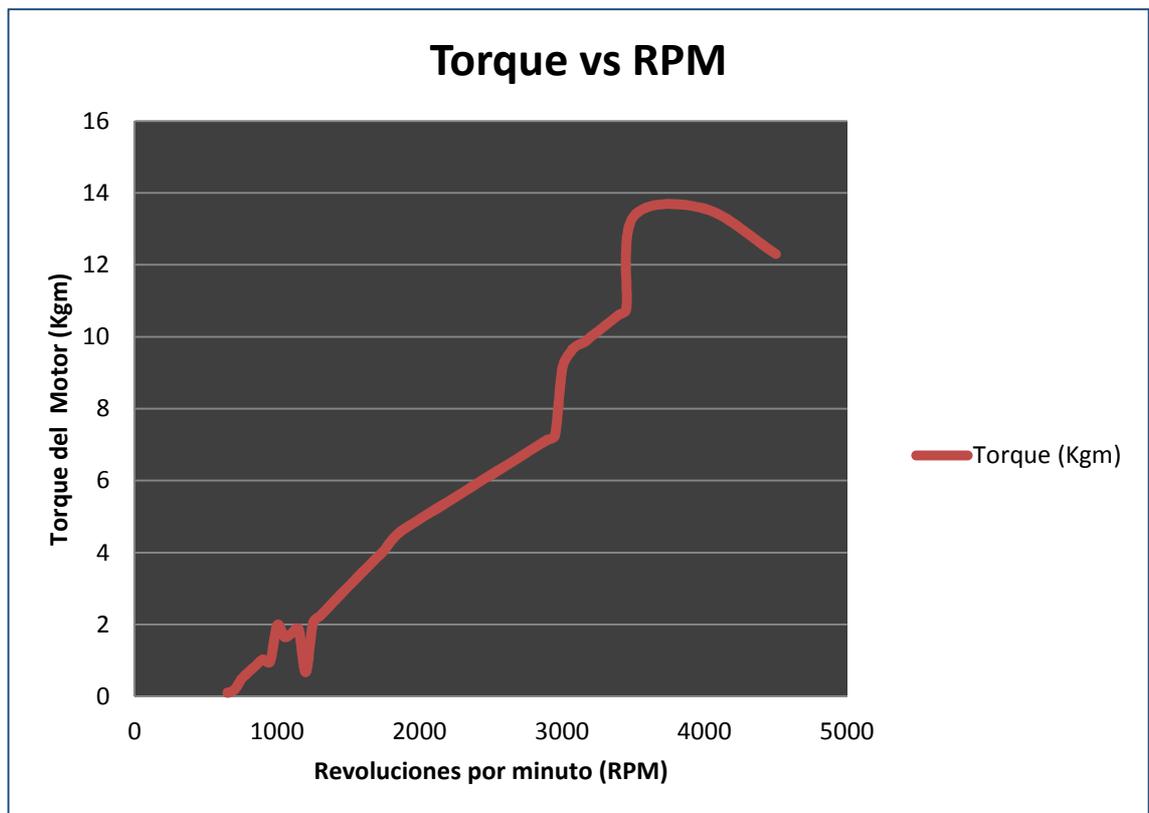


Fig. 61 Curva de Torque vs RPM en Condiciones Iniciales

#### 4.8 Comparación de las Curvas Potencia vs RPM

Mediante la curva presentada en la Fig. 62 podemos deducir que los valores de potencia máximos obtenidos son mayores en las pruebas realizadas en el sistema de escape cuando el Tornillo de Arquímedes está montado que cuando no lo está.

Potencia del motor con el Tornillo de Arquímedes: 43,57 HP @ 3500 RPM

Potencia del motor sin el Tornillo de Arquímedes: 39,43 HP @ 3500 RPM

Existe un incremento aproximadamente de 4,14 HP de potencia en el motor medidos a 3500RPM lo que ratifica que el objetivo principal planteado en la investigación es cierto.

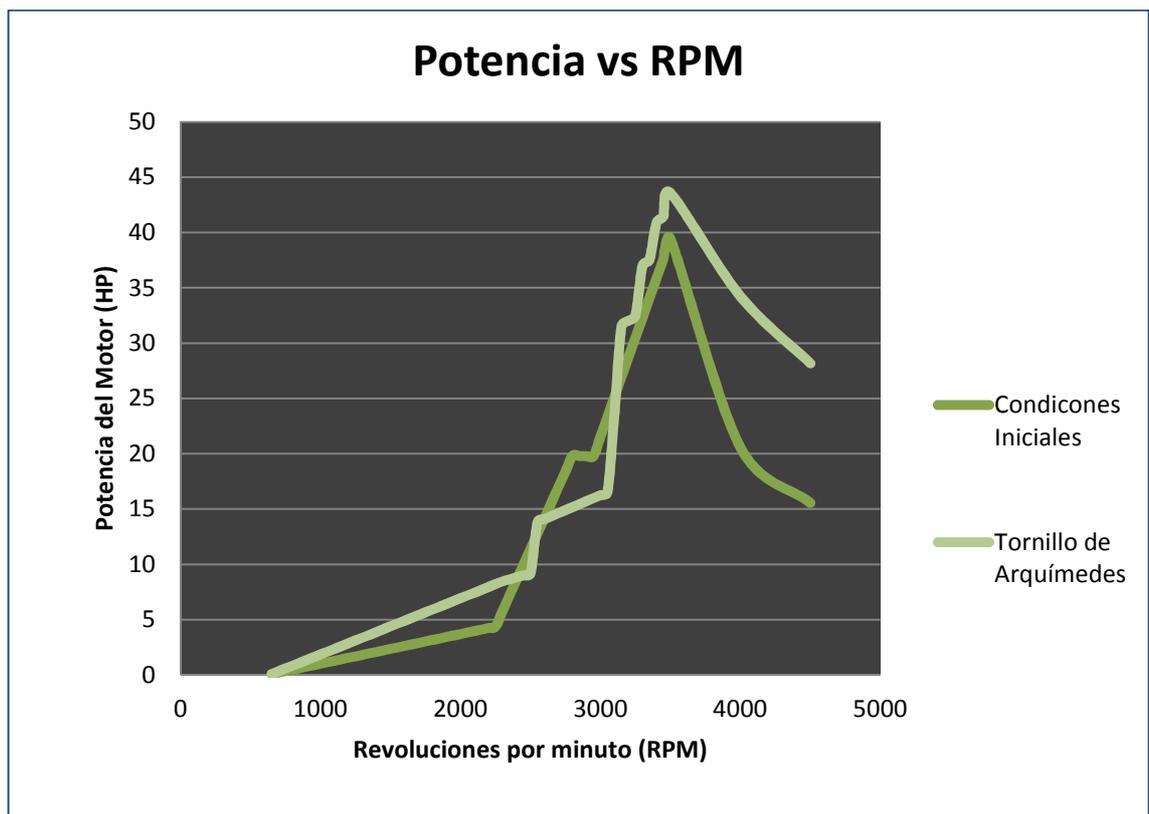


Fig. 62 Curva Comparativa de Potencia en el Motor

#### 4.9 Comparación de las Curvas Torque vs RPM

Mediante la curva presentada en la Fig. 63 podemos deducir que los valores de torque máximos obtenidos son mayores en las pruebas realizadas en el sistema de escape cuando el Tornillo de Arquímedes está montado que cuando no lo está.

Torque del motor con el Tornillo de Arquímedes: 16,81 Kgm @ 3500 RPM

Torque del motor sin el Tornillo de Arquímedes: 13,34 Kgm @ 3500 RPM

Existe un incremento aproximadamente de 3,47 Kgm de torque medidos a 3500RPM lo que ratifica que el objetivo principal planteado en la investigación es cierto.

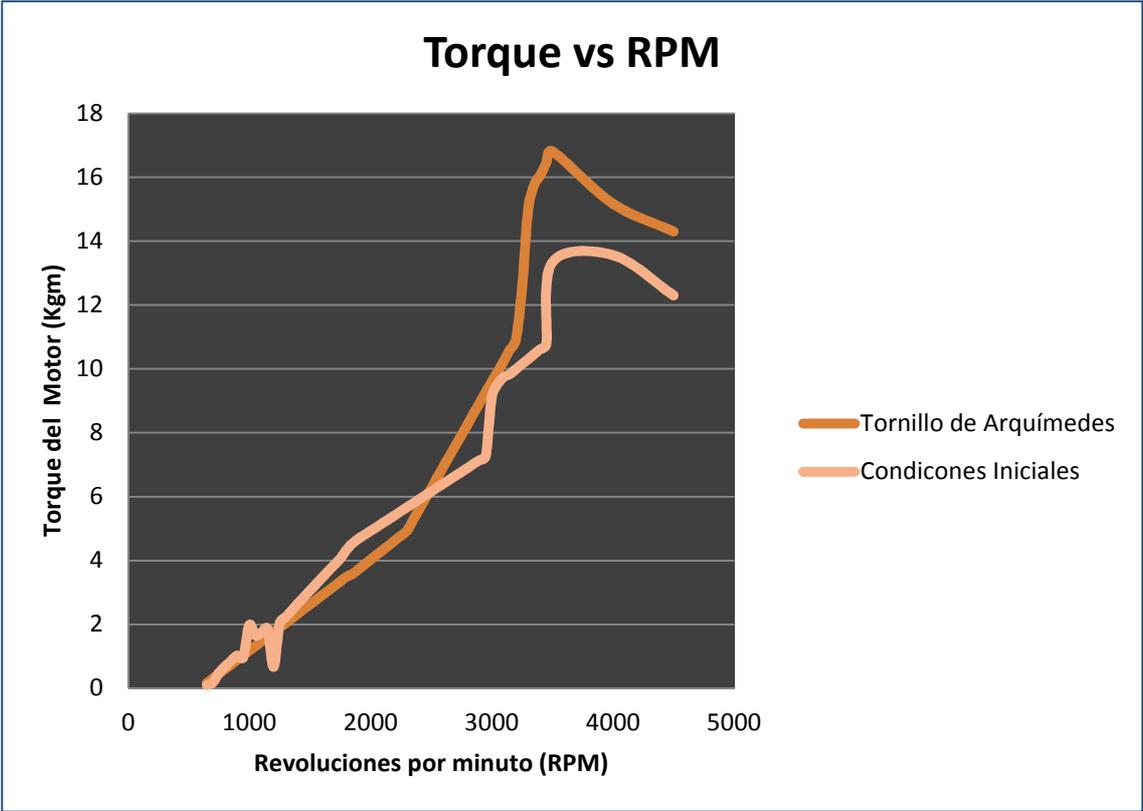


Fig. 63 Curva Comparativa de Torque

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- a. Al analizar las curvas de potencia podemos concluir que nuestro proyecto es mucho más eficiente a bajas revoluciones, ya que existe un incremento considerable, pero también decrece a medias revoluciones, pero de igual forma incrementa en su potencia máxima.
- b. También podemos concluir que los valores proporcionales de los gases de escape no diferencian con el inicial, situación que es beneficioso ya que nuestro proyecto no contribuye a que los gases de escape sean más perjudiciales que con el sistema inicial sin modificaciones.
- c. De la ubicación de nuestro proyecto la situación actual es la más idónea por que ayuda a que evacue con rapidez los gases del sistema y ayuda a contrarrestar la contrapresión ocasionada por el catalizador.
- d. La velocidad de los gases de escape al circular por la hélice se incrementa razones por las que al tener un recorrido mayor ayuda a que su temperatura varié por lo que existe un incremento de presión al final del trayecto.
- e. Las dimensiones y áreas de ingreso al tornillo de Arquímedes debe ser el mismo por lo que la disminución ayuda a que incremente el valor de la contrapresión y causaría un efecto contrario a lo que buscamos, un incremento en su sección ayudara a que su velocidad se reduzca anulando los efectos que ofrece la trayectoria del tornillo de Arquímedes.

- f. Todo elemento que se oponga a la libre circulación de los gases de escape contribuye a crear una contrapresión, por lo que evita que la potencia máxima de un motor sea aprovechada al 100%.
- g. Los gases más perjudiciales para el medio ambiente son el CO y los NOx por lo que hay que evitar la producción de estos al máximo, por ello no hay que eliminar al catalizador del sistema de escape.
- h. Al no existir modificación alguna en sus partes y elementos del sistema de escape, sus elementos que ayudan a la no producción de los gases perjudiciales para el medio ambiente, continúan trabajando con normalidad como es el caso del sistema de recirculación de gases (EGR), que ayuda a disminuir la temperatura de la cámara de combustión, que es en donde se producen estos gases que están más propensos a su aparición a altas temperaturas.
- i. Con la ayuda del Tornillo de Arquímedes ayudara a que el sistema de recirculación de gases (EGR) tenga un funcionamiento optimo, debido a que la contrapresión efectuada por el catalizador ayuda a que el volumen de los gases de recirculación sean mayores por la presión existente en el trayecto del múltiple de escape y el catalizador.
- j. Los gases más perjudiciales para el medio ambiente son el CO y los NOx por lo que hay que evitar la producción de estos al máximo, por ello no hay que eliminar al catalizador del sistema de escape.

## **5.2 Recomendaciones**

- a. Gracias a los trabajos de investigación científica aplicamos la mayoría de conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria e inclusive nos

vemos obligados a explorar campos nunca antes estudiados, por tanto, nos sería placentero que otros compañeros continúen con el estudio del presente proyecto.

- b. Uno de los caminos para elevar la potencia de los motores de combustión interna es, a más de la colocación del Tornillo de Arquímedes, ubicar un tubo paralelo al tornillo con la finalidad de tener un camino libre de oposición para el recorrido de los gases.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ocaña Ocaña, TRATADO DEL AUTOMÓVIL: LA TÉCNICA EN LOS SIGLOS XX y XXI, Editorial Dossat, Madrid, 2000
- Halderman James D., MANUAL PARA AJUSTE DE MOTORES Y CONTROL DE EMISIONES, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México, 1992
- Bosch, MANUAL DE LA TEORÍA DEL AUTOMÓVIL, Editorial Reverté SA, España, 2004
- Molina Santiago A., INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN Y LA RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE SOBRE EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN UN MOTOR, Editorial Reverté, España, 2005
- Gillieri Stefano, PREPARACIÓN DE MOTORES SERIE PARA COMPETENCIA, Ediciones CEAC, España, 1994
- MS Jóvac, MOTORES DEL AUTOMÓVIL, Editorial MIR, Moscú, 1982
- Toyota Service Training, SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES, Japón, 1998
- Shigley Joseph E., DISEÑO DE INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw Hill, México, 2002
- Mott Robert L., DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, Prentice Hall, México, 1992
- Orthwein William C., DISEÑO DE COMPONENTES DE MÁQUINAS, Editorial Continental SA, México, 1996
- Bouquet JA, TRATADO ELEMENTAL DEL MECÁNICO, Ediciones Pili SA, México, 1990
- Mataix Plana Claudio, MECÁNICA DE FLUÍDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS, Editorial Harla, México DF, 1982

Latacunga, junio 2011

Autores,

Fonseca Paredes Franklin Patricio  
AUTOR

Santo Guanoluisa Marco Patricio  
AUTOR

Ing. Juan Castro  
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Eduardo Vásquez A.  
SECRETARIO ACADÉMICO

## **ANEXO A**

### **Documento Científico**

## **ANEXO B**

### **Planos**