

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

## Facultad de Ingeniería Automotriz

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO  
DE  
INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ

“Diseño, selección e implementación de un  
interenfriador aire-agua en un banco de pruebas  
para comprobar la eficiencia térmica con un  
interenfriador aire-aire.”

Morales González Esteban Andrés

Director: Ing. Andrés Gavilánez.

2011

Quito, Ecuador

# ÍNDICE

## Contenido

### CAPÍTULO I

#### GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.4. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	5
1.5. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. ALCANCE.....	7

### CAPÍTULO II

#### CONCEPTOS BÁSICOS

2.1. TERMODINÁMICA.....	8
2.1.1. La Ley Cero.....	8
2.1.2. Densidad.....	9
2.1.3. Tipos de Sistemas.....	10
2.1.3.1. Sistema Cerrado.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.3.2. Sistema Abierto.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4. Procesos y Ciclos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4.1. Cuasi-estático.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4.2. Isotérmica.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4.3. Isobárico.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4.4. Flujo Estacionario.....	¡Error! Marcador no definido.

2.1.5. Primera Ley.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.6. Segunda Ley.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1. Conducción.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1.1. Ley de Fourier.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2. Conductividad Térmica.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3. Convección.....	18
2.2.3.1. Convección Natural.....	19
2.2.3.2. Convección Forzada .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4. Radiación.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.1. Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2. Tipos de Intercambiadores de Calor.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2.1. Intercambiador de Calor de Tubo Doble.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2.2. Intercambiador de Calor Compacto .....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2.3. Intercambiador de Calor de Casco y Tubos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3. Coeficiente de transferencia de Calor Total.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3.1. Valores Representativos de los Coeficientes Totales de Transferencia de Calor en los Intercambiadores de Calor.....	¡Error! Marcador no definido.

2.3.4. Análisis de los Intercambiadores de Calor.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.4.1. Método de la Diferencia Media Logarítmica de Temperatura.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.4.2. Método de la Efectividad.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR TURBOCARGADO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1. Motores Sobrealimentados.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1.1. Rangos de Sobrealimentación.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.2. Potencia.....	40
2.4.3. Torque.....	42
2.4.4. Ciclos de Funcionamiento.....	43
2.4.5. Eficiencia Volumétrica .....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. TURBOCOMPRESORES.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1. Constitución.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1.1. Compresor.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1.2. Turbina. ....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1.3. Cuerpo del Cojinete.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1.4. Cojinetes del Turbo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.2. Eficiencia.....	50
2.5.2.1. Eficiencia del compresor.....	50
2.5.2.2. Eficiencia de la Turbina.....	51
2.5.3. Lubricación.....	51
2.5.3.1. Presión y flujo de aceite.....	51

2.5.3.2. Retorno del aceite.....	52
2.5.4. Tecnología de Fabricación.....	52
2.5.4.1. Turbos de geometría variable.....	53
2.5.4.2. Turbos con cojinetes de bolas. ....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.4.3. Turbos cerámicos. ....	¡Error! Marcador no definido.
2.6. INTERENFRIADOR.....	¡Error! Marcador no definido.7
2.6.1. Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.7
2.6.2. Características.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.2.1. Tipos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.2.2. Interenfriador Aire – Aire.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.2.3. Interenfriador Aire – Agua.....	60
2.6.3. Constitución.....	62
2.6.4. Eficiencia Térmica.....	64
2.6.5. Criterios de Diseño.....	65
2.6.5.1. Superficie del núcleo del interenfriador.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.5.2. Área de flujo interno.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.5.3. Tamaño y espesor de la coraza.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.5.4. Configuración de los paneles.. ....	70
2.6.5.5. Tanques de Terminación.....	71
2.6.5.6. Configuración de Carga de los Interenfriadores.....	74
2.6.5.7. Parámetros a tener en cuenta.....	74

### CAPITULO III

#### DISEÑO Y SELECCIÓN DEL INTERENFRIADOR Y DETERMINACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1. CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA SIMULADOR DEL AIRE AL PASAR POR EL TURBO DE UN VEHICULO.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1. Densidad de aire.....	78
3.1.1.1. Efectos del Compresor en la Densidad del Aire.....	80
3.2 FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA.....	81
3.2.1. Fórmula para Calcular el Radio de Presión de Operación del Compresor	81
3.2.2. Fórmula para Calcular la Temperatura del Aire a la Salida del Compresor.....	83
3.2.3. Fórmula para Calcular la Temperatura Descarga.....	84
3.2.4. Fórmula para Calcular el Flujo de Aire en el Motor.....	84
3.3 CÁLCULO DEL SISTEMA.....	86
3.3.1. Cálculo del Radio de Presión de Operación del Compresor.....	86
3.3.2 Cálculo de la Temperatura del Aire a la Salida del Compresor.....	87
3.3.3. Cálculo de la Temperatura de Descarga del Compresor.....	88
3.3.4. Cálculo del Flujo del Aire en el Motor.....	89
3.4 DISEÑO DEL INTERENFRIADOR AIRE -AGUA.....	89
3.4.1. Material de Construcción del Interenfriador.....	90
3.4.2 Cálculo del Área de Flujo Interno.....	91
3.4.3. Cálculo del Área de la Cara del Aire de Carga.....	95
3.4.4. Determinación del Espesor de la Coraza.....	96
3.4.5 Cálculo del Ancho de la Coraza.....	99
3.4.6. Selección de la Dirección del Flujo en el Cuerpo del Interenfriador.....	99
3.4.7 Longitud de los Paneles del Interenfriador.....	101
3.4.8 Determinación del Recipiente Cobertor del Interenfriador.....	104
3.4.9. Determinación del Tanque de Terminación.....	106
3.4.10. Determinación del Diámetro del Ducto de Ingreso y Salida del Aire.....	107
3.4.11. Especificación del Interenfriador Aire - Agua Diseñado.....	110

3.5 SELECCIÓN DEL INTERENFRIADOR AIRE - AGUA.....	113
3.6 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA ANEXO DEL INTERENFRIADOR AIRE - AGUA.....	116
3.6.1.Depósito.....	118
3.6.2 Bomba Eléctrica de Agua.....	118
3.6.3. Radiador de Agua.....	121
3.6.4 Electroventilador.....	123
3.6.5 Mangueras de Agua y Neplos.....	124
3.7 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS Y CONSTRUCCIÓN.....	125
3.7.1 Selección Materiales de Construcción del Banco de Pruebas.....	126
3.7.2 Montaje de la Estructura.....	127
3.7.2.1 Centro de Mandos y Control.....	¡Error! Marcador no definido.28
3.7.2.2. Bancada de los Sistemas de Enfriamiento.....	¡Error! Marcador no definido.30
3.7.3 Selección de Componentes del Banco de Pruebas.....	132
3.7.3.1. Batería de 12 Voltios.....	¡Error! Marcador no definido.32
3.7.3.2. Corta-Corriente.....	¡Error! Marcador no definido.33
3.7.3.3. Switchs de Encendido y Apagado.....	¡Error! Marcador no definido.33
3.7.3.4. Leds Indicadores.....	¡Error! Marcador no definido.34
3.7.3.5. Componentes Eléctricos Varios.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3.6. Tabla de Apuntes.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3.7. Herramientas de Medición.....	¡Error! Marcador no definido.

3.7.3.8. Soplador o Blower.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3.9. Fuente de Calor.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3.10. Tubería.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3.11. Mangueras de Acople.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3.12. Sistema Interenfriador Aire – Aire.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.4 Construcción.....	142

## **CAPÍTULO IV**

### **IMPLEMENTACIÓN**

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE SIMULACIÓN.....	148
4.1.1. Control de Mandos.....	148
4.1.2. Base Posterior.....	150
4.1.3. Base Lateral.....	152
4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AIRE - AGUA.....	155
4.2.1 Diagrama de Flujo del Interenfriador Aire - Agua y sus Componentes Anexos.....	161
4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AIRE - AIRE.....	162
4.3.1 Diagrama de Proceso de Montaje y Desmontaje del Interenfriador Aire - Agua.....	165
4.4 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS DEL BANCO.....	166
4.5 BANCO DE PRUEBAS IMPLEMENTADO.....	167
4.6 DESMONTAJE DE LOS DOS SISTEMAS.....	168

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5.1 PRUEBAS.....	170
------------------	-----

5.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	170
5.2.1. Medición de Volumen y Temperatura.....	170
5.2.1.1. Parámetros Técnicos.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.1.2. Instrumentación Utilizada.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.1.3. Parámetros a Medirse.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.1.4. Protocolo de la Prueba.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.1.5. Diseño del Registro.....	¡Error! Marcador no definido.
5.3 EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS.....	176
5.3.1. Pruebas de los sistemas en el banco de pruebas.....	176
5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DOS SISTEMAS.....	184

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

6.1 COSTO DE DISEÑO.....	189
6.2. COSTO DE PIEZAS.....	190
6.3 COSTO DE INSTALACIÓN.....	192

## **CAPÍTULO VII**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	193
7.1 CONCLUSIONES.....	193
7.2. RECOMENDACIONES.....	197

## ÍNDICE

### Contenido de Figuras

#### CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Dirección del flujo .....	23
Figura 2.2 Tipos de flujo .....	24
Figura 2.3 Paso por el casco.....	25
Figura 2.4 Valores de corrección 1.....	33
Figura 2.5 Valores de corrección 2.....	34

Figura 2.6	Valores de la Efectividad y NTU.....	36
Figura 2.7	Tabla de Valores de la Efectividad y NTU.....	37
Figura 2.8	Potencia en un motor atmosférico y un motor sobrealimentado.....	42
Figura 2.9	Constitución del turbocompresor.....	47
Figura 2.10	Disposición de los cojinetes de casquillos flotantes y de empuje.....	50
Figura 2.11	Turbo de geometría variable.....	54
Figura 2.12	Turbo con cojinetes de bolas.....	55
Figura 2.13	Turbo cerámico.....	56
Figura 2.14	Sistema de interenfriamiento.....	58
Figura 2.15	Interenfriador de aire – aire.....	60
Figura 2.16	Interenfriador aire – agua.....	61
Figura 2.17	Partes del interenfriador aire – aire.....	63
Figura 2.18	Partes del interenfriador aire – agua.....	63
Figura 2.19	Diseño del interenfriador.....	66
Figura 2.20	Tipos de superficie en el núcleo del interenfriador.....	68
Figura 2.21	Configuración de los paneles en el interenfriador.....	71
Figura 2.22	Diseños de tanques.....	72
Figura 2.23	Diseño interno del tanque.....	73

Figura 2.24	Tipo de carga de los interenfriadores.....	74
-------------	--	----

### **CAPÍTULO 3**

Figura 3.1	Radio de Presión.....	82
Figura 3.2	Partes del núcleo de un interenfriador.....	92
Figura 3.3	Estimado del área de flujo interno requerido en el interenfriador.....	93
Figura 3.4	Calculo del área de flujo interno.....	95
Figura 3.5	Cara del aire de carga.....	95
Figura 3.6	Espesor de un interenfriador.....	97
Figura 3.7	Comparativo del espesor.....	98
Figura 3.8	Dirección del flujo en el cuerpo del interenfriador.....	101
Figura 3.9	Sello de los paneles del interenfriador aire – agua.....	105
Figura 3.10	Forma del tanque seleccionado.....	106
Figura 3.11	Potencia en un motor 1600 cm <sup>3</sup> con y sin turbo.....	109
Figura 3.12	Interenfriador aire – agua a seleccionar.....	112
Figura 3.13	Circuito de agua del interenfriador aire - agua .....	117
Figura 3.14	Deposito de Agua Adquirido.....	118
Figura 3.15	Características de bombas de agua.....	119
Figura 3.16	Especificaciones de bombas de agua.....	120
Figura 3.17	Bomba de agua seleccionada.....	120
Figura 3.18	Radiador de agua seleccionado.....	122
Figura 3.19	Electroventilador del radiador de agua.....	124
Figura 3.20	Neplos de Acople.....	125
Figura 3.21	Plano de diseño de la consola de mando.....	129

Figura 3.22 Plano de diseño de la bancada.....	131
Figura 3.23 Batería.....	133
Figura 3.24 Switchs de funcionamiento.....	133
Figura 3.25 Leds indicadores.....	134
Figura 3.26 Componentes eléctricos.....	135
Figura 3.27 Blower o soplador.....	137
Figura 3.28 Pistola de calor.....	139
Figura 3.29 Mangueras de acople.....	140
Figura 3.30 Interenfriador de aire - aire .....	142
Figura 3.31 Vista frontal consola de mandos.....	143
Figura 3.32 Vista diagonal de la consola de mandos.....	143
Figura 3.33 Ruedas consola de mandos.....	144
Figura 3.34 Soldadura de base posterior.....	145
Figura 3.35 Ensamblaje base posterior.....	145
Figura 3.36 Ensamblaje base lateral.....	146

## CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Instalación de elementos eléctricos.....	149
Figura 4.2 Instalación de cables.....	149
Figura 4.3 Implementación del blower.....	151
Figura 4.4 Implementación de la pistola de calor.....	152
Figura 4.5 Soldadura de base para la bomba de agua.....	153
Figura 4.6 Implementación del radiador de agua.....	154
Figura 4.7 Implementación del depósito o reservorio.....	155
Figura 4.8 Implementación del interenfriador de aire – agua.....	156
Figura 4.9 Interenfriador de aire – agua en la estructura.....	156
Figura 4.10 Implementación de mangueras de acople.....	157
Figura 4.11 Implementación de neoprensos de agua.....	158

Figura 4.12 Implementación de manguera de agua.....	158
Figura 4.13 Implementación termómetros de temperatura.....	159
Figura 4.14 Instalación de mangueras de agua del radiador.....	160
Figura 4.15 Instalación del electroventilador del interenfriador de aire – aire.....	162
Figura 4.16 Base del interenfriador aire – aire.....	163
Figura 4.17 Interenfriador de aire – aire en la estructura.....	163
Figura 4.18 Conexión de mangueras al interenfriador de aire – aire.....	164
Figura 4.19 Banco de pruebas implementado.....	167
Figura 4.20 Banco de pruebas implementado.....	168

## ÍNDICE

### Contenido Tablas

Tabla 2.1 Conductividades térmicas de materiales a la temperatura ambiente .....	18
Tabla 2.2 Coeficientes Totales de Transferencia de Calor .....	29
Tabla 2.3 Rangos de sobrealimentación .....	40

### CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Cuadro estándar de la atmosfera.....	80
Tabla 3.2 Factores para calcular la temperatura a la salida del compresor.....	83
Tabla 3.3 Longitud de paneles.....	103
Tabla 3.4 Requerimientos de diámetro del conducto de entrada.....	107
Tabla 3.5 Rpm Vs HP de un motor 1600cc.....	109
Tabla 3.6 Especificaciones del interenfriador aire – agua diseñado.....	111
Tabla 3.7 Características del interenfriador aire – agua.....	114
Tabla 3.8 Características del interenfriador aire – agua seleccionado.....	116
Tabla 3.9 Características del radiador seleccionado.....	122
Tabla 3.10 Características del electroventilador del radiador de agua.....	123
Tabla 3.11 Características de la manguera del circuito de agua.....	124
Tabla 3.12 Características de los neopros de acople.....	125
Tabla 3.13 Características de la batería seleccionada.....	132
Tabla 3.14 Características del blower o soplador seleccionado.....	137
Tabla 3.15 Características de la pistola de calor seleccionada.....	138
Tabla 3.16 Características de las mangueras de acople seleccionadas.....	140
Tabla 3.17 Características del interenfriador de aire – aire.....	141

### CAPÍTULO V

Tabla 5.1 Registro de datos de las pruebas.....	175
Tabla 5.2 Registro de datos de la prueba #1.....	177
Tabla 5.3 Registro de datos de la prueba # 2.....	180

Tabla 5.4 Costos de componentes e instalación del sistema aire-agua.....	184
Tabla 5.5 Costos de componentes e instalación del sistema aire-aire.....	185
Tabla 5.6 Análisis comparativos entre los sistemas.....	187

## CAPÍTULO VI

Tabla 6.1 Costos de elementos para el diseño.....	190
Tabla 6.2 Costos de piezas adquiridas.....	191
Tabla 6.3 Costos de implementación del proyecto.....	192

# **1. CAPÍTULO**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Hoy en día el parque automotor se ha incrementado en los últimos años, y esto ha sido producido por la inversión realizada por los consumidores tratando de obtener bienes por la falta de confianza en los bancos del país. La continua demanda de vehículos cada vez mejores, ya sea en rendimiento, estética y precio

ha puesto a trabajar a los distintos fabricantes a fin de satisfacer las necesidades de los clientes.

Los automotores en las ciudades de la sierra representan más del 50% del mercado nacional total debido a que la geografía de nuestro país es más extensa en ciudades de altura que del llano, y al encontrarse a una altura considerable pierden hasta el 40% de la potencia nominal del motor debido a las condiciones atmosféricas. Para satisfacer esta demanda de pérdida de potencia, las mecánicas automotrices han encontrado la forma de adicionar potencia a los motores, pero muy pocas lo hacen con los estudios necesarios y lamentablemente prefieren hacerlo de una forma artesanal y experimental.

.  
Al trabajar de manera artesanal, se realiza un trabajo empírico basado en la prueba y error para la mejora del rendimiento, o simplemente basan su trabajo en experiencias vividas por otras personas pero casi en ninguna de las mecánicas que se dedican a este tipo de modificaciones lo hacen con un estudio preciso sobre la instalación de estas nuevas piezas y cuáles son los parámetros adecuados para cada vehículo. Esto produce que se coloquen piezas o repuestos no adecuados, y en el caso de que funcionen, no estarían logrando la máxima eficiencia.

Una de las mejores formas de lograr que un motor mejore altamente su rendimiento es el sistema de turbo. Este sistema es de un nivel complejo y el cual no es diferente en cada motor, dependiendo de las características. El sistema de

turbo tiene varios componentes adicionales los cuales al ser elegidos de manera correcta, de acuerdo a las prestaciones de cada vehículo puede permitir al usuario llegar a obtener la mayor eficiencia posible.

Esta ha sido la forma tradicional de este tipo de trabajo en el mercado nacional, por lo que se propone empezar con estudios de un componente básico en el sistema de turbo carga como lo es el interenfriador y tratar de mejorar el rendimiento con un sistema pocas veces utilizado y poco conocido como lo es un intercambiador de aire-agua, de la manera adecuada con estudios ingenieriles a fin de optimizar la inversión del usuario, todo esto que se vea reflejado al comprobar el correcto funcionamiento y el incremento de la potencia de su vehículo con el cambio de un componente.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El parque automotor está en constante ascenso, por lo que la demanda de productos mejores y eficientes es una tarea de todos los días. Pese a que los ingenieros automotrices enfocan sus esfuerzos a diseñar motores más potentes,

estos no son del todo eficientes cuando funcionan en lugares con altitud como la ciudad de Quito debido a la reducción de la presión atmosférica.

Muchos esfuerzos han sido realizados a fin de satisfacer esta necesidad, pero la mayoría de ellos han sido ejecutados de una forma artesanal, y generalmente no se llega a obtener los resultados más eficaces. Al aplicar los conocimientos de ingeniería, normas, efectos ambientales, entre otros, las posibilidades de que los resultados sean mucho más eficientes son muy altos, razón por la cual se realiza el presente proyecto.

En el mercado nacional, existen pocas empresas que se dedican a la instalación del un sistema turbo pero estas no realizan ningún estudio sobre la selección del más adecuado; lo que hacen es comercializar un “kit de turbo” en el que vienen todas las piezas necesarias para su funcionamiento de una forma general, sin tomar en cuenta que estos son diseñados para su utilización a nivel del mar y que existen partes del kit que al mejorarlas se obtiene un mejor rendimiento. Al no realizar este estudio individualizado, en el que hay que considerar sobre todo las condiciones atmosféricas, al sistema de turbo no se le va a extraer el máximo posible de su capacidad sin aprovecharlo al máximo, incluso a sistemas que ya tengan instalado un sistema de turbo se le puede instalar y/o mejorar el rendimiento con el solo cambio del interenfriador aire-aire a un interenfriador aire-agua dependiendo de las condiciones de uso que va a tener el automotor.

Muchos de los talleres que se han dedicado a la instalación del sistema turbo ni siquiera han valorado la opción de colocar a los vehículos un sistema de interenfriador aire-agua por el desconocimiento, sin saber que puedes tener

varias ventajas según los requerimientos tanto mecánicos, estéticos y espacio del vehículo. Es un sistema poco conocido en el medio pero que en otros países se lo aplica de forma normal con el respectivo estudio ingenieril que requiere.

Este proyecto propone la comprobación de los diferentes beneficios que un vehículo puede obtener al reemplazar o instalar un sistema de interenfriador aire-agua del sistema común y conocido por todos como lo es el interenfriador aire-aire. Es una innovación en la instalación de turbocompresores en motores atmosféricos, aprovechando que no es una actividad que ha sido explotada en nuestro medio. Ésta ofrece un elevado aumento de la potencia, y una notable mejora en el rendimiento del motor, siendo mucho más significativo el funcionamiento de un motor turbo cargado, ya que una de las características de este sistema es la alta temperatura que se produce a la salida del aire al pasar por el turbo.

#### **1.4. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

La instalación de turbocompresores en motores atmosféricos es una actividad que en los últimos años está en aumento y está siendo aplicada en nuestro país

pero de una manera artesanal y prefabricada que no permite el uso eficiente del sistema que se adapta a un motor atmosférico.

Un sistema de turbo está concebido por varios componentes adicionales que en conjunto y previo una selección correcta de acuerdo a las características del motor y designación de uso permitirá obtener una eficiencia máxima de este sistema muy particular como lo es la sobre alimentación por turbo. Una componente importante del sistema de turbo es el interenfriador, que es un intercambiador de calor ubicado después de la turbina y antes del múltiple de admisión, cuyo propósito es remover el calor del aire producto de la compresión del turbocompresor, por ende hacer que la eficiencia volumétrica del motor aumente al disminuir la temperatura.

De acuerdo a éste criterio existen dos estilos básicos de Interenfriador, y estos son de aire – aire y aire-agua, donde el motivo de la investigación es el diseño y estudio de un interenfriador aire–agua, que es un sistema muy poco conocido y aplicado en nuestro país debido a la falta de conocimiento. Este estudio permitirá saber los beneficios de este sistema y su real eficiencia en comparación con el interenfriador tradicional de aire-aire, permitiendo así a los usuarios tener un motor con adaptación de un turbo compresor y poder consolidar el factor de decisión sobre qué sistema de interenfriamiento elegir basándose en las

prestaciones del motor, el sistema de sobrealimentación, espacio disponible, costo – beneficio y efectividad de acuerdo al uso, entre otros.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Diseñar e implementar un interenfriador aire - agua para la mejora de eficiencia de temperatura del aire versus un interenfriador aire-aire.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Conocer el funcionamiento que tiene un interenfriador dentro del sistema de turbo alimentación.
- Analizar a través del estudio de transferencia de calor los elementos más adecuados que forman un interenfriador para su diseño.
- Realizar el diseño e implementación del interenfriador aire - agua para su posterior evaluación.

## **1.5. ALCANCE**

Lo que se pretende con este proyecto es realizar un estudio sobre el diseño y selección de un interenfriador aire-agua y sus componentes adicionales, que

permita comprobar y saber experimentalmente todos los beneficios que nos puede proporcionar el sistema de interenfriador aire-agua en referencia al sistema tradicional como lo es el de aire-aire. Es decir comprobar si existe un aumento de efectividad real al momento de disminuir la temperatura mediante la transferencia de calor con agua, con el fin de tener un conocimiento más amplio y técnico en posibles implementaciones en distintos motores con sistema de turbo alimentación. Adicionalmente, mediante este proyecto, podremos evaluar

otras características del interenfriador aire-agua en comparación con el sistema de aire-aire como son el espacio, la estética, economía y el funcionamiento.

## **2. CAPÍTULO**

### **CONCEPTOS BÁSICOS**

#### **2.1. TERMODINÁMICA**

La termodinámica es la ciencia que estudia la energía. Como todos sabemos la energía es algo que conocemos pero muy difícil de definirla, tal es así que se puede decir que la energía es la capacidad para provocar cambios. Otra parte

muy importante es la dinámica que en la termodinámica nos muestra el estudio de la energía o calor en movimiento.

La palabra termodinámica proviene de la palabra griega THERME que significa calor, y DYNAMIS que significa fuerza. Para tener un mayor entendimiento podemos especificar que el calor significa energía y dinámica se refiere al movimiento, y así encontramos que el enfoque de la termodinámica es la circulación de la energía y que está a su vez infunde movimiento.

### **2.1.1. La Ley Cero**

Otro concepto importante es la ley cero de la termodinámica, que establece que dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero. El equilibrio térmico es la temperatura que alcanzan dos cuerpos después de haber sufrido una transferencia de calor e igualaron su temperatura. Por ejemplo cuando un cuerpo se pone en contacto con otro de menor temperatura, automáticamente se empieza a transferir calor del que tiene más temperatura hacia el de menor, el

momento en que estas dos temperaturas sean iguales se ha logrado un equilibrio térmico.

### **2.1.2. Densidad**

La densidad es la forma en que se define la masa por unidad de volumen, es decir:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Ecuación 2.1    Densidad**

Donde:

- $\rho$ : Densidad
- $m$ : Masa
- $V$ : Volumen del determinado cuerpo.

En este caso de estudio hablaremos mucho de la densidad del aire y los cambios que este puede sufrir. Principalmente la densidad de los gases depende mucho de la presión y de la temperatura, estos dos parámetros se relacionan ya que la densidad de los gases es proporcional a la presión, es decir a mayor presión

mayor densidad, e inversamente proporcional a la temperatura, es decir a menor temperatura mayor densidad. La densidad del aire es igual a  $1,2\text{kg/m}^3$ .

### **2.1.3. Tipos de Sistemas**

En la termodinámica se puede considerar dos tipos de sistemas los cuales el concepto básico es la cantidad de materia elegida para el análisis.

Para analizar el tipo de sistemas existen diferentes como son:

- Alrededores: Es la masa o región fuera del sistema.
- Frontera: Superficie real o imaginaria que separa al sistema de sus alrededores.
- Sistema: Que es donde se encuentra la cantidad de materia a analizar.

La definición de un sistema depende de si se elige para el estudio una masa o volumen fijo en el espacio.

#### **2.1.3.1. Sistema Cerrado**

El sistema cerrado consiste en que la masa que se encuentra dentro de ella sea fija y ninguna otra pueda cruzar su frontera sin embargo la energía en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera.

Cuando se prohíbe que la energía cruce la frontera se le conoce como un sistema aislado. También se lo conoce como masa de control.

#### **2.1.3.2. Sistema Abierto**

Por lo general es un sistema que tiene que ver con el flujo másico, donde se trata de controlar el volumen que circula por él y tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera. También se lo conoce como volumen de control.

#### **2.1.4. Procesos y Ciclos**

Existen varios tipos de procesos por el cual puede pasar un flujo dependiendo de su sistema. Todo lo determina por los distintos estados que pasa y experimenta el cambio de un estado de equilibrio a otro, eso se define como proceso, durante este proceso el fluido dentro del sistema ha trazado una trayectoria y esta

conjuntamente con el proceso nos permite descubrir y especificar su estado inicial y final.

Los diferentes tipos de procesos existen de acuerdo a sus características.

#### **2.1.4.1. Cuasi-estático**

Es el proceso que es lo suficientemente lento que le permiten al sistema realizar ajustes de manera que no cambien más rápido que las otras. Se le conoce con ese nombre ya que su proceso es casi estático.

#### **2.1.4.2. Isotérmica**

Es el proceso mediante el cual la temperatura permanece siempre de manera constante, es decir que no varía mientras cumple la trayectoria dentro del sistema.

#### **2.1.4.3. Isobárico**

Es el proceso mediante el cual la presión permanece siempre de manera constante, es decir que su presión no cambia mientras realiza su trayectoria dentro de un sistema.

#### **2.1.4.4. Flujo Estacionario**

El proceso de flujo estacionario es el proceso mediante el cual el fluido cumple su trayectoria de forma estacionaria, es decir que no varía con el tiempo por un volumen de control o sistema abierto.

En palabras más específicas quiere decir que mientras el fluido cumple su trayectoria las propiedades del mismo pueden experimentar cambios de un punto a otro, pero en algún punto fijo permanece sin cambio en todo el proceso.

Es posible llegar a tener un flujo estacionario cuando el sistema esta asistido por turbinas, bombas, condensadores, etc.

### **2.1.5. Primera Ley**

Uno de los principales conceptos que podemos encontrar en la termodinámica es la primera ley de la termodinámica o también conocido como el principio de conservación de la energía. Este principio nos enseña que la energía no se crea ni se destruye sino que pasa de un estado a otro.

Hay diferentes tipos de energía como lo son el calor **Q**, el trabajo **W** y la energía total **E**, la primera ley de la termodinámica nos abastece de fundamentos sólidos y concretos para el estudio de las diferentes formas de relación e interacción de la energía. Tratando de ver de otra forma más específica, la primera ley de la termodinámica permite definir al calor como la energía necesaria que debe intercambiar un sistema para poder compensar las diferencias entre trabajo y energía interna del mismo.

### **2.1.6. Segunda Ley**

La segunda ley de la termodinámica se encarga de estudiar y ver la posibilidad de cambiar la dirección en la que ocurre el proceso, es decir que si la primera ley sostiene que el intercambio de calor siempre se da del cuerpo con más

temperatura hacia el de menor temperatura, ganando la misma cantidad de temperatura del primer cuerpo, igualando las dos. La segunda ley sostiene las condiciones para que el cuerpo a mayor temperatura pueda ganar más temperatura de un cuerpo a menor temperatura siempre y cuando el valor ganado sea igual al perdido por el cuerpo de menor temperatura.

En términos más específicos la segunda ley manifiesta la dirección en la que se producen los procesos termodinámico, donde encontramos que esta ley rige que procesos se pueden dar inversamente y cuáles no. En algunos casos establece la imposibilidad de convertir completamente toda la energía.

La segunda ley impone las debidas restricciones para las transferencias de energía que en cierta forma puedan darse. Esta ley basa todo su contenido en los sistemas donde tenga lugar la magnitud física llamada entropía, donde en un sistema aislado la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero, ósea que se puede dar en un sistema que no intercambia materia y energía con su entorno.

## **2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR**

La transferencia de calor es el proceso que realiza la energía térmica desde un cuerpo que posee mayor temperatura a otro distinto de menor temperatura. La transferencia de calor siempre ocurre del medio que tiene la temperatura más alta hacia el de temperatura más baja, es ahí donde llegan a igualar su temperatura ocasionando que el proceso llegue a su final. Por ejemplo, cuando un objeto ya sea este sólido o un fluido, se encuentra a una temperatura diferente de la de otro cuerpo, es ahí donde empieza a existir una transferencia de calor,

esto se da de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico ósea que tengan igual temperatura.

La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos que estén cerca el uno del otro, siempre ocurrirá una transferencia de calor que no puede ser detenida, pero que se pueden buscar formas de adelantar o retrasar ese proceso.

La transferencia de calor en su concepto básico es desarrollar la velocidad de la cantidad de transferencia de calor realiza pasando de un estado de equilibrio a otro por medio de un proceso.

La transferencia de calor busca la mayor cantidad de maneras posibles, que sean las más rápidas y efectivas en las que pueda ocurrir esta transformación térmica; analizando todas las posibles variables o componentes que hagan que el proceso se acelere, y donde el requisito básico es que exista una diferencia de temperatura.

### **2.2.1. Conducción**

La conducción es la transferencia de energía en las cuales las partículas más energéticas de una sustancia transfieren su energía a las partículas menos energéticas. Es una de las formas en las que se puede dar el proceso de

transferencia de calor entre dos sistemas, los mismos que pueden ser basados en el contacto directo de sus partículas entre ellas sin un flujo neto de materia y que por lo tanto tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

La conducción como tal puede darse en sustancias sólidas, gases o líquidas; en donde los gases y los líquidos tienen lugar a la conducción de calor debido a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante el movimiento que realizan. En los sólidos se da debido a la combinación de las vibraciones de las moléculas y al transporte de energía por parte de los electrones libres. Esto se puede observar cuando por ejemplo, una bebida con contenido frío y contenida en una lata de aluminio, se encuentra en una habitación de temperatura cálida, donde obtenemos como resultado que la bebida adquiere la temperatura de la habitación por la transferencia de calor que se da entre la temperatura de la habitación y la bebida por medio de la lata de aluminio.

Algo muy influyente en la conducción es la velocidad de la misma, el cual depende de la configuración geométrica de este, su grosor o espesor y el material del cual está construido. Todas configuraciones como son el tamaño, la forma y el material son los responsables de la velocidad a la que el fluido tenga una transferencia de calor acelerada o lenta.

#### **2.2.1.1. Ley de Fourier**

La ley de Fourier es una ley que se puso en honor a J. Fourier quien expuso que la velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional

a la diferencia de temperatura a través de esta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir:

$$\frac{\text{Velocidad de conducción de calor} \propto (\text{Area}) (\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien,

$$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

### **Ecuación 2.2 Ley de Fourier**

En donde la constante de conductividad  $k$  es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de  $\Delta x \rightarrow 0$ , la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial:

$$Q_{cond} = -kA \cdot \frac{Dt}{dX}$$

### **Ecuación 2.2.1 Ley de Fourier**

#### **2.2.2. Conductividad Térmica**

Una de las principales medidas en las cuales depende del material que se vaya usar para la transferencia de calor y que regule la conducción en los materiales,

es la conductividad térmica quien también tiene una inversa que es la resistividad térmica.

La conductividad térmica es una propiedad que poseen los distintos materiales, a los cuales se les valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. Esta propiedad es elevada principalmente en los metales, al contrario de los gases en los cuales es baja, o como en otros materiales como la fibra de vidrio que se les denomina aislantes térmicos. Para que pueda haber una conducción térmica es necesario que exista una sustancia.

El valor de la conductividad varía en función de la temperatura a la que se encuentra la sustancia.

Existen varias formas o procesos donde el objetivo es incrementar la conducción de calor, ya sea utilizando materiales que posean una alta conductividad o una gran área de contacto.

**Tabla 2.1 Conductividades térmicas de algunos materiales a la temperatura ambiente**

<b>MATERIAL</b>	<b>K, W/m . °C</b>
-----------------	--------------------

PLATA	429
COBRE	401
ALUMINIO	237
HIERRO	80.2
AGUA	0.613
CAUCHO SUAVE	0.13
FIBRA DE VIDRIO	0.043
AIRE	0.026

\*Multiplíquese por 0.5778 para convertir a Btu/h.ft.°F

Fuente: CENGEL YUNUS, Termodinámica

### **2.2.3. Convección**

Una de las tres formas de transferencia de calor es la convección, este proceso generalmente se produce mediante un fluido ya sea este el aire o el agua mismos que tienen la capacidad de transportar el calor en distintas partes y con varias temperaturas. La convección solo puede producirse solamente por medio de fluidos, ya que estos al alcanzar altas temperaturas, empiezan a aumentar de volumen, lo que ocasiona que su densidad disminuya y ascienden removiendo

fluido que se encuentra en la parte superior y que está a una más baja temperatura.

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s (T_s - T_{inf})$$

### **Ecuación 2.3    Transferencia de calor por convección**

Donde:

- h: Coeficiente de convección (ó coeficiente de película).
- $A_s$ : Área del cuerpo en contacto con el fluido.
- $T_s$ : Temperatura en la superficie del cuerpo.
- $T_{inf}$ : Temperatura del fluido lejos del cuerpo.

En términos específicos la convección no es más que, el poder transportar calor por medio de las corrientes de un fluido, y pueden ser de dos maneras.

#### **2.2.3.1. Convección Natural**

Es el proceso de convección en la cual el fluido se transporta de manera natural como lo dice su nombre, y su movimiento es causado por las fuerzas de empuje

que son provocadas por las diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura en ese fluido.

En palabras más específicas, la convección natural tiene lugar cuando el fluido que provoca la transferencia de calor no es impulsado por un elemento como lo es un ventilador o un turbo. Se la conoce también como convección libre.

#### **2.2.3.2. Convección Forzada**

La convección forzada es todo lo contrario a la natural, y es el proceso en el cual el fluido se transporta mediante medios externos que le asisten y provocan su movimiento, estos pueden ser los ventiladores, turbo, etc.

#### **2.2.4. Radiación**

La radiación es el resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, que provoca la energía emitida por la materia en la forma de ondas electromagnéticas.

A diferencia de las otras dos formas de transferencia de calor, este proceso es el más rápido debido a que se produce a la velocidad de la luz.

Hablando en términos de transferencia de calor, existe la radiación térmica cuando los cuerpos emiten su radiación debido a su temperatura. Todos los cuerpos que tengan por encima una temperatura que supere el cero absoluta producen una radiación térmica.

La radiación térmica es un proceso que tanto los líquidos, sólidos y los gases lo emiten, absorben o transmiten. En diferentes materiales como por ejemplo el

hierro, emite una radiación térmica pero por su composición resulta difícil el llegar a su superficie, debido a que lo emite desde el interior.

La velocidad máxima de la radiación puede ser emitida por una superficie y esta se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann y esta es:

$$Q_{emitida\ max} = \vartheta A_s T_s^4$$

### **Ecuación 2.4 Ley de Stefan-Boltzmann**

Donde:

- $\vartheta = 5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  que es la constante de Stefan-Boltzmann.

## **2.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR**

### **2.3.1. Introducción**

El intercambiador de calor es un objeto el cual tiene un diseño que permita transferir calor entre dos fluidos, que físicamente se encuentran separados por una barrera llamada también frontera. Este dispositivo permite que estos dos fluidos al encontrarse en un lugar determinado y a diferente temperatura, puedan producir el intercambio de calor.

Los intercambiadores de calor forman parte fundamental en un sistema de refrigeración, y los podemos encontrar en varios tipos, formas y diseños, todo

depende del uso en que se le vaya a tener y obviamente las características del sistema en el que va a ser usado.

### **2.3.2. Tipos de Intercambiadores de Calor**

Las distintas maneras y formas de uso de un intercambiador de calor, ha llevado a que los mismos puedan tener diferentes formas, tamaños y diseños, los cuales se acoplan de acuerdo al desempeño de la maquina, planta o cualquier sistema que requiera de su uso.

Existen varios tipos de intercambiadores de calor y se pueden distinguir de acuerdo a la configuración de sus partes.

#### **2.3.2.1. Intercambiador de Calor de Tubo Doble**

Este intercambiador consta de una estructura muy sencilla, la cual posee dos tubos concéntricos de diámetros distintos.

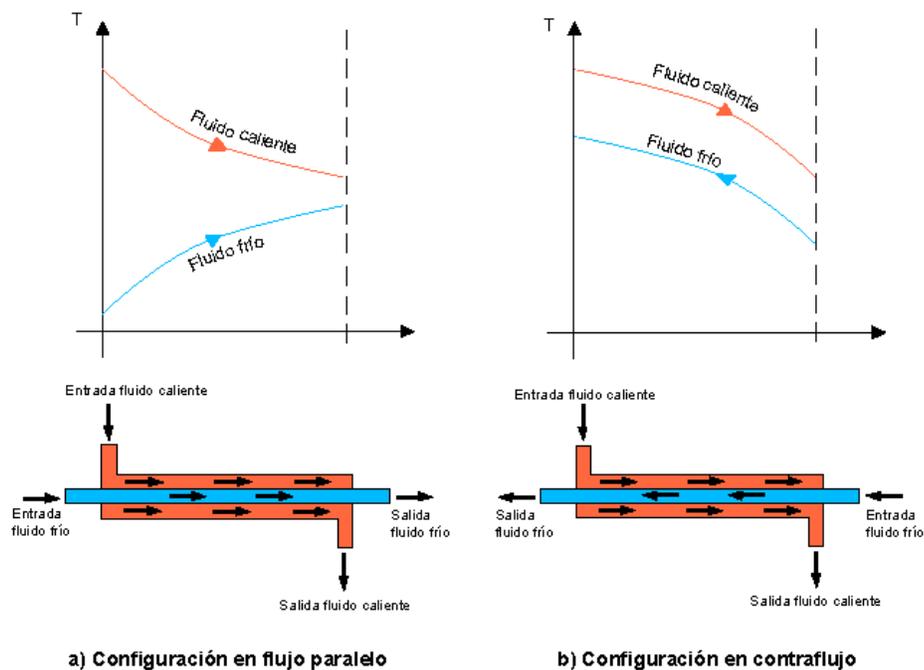
Este intercambiador consiste en que el fluido de mayor temperatura ( $f_c$ ), realiza su paso por el tubo de menor diámetro y el fluido de menor temperatura ( $f_f$ ) pasa

por el tubo de mayor diámetro, lo que provoca que al tener contacto los dos se realice la transferencia de calor.

En este tipo de sistema también podemos encontrar la dirección de flujos dentro de un mismo sistema.

La primera es un intercambiador de calor en flujo paralelo donde la temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente.

También existe el intercambiador de calor en contra flujo donde la temperatura de salida del fluido frío puede alcanzar una temperatura superior a la temperatura de salida del fluido caliente.



Fuente: CENGEL YUNUS, Termodinámica

**Figura 2.1 Dirección del flujo**

### **2.3.2.2. Intercambiador de Calor Compacto**

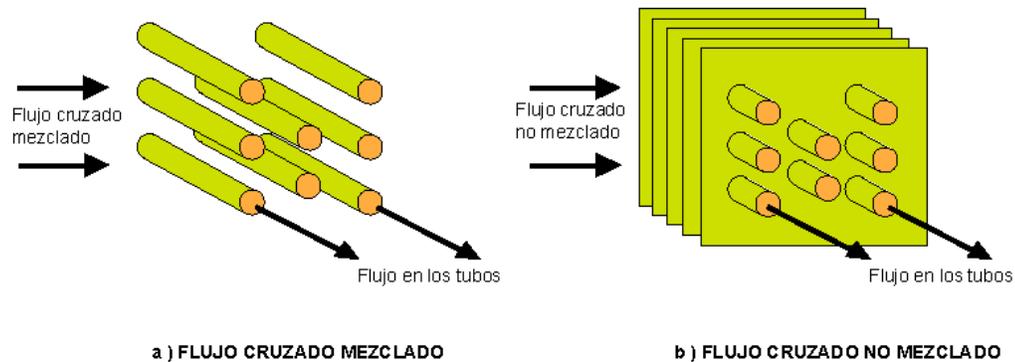
Este tipo de intercambiadores son muy comunes en nuestro medio, un claro ejemplo son los radiadores de los vehículos. Los intercambiadores de calor compacto están diseñados para poder obtener una gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen, el resultado que se obtiene bajo el diseño o relación entre el área superficial de transferencia de calor y su volumen, es la densidad de área que se expresa  $\beta$ . Con el dato anterior se puede definir

que un intercambiador que entre sus características posea un valor de  $\beta$  mayor a  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  forma parte de los intercambiadores compactos.

En los intercambiadores de calor compactos los dos fluidos suelen moverse en direcciones ortogonales, por lo que recibe el nombre de flujo cruzado y este a su vez posee dos tipos de configuraciones.

La primera es la que posee el nombre de **mezclado**, que se da lugar cuando uno de los fluidos fluye libremente en dirección ortogonal al otro sin restricciones.

El otro tipo recibe el nombre de **no mezclado**, y se lo llama así porque se caracteriza cuando en su diseño se colocan unas placas para guiar el flujo de uno de los fluidos.



Fuente: CENGEL YUNUS, Termodinámica

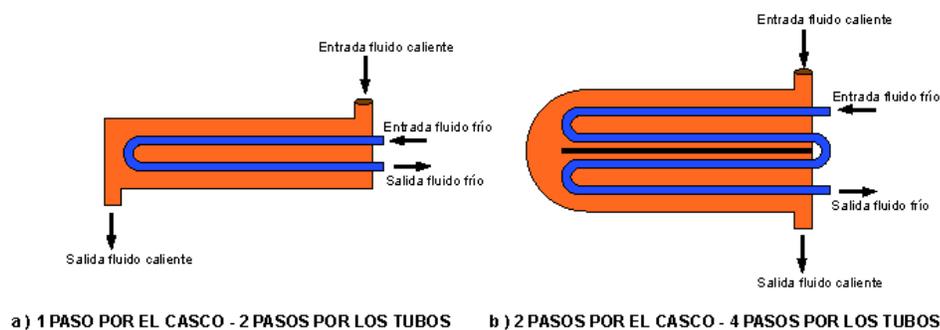
## Figura 2.2 Tipos de flujo

### 2.3.2.3. Intercambiador de Calor de Casco y Tubos

El intercambiador de casco y tubos es más común encontrar en maquinas de uso industrial o en su defecto se aplica mas industrialmente. De acuerdo al diseño se

componen por una gran cantidad de tubos, los mismos que están contenidos en un casco o estructura. La ubicación de los tubos van de forma paralela al eje del casco y la transferencia de calor tiene lugar a medida que el fluido frío es introducido por el casco y se mueve por el exterior de los tubos con el fluido caliente, mientras que el fluido caliente se mueve por el interior de varios tubos contenidos en el casco.

Este tipo de intercambiadores se clasifican por el número de pasos por el casco y por el número de pasos por los tubos.



Fuente: CENGEL YUNUS, Termodinámica

**Figura 2.3 Paso por el casco**

### **2.3.3. Coeficiente de transferencia de Calor Total**

Un fluido cuando es sometido a un proceso de intercambio de calor, por lo general sufre de tres procesos, ya que para que exista el intercambio de calor hay relación de dos fluidos con una pared sólida.

Como ya sabemos la transferencia de calor se produce del fluido a más alta temperatura hacia el fluido más frío, entonces el fluido caliente al entrar a un intercambiador de calor primero transfiere su calor a la pared que lo separa del

fluido frío, este proceso se realiza por convección. Luego de esto existe la transferencia por la pared a través de la conducción, y por último hacia el fluido frío nuevamente por el proceso de convección.

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor total es necesario calcular la resistencia del tubo por donde va el fluido caliente, y este cálculo puede ser tanto de la pared interior como de la exterior, y queda de la siguiente manera:

$$A_i = \pi \cdot D_i \cdot L$$

**Ecuación 2.5 Pared interior del tubo**

$$A_i = \pi \cdot D_o \cdot L$$

**Ecuación 2.6 Pared exterior del tubo**

Si se quiere calcular una resistencia total la fórmula quedaría de la siguiente forma:

$$R_{pared} = \frac{1n \left( \frac{D_o}{D_i} \right)}{2\pi kL}$$

## Ecuación 2.7 Resistencia Total

Donde:

- $k$ : Conductividad térmica del material de la pared.
- $L$ : Longitud del tubo por donde circulara el fluido.

A partir de esta fórmula se puede extraer la resistencia total térmica que quedaría de la siguiente manera:

$$R = R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{2 \pi k L} \left( \frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{1}{h_o A_o}$$

## Ecuación 2.8 Resistencia total térmica.

Cuando se realiza el análisis de un intercambiador de calor, es conveniente analizar todas las resistencias térmicas que el fluido va a encontrar en su

circulación(R). Con esto podemos calcular la velocidad de transferencia de calor expresada como **Q**.

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = UA \cdot \Delta T = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T = U_o \cdot A_o \cdot \Delta T$$

### **Ecuación 2.9 Velocidad de Transferencia de Calor**

Donde:

- **U: Coeficiente de transferencia de calor total**, cuya unidad se expresa en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ .

Con esta fórmula podemos simplificar el  $\Delta T$  y llegar a:

$$\frac{1}{U \cdot A_s} = \frac{1}{U_i \cdot A_i} = \frac{1}{U_o \cdot A_o} = R = \frac{1}{h_i \cdot A_i} + R_{pared} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}$$

### **Ecuación 2.9.1 Incremento de temperatura ( $\Delta T$ )**

Donde:

- **h: Coeficiente de convección común.**

Cuando la pared del tubo o frontera del sistema es pequeña y como por lo general el material tiene una alta conductividad térmica, la resistencia de dicho conducto

es despreciable, es decir se hace cero ( $R_{pared} \approx 0$ ) y así la ecuación anterior queda de la siguiente forma:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

Donde:

- $U \approx U_i \approx U_o$ .

### 2.3.3.1. Valores Representativos de los Coeficientes Totales de Transferencia de Calor en los Intercambiadores de Calor

A continuación tenemos una tabla de los valores de coeficientes totales.

**Tabla 2.2 Coeficientes Totales de Transferencia de Calor**

TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR	U, W/m <sup>2</sup> . °C*
AGUA HACIA AGUA	850 – 1700
AGUA HACIA ACEITE	100 – 350
GAS HACIA GAS	10 – 40
AGUA HACIA AIRE EN TUBOS CON ALETAS (AGUA EN LOS TUBOS)	30 – 60 400 – 850

Fuente: CENGEL YUNUS, Termodinámica

#### **2.3.4. Análisis de los Intercambiadores de Calor**

Para el análisis de un intercambiador de calor se pueden encontrar varias formas o métodos, y es importante saber que intercambiador de calor es el adecuado o con qué tipo de intercambiador lograre el resultado deseado.

Con algunos cálculos teóricos se puede llegar a un resultado aproximado en la práctica sacrificando un poco la exactitud, pero es un buen dato inicial.

La primera formula hace referencia a la primera ley de la termodinámica, donde requiere que la velocidad de la transferencia sea desde un fluido caliente hacia un fluido frio, es decir:

$$Q \cdot = m \cdot .C_{pc} (T_{c, sal} - T_{c, ent})$$

#### **Ecuación 2.10 Velocidad de Transferencia fluidos fríos**

$$Q \cdot = m \cdot .C_{ph} (T_{c, ent} - T_{c, sal})$$

#### **Ecuación 2.11 Velocidad de Transferencia fluidos calientes**

Donde:

- c y h: Refieren a la temperatura del fluido
- m.c, m.h: Gastos de masa
- Cpc, Cph: Calores específicos
- Tc, sal y Th, sal: Temperaturas de salida
- Tc, ent y Th, ent: Temperaturas de entrada

Realizando este análisis es mejor tomar o combinar el producto del gasto de la masa y el calor específico en un solo dato denominado **razón de capacidad calorífica** y se define para las corrientes de fluidos calientes y fríos como:

$$Ch = m \cdot h \cdot C_{ph}$$

**Ecuación 2.12 Capacidad calorífica (Fluido Caliente)**

$$Cc = m \cdot c \cdot C_{pc}$$

**Ecuación 2.13 Capacidad calorífica (Fluido Frío)**

Y representa la velocidad de la transferencia de calor necesaria para cambiar la temperatura en 1°C de acuerdo circula en el intercambiador de calor.

Otro punto para analizar es que cuando un sistema posee una capacidad calorífica grande, solo obtendrá un cambio pequeño en la temperatura y el que tenga una capacidad calorífica pequeña tendrá un cambio grande en la temperatura. Es decir si duplicamos el gasto de la masa sin alterar otro componente provocara el cambio de temperatura de ese fluido a la mitad.

$$Q. = Cc(Tc, sal - Tc, ent)$$

**Ecuación 2.14 Velocidad de transferencia con Capacidad Calorífica (Fluido Caliente)**

$$Q. = Ch(Th, sal - Th, ent)$$

### **Ecuación 2.15 Velocidad de transferencia con Capacidad Calorífica (Fluido Frio)**

Todo esto significa que la velocidad de transferencia de calor es igual a la razón de capacidad calorífica de cualquiera de los fluidos multiplicada por el cambio de temperatura en el fluido escogido.

#### **2.3.4.1. Método de la Diferencia Media Logarítmica de Temperatura**

Este método nos permite calcular la potencia térmica (**Q**), y en el intercambiador de calor se lo expresa de la siguiente forma:

$$Q = U A_s \Delta T_m$$

### **Ecuación 2.16 Potencia Térmica**

Donde:

- U: Coeficiente global de transferencia.
- A<sub>s</sub>: Superficie de intercambio.
- ΔT<sub>m</sub>: Temperatura media logarítmica, que se obtiene de la siguiente forma:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

### **Ecuación 2.17 Temperatura media logarítmica.**

Los valores de  $\Delta T_1$  y  $\Delta T_2$  dependen de la configuración del flujo, es decir si este es paralelo o en contra flujo. Si el flujo es paralelo encontramos que:

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,ent}$$

#### **Ecuación 2.17.1 Incremento de T1 en flujo paralelo.**

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,sal}$$

#### **Ecuación 2.17.2 Incremento de T2 en flujo paralelo.**

Si es en contra flujo tenemos que:

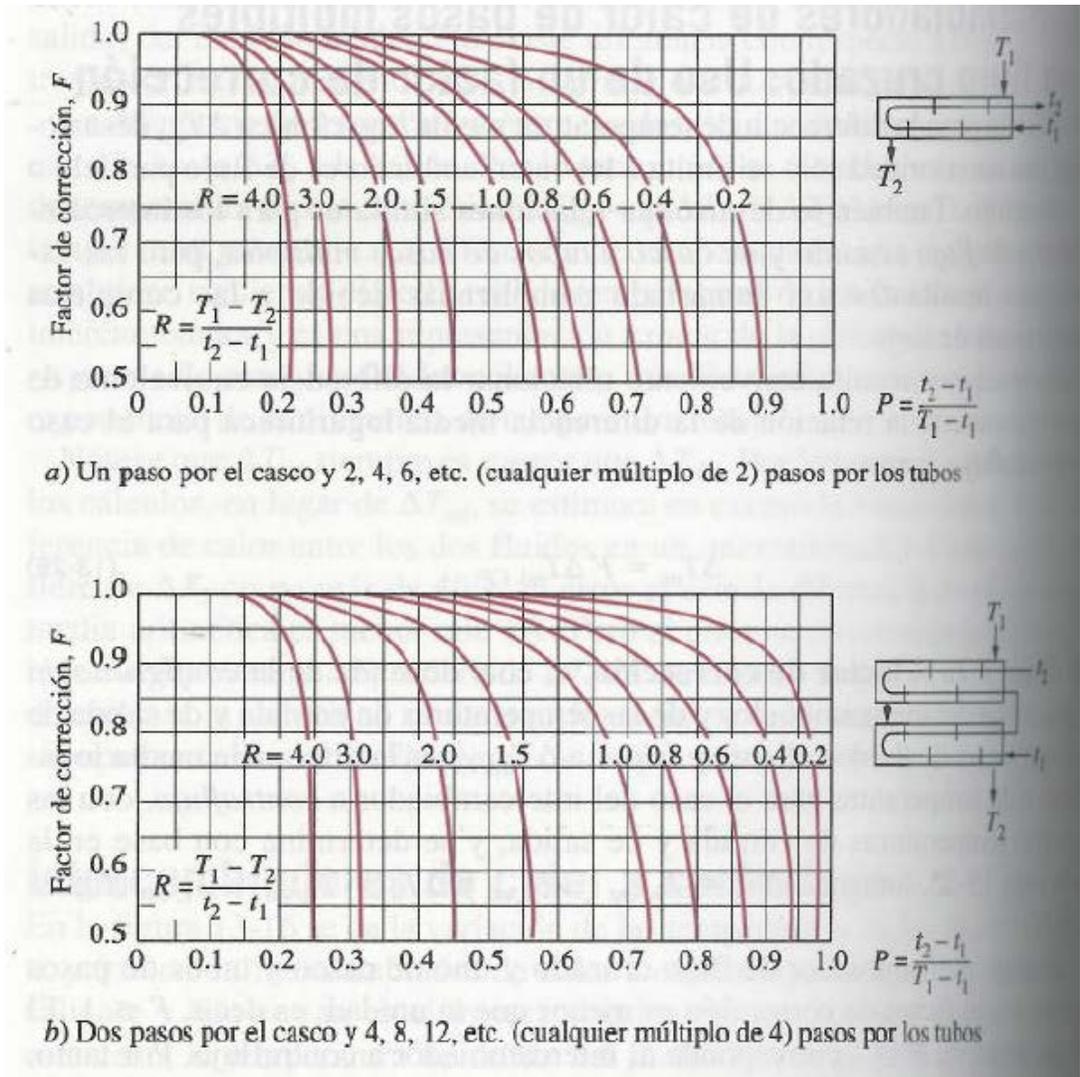
$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal}$$

#### **Ecuación 2.17.3 Incremento de T1 en contra flujo.**

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent}$$

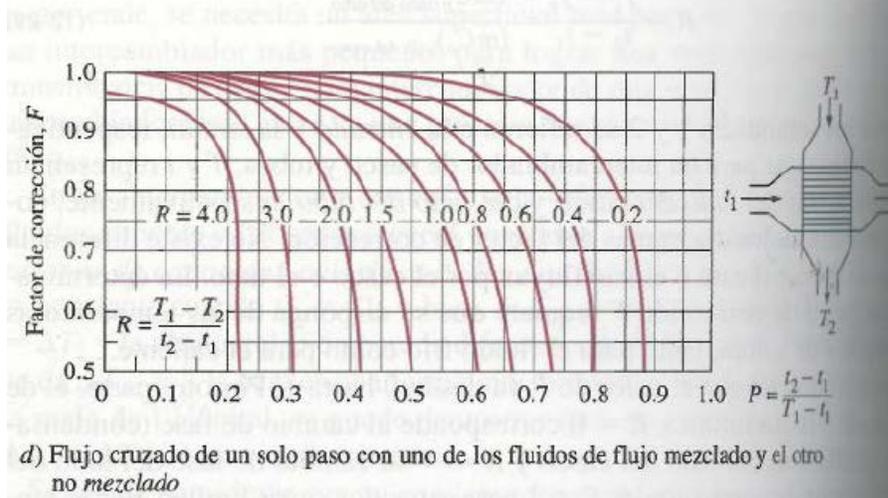
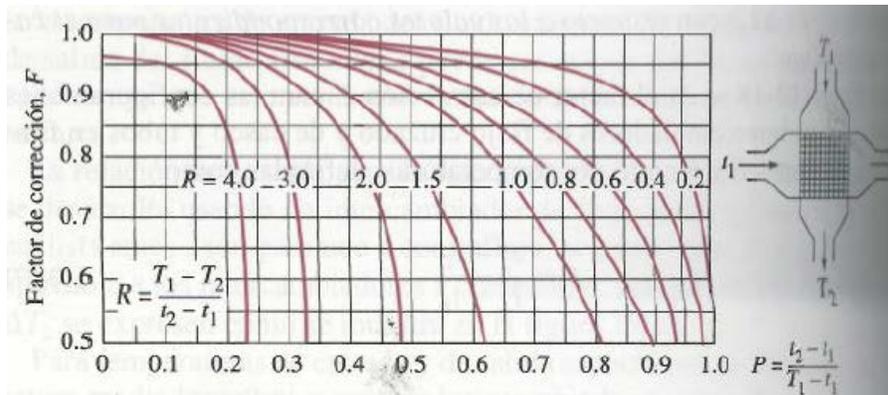
#### **Ecuación 2.17.4 Incremento de T2 en contra flujo.**

Para el otro tipo de configuraciones como es la de flujo cruzado es necesario utilizar un factor de corrección (F) en la Temperatura Media Logarítmica ( $\Delta T_m$ ). Estos valores se presentan en las siguientes tablas.



Fuente: CENGEL YUNUS, Transferencia de Calor.

**Figura 2.4 Valores de corrección 1**



Fuente: CENGEL YUNUS, Transferencia de Calor.

**Figura 2.5 Valores de corrección 2.**

De acuerdo a estos grafico podemos obtener F de la siguiente manera:

$$F = f(P, R)$$

**Ecuación 2.18 Factor de corrección (F)**

$$P = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1)$$

**Ecuación 2.18.1**

$$R = (T1 - T2) / (t2 - t1)$$

**Ecuación 2.18.2**

Donde:

- Subíndice 1: Entrada
- Subíndice 2: Salida
- t: Temperatura del fluido frio
- T: Temperatura del fluido caliente

El factor de corrección en intercambiadores de calor con cambio de fase, condensadores y evaporadores, es 1 (F = 1).

**2.3.4.2. Método de la Efectividad**

En este método se utiliza un parámetro a dimensional conocido como Efectividad de la transferencia de calor ( $\epsilon$ ) y que se lo encuentra de la siguiente manera:

$$\epsilon = Q / Q_{MAX} = \text{VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR REAL}$$

**Ecuación 2.19 Efectividad de la transferencia de calor**

Donde podemos expresar  $Q$  como:

$$Q = m \cdot C_{ph} (T_{h, ent} - T_{h, sal}); m \cdot h C_{ph} = C_h \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$Q = m \cdot C_{pc} (T_{c, sal} - T_{c, ent}); m \cdot c C_{pc} = C_c \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$$Q_{max} = C_{min} (T_{h, ent} - T_{c, ent})$$

**Ecuación 2.20 Velocidad Máxima de transferencia.**

Donde:

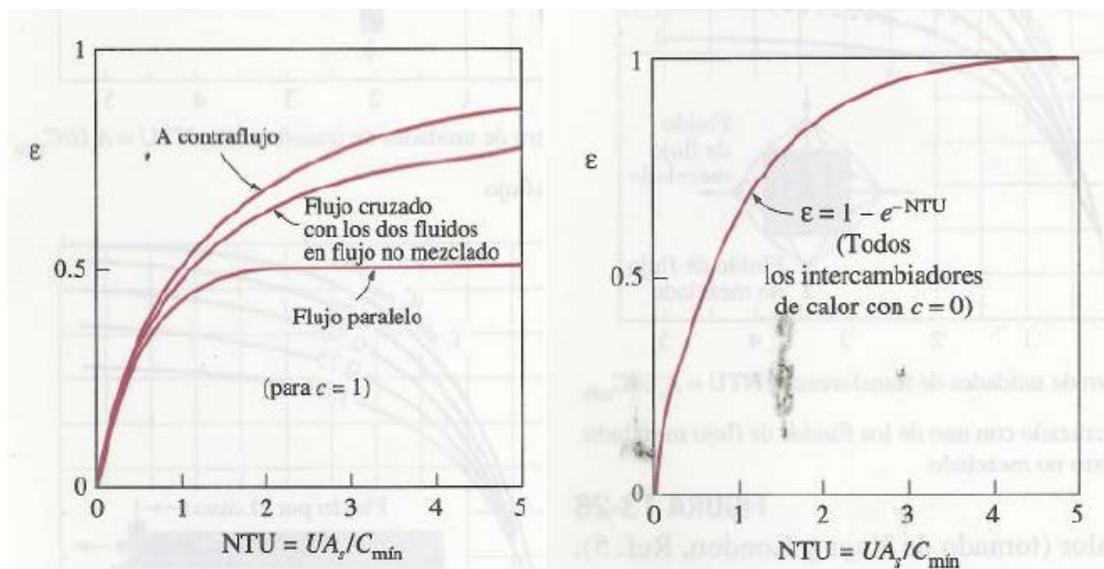
- $C_{min} < C_c$  y  $C_h$

Después del análisis de estas formulas podemos encontrar el número de unidades de transferencia (NTU) de la siguiente manera:

$$NTU = U A_s / C_{min} ; \text{ donde } c = C_{min} / C_{max}$$

### Ecuación 2.21 Número de unidades de Transferencia

Los valores de la Efectividad y NTU se presentan en forma de gráficos y diagramas presentados a continuación:



Fuente: CENGEL YUNUS, Transferencia de Calor.

**Figura 2.6 Valores de la Efectividad y NTU**

Relaciones del NTU para los intercambiadores de calor,  $NTU = UA_s/C_{\min}$   
 $c = C_{\min}/C_{\max} = (\dot{m}C_p)_{\min}/(\dot{m}C_p)_{\max}$  (Kays y London, Ref. 5)

tipo de intercambiador de calor	Relación del NTU
<i>Tubo doble:</i> Flujo paralelo	$NTU = -\frac{\ln [1 - \epsilon(1 + c)]}{1 + c}$
Contraflujo	$NTU = \frac{1}{c - 1} \ln \left( \frac{\epsilon - 1}{\epsilon c - 1} \right)$
<i>Casco y tubos:</i> Un paso por el casco y 2, 4, . . . pasos por los tubos	$NTU = -\frac{1}{\sqrt{1 + c^2}} \ln \left( \frac{2/\epsilon - 1 - c - \sqrt{1 + c^2}}{2/\epsilon - 1 - c + \sqrt{1 + c^2}} \right)$
<i>Flujo cruzado (un solo paso)</i> $C_{\max}$ mezclado, $C_{\min}$ no mezclado	$NTU = -\ln \left[ 1 + \frac{\ln (1 - \epsilon c)}{c} \right]$
$C_{\min}$ mezclado, $C_{\max}$ no mezclado	$NTU = -\frac{\ln [c \ln (1 - \epsilon) + 1]}{c}$
<i>Todos los intercambiadores con <math>c = 0</math></i>	$NTU = -\ln(1 - \epsilon)$

Fuente: CENGEL YUNUS, Transferencia de Calor.

**Figura 2.7** Tabla de Valores de la Efectividad y NTU

## 2.4. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR TURBOCARGADO

Los parámetros que podemos encontrar en un motor turbo cargado o sobrealimentado, son los que principalmente se modifican a diferencia de un motor atmosférico, y nos permite realizar un análisis sobre todos los cambios y

beneficios que obtiene el motor. Los parámetros más importantes se analizan a continuación.

#### **2.4.1. Motores Sobrealimentados**

Un motor básicamente es una bomba de vacío el momento que realiza el tiempo de la admisión, y una bomba de presión en el momento que realiza el tiempo del escape. Cada vez que el pistón está realizando la carrera de admisión, crea un vacío el cual es llenado con aire, debido a la presión atmosférica que existe en su entorno. Este el funcionamiento de los motores atmosféricos o motores naturalmente aspirados, ya que su presión de trabajo es la atmosférica, independientemente cual sea el valor de ésta.

Hoy en día el propietario de un vehículo que busca aumentar el rendimiento de su vehículo, encuentra en el mercado muchas formas de hacerlo y que tiene a su disposición.

Existen varias maneras de aumentar la potencia en motores atmosféricos, y esta es realizando modificaciones en el motor, como puede ser en la culata, cilindros, cabezote de este. Estas modificaciones permite al motor respirar más eficientemente y lograr un mayor rendimiento, pero los cambios afectan el uso normal del vehículo, sobre todo cuanto más acentuados son estas modificaciones como por ejemplo: reducción de la culata, mejora de los conductos en la admisión y escape (comúnmente llamados toberas y header), modificaciones de válvulas

y árbol de levas. En nuestro país esto se hace generalmente de una manera artesanal.

Un método que últimamente se está usando en nuestro país es sobrealimentar el motor, en donde la potencia puede ser aumentada sin cambiar la cilindrada ni el número de revoluciones, y esto se logra con dispositivos de aire que son instalados en el motor. Los motores sobrealimentados o llamados también motores de inducción forzada, reciben ese nombre precisamente porque el aire aspirado por el motor es obligado a ingresar de una manera forzada a este, sobrepasando la presión normal de trabajo, que es la atmosférica.

Por medio de la sobrealimentación, la cantidad de masa de aire que entra al cilindro es mayor que la normal, la cual debe ser compensada con más combustible para lograr un óptimo rendimiento. El momento que el motor se ve forzado a ingresar mayor mezcla de aire y combustible, el resultado es lograr un llenado más homogéneo del cilindro provocando una combustión más completa, y consecuentemente un incremento en la potencia del motor.

#### **2.4.1.1. Rangos de Sobrealimentación**

El momento de realizar una instalación de sistemas de sobrealimentación, cuya función sea de aumentar la presión de sobrealimentación en el múltiple de admisión, es necesario clasificar las aplicaciones de este sistema, y esta es:

**Tabla 2.3 Rangos de sobrealimentación**

Rango de sobrealimentación	Presión de sobrealimentación [psig]
Bajo	menor a 7
Medio	entre 7 y 12
Alto	entre 12 y 20
Extremo	más de 20

Fuente: CORKY BELL, Maximum Boost.

#### **2.4.2. Potencia**

La potencia que pueda generar un motor depende de la cantidad de combustible que pueda quemar en la cámara de combustión. Para incrementar la potencia del motor, es necesario aumentar la cantidad de aire dentro del motor, y esto puede darse de varias formas como lo vimos en el punto anterior. La potencia de un

motor sea atmosférico o sobrealimentado se lo conoce como el cociente entre el trabajo realizado en la cámara de combustión y el tiempo necesario para ejecutarlo. La potencia que se obtiene en un motor generalmente es referida como potencia al freno ( $P_b$ ) y esta es medida en el volante de inercia. Los fabricantes de vehículos utilizan esta potencia como la nominal del auto. Sin embargo existen diversas pérdidas desde que la potencia es generada en la cámara de combustión.

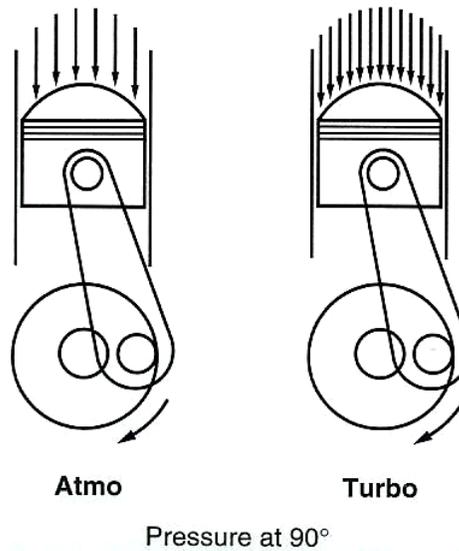
Una parte de la potencia generada en la cámara de combustión es disipada como calor a través de las paredes del cilindro. Por lo tanto, la potencia total desarrollada sobre el pistón es llamada potencia indicada ( $P_i$ ). Además, debido a la fricción de sus partes en las paredes internas del cilindro, entre otras, existe una pérdida de potencia llamada potencia de fricción ( $P_f$ ). La potencia al freno es menor que la potencia indicada como lo indica la siguiente ecuación.

$$P_b = P_i - P_f$$

#### **Ecuación 2.22 Potencia al freno**

El aumento de potencia en los motores sobrealimentados se produce a que existe una mezcla de aire y combustible más homogénea en la cámara de combustión,

y se produce una explosión más fuerte y se empuja el embolo con más fuerza produciéndose un aumento de la potencia como lo muestra la figura.



Fuente: CORKY BELL, Maximum Boost

**Figura 2.8 Potencia en un motor atmosférico y un motor sobrealimentado.**

Existen varios métodos para medir la potencia, uno de ellos es el dinamómetro donde este mecanismo mide la potencia generada en las ruedas del vehículo, e incluye las pérdidas por los mecanismos de transmisión y fricción con el pavimento.

### **2.4.3. Torque**

El Torque es definido como la medida de la tendencia de la fuerza a producir un momento torsional y rotacional sobre un eje, y es igual al producto vector del radio vector del eje de rotación sobre el cual esta aplicada la fuerza. En otras palabras, torque es la capacidad del motor a realizar un trabajo, y la potencia es la tasa en la cual este trabajo es realizado. La relación entre el torque y la potencia viene dar por la siguiente ecuación:

$$P [HP] = \frac{N [rpm] \times T [lb.ft]}{5252}$$

#### **Ecuación 2.23 Potencia en un motor.**

Donde:

- P: Potencia medida en caballos de fuerza.
- N: Número de revoluciones del motor.
- T: Torque medido en libras pie.

El torque se incrementa a medida que la potencia aumenta debido a que la presión en la cámara de combustión aumenta.

### **2.4.4. Ciclos de Funcionamiento**

El ciclo de funcionamiento de un motor turbo cargado, depende directamente del régimen del motor y las dimensiones del turbo, ya que la turbina es accionada por los gases de escape, y entre mayor sea la velocidad del motor, mayor será

la cantidad de gases de escape que mueven el impulsor de la turbina. Por lo que la configuración de un motor turbo cargado promedio tiene las siguientes etapas de funcionamiento:

- *Funcionamiento a ralentí y carga parcial inferior:* En estas condiciones el impulsor de la turbina es impulsada por medio de la baja energía de los gases de escape, y el aire fresco aspirado por los cilindros no será comprimido por el impulsor del compresor, ya que la presión de sobrealimentación no es mayor a la atmosférica, por lo tanto, en esta etapa el motor se comporta como naturalmente aspirado.
- *Funcionamiento a carga parcial media:* Cuando la presión de sobrealimentación se acerca a la atmosférica, el impulsor de la turbina es impulsado a un régimen de revoluciones más elevado y el aire fresco aspirado por el impulsor es comprimido y conducido hacia los cilindros bajo presión atmosférica o ligeramente superior. Esta condición es llamada “punto mínimo de sobrealimentación” y es definido como el menor régimen del motor en el cual el turbo producirá sobrealimentación cuando el motor está a plena carga.
- *Funcionamiento a carga parcial superior y plena carga:* En esta fase continua aumentando la energía de los gases de escape debido al mayor régimen del motor sobre el impulsor de la turbina y el aire fresco aspirado por el impulsor alcanzara el valor máximo de Presión de

Sobrealimentación en el múltiple de admisión, la cual es limitada por un sistema de control (válvula de descarga).

#### **2.4.5. Eficiencia Volumétrica**

La eficiencia volumétrica indica la cantidad total de mezcla de aire y combustible que cada cilindro aspira durante la carrera de admisión. Esta eficiencia es medida en relación a un llenado completo que equivale al 100%, lo que significa que el cilindro es llenado con la mezcla en la totalidad de su volumen. Esto es considerado óptimo en los motores atmosféricos, sin embargo es algo muy difícil de lograr en los motores que se comercializan en el mercado. La eficiencia volumétrica es directamente proporcional a la potencia, y su máximo valor es alcanzado en cierto régimen de revoluciones. La eficiencia volumétrica es afectada por algunas variables como:

- Diseño de los múltiples de admisión y escape.
- Reglaje de distribución de las válvulas de admisión y escape.
- Relación de compresión.
- Velocidad del motor.
- Sobrealimentación.

La instalación de sistemas de sobrealimentación aumentan significativamente los valores de la eficiencia volumétrica, ya que es posible hasta duplicar su valor, y este será requerido solo cuando el conductor así lo disponga. En motores a los

cuales se les ha adaptado algún tipo de sobrealimentación, pueden alcanzar una eficiencia volumétrica de 125 a 175%.

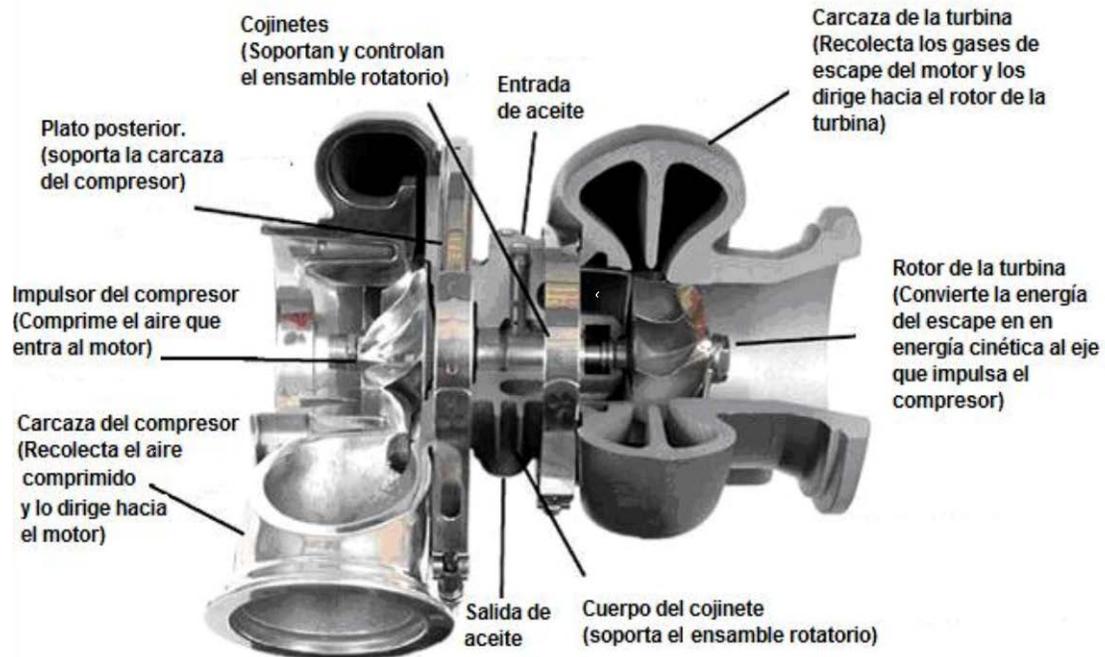
## **2.5. TURBOCOMPRESORES**

El turbocompresor es un compresor que es accionado mediante un eje por una turbina, la cual aprovecha y convierte la energía térmica de los gases de escape del motor en energía cinética. Con ello se utiliza la energía desperdiciada usualmente bajo forma de calor y de ruido.

### **2.5.1. Constitución**

El diseño de un turbo cargador varía de un fabricante a otro. Básicamente, todos los modelos tienen un compresor en un extremo y la turbina en el otro, soportado por cojinetes centrales. Estos cojinetes pueden ser de diferentes tipos, lubricadas por la bomba y el aceite del motor. Existen sellos entre los cojinetes y el compresor así como también entre los cojinetes y la turbina. Estos evitan que los gases de alta presión se fuguen hacia el área de drenaje del aceite de la carcasa

de los cojinetes y lleguen finalmente al cárter del motor. Esto se aprecia claramente en la figura.



Fuente: [www.twistedanddes.com](http://www.twistedanddes.com)

**Figura 2.9 Constitución del turbocompresor.**

### 2.5.1.1. Compresor

El compresor centrífugo consta de tres elementos principales, los cuales deben ser coordinados para una eficiencia máxima, estos son: impulsor, difusor y carcasa.

El impulsor, llamado también rueda del compresor, gira a muy altas velocidades. El aire que pasa a través de él, es acelerado a una alta velocidad debido a la fuerza centrífuga. El difusor actúa como una tobera para reducir la turbulencia y

velocidad del gas, con esto se obtiene un aumento en la presión y temperatura. La carcasa alrededor del difusor recoge este gas a alta presión y lo dirige hacia el motor o el interenfriador. Generalmente, la carcasa misma actúa como difusor. Las superficies del impulsor del compresor, el difusor y de la carcasa del compresor, se fabrican tan lisas como sea prácticamente económico. Cualquier rugosidad puede hacer que parte del gas se separe de la superficie, causando corrientes de torbellinos que reducen la eficiencia general del compresor. El diseño del compresor establece un equilibrio entre presión a alcanzar y volumen de gas a comprimir.

#### **2.5.1.2. Turbina**

El objetivo principal del impulsor de la turbina es de transformar la energía térmica de los gases de escape en energía cinética, por lo que se lleva a cabo una expansión de los mismos, provocando que se enfríen y aceleren. Posteriormente aprovechan la energía que han adquirido, para que la cedan sobre los alabes del impulsor de la turbina, de esta forma consiguiendo su movimiento. Esta doble misión de expandir, aumentar la velocidad de los gases y comunicar el movimiento de los mismos es lograda por la carcasa de la turbina (en forma de caracol) y el impulsor, el cual por el estrechamiento de paso de sus alabes, produce una expansión en el mismo impulsor, el que induce sobre los mismos alabes el movimiento de reacción; como resultado de una pulsación de determinada frecuencia, en función del número de alabes y de las revoluciones

del rotor, genera un silbido muy característico de estos elementos que crece en función del régimen del mismo.

Al estar en contacto con los gases incandescentes del escape del motor, el material de los elementos de la turbina debe ser muy resistente a grandes cargas térmicas.

#### **2.5.1.3. Cuerpo del Cojinete**

La constitución básica del cuerpo o caja del cojinete es fabricada usualmente de hierro fundido y consta de un eje común, la perforación central por la cual pasa el eje, los cojinetes y las perforaciones para la entrada y salida del aceite.

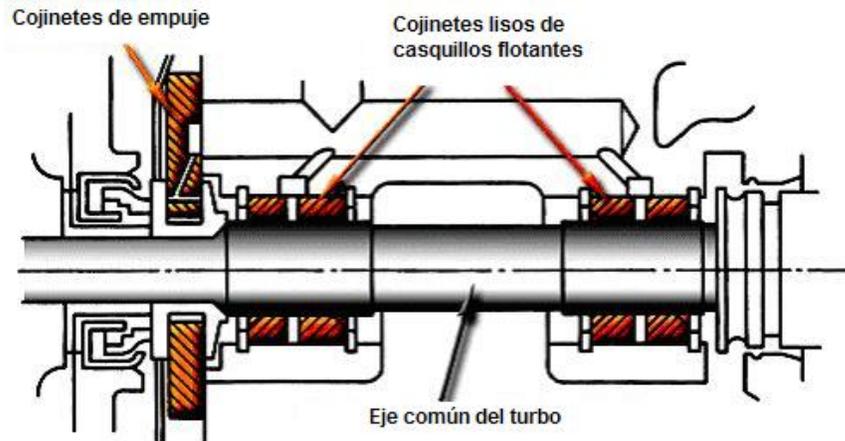
El eje común va unido al impulsor de la turbina, ya sea por soldadura, o una fundición en una sola pieza. El impulsor del compresor va unido al eje ya sea a presión o empotrado en caliente, para finalmente asegurarlo con una tuerca de rosca.

#### **2.5.1.4. Cojinetes del Turbo.**

Actualmente, existen diferentes tipos de cojinetes, éstos son de bolas o rodamientos en turbos grandes, y en turbos comunes y pequeños son utilizados los cojinetes lisos con casquillos de bronce, ya que el eje se soporta por una película de aceite a presión la cual se pierde al parar el motor. Éstos, al igual que en el eje del cigüeñal, soportan los esfuerzos mucho mas uniformemente sin límites de revoluciones, pueden girar aproximadamente a un tercio de la velocidad del eje, ya que es la película de aceite la que soporta el esfuerzo.

El uso de material sinterizado se hace para generar en el cojinete un efecto de auto lubricado, que le permite funcionar en los momentos iniciales sin aceite, el

material mantiene el lubricante usándolo de reserva en etapas de arranque donde el circuito de aceite no está completamente presurizado.



Fuente: [www.arpem.com](http://www.arpem.com)

**Figura 2.10 Disposición de los cojinetes de casquillos flotantes y de empuje.**

### **2.5.2. Eficiencia**

La eficiencia de los elementos del turbocompresor determinará su correcto funcionamiento en la aplicación específica. El objetivo es posicionar al turbocompresor en su punto más eficiente en el régimen del motor, al que va a ser utilizado.

#### **2.5.2.1. Eficiencia del compresor.**

El compresor tiene una particular que es la combinación de flujo de aire y presión de sobrealimentación en la cual es más eficiente. Por lo que la eficiencia del

compresor es una medida que también puede el impulsor del compresor bombear aire sin calentarlo. Es decir, la eficiencia es inversamente proporcional a la generación de calor.

#### **2.5.2.2. Eficiencia de la Turbina**

La eficiencia de la turbina se incrementa, cuando la relación de presión aumenta entre los gases de escape antes y después de pasar por la turbina. Los mapas de la turbina describen las características de operación de la turbina, mostrando el flujo en función de la relación de presión en la turbina. Generalmente el mapa de la turbina enseña las curvas de flujo másico y las de eficiencia de la turbina en función de la relación de presión de la turbina, a varias velocidades de ésta como se ve en la figura siguiente. Sin embargo, los diseñadores y fabricantes de turbos generalmente simplifican la información, indicando en una única curva la variación del flujo máximo y una eficiencia máxima.

#### **2.5.3. Lubricación**

El punto más débil en el turbo cargador son las cañerías que alimentan de aceite al turbo, y lo drenan hacia el cárter del motor, por lo que es sistema de lubricación del turbo debe ser instalado cuidadosamente. Normalmente es seguro instalar la

toma de aceite para el turbo donde se instala el detector de presión de aceite o el manómetro.

#### **2.5.3.1. Presión y flujo de aceite**

El turbo no necesita mucha presión y flujo de aceite. Prácticamente todos los motores modernos tienen una presión suficiente para cumplir los requerimientos de lubricar el turbocompresor. Demasiada presión de aceite puede crear problemas con los turbos, ya que es posible que la fuerza del aceite traspase los sellos, en este caso será necesario instalar restrictores de aceite para reducir la presión del aceite antes de entrar al turbo.

#### **2.5.3.2. Retorno del aceite**

El aceite entra al turbo relativamente libre de aire y a cierta presión. Al pasar el aceite a través de los cojinetes, se emulsifica el aire y toma el aspecto de una crema batida sucia y sale sin presión. Por este motivo el turbo debe estar instalado relativamente arriba del cárter para permitir al aceite regresar al cárter por gravedad.

#### **2.5.4. Tecnología de Fabricación**

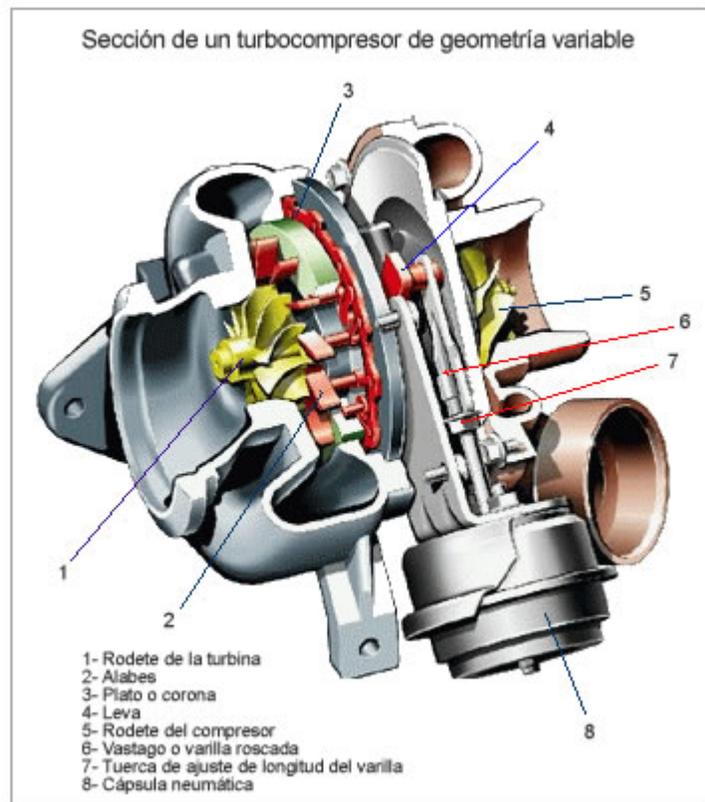
La continua demanda de mayor exigencias de los motores, ha llevado a que los fabricantes de turbocompresores busquen alternativas para que sus productos sean más eficientes y se adapten a condiciones extremas de operación, o simplemente a eliminar problemas que los turbos tienen por su concepción física. Uno de los problemas principales es el retardo del turbo, pues si se quiere más potencia, el retardo será mayor. Y si el objetivo es que el retardo del turbo sea

mínimo, la potencia no será relativamente alta. Por lo tanto, cualquier componente que ayude al eje común a mantener la velocidad de rotación cuando se suelta el pedal del acelerador (gases de escape son mínimos), incrementará significativamente la respuesta de aceleración.

#### **2.5.4.1. Turbos de geometría variable**

Un turbo de geometría variable es aquel que puede cambiar la relación de la turbina, para modificar la proporción de reacción que se desarrolla en el carcasa frente al rodete. Evidentemente el rodete al estar girando no se puede modificar su geometría, pero si se puede reducir o aumentar la sección de paso de los gases por la carcasa, para mantener velocidades de fluido altas cuando los caudales sean pequeños. De esta forma, podremos aprovechar mejor la energía de los gases cuando estos tengan un volumen reducido por una baja carga o baja velocidad del motor. En estos turbos, el control de la presión se hace modificando

la geometría de la turbina de turbocompresor, mas no desviando gases que no atraviesen la turbina, para reducir la presión del colector de admisión.



Fuente: [www.mecanicavirtual.org](http://www.mecanicavirtual.org)

**Figura 2.11 Turbo de geometría variable.**

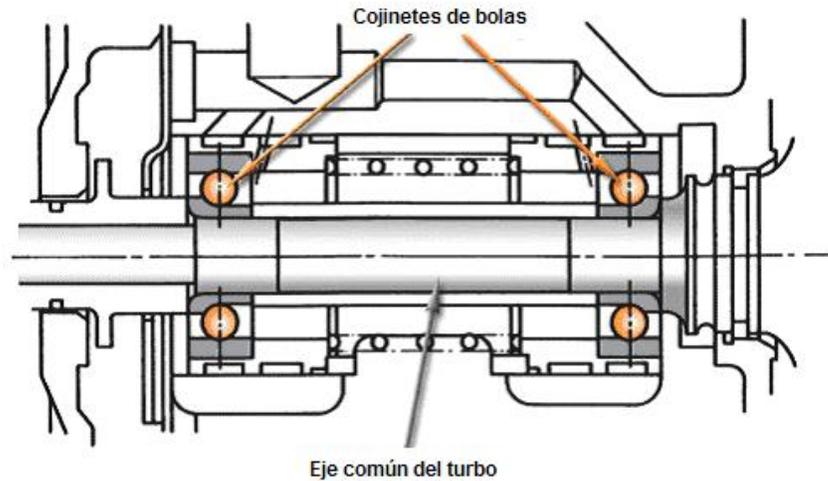
El diseño radica en alabes móviles que se mueven simultáneamente generando un área de tobera continuamente variable, controlando la velocidad de los gases de escape a medida que se acercan al impulsor de la turbina. Cuando estos alabes están cerrados aumentan la velocidad de los gases, lo cual provoca que el impulsor gire más rápido, logrando así una respuesta más ágil y rápida en bajas revoluciones del motor. Cuando el volumen y velocidad de los

gases de escape aumenta, el alabe es movido a una posición abierta lo que hace que exista un área de carcasa más grande y efectiva, disminuyendo la contrapresión y mejorando el fluido, mejorando el flujo al igual que un carcasa de relación mayor, obteniendo así un rendimiento óptimo en todo el régimen de revoluciones.

#### **2.5.4.2. Turbos con cojinetes de bolas.**

La reducción de la fricción en el ensamblaje rotatorio del turbo mejora la respuesta de la aceleración y disminución del turbo lag o retardo. Los turbos tradicionales han utilizado cojinetes lisos flotantes, no obstante las fuerzas

fraccionales son relativamente altas, lo que es una de las razones por la que existe el retardo del turbo.



Fuente: [www.arpem.com](http://www.arpem.com)

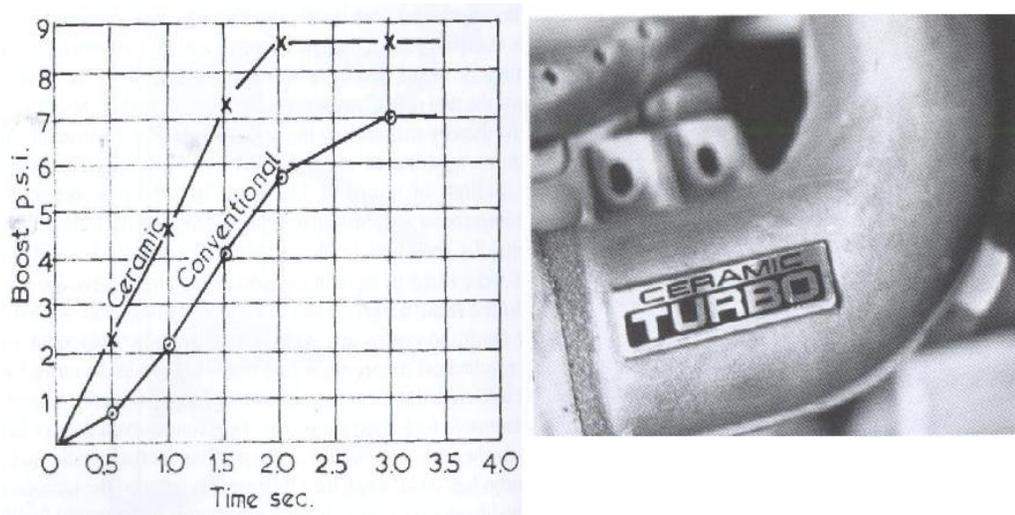
**Figura 2.12 Turbo con cojinetes de bolas.**

Al utilizar cojinetes de bolas a ambos lados del eje común del turbo, se tiene como resultado una gran reducción de la fricción, la cual es particularmente aprovechada en gran manera en baja y mediana velocidad del turbo cargador.

#### **2.5.4.3. Turbos cerámicos.**

Los componentes al interior del turbo, en especial los de la turbina, están sometidos a altísimas temperaturas por lo que el mejoramiento de los materiales

de estos componentes ha sido el principal parámetro de progreso para tener turbos más eficientes.



Fuente: A. GRAHAM BELL, Forced Induction Performance Tuning

**Figura 2.13 Turbo cerámico.**

Al cambiar el impulsor de fabrica, compuesto de una aleación de acero, por un impulsor ligero compuesto de cerámica y oxido de aluminio, la inercia de rotación es reducida hasta un 40%, principalmente debido a que el impulsor cerámico pesa la mitad que el convencional. Con la instalación de dicho impulsor, éste acelera más rápidamente, consiguiendo sobrealimentación en bajas revoluciones, y una reducción en más del 30% en el retardo del turbo. Sin embargo, pese a la excelente reducción en el turbo lag, éste tipo de turbos tiene limitaciones muy notorias, ya que al sobrepasar una presión de sobrealimentación de 15 [psi] se produciría una falla inmediata. Esto debido a

que para producir más sobrealimentación, el impulsor de la turbina tiene que entregar mucha fuerza hacia el eje común, lo que ocasiona grandes esfuerzos en los alabes y en la unión con el eje.

## **2.6. INTERENFRIADOR**

### **2.6.1. Introducción**

Un interenfriador, es un intercambiador de calor ya sea de aire-aire o aire-agua, el cual se encarga de disminuir la temperatura del aire que después de ser comprimida por el turbo aumenta la temperatura. El aire al aumentar su temperatura pierde densidad y por ende hace que el motor disminuya la eficiencia volumétrica.

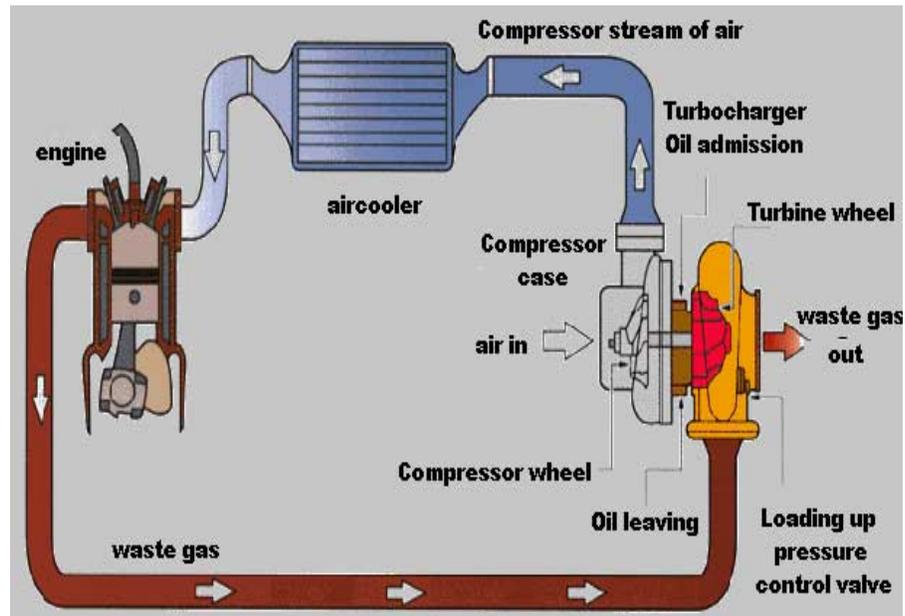
El aire después de pasar por el turbo puede alcanzar temperaturas de 120°C y al tener un interenfriador dentro del sistema podemos reducir este valor hasta la mitad.

El interenfriador está ubicado después de la turbina y antes del múltiple de admisión, para poder cumplir el propósito antes mencionado de remover el calor del aire producto de la compresión del turbocompresor.

Al remover el calor de la carga de aire se tienen dos beneficios muy marcados:

- La reducción de la temperatura del aire, hace que éste sea más denso. Este incremento en la densidad del aire, permite lograr mayores presiones de sobrealimentación
- Mejora la combustión de la mezcla de aire y combustible debido a la reducción de la temperatura del aire. El autoencendido es reducido

considerablemente, obteniendo un margen de manejabilidad más seguro y además, obteniendo mayor presión de sobrealimentación por ende se logra más potencia.



Fuente: [www.todoautos.com](http://www.todoautos.com)

**Figura 2.14 Sistema de interenfriamiento**

### **2.6.2. Características**

Las características de un interenfriador son directamente relacionadas con el uso que se le quiere dar y más con los alcances que el usuario desea tener.

Existen de varios tipos que a la vez pueden poseer sistemas anexos para que sean más eficientes. Tienen diferentes formas dependiendo el tamaño del mismo y de la posición en la cual se situara para ser usado. Por último pueden tener

sistemas de funcionamiento que marcan la diferencia frente a los otros, como puede ser de aire o agua, la dirección de los fluidos y la dimensión del mismo.

Los materiales forman parte principal de las características, pero por lo general son de material muy resistente a la corrosión y en caso de alta fiabilidad son fabricados con materiales muy especiales como el titanio.

#### **2.6.2.1. Tipos**

Existen varios tipos de interenfriadores los cuales son diseñados y usados de acuerdo a las características del vehículo tanto estéticamente como también en el ámbito del motor, como la cilindrada, la capacidad de motor y el sistema de turbo.

#### **2.6.2.2. Interenfriador Aire – Aire**

El interenfriador de aire - aire, es el que se usa más comúnmente por su bajo costo, alta eficiencia y su fácil disponibilidad. Este tipo de interenfriadores basan

su funcionamiento igual que un radiador de agua de un vehículo, es decir busca el intercambio de calor con el paso del aire entre sus paneles.

Este tipo de interenfriador depende mucho de su diseño y su tamaño y por estas razones muchas veces causa dificultad en su montaje dentro del vehículo ya que siempre debe estar ubicado en un lugar donde el aire circule en él.



Fuente: [www.autospeed.com.au](http://www.autospeed.com.au)

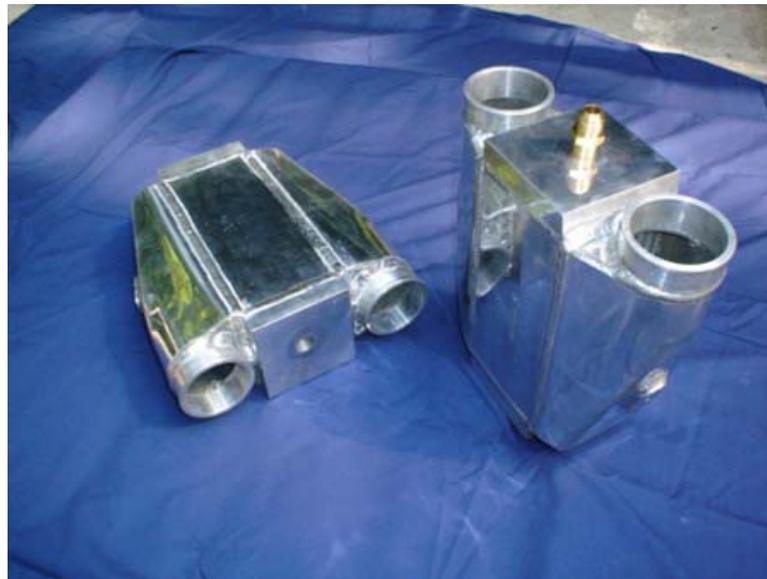
### **Figura 2.15 Interenfriador de aire – aire**

Este interenfriador de aire puede poseer sistemas anexos en él para lograr una mayor eficiencia. Estos sistemas consisten en poseer un pequeño chorro que puede inyectar diferentes líquidos que hagan disminuir la temperatura como puede ser alcohol, agua y en casos de alto rendimiento  $\text{CO}_2$ . Estos componentes se inyectan directamente a los paneles ocasionando que baje su temperatura y por ende la del aire que viaja internamente.

#### **2.6.2.3. Interenfriador Aire – Agua**

Este tipo de interenfriador es un poco más complejo y por ello menos conocido en el mercado. Consiste en enfriar el aire que pasa por él, ya no con aire como

el sistema más común, sino que lo hace mediante agua. Es decir que tiene un sistema anexo el cual se encarga de bombear agua hacia el interenfriador produciendo una transferencia de calor. Este sistema anexo cuenta con una bomba adicional y sus respectivos ductos, un pequeño radiador de agua que permite enfriar el agua que se eleva de temperatura producto del paso por el interenfriador donde se produce la transferencia de calor.



Fuente: [www.9thgencorolla.com](http://www.9thgencorolla.com)

**Figura 2.16 Interenfriador aire - agua**

Este interenfriador no ocupa mucho espacio y no tiene la necesidad u obligatoriedad de ser instalado en el frente del vehículo para que el aire lo golpee, sino que puede estar en lugar aislado ya que la transferencia se da lugar por agua. Es un sistema totalmente aislado que no necesita tener grandes dimensiones que se por su constitución se torna más pesado. Puede lograr una

mayor eficiencia al momento de disminuir la temperatura que circula al interior del mismo.

Al igual que el interenfriador tradicional, este sistema puede contar con ciertas modificaciones para mejorar su rendimiento, y esto se logra introduciendo hielo en el depósito de agua que hace que esta se encuentre a más baja temperatura para que el momento que circule por el interenfriador esta sea aprovechada al máximo.

### **2.6.3. Constitución**

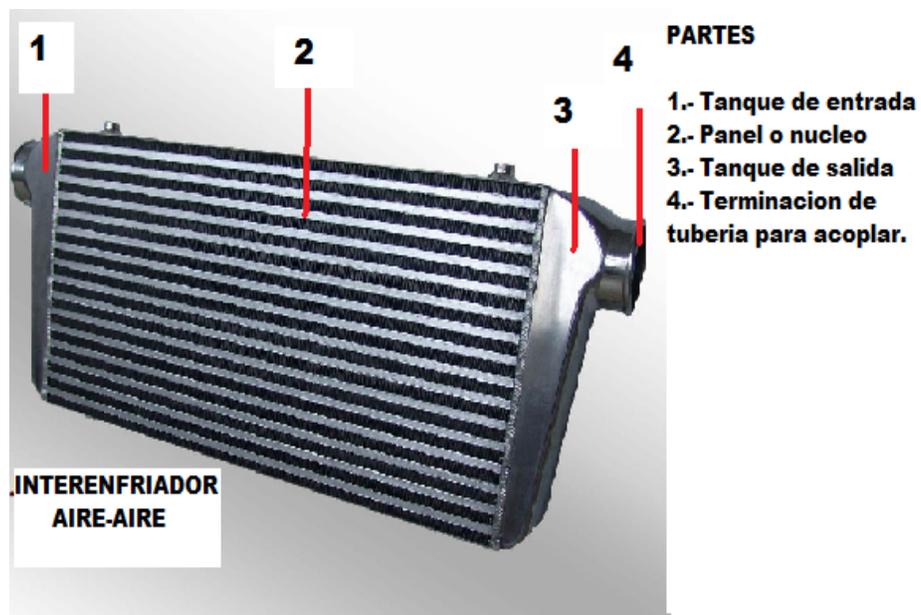
Un interenfriador se constituye por tres partes esenciales, y dependiendo las características le dan la eficiencia al mismo.

Las principales partes de las que se constituye un interenfriador son:

- *Tanque de entrada.*- Esta parte es el lugar donde todo el volumen que proviene del elemento de sobrealimentación. Aquí es prácticamente la entrada al panel donde se produce el interenfriador. Los tanques al final poseen una forma tubular que permiten el acople de la tubería.
- *Panel.*- También conocido como núcleo, está constituido por malla de tubos y aletas que provoca la transferencia de calor a medida que el fluido

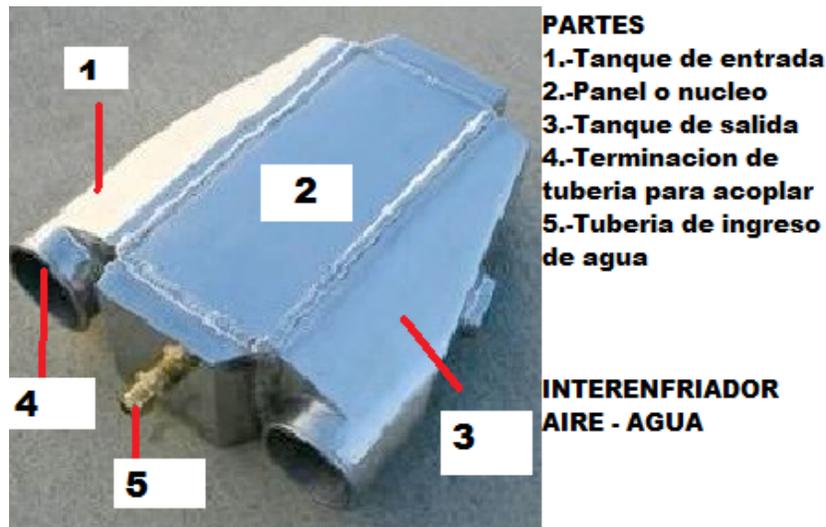
pasa por dicho panel. Dentro de este núcleo se puede configurar el sentido de circulación del fluido.

- *Tanque de salida.*- El tanque de salida es el depósito donde se vuelven a acumular el fluido después de haber sufrido la transferencia de calor.



Fuente: [www.velocidadmaxima.com](http://www.velocidadmaxima.com)

**Figura 2.17 Partes del interenfriador aire – aire**



Fuente: [www.velocidadmaxima.com](http://www.velocidadmaxima.com)

**Figura 2.18 Partes del interenfriador aire - agua**

#### **2.6.4. Eficiencia Térmica**

La eficiencia del interenfriador relaciona el aumento de la temperatura del aire ocasionada por el turbo y la cantidad de calor removido por el interenfriador. El aumento de la temperatura debido al compresor ( $\Delta T_1$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta T_1 = T_c - T_{amb}$$

**Ecuación 2.24 Incremento de la temperatura.**

Donde  $T_c$  es la temperatura del aire al salir del compresor, y  $T_{amb}$  es la temperatura ambiente. El calor removido por el interenfriador ( $\Delta T_2$ ) es calculada con la siguiente ecuación:

$$\Delta T_2 = T_c - T_{in}$$

**Ecuación 2.25 Calor removido por el interenfriador.**

Donde  $T_{in}$  es la temperatura del aire al salir del interenfriador. Finalmente, la eficiencia del interenfriador se calcula con la ecuación:

$$\eta_i = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$$

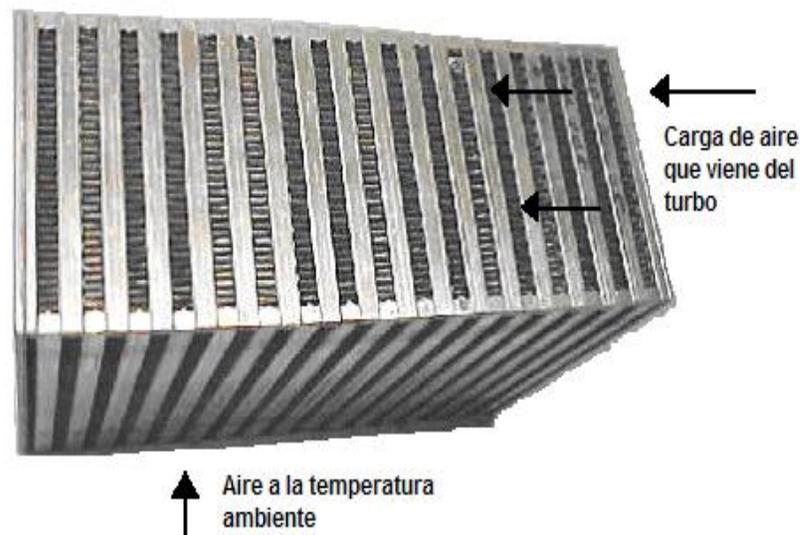
**Ecuación 2.26 Eficiencia del interenfriador.**

### **2.6.5. Criterios de Diseño**

Los criterios de diseño para el interenfriador son muchos y muy variados. Los criterios deben considerar una construcción que maximice el intercambio de calor, y minimice las pérdidas de presión. El flujo al interior de los paneles de la carcasa del interenfriador tiene algunas limitaciones por su propio diseño. Entre más difícil es el paso del aire a través de la carcasa, mayor es el intercambiado de calor. Debido a esta perturbación en el flujo, el cual se hace turbulento, provoca una pérdida o caídas de presión. Para compensar esta limitación por

diseño, el área interna de flujo se fabrica lo suficientemente larga para que el aire circule a través del interenfriador.

El diseño de coraza más común y eficiente es el de paneles y placas muy similares a los radiadores del sistema de refrigeración. Este tipo de coraza es fabricada en su totalidad de aluminio, y por su diseño puede ser adaptado a cualquier aplicación en particular. Esto se debe básicamente a su alta capacidad de intercambiar calor, debido a que la cantidad de laminillas más densa permite un área de transferencia de calor mayor entre la carga de aire que viene del turbo y la coraza.



Fuente: [www.velocidadmaxima.com](http://www.velocidadmaxima.com)

**Figura 2.19 Diseño del interenfriador**

### 2.6.5.1. Superficie del núcleo del interenfriador

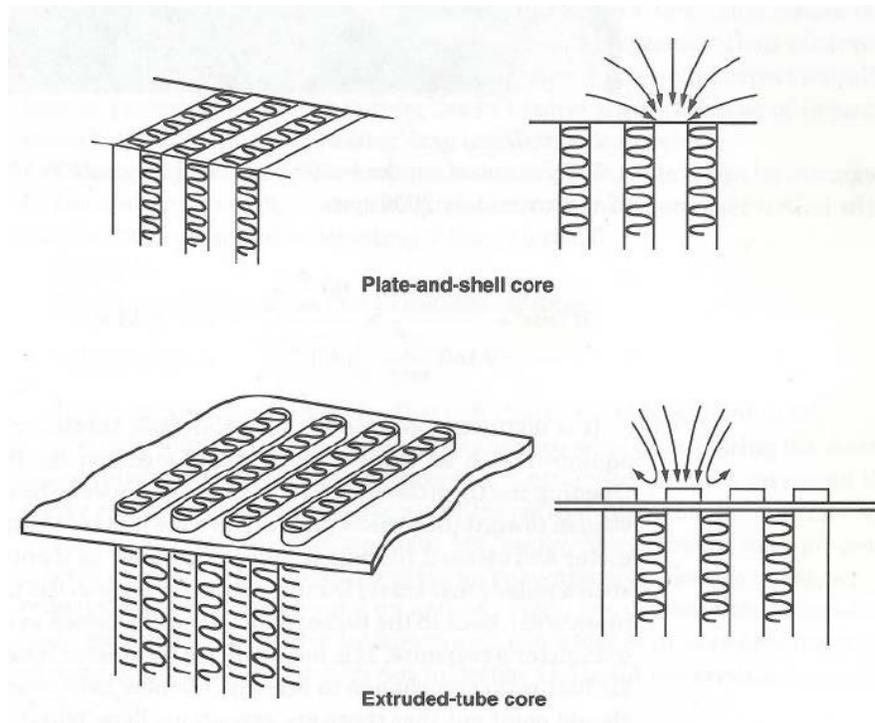
En la superficie del área de transferencia de calor existen diferentes componentes y elementos que en conjunto forman un intercambiador, que es responsable de transmitir el calor fuera del sistema, por tal razón hay que ser lo más preciso al momento de dimensionar el interenfriador.

Al momento de diseñar el interenfriador de aire – agua se deben tomar en cuenta muchas condicionantes, las mismas que permitirán que el interenfriador desarrolle toda su eficiencia. Una de esas condicionantes es la superficie en el área de flujo interno en el intercambiador, que al poseer su núcleo se racionalizara el aire que ingresa desde el turbo y de acuerdo al modelo tendrá una reacción sea esta turbulenta o direccionada.

Los dos modelos más populares y típicos que encontramos en la superficie del núcleo de un interenfriador ya sea de aire – aire o de aire – agua son los siguientes que se detallan a continuación:

- Núcleo de plato y coraza: Como podemos ver en la figura 2.16 el modelo posee un núcleo plano y con una coraza muy delgada, que tiene como característica principal el tener una menor resistencia al flujo de aire evitando lo más posible que se cree una turbulencia, permitiendo así un mejor flujo del aire.
- Núcleo de tubo en relieve: Como podemos ver en la figura 2.16 el modelo posee un núcleo con relieve debido a los tubos que la componen que permite ser más eficiente que el núcleo de plato y coraza pero genera una cierta

cantidad de turbulencia. Por lo general el diámetro de los tubos es de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.



Fuente: CORKY BELL, Maxium Boost

**Figura 2.20 Tipos de superficie en el núcleo del interenfriador**

Con estos dos modelos podemos concluir como se ve en a figura parte 1, es que en su núcleo genera bastante perturbación en el aire y por ende turbulencia debido a su resistencia al aire, pero hay que saber diferenciar el objetivo para el que está diseñado equilibradamente y de acuerdo a las necesidades, ya que en los interenfriadores que poseen un bajo nivel de turbulencia provoca que se generen grandes gotas en su interior. La solución para esto es diseñar el interenfriador con un área de flujo interna más larga lo que hace que el aire pierda

su fuerza y que la turbulencia disminuya obteniendo pérdidas de presión aceptables.

#### **2.6.5.2. Área de flujo interno**

El flujo al interior de los paneles de la carcasa del interenfriador tiene algunas limitaciones por su propio diseño. Entre más difícil es el paso del aire a través de la carcasa, mayor es el intercambiado de calor, principalmente debido a las laminillas. A esta perturbación en el flujo, el cual se hace turbulento, provoca una pérdida o caídas de presión. Para compensar esta limitación por diseño, el área interna de flujo se fabrica lo suficientemente larga para que el aire circule a través del interenfriador. La siguiente ecuación nos muestra como se calcula el área de flujo interno.

$$Area_{int\_flujo} = H_{panel} \times A_{panel} \times N_{paneles}$$

**Ecuación 2.27 Área de Flujo Interno**

Donde:

- $H_{\text{panel}}$ : Longitud del panel.
- $A_{\text{panel}}$ : Ancho de cada panel.
- $N_{\text{paneles}}$ : Número de paneles.

### **2.6.5.3. Tamaño y espesor de la coraza**

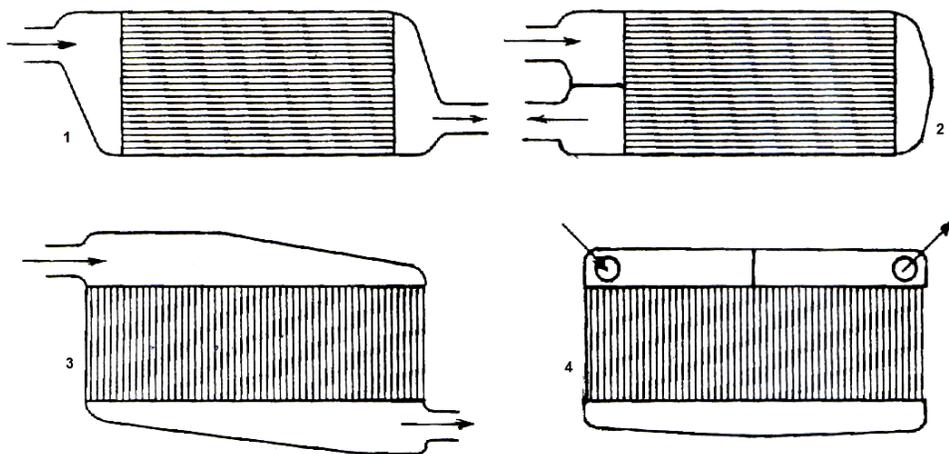
El área frontal de la coraza, es la que choca con el flujo de aire frío en caso de ser interenfriadores de aire - aire, y agua en caso de aire – agua, determina la cantidad de aire o agua que va a intercambiar calor con la carga de aire proveniente del turbo. El diseño de ésta debe ser cuidadosamente calculado para encontrar un balance entre pérdidas de presión y eficiencia, ya que al tener un área frontal grande, la eficiencia será mayor a costa de una caída de presión mayor y viceversa.

El espesor de la coraza, al igual que el área frontal, cambia con relación a la aplicación necesaria, y más específicamente al flujo de aire que va a circular por el área interna. Un espesor de la coraza más grande aumenta significativamente la eficiencia, pero estas ganancias disminuyen a medida que el espesor aumenta,

debido a que un espesor de coraza muy grande, dificulta la capacidad del aire o agua de atravesar la coraza.

#### 2.6.5.4. Configuración de los paneles

Como se observa en la figura, los cuatro diseños de interenfriadores ocupan el mismo espacio, tienen la misma área frontal, pero la longitud y número de los paneles cambia considerablemente entre uno y el otro. Los paneles (1) y (2) tienen poca cantidad de estos pero más largos, lo que incrementa la resistencia del flujo de la carga de aire, por lo tanto mayores caídas de presión. Al dividir los paneles en dos partes iguales como en (2), el número de paneles es dividido aumentando el flujo, pero ya que la distancia que debe recorrer la carga de aire es el doble que la primera, genera flujo muy turbulento incapaz de pasar rápidamente por los paneles, aumentando las caídas de presión.



Fuente: A. GRAHAM BELL, Performance Tuning

### **Figura 2.21 Configuración de los paneles en el interenfriador**

La configuración de paneles como en (3) y (4), la cantidad de paneles es mayor y la longitud de estos es menor, lo que aumenta el área interna de flujo, disminuyendo la pérdida de presión. Si se aumenta el número de paneles, se aumenta el área frontal favoreciendo una mayor eficiencia, y debido a este diseño, los incrementos en caída de presión no son tan grandes.

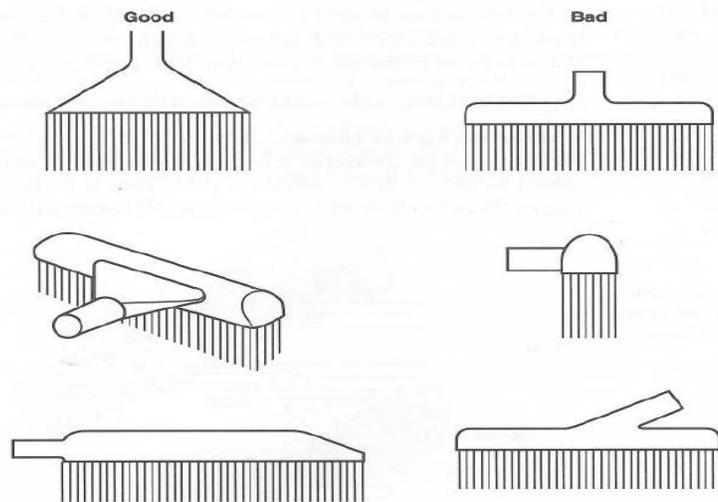
#### **2.6.5.5. Tanques de Terminación**

Los tanques de terminación tienen detalles muy importantes que se deben tener muy en cuenta al momento de elegir o diseñar un interenfriador, debido a que estos tienen una intención determinante en el flujo de aire que viaja a través del mismo. Estos tanques son los encargados prácticamente de direccionar el flujo

de la carga de aire enviada por el compresor, y su misión es distribuir de la mejor manera posible a lo largo de los paneles del interenfriador.

Los tanques tienen varias formas posibles, pero no todas son correctas ya que muchas de ellas dejan vacíos y no permiten que el aire ocupe todo el espacio disponible y solo lo direcciona por una parte del panel.

A continuación mostramos una figura donde se puede apreciar que tipo de tanque tiene el diseño más eficiente.

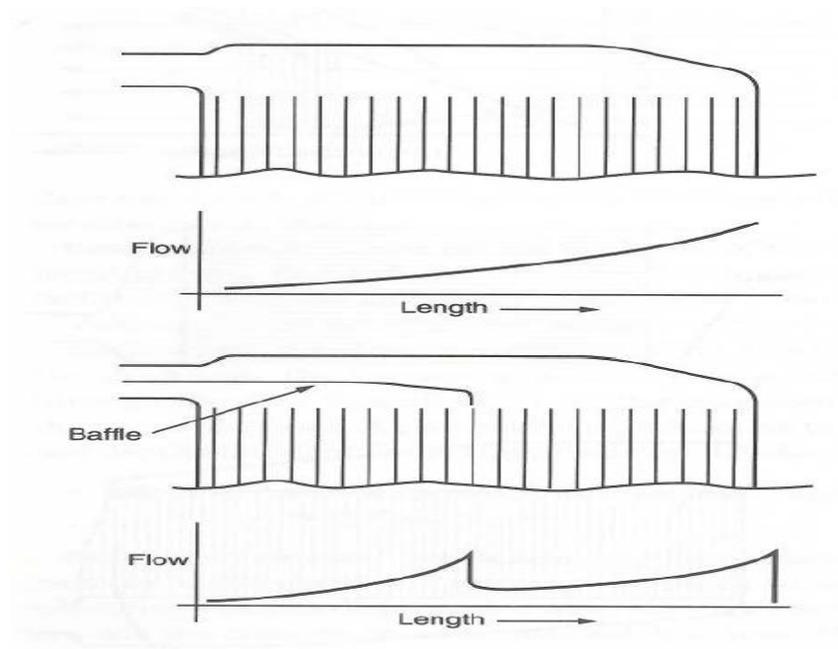


Fuente: CORKY BELL, Maxium Boost

**Figura 2.22 Diseños de tanques**

Como podemos ver en la figura 2.18, tenemos dos disposiciones básicas de los tanques, donde se diferencia claramente la forma que debe tener para lograr distribuir bien el aire por todo el sistema.

Dentro de los tanques también podemos encontrar particulares diseños con el afán de encontrar más eficiencia para distribuir el aire, siendo así que se coloca una especie de separador dentro del ducto de carga de aire ocasionado que la misma se divida en dos y ocasionándole al flujo llegar hasta lo más profundo del tanque. La otra forma y más tradicional por cierto es simplemente hacerle una entrada libre. Las dos opciones tienen comportamientos distintos en cuanto al flujo tal como lo muestra la siguiente figura.

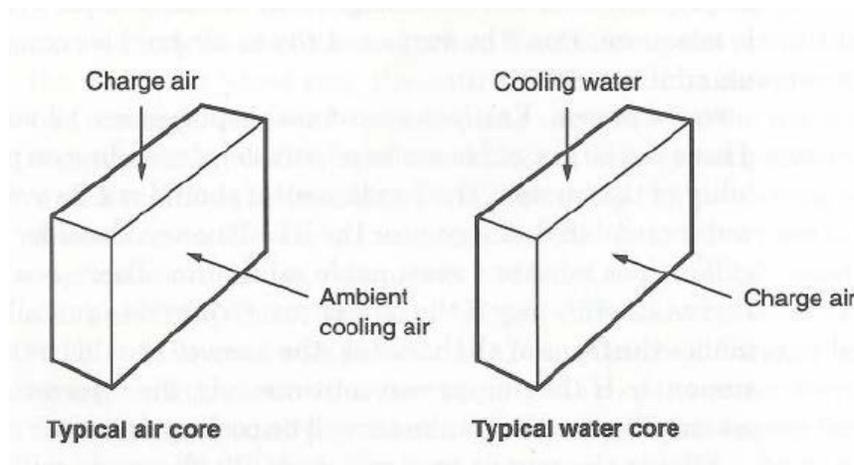


Fuente: CORKY BELL, Maxium Boost

**Figura 2.23** Diseño interno del tanque

### 2.6.5.6. Configuración de Carga de los Interenfriadores

Es muy importante aclarar que dentro de los parámetros a tener en cuenta es que el sistema interenfriador de aire – agua funciona con un principio distinto al de aire – aire. A continuación en la siguiente figura resaltamos la gran diferencia de los dos sistemas, lo cual será un punto clave de partida para el cálculo del interenfriador aire – agua.



Fuente: CORKY BELL, Maximum Boost

**Figura 2.24 Tipo de carga de los interenfriadores**

Esta figura nos permite interpretar claramente que al momento de calcular un interenfriador aire – agua las fórmulas pueden variar un poco o se pueden

interpretar de distinta forma, ya que las configuraciones de funcionamiento son diferentes.

#### **2.6.5.7. Parámetros a tener en cuenta**

Dentro de los criterios de diseño un interenfriador tiene varias opciones muy importantes que se debe tomar en cuenta.

Por lo general la gente opta por seleccionar un interenfriador que tenga un diseño para que funcione o rinda un porcentaje más alto que el necesario.

Aparte también se debe tener en cuenta el motor al que se le va a implementar, el volumen de fluido y la eficiencia mínima requerida. A continuación veremos los parámetros más importantes a tener en cuenta al momento de diseñar o seleccionar un interenfriador.

- *Velocidad de transferencia de calor.*- Es uno de los parámetros más importantes de la selección ya que debe tener la capacidad de transferir el calor a una velocidad específica deseada.
- *Costo.*- El costo es una de las limitaciones de un consumidor, ya que de ello depende mucho la selección o el diseño que gira en base a lo que se desea lograr. En casos particulares el costo es lo menos importante y permite realizar el diseño o selección sin escatimar gastos. En los casos donde es limitado el recurso se procura la eficiencia antes que la durabilidad y la calidad de los materiales.
- *Tamaño y peso.*- Estos factores son cruciales al momento del diseño o selección, ya que se debe optimizar el espacio disponible tratando de que el interenfriador sea lo más eficiente. El peso del interenfriador debe tratar

de no influir mucho en el rendimiento tanto del mismo como del objeto en donde se lo instalara.

- *Tipo.*- El tipo de interenfriador depende principalmente de las características de ensamblaje posibles, teniendo en cuenta sus limitaciones de espacio, peso y la posición a ser ubicado.
- *Materiales.*- Este parámetro va atado al costo, ya que mientras más calidad de materiales mayor costo. Aquí lo que se trata de obtener materiales que sean duraderos y resistentes a la corrosión para no tener que estar reemplazando el interenfriador muy seguido.

### **3. CAPITULO**

#### **DISEÑO Y SELECCIÓN DEL INTERENFRIADOR Y DETERMINACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS**

##### **3.1. CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA SIMULADOR DEL AIRE AL PASAR POR EL TURBO DE UN VEHICULO**

Para poder realizar la construcción del banco simulador y el interenfriador en sí, es necesario poder analizar y desarrollar los parámetros que usaremos en el diseño y construcción de los mismos.

En los siguientes subcapítulos analizaremos todas las variantes que intervienen cuando el aire es comprimido en un turbo antes de llegar al interenfriador.

Además se realizara un desarrollo teórico del vehículo con sistema de turbo a

simular basándonos en el cilindraje del vehículo y las condiciones atmosféricas y ambientales de la ciudad de Quito.

Como todos sabemos estos datos deben ser centrados en los vehículos que hoy en día en la ciudad de Quito y sus valles están optando por adaptar un sistema de turbo alimentación a vehículos con motores atmosféricos. La mayoría de personas que instalan este tipo de sistemas son gente joven que bordean entre los 20 y 30 años, y por lo general lo hacen en vehículos de gama media, es decir que no poseen un alto cilindraje.

Los vehículos que últimamente mas se pueden apreciar con adaptaciones de sistemas de turbo son vehículos que tienen entre 1600cc y 2000cc ya que vehículos con mas alto cilindraje son de gama más alta y poco expuesta a una

adaptación por su diseño. Los modelos que más se observan con sistema de turbo son:

- Honda Civic 1600cc
- Chevrolet Corsa 1400cc
- Chevrolet Corsa Sport 1600cc
- Chevrolet Corsa Evolution 1800cc
- Volkswagen Gol 1800cc
- Chevrolet Steem 1600cc

Con todas estas características calcularemos el número de CFM necesarias para poder medir la eficiencia del interenfriador aire – agua dentro de un simulador.

### **3.1.1. Densidad del Aire**

Un factor muy importante en la adaptación de un sistema de sobrecarga o inducción forzada sobre un motor son los efectos de la densidad del aire, misma que no es una constante pero que tiene mucha incidencia.

La densidad del aire a nivel del mar es un 35% más densa que a 3000 metros de altitud. Todo esto se debe o se puede deducir debido a que el aire a mayor altitud sus moléculas de gas son esparcidas, es decir que a mayor altitud menor peso del aire. Para ser más claros en la comparación, el aire a nivel del mar la densidad es 0.0765 lb/ft<sup>3</sup> y a más de 3000mts es de 0.0565 lb/ft<sup>3</sup>.

Poniéndolo en un ejemplo, y aplicamos estos datos en un motor de 3 litros, dicho motor necesitaría llenar sus cilindros con 3 litros que a nivel del mar lo puede lograr, pero a más de 3000 metros de altitud donde contiene menor oxígeno (26%

menos) el motor sustancialmente produce menor poder. Hablando en caballos de fuerza disminuye un 3% por cada 305 metros.

Otro factor que influye en la densidad es la temperatura, causando un similar efecto cada que la misma aumenta. Consecuentemente si estamos a nivel del mar con una temperatura del 40°C el aire a esa temperatura pierde densidad, pero si estamos a 3000 metros con una temperatura de 5°C provoca que sea lo

contrario. Igualmente si lo llevamos a caballos de fuerza se puede perder 1% de HP por cada 7°C que incremente la temperatura.

A continuación veremos en la tabla 3.1 unos datos que nos muestran las diferentes densidades y temperaturas del aire en distintas altitudes.

**Tabla 3.1 Cuadro estándar de la atmosfera**

CUADRO ESTANDAR DE LA ATMOSFERA									
ALTITUD		PRESION DE AIRE			TEMPERATURA		DENSIDAD		DENSIDAD RELATIVA
Ft	m	in Hg	psi	mB	°F	°C	lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
NIVEL DEL MAR		29.92	14.7	1013	59.0	15	0.00765	1.225	1.000
1000	305	28.86	14.2	977	55.4	13	0.00742	1.189	0.997
2000	610	27.82	13.7	942	51.9	11.1	0.00722	1.156	0.993
3000	914	26.81	13.2	908	48.3	9.1	0.00714	1.144	0.989

4000	1219	25.84	12.7	875	44.7	7.1	0.00680	1.090	0.986
5000	1524	24.90	12.2	843	41.2	5.1	0.00660	1.058	0.982
6000	1829	23.98	11.8	812	37.6	3.1	0.00639	1.024	0.979
7000	2134	23.09	11.3	782	34.1	1.2	0.00682	1.093	0.975
8000	2438	22.23	10.9	753	30.5	-0.8	0.00601	0.962	0.972
9000	2743	21.39	10.5	724	26.9	-2.8	0.00582	0.933	0.969
10000	3048	20.58	10.1	697	23.4	-4.8	0.00565	0.905	0.965
11000	3353	19.80	9.7	670	19.8	-6.8	0.00547	0.876	0.962
12000	3658	19.03	9.3	644	16.2	-8.8	0.00530	0.849	0.958
13000	3962	18.30	9.0	620	12.7	-10.7	0.00513	0.822	0.954
14000	4267	17.58	8.6	595	9.1	-12.7	0.00498	0.797	0.951
15000	4572	16.89	8.3	572	5.6	-14.7	0.00483	0.773	0.947

Fuente: A. GRAHAM BELL, Forced Induction Performance Tuning

### 3.1.1.1. Efectos del Compresor en la Densidad del Aire

Desafortunadamente al comprimir el aire con cualquier método produce que el aire aumente la temperatura, es decir a mayor compresión mayor temperatura. Los diferentes tipos de compresores como supercargador y turbos pueden incrementar la presión a la entrada del múltiple de admisión desde la presión normal del aire (presión atmosférica) que según Tabla 3.1 a nivel del mar es de 14,7 Psi; con la sobrecarga se puede conseguir presiones de 14,7 Psi por encima de la nominal, es decir 29,4 Psi.

Las diferentes presiones tienen diferentes definiciones las cuales detallamos a continuación:

- **Presión Absoluta:** Es la presión que está por encima de un vacío perfecto.

A nivel del mar es decir 14,7 Psi (Presión Absoluta), y si a esto le

aumentamos la presión de sobrecarga seguirá en una suma y se leerá el total. Por ejemplo si tenemos la presión de 14,7 Psi y el turbo carga 7 Psi la presión absoluta es 21,7 Psi.

- **Presión Nominal:** Es la presión que se lee por encima de la presión atmosférica, es decir la que está por encima de la atmosférica. Por lo

general se define por los aumentos de presión refiriéndose a la que existe en la entrada del múltiple de admisión.

### **3.2. FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA**

Con todos los antecedentes presentados anteriormente podremos revisar diferentes formulas que nos permitan realizar un cálculo para poder saber que valores utilizaremos para simular un sistema turbo cargado.

#### **3.2.1. Fórmula para Calcular el Radio de Presión de Operación del Compresor**

El radio de presión a la cual opera el compresor nos permitirá saber mediante un grafico la eficiencia mínima y alta del mismo conjuntamente y dependiendo de la cantidad de CFM que pueda producir.

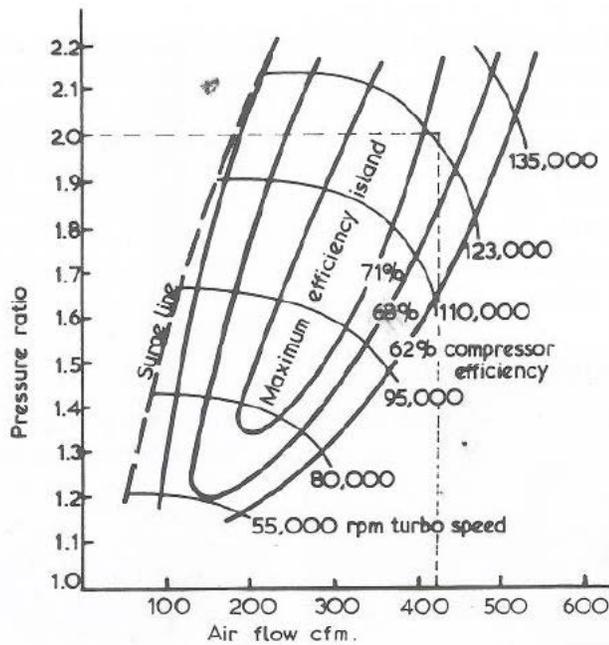
$$Pr = \frac{Bp + Ap}{Ap}$$

#### **Ecuación 3.1 Radio de presión de operación del compresor**

Donde:

- Pr: Radio de presión ( Pressure Ratio)
- Bp: Aumento de Presión o presión nominal (Psi)
- Ap: Presión de aire del ambiente(Air Pressure)

Obteniendo el radio de presión del compresor, y suponiendo o sabiendo que capacidad de Cfm tiene para producir el turbo o supercargador, según el grafico que se muestra a continuación se puede saber su máxima eficiencia.



Fuente: A. GRAHAM BELL, Forced Induction Performance Tuning

**Figura 3.1 Radio de Presión**

### **3.2.2. Fórmula para Calcular la Temperatura del Aire a la Salida del Compresor**

Para poder calcular la temperatura del aire a la salida del compresor tenemos una formula la cual usa datos basados en el cálculo de Pr, mas la tabla 3.2 que mostramos a continuación. Tenemos los datos suficientes para poder estimar la temperatura del aire a la salida del compresor.

**Tabla 3.2 Factores para calcular la temperatura a la salida del compresor**

Pr	F	Pr	F	Pr	F
1.35	0.089	2.25	0.258	3.30	0.402
1.40	0.100	2.30	0.266	3.40	0.414

1.45	0.110	2.35	0.274	3.50	0.426
1.50	0.120	2.40	0.281	3.60	0.437
1.55	0.130	2.45	0.289	3.70	0.448
1.60	0.142	2.50	0.296	3.80	0.459
1.65	0.152	2.55	0.303	3.90	0.470
1.70	0.162	2.60	0.311	4.0	0.480
1.75	0.172	2.65	0.318	4.20	0.501
1.80	0.181	2.70	0.325	4.40	0.521
1.85	0.192	2.75	0.331	4.60	0.540
1.90	0.199	2.80	0.338	4.80	0.559
1.95	0.208	2.85	0.345	5.0	0.577
2.0	0.217	2.90	0.352	5.3	0.603
2.05	0.225	2.95	0.358	5.6	0.628
2.10	0.234	3.0	0.365	5.9	0.653
2.15	0.242	3.10	0.377	6.4	0.691
2.20	0.250	3.20	0.390	7.0	735

Fuente: A. GRAHAM BELL, Forced Induction Performance Tuning

Con estos datos podemos calcular  $T_r$  (Temperatura del aire a la salida del compresor) con la formula 3.2:

$$T_r = \frac{F \times (A_t + 273) \times 100}{E}$$

**Ecuación 3.2 Temperatura del aire a la salida del compresor**

Donde:

- F: Factor obtenido de la tabla 3.2
- $A_t$ : Temperatura ambiente en °C
- E: Eficiencia del compresor %.

**3.2.3. Fórmula para Calcular la Temperatura de Descarga**

Para calcular la temperatura de descarga del elemento de sobrecarga únicamente hay que sumarle la temperatura ambiente al valor de  $T_r$ .

$$D_t = T_r + A_t$$

**Ecuación 3.3 Temperatura de descarga**

**3.2.4. Fórmula para Calcular el Flujo de Aire en el Motor**

Anteriormente observamos la manera de calcular el radio de presión y algunas temperaturas, además vamos a saber cómo calcular el flujo de aire que produce un turbo o supercargador para introducir dentro de la cámara de compresión de

un motor. La cantidad de aire que entra al motor se la expresa generalmente en **Cfm** que en ingles significa *Cubic feet per minute*, que traducido al español es *Pies Cúbicos por Minuto*. Hay componentes que pueden utilizar en la medida de

*Libras por Minuto (lb/min)*. La constante para poder convertir de Cfm a lb/min es multiplicándolo por 0.07.

El cálculo básico para encontrar el flujo de aire producido por un compresor es el siguiente:

$$CFM = \frac{L \times rpm \times VE \times Pr}{5660}$$

### **Ecuación 3.4 Flujo de aire**

Donde:

- L: Capacidad del motor en litros.
- Rpm: Revoluciones por minuto (capacidad máxima)
- VE: Eficiencia volumétrica del motor.
- Stock 2 válvulas = 85%
- Stock 4 válvulas = 90%
- Modificación de calle = 93%
- Modificación de competencia = 105%
- Pr: Radio de Presión.

### **3.3. CÁLCULO DEL SISTEMA**

Con el análisis anterior de estas formulas se procede a realizar el cálculo de nuestro sistema tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Ambientales.*- Para el cálculo del sistema se utilizara las condiciones ambientales específicas que ofrece la ciudad de Quito que es donde se desarrollara el proyecto. La ciudad antes mencionada se encuentra a una

altura de **2743** metros de altitud, con una temperatura ambiente promedio de **15°C**.

- *Vehiculares.*- Se va utilizar los datos que podamos extraer de un vehículo con una cilindrada de **1600cc (1.6 lts)**, a su capacidad máxima de revoluciones que son **6200 RPM**, que posee dos válvulas por cilindro.
- *Sobrecarga.*- El método de sobrecarga que simularemos es la de un turbo compresor que está operando o sobrecargando **14 psi**.

Con estos datos procedemos a realizar los cálculos antes nombrados y que se muestran más adelante.

### **3.3.1. Cálculo del Radio de Presión de Operación del Compresor**

Para calcular el radio de presión de operación del compresor se necesita la ecuación 3.1:

$$Pr = \frac{Bp + Ap}{Ap}$$

Donde:

- Pr: Radio de presión ( Pressure Ratio)
- Bp: 14 Psi.
- Ap: 10.5 Psi.

$$Pr = \frac{14 + 10.5}{10.5} = 2.33$$

**Pr: 2.33**

### **3.3.2. Cálculo de la Temperatura del Aire a la Salida del Compresor**

Para calcular la temperatura de descarga del compresor en nuestro sistema se necesita la ecuación 3.2:

$$Tr = \frac{F \times (At + 273) \times 100}{E}$$

Donde:

- F: 0.274
- At: 15 °C
- E: 70%.

$$Tr = \frac{0.274 \times (15 + 273) \times 100}{70} = 112.73^{\circ}C$$

**Tr: 112.73°C**

### **3.3.3. Cálculo de la Temperatura de Descarga del Compresor**

Para calcular la temperatura a la que el turbo descarga el aire comprimido se utiliza la ecuación 3.3:

$$Dt = Tr + At$$

Donde:

- Tr: 112.73°C
- At: 15°C
- **$Dt = 112.73 + 15 = 127.73^\circ\text{C}$**

$$\underline{Dt: 127.73^\circ\text{C}}$$

### **3.3.4. Cálculo del Flujo del Aire en el Motor**

Para calcular el flujo de aire que hay o ingresa en el motor producto de una sobre carga se necesita la ecuación 3.4:

$$CFM = \frac{L \times rpm \times VE \times Pr}{5660}$$

Donde:

- L: 1.6 lts.
- Rpm: 6200 (capacidad máxima)
- VE: Eficiencia volumétrica del motor.
- Stock 2 válvulas = 85%
- Pr: 2.33

$$CFM = \frac{1.6 \times 6200 \times 85 \times 2.33}{5660} = 347.11$$

## **CFM: 347.11**

### **3.4. DISEÑO DEL INTERENFRIADOR AIRE – AGUA**

Para poder empezar a realizar el diseño para una post construcción del interenfriador es necesario tener varios puntos en cuenta que los analizaremos en cada sub capítulo, tratando del elegir los mejores métodos y materiales en nuestro interenfriador.

Dentro del diseño y selección de partes para un interenfriador se puede empezar principalmente a tomar en cuenta las características referidas de trabajo al que va a ser sometido el interenfriador, el cálculo de la eficiencia global de transferencia, el área de intercambio, y las características que debe tener para el diseño.

Para el diseño que se propone realizar se ha optado por usar el método que la gran parte de interenfriadores utiliza para sistema con motor turbo cargado y que lo detalla Corky Bell en su libro “Maximum Boost”, donde lo hace a partir de sus gran experiencia en el diseño, pruebas e instalación de sistemas de turbo alimentación. Este método parte del cálculo del espesor del interenfriador derivado en un grafico donde el dato principal es el número de CFM que ingresaran al interenfriador, permitiendo así encontrar las otras variables para el diseño. La inclinación por este método es por su fácil diseño y eficaz uso en el

campo automotriz, además que dependiendo del vehículo permite escoger el tamaño adecuado.

#### **3.4.1. Material de Construcción del Interenfriador**

El material para la construcción de un intercambiador de calor depende de muchas cosas como la utilidad a la que esta designado, su tamaño, el costo, su tiempo de vida útil, los componentes que mediante los que se va a usar para la transferencia entre otros. Por lo general en los vehículos podemos encontrar en los radiadores de agua que el material utilizado es el cobre, aluminio y algunos usan el plástico para lo que se refiere a depósitos.

Los materiales que se pueden usar para un interenfriador aire – aire o aire - agua en un vehículo son el aluminio, o para un mejor presupuesto el acero inoxidable. En nuestro caso por razones de presupuesto y tecnología disponible en nuestro país para la fabricación utilizaremos el aluminio, que tiene grandes cualidades tanto de transferencia de calor y disipador del mismo, además es de fácil maleabilidad y su peso no incide o afecta al vehículo. El aluminio tiene muchas características que hacen que la mayoría de constructores utilicen este material

para elaboración de los interenfriadores y enumeramos algunas de ellas a continuación:

- Alta resistividad a la corrosión.
- Tiene una conductividad térmica entre 80 a 230 W/mK.
- Metal ligero con densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup>.
- Fácil mecanizado producto de su baja dureza.
- Es muy maleable lo que permite la fabricación de laminas muy
- Delgadas.
- Es un material apto para la soldadura.

Estas son las razones por las cuales se ha optado la fabricación del interenfriador de aire – agua además de que su costo en el mercado es totalmente accesible y en nuestro país existe la tecnología para su fabricación al alcance, lo cual hace que sea viable.

#### **3.4.2. Cálculo del área de flujo interno**

El cálculo del área de transferencia del interenfriador es muy importante, ya que en base a ese cálculo nacerá el nuevo interenfriador de aire – agua con el objetivo

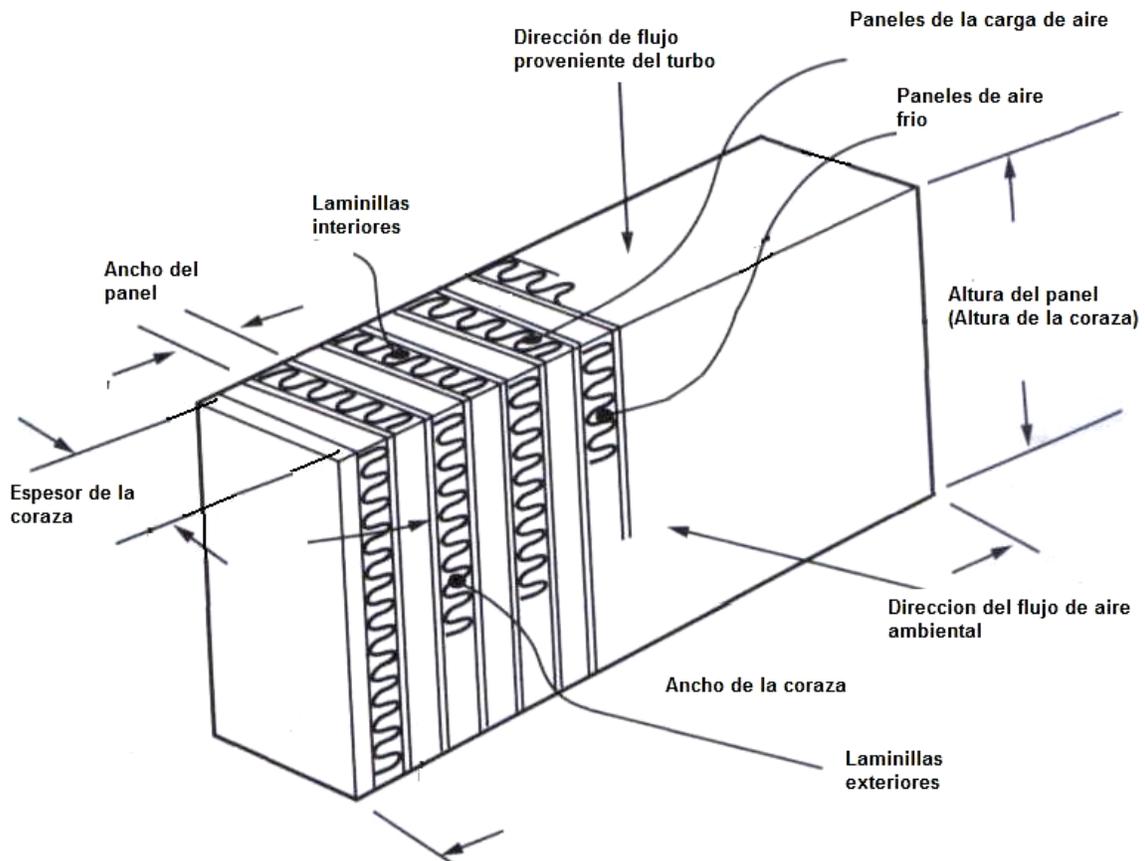
de ser más efectivos al momento de enfriar el aire caliente que proviene del turbo cargador.

Lo más importante a considerar en el diseño del área de flujo interno es tener una baja pérdida de presión, y este aspecto depende bastante del flujo interno.

En el cálculo del área de flujo interno viene dado por el resultado de la ecuación 2.27 que se expone en el subcapítulo 2.6.5.2 y se recuerda a continuación:

$$Area_{int\_flujo} = H_{panel} \times A_{panel} \times N_{paneles}$$

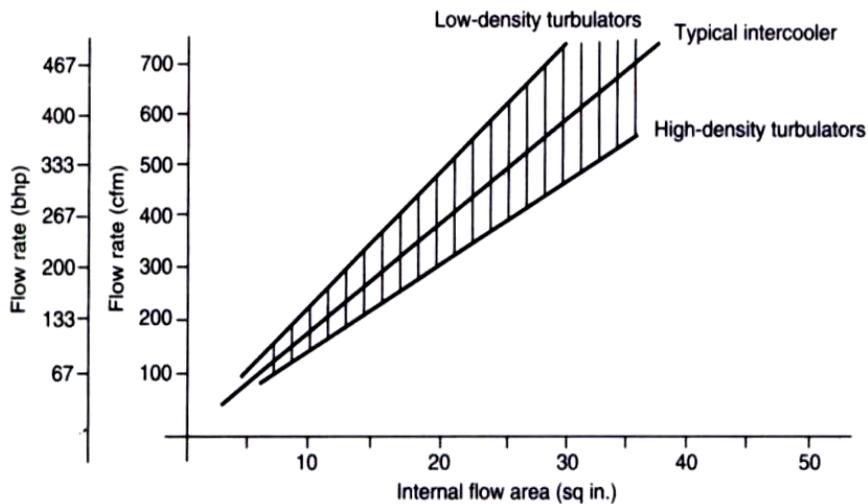
Todas estas partes se detallan en la figura que vemos a continuación:



Fuente: CORKY BELL, Maximum Boost

### Figura 3.2 Partes del núcleo de un interenfriador

Para el cálculo del espesor aplicamos el método que se basa en la figura que se muestra a continuación, el cual fue desarrollado por Corky Bell donde el dato principal es la cantidad de CFM, en nuestro caso es 347.11 calculado en el subcapítulo 3.3.



Fuente: CORKY BELL, Maximum Boost

### Figura 3.3 Estimado del área de flujo interno requerido en el interenfriador

De acuerdo a esta figura y de acuerdo al planteamiento primero debemos seleccionar que tipo de área queremos obtener, ya sea esta con laminillas de baja densidad, intermedia o con laminillas de alta densidad, tomando en cuenta las laminillas son las que se muestran en la figura 3.4. Si las laminillas son seleccionadas correctamente permiten que la carga de aire se posicione bien en las paredes del núcleo del interenfriador obteniendo así una gran transferencia

de calor, y de lo contrario con pocas laminillas tendríamos pérdidas de flujo interno.

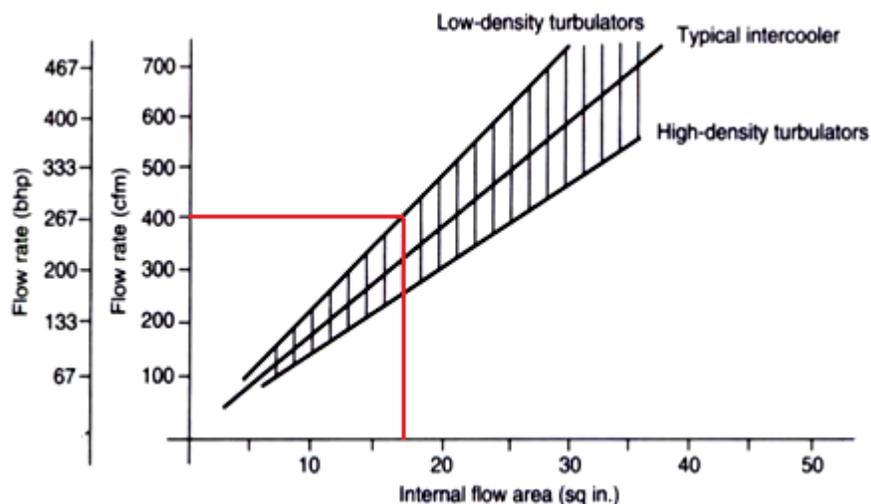
En este punto la cantidad de laminillas por lo general se escoge dependiendo del espacio que se tenga para el interenfriador, es decir si poseemos un amplio espacio en el frente para un interenfriador aire – aire de gran tamaño, es recomendable optar por poner bastantes laminillas como sea posible y que sean de alta densidad. Al contrario si poseemos un espacio limitado se recomienda pocas laminillas y que sean de baja densidad. *En nuestro caso por realizar un interenfriador aire – agua el cual por lo general no es de gran tamaño y una de*

*sus características es el usarlo en espacios reducidos escogeremos la segunda opción.*

Superado la selección sobre el tipo de laminillas que se debe usar en el interenfriador, procedemos a utilizar los datos que nos da la figura 3.4 con los siguientes datos que son indispensables:

- Numero de CFM: 347.11
- Laminillas de baja densidad.

Donde vamos a sobredimensionar el sistema a 400CFM, para obtener un margen de aumento en la carga del aire en caso de que este valor por funcionamiento del motor aumente y no sea tan limitado, quedando el grafico de la siguiente forma:

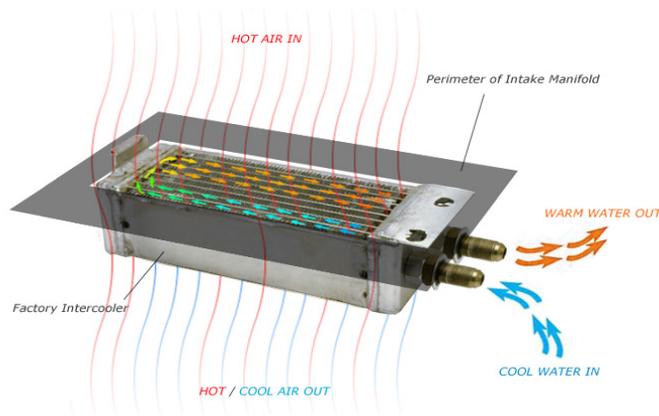


**Figura 3.4 Cálculo del área de flujo interno**

Como se observa en el grafico 3.6 nuestro interenfriador posee un área de flujo interna de 17.5 pulgadas cuadradas.

### **3.4.3. Cálculo del Área de la Cara del Aire de Carga.**

Con este dato podemos partir para el cálculo del Área de la cara del aire de carga como se indica en la siguiente figura.



Fuente: [www.chicanesport.com](http://www.chicanesport.com)

**Figura 3.5 Cara del aire de carga**

Para el cálculo del Área de la cara del aire de carga es necesario mencionar que en la mayoría de núcleos encontramos que el 45% de las caras de carga de aire puede ser dispuesto para que ingrese en los tubos del interenfriador. Tomando en cuenta este 45% se lo utilizara como constante en la ecuación para dicho calculo que se expresa así:

$$A_{ca} = \frac{A_{fi}}{0.45}$$

**Ecuación 3.5 Área de la cara del aire de carga**

Donde:

- $A_{ca}$ : Área de la cara del aire de carga.
- $A_{fi}$ : Área de flujo interno.
- 0.45: Es la constante del 45%.

Ingresando nuestros datos obtenidos a esta ecuación nuestro interenfriador tendría lo siguiente:

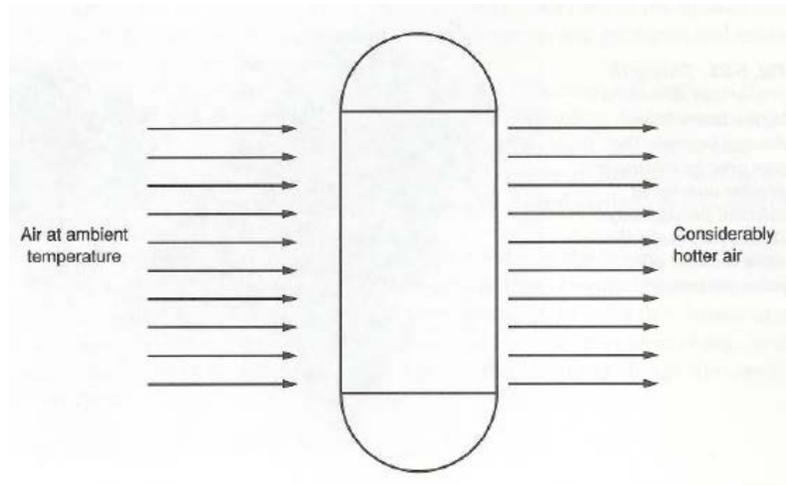
$$A_{ca} : \frac{17.5 \text{ in}^2}{0.45} = 38.88 \text{ in}^2$$

$$\underline{\underline{A_{ca} : 38.88 \text{ in}^2}}$$

#### **3.4.4. Determinación del Espesor de la Coraza.**

Dentro del interenfriador un gran punto de partida para su diseño es determinar el espesor del mismo. Como lo mencionamos anteriormente en el capítulo 2, el

espesor es un dato muy importante debido a que una mala determinación puede provocar un interenfriador obstruido y poco eficiente.

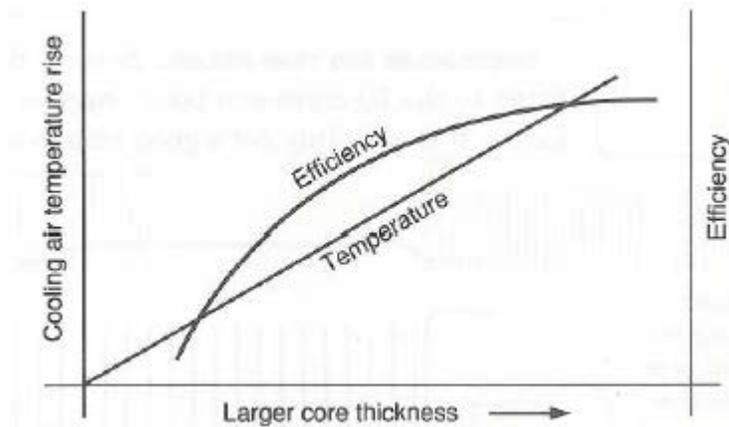


FUENTE: CORKY BELL, Maximum Boost

**Figura 3.6** Espesor de un interenfriador

Tenemos que tener en cuenta que el cálculo del espesor debe ser muy equilibrado, ya que un espesor muy grande aumenta la eficiencia del interenfriador pero a medida que aumenta puede llegar a un punto perjudicial, debido a que si es en exceso el espesor obstruirá el pase del componente de

intercambio (en este caso el agua) ocasionando una pérdida de eficiencia y utilidad.



Fuente: CORKY BELL, Maxium Boost

### Figura 3.7 Comparativo del espesor

La mayoría de interenfriadores por lo general vienen nominalmente y están disponibles en las siguientes medidas, que a su vez dependen mucho de lo existente en el mercado local:

- 2 pulgadas.
- 2.5 pulgadas.
- 3 pulgadas.
- **3.5 pulgadas.**
- 4 pulgadas.
- 4.5 pulgadas.

En estas consideraciones también se debe tomar en cuenta el espacio que posee el vehículo ya que el espesor es determinante en el diseño.

### **3.4.5. Cálculo del Ancho de la Coraza**

Para poder calcular el ancho de la coraza de un interenfriador aire – aire se lo puede realizar con la ecuación según como lo muestra la figura 3.7, que se expresa así:

$$C_w = \frac{A_{ca}}{E_s}$$

**Ecuación 3.6**

**Ancho de la coraza**

Donde:

- $C_w$ : Ancho de la coraza (Core Width).
- $A_{ca}$ : Área de la cara del aire de carga.
- $E_s$ : Espesor.

Es importante considerar que el calculo que nosotros vamos a realizar es el de un interenfriador aire - agua por lo que analizando la figura 2.24, podemos darnos cuenta que en el caso de nuestro interenfriador el ancho de la coraza no se

determina por el espesor, debido a que este deja de formar parte del área de la cara de la carga de aire en el designación de los paneles.

El valor del ancho de la coraza vendrá dado prácticamente por la multiplicación del ancho de cada panel por la longitud de estos. Esto lo calcularemos en los capítulos siguientes.

#### **3.4.6. Selección de la Dirección del Flujo en el Cuerpo del Interenfriador**

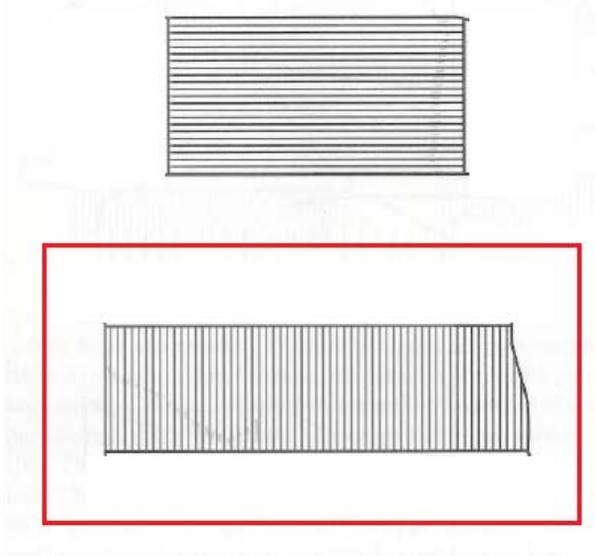
Para la selección de esta configuración debemos recordar lo ya mencionado en el capítulo 2, donde nos permite saber la configuración de los paneles del cuerpo del interenfriador. Esta decisión pasa básicamente por la dirección en la que va a ser orientado el interenfriador y del espacio que poseemos.

Cada una de las dos posiciones posibles de la dirección del flujo ya sea esta vertical o longitudinal tienen sus características y proporciona un diferente grado de eficiencia. Un interenfriador puede ser tan largo posible de acuerdo al espacio. En el diseño de nuestro interenfriador de aire – agua hemos optado por seleccionar la manera de dirección vertical, es importante recalcar que el sistema en el interenfriador de aire – agua es inverso al de aire – aire, por lo que a simple vista parece un sistema longitudinal pero de aire – aire.

Con esta configuración posee una ventaja adicional que permite tener un área interna más amplia, lo que ocasiona una disminución considerable de restricción al paso del agua.

En la figura que mostramos a continuación podemos observar y analizar que pese a que los dos interenfriadores poseen un área igual, la configuración de flujo vertical proporciona mayor cantidad de pasos a través del interenfriador lo que

acrecienta el área del mismo. En cambio en la otra configuración solo vemos que tenemos pasos pero que el fluido demora mas en a travesar todo el cuerpo del interenfriador.



Fuente: CORKY BELL, Maximun Boost

**Figura 3.8 Dirección del flujo vertical en el cuerpo del interenfriador**

#### **3.4.7. Longitud de los Paneles del Interenfriador**

Cada uno de los fabricantes tiene un método de fabricación diferente siendo las variables la densidad de las laminillas, las dimensiones de la coraza, el número y ancho de los paneles, por lo que existen un sinnúmero de opciones viables. A continuación realizamos una tabla la cual nos muestra las posibles configuraciones de longitud de la coraza, variando el ancho de cada panel y el número de estos. Es importante mencionar que la longitud de los paneles también depende mucho de la configuración de dirección que tengan ya que si son

verticales hay mas numero de paneles lo cual tiene incidencia directamente con el ancho de cada uno, y si son longitudinales se tendrán menos paneles pero deberán ser más largos, tal y como se lo muestra en la figura 3.8.

Todo este cálculo se lo hace dependiendo del espacio en donde se va a colocar y tomando en cuenta que se lo ha hecho en base a una distribución de laminillas de los paneles normal.

Para determinar el largo o altura de los paneles (dependiendo de la configuración), se utiliza la ecuación siguiente:

$$H_{panel} = \frac{Area_{cara\_aire\_turbo}}{A_{panel} \times N_{paneles}}$$

### **Ecuación 3.7 Longitud de los paneles**

Donde:

- $H_{panel}$ = Longitud de los paneles.
- $Area_{cara\_aire\_carga}$ = Área de la cara del aire de carga
- $A_{panel}$ = Ancho de cada panel.
- $N_{paneles}$ = Número de paneles.

Teniendo en cuenta que poseemos todos los datos para calcular la longitud de los paneles creamos un cuadro que nos permita ver las mejores opciones de acuerdo a nuestro espacio físico y lo mostramos a continuación:

**Tabla 3.3 Longitud de paneles**

Área de la carga del aire de carga			Número de Paneles								
38,88		in2	Longitud de Paneles								
			5	7	10	15	20	25	30	35	40
Ancho c/u paneles	0,4	in	19,44	13,89	9,72	6,48	4,86	3,89	3,24	2,78	2,43
	0,5	in	15,55	11,11	7,78	5,18	3,89	3,11	2,59	2,22	1,94
	0,6	in	12,96	9,26	6,48	4,32	3,24	2,59	2,16	1,85	1,62
	0,7	in	11,11	7,93	5,55	3,70	2,78	2,22	1,85	1,59	1,39
	0,8	in	9,72	6,94	4,86	3,24	2,43	1,94	1,62	1,39	1,22
	0,9	in	8,64	6,17	4,32	2,88	2,16	1,73	1,44	1,23	1,08
	1	in	7,78	5,55	3,89	2,59	1,94	1,56	1,30	1,11	0,97

Fuente: Autor

Todos los datos encerrados en los casilleros celestes son todas las longitudes posibles de acuerdo al número de paneles y el espesor de los mismos, y todos los datos resaltados en rojo son los valores que más se acercan a nuestro espacio físico para su construcción.

El valor seleccionado de acuerdo a las disponibilidades en el mercado y tratando de obtener la mayor eficiencia, debemos seleccionar el ancho de panel más pequeño posible, para obtener mayor cantidad de paneles.

De acuerdo a nuestras necesidades escogeremos el ancho de panel individual de 0,6 pulgadas, con eso logramos lo siguiente:

- Longitud de paneles: 9,25" pulgadas equivalente a 23,4 cm.
- Numero de paneles: 7 paneles.

Cabe recordar que por ser un interenfriador aire – agua que es un sistema inverso al de aire – aire, el ancho del panel viene dado por el ancho del panel individual multiplicado por el número de paneles, resultando en nuestro cálculo el ancho total de 4,2" pulgadas equivalente a 10,6 cm.

#### **3.4.8. Determinación del Recipiente Cobertor del Interenfriador**

Para la determinación de esta singular parte que forma el interenfriador debemos hacerlo sabiendo que el agua debe tener la mayor facilidad alcanzar todo el panel de interenfriador. Este recipiente cobertor va a cubrir todo el ancho de la coraza

por ambos lados para sellarlo todo el circuito por donde circula el agua, permitiendo así el circular sin perder la presión dentro del circuito.

La forma básica que debe tener este recipiente cobertor es la forma del panel del interenfriador, es decir sellar totalmente por donde un interenfriador de aire – aire recibiría el aire para el intercambio.

Sabiendo que se debe cerrar herméticamente el interenfriador el recipiente cobertor debe dejar una pequeña abertura que permita el ingreso del agua succionado y enviado por la bomba adicional, tratando de llegar a ocupar o regar la mayor cantidad posible de todo el panel del interenfriador, para ello su configuración debe tener forma trapezoidal tanto de las caras de carga de aire como las del agua quedando de la siguiente forma:



Fuente: [www.votionspeed.com](http://www.votionspeed.com)

**Figura 3.9 Sello de los paneles del interenfriador aire – agua**

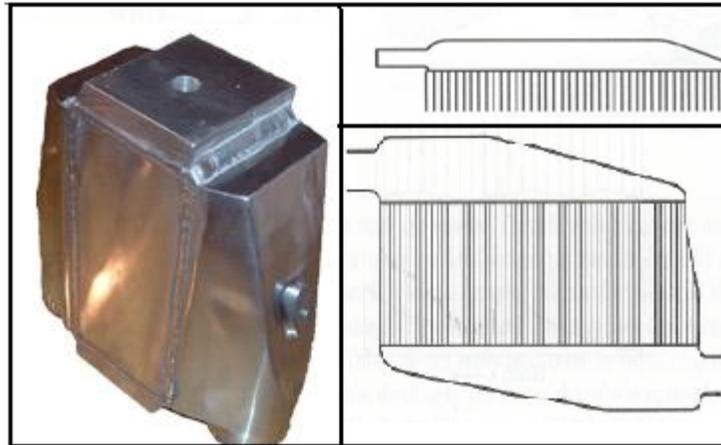
El espacio o distancia al que debe estar ubicado debe ser la suficiente que permita introducir el nexo que guiara el agua a su interior y exterior del mismo,

por lo demás solo debe poseer un pequeño espacio que permita el ingreso de agua que será copado totalmente. La distancia aproximada tomando en cuenta las necesidades del neopreno que es 1/2" pulgada que es equivalente a 1,27cm, mas el espacio necesario para el ingreso del agua seria un total de 2,54 cm que equivale a **1" pulgada** por cada lado.

#### **3.4.9. Determinación del Tanque de Terminación**

El tanque de terminación de nuestro interenfriador aire – agua es muy importante ya que debe ser lo más libre y efectivo posible. Como vimos en el capítulo dos una mala selección de la forma del tanque nos puede ocasionar una pérdida de eficiencia térmica considerable. Para evitarnos esos problemas hemos optado por la que la mayoría de interenfriadores poseen extendiéndose a lo largo de toda

la cara que recibe la carga del compresor y apuntillándose en el final para distribuir con la presión adecuada el flujo como lo muestra la siguiente figura.



Fuente: Autor

**Figura 3.10 Forma del tanque seleccionado**

Teniendo el diseño escogido para la forma del tanque creemos adecuado que para el interenfriador de aire – agua no debe tener la lámina separadora para ocasionar que el flujo sea constante tal como se muestra en la figura 2.23. Ya que al ser una configuración diferente a la de aire – aire el flujo que viene del compresor no debe recorrer tanto.

#### **3.4.10. Determinación del Diámetro del Ducto de Ingreso y Salida del Aire**

El flujo de aire que va a ingresar al interenfriador debe tener el suficiente espacio para poder movilizarse sin perder la presión, así como también pueda ser un fluido estable para que no ocasione turbulencia. Esta carga de aire al salir del compresor además de salir con mucha temperatura sale con mucha velocidad,

misma que se dirigirá por los ductos y se encontrara con el tanque recipiente que debe tener un diámetro de ingreso adecuado para la cantidad de aire.

Para poder saber que diámetro debe poseer hemos encontrado una tabla la misma que nos facilita y nos presenta que diámetro es necesario versus la cantidad de caballos de fuerza que se tienen, y la detallamos a continuación:

**Tabla 3.4 Requerimientos de diámetro del conducto de entrada**

<b>DIAMETRO TUBO (in)</b>	<b>HP</b>
2	255
2 ¼	345
2 ½	450
2 ¾	565
3	690

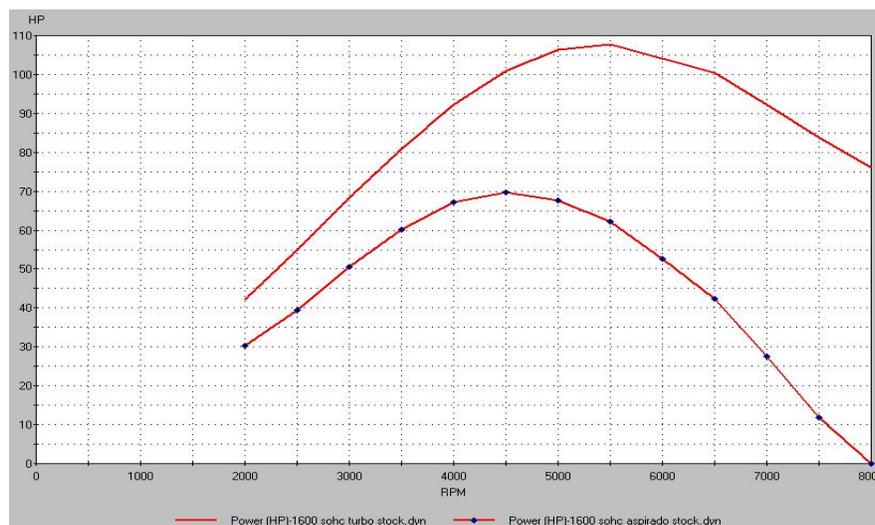
Fuente: A. GRAHAM BELL, Forced Induction Performance Tuning

Después de analizar el cuadro debemos analizar que la tabla propuesta por A. Graham Bell para saber el diámetro del tubo necesario para el ducto de entrada se debe saber primero el caballaje que produce el vehículo seleccionado para el cálculo del interenfriador.

El vehículo seleccionado para la simulación fue el Corsa 1.6ccm, este posee un motor que a nivel del mar proporciona aproximadamente entre 90HP y 92HP

según las especificaciones de fábrica. Este vehículo a la altura de la ciudad de Quito que son 2800 metros a nivel del mar se verá mermado en un 15%.

Hoy en día se ha desarrollado diversos tipos de software, que simulan condiciones y futuros resultados tratando así de optimizar recursos en la búsqueda de una modificación. Este es el caso el software Dyno2000, que nos ayuda a simular la potencia que podemos alcanzar en condiciones reales. Con este software podemos observar en la figura 3.11 los HP Vs. RPM de un motor atmosférico de 1600 cm<sup>3</sup> de fábrica y el mismo motor con un turbo cargador sin ninguna modificación extra.



Fuente: Dyno 2000

**Figura 3.11 Potencia en un motor 1600 cm<sup>3</sup> con y sin turbo.**

Por medio de este programa, es posible observar la simulación de instalar un turbo en un motor de 1600 cm<sup>3</sup>, el aumento en la curva de la potencia del motor es considerable, y en su punto más alto hasta un 65% de incremento.

Con esta simulación los resultados que obtenemos son los siguientes:

**Tabla 3.5 Rpm Vs HP de un motor 1600cc**

MOTOR 1600CC		
	ATMOSFERICO	TURBOCARGADO
RPM	HP	
4500	70	92,5
5000	67,5	101
5500	62,5	106
6000	53	104
6500	42,5	100

Fuente: Autor

Según el cálculo realizado en el capítulo 3.3 se lo hizo bajo el parámetro de 6200 rpm, donde según nuestra tabla de potencias tenemos que a ese número de revoluciones poseemos **102 HP**.

Usando este valor referencial y aplicándolo a la tabla 3.1 encontramos que el valor del tubo necesario es de **2 pulgadas** ya que no superamos el valor mínimo de 255HP.

#### **3.4.11. Especificación del Interenfriador Aire – Agua Diseñado**

Después de realizar todos los cálculos necesarios y simular las condiciones tanto ambientales como mecánicas y espaciales, hemos logrado obtener un

interenfriador de aire – agua con los siguientes parámetros de diseño, que se los muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.6 Especificaciones del interenfriador aire – agua diseñado**

Material de fabricación	Aluminio
Disposición de los paneles	Vertical
Disposición de las tomas de entrada y salida de aire	Opuestas Invertidas
Distribución laminillas	Baja densidad
Largo total (in.) / (cm.)	11,2 in / 28,5 cm
Ancho total (in.) / (cm.)	7,5 in / 19,05 cm
Espesor (in.) / (cm.)	3,5 in / 8,89 cm

Longitud de la coraza (in.) / (cm.)	9,25 in / 23,4 cm
Ancho de la coraza (in.) / (cm.)	4,2 in / 10,6 cm
Ancho del panel (in.) / (cm.)	0,6 in / 1,5 cm
Número de paneles	7
Área de flujo interno (in <sup>2</sup> .) / (cm <sup>2</sup> .)	17,5 in <sup>2</sup> / 44,4 cm <sup>2</sup>
Diámetro ducto (in.) / (cm.)	2in / 5,08cm
Rosca Neplo agua (in.) / (cm.)	1/2in / 0,19cm

Fuente: Autor

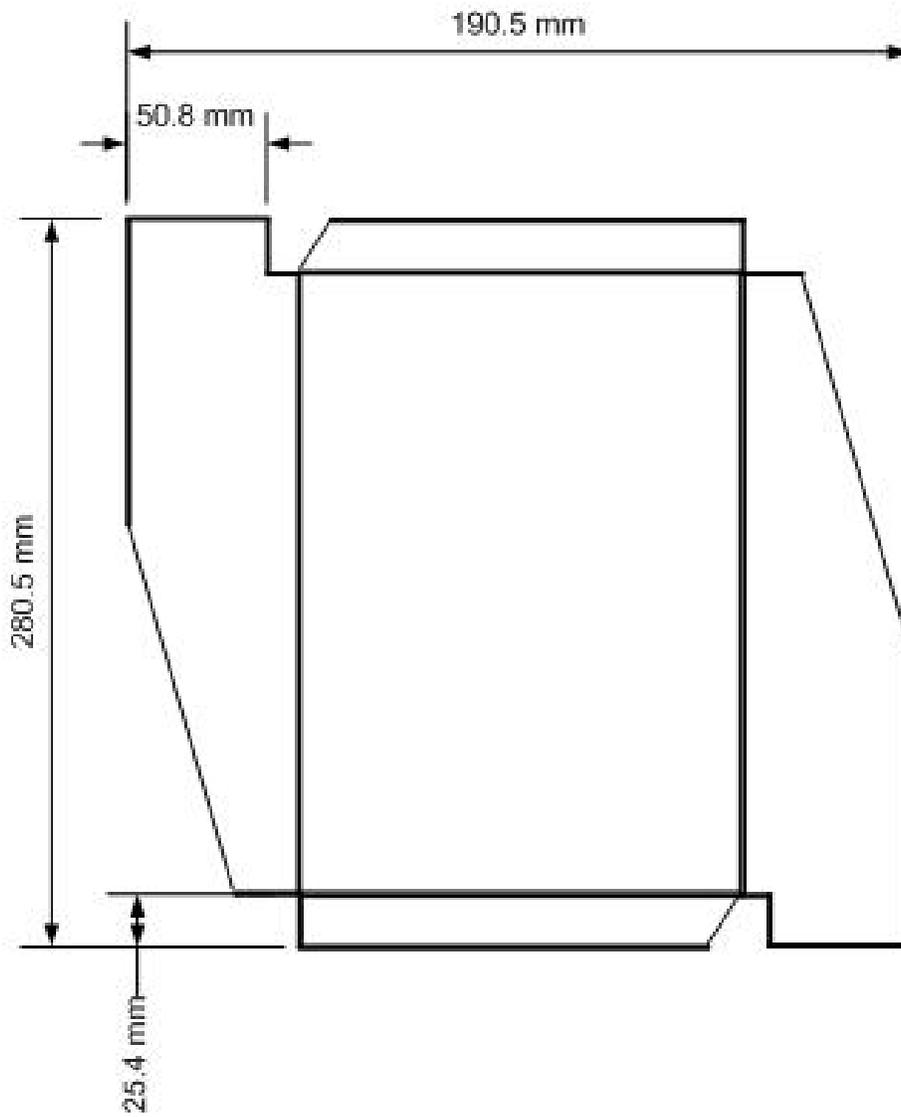


Figura 3.12 Interenfriador aire – agua a seleccionar

Este será el modelo a seleccionar para la realización del simulador donde se podrá comparar conjuntamente con un interenfriador de aire – aire.

### **3.5. SELECCIÓN DEL INTERENFRIADOR AIRE - AGUA**

Para la selección del interenfriador aire – agua primeramente se deben analizar las ofertas del mercado local como la del mercado exterior.

En el mercado local y dentro de las investigaciones realizadas en los proveedores que se dedican al arreglo y construcción de estos elementos como Radiadores Otero, Radiadores Otero Sur y Tecnradiador, lastimosamente entre los diferentes elementos que ofrecen los locales no tienen a la venta interenfriadores de aire – agua debido a que no los fabrican. El desconocimiento del elemento a construir y la poca experiencia provocan que su costo sea muy elevado y no se goce con las garantías necesarias de la construcción.

Investigando en el mercado exterior se pueden encontrar varias opciones, con diferentes características y a diferentes precios. Prácticamente los que se busca son opciones que se alinean a nuestras características requeridas de diseño.

En el cuadro que se muestra a continuación, se exponen todas las opciones que ofrece un proveedor, que prácticamente son los mismos que se ofrecen en otras tiendas locales del exterior.

**Tabla 3.7 Características del interenfriador aire - agua**

MARCA	MODELO	DISEÑO EXTERIOR	CONFIGURACION DE PANELES	TIPO DE PLACA DE PANEL	CAPACIDAD VOLUMETRICA	DIAMETRO DE LOS DUCTOS	POSICIÓN DE LOS DUCTOS	TAMAÑO DE LA CORAZA	PRECIO
Frozen Boost	Type 25	Barril / Cilíndrico	Verticales	Relieve Tubular	360 CFM	2.25"	Extremos	10" x 4"	\$ 199,99
Frozen Boost	Type 8	Rectangular	Verticales	Plana	400 CFM	2.50"	Opuestos Invertidos	11" x 9" x 3.5"	\$ 149,99
Frozen Boost	Type 9	Rectangular	Verticales	Plana	400 CFM	2.50"	Opuestos	11" x 9" x 3.5"	\$ 149,99
Frozen Boost	Type 3	Rectangular	Verticales	Plana	700 CFM	3"	Opuestos	10" x 4,5"x4,5"	\$ 149,99
Frozen Boost	Type 5	Rectangular	Verticales	Plana	1500 CFM	3.5"	Opuestos	16" x12.5"x 4.5"	\$ 299,99
Frozen Boost	Type 12	Rectangular	Verticales	Plana	2500 CFM	4"	Opuestos	17" x 12.25" x 4"	\$ 499,99

Fuente: [www.frozenboost.com](http://www.frozenboost.com)

El objetivo principal de la aplicación es que el interenfriador sea lo más eficiente posible dentro del espacio que un vehículo de esas características pueda albergar en el habitáculo del motor, y que mantenga una eficiencia mínima del 65% a lo largo del funcionamiento del vehículo.

De acuerdo a esta información y tomando en cuenta nuestros parámetros de diseño, el interenfriador aire – agua seleccionado es de Frozen Boost Type 8. Este interenfriador ha sido seleccionado ya que cumple con todos los requisitos necesarios para la aplicación deseada descritos en los parámetros de diseño del mismo. Además, el precio es muy accesible comparado con los precios que el mercado local nos ofrece para su fabricación, incluyendo que el interenfriador es

de mayores prestaciones por su experiencia. Adicionalmente, este interenfriador permite un funcionamiento óptimo, así como también fiabilidad cuando la temperatura de ingreso del aire es muy alta. Su enfriamiento por agua permite que la transferencia de calor sea más efectiva, evitando así la instalación de un radiador de agua muy grande que produzca un incremento en los costos y espacio. Este componente viene ya provisto con bases para su anclaje, así como además con los orificios para la inserción de los neplós de agua.

Las medidas se alinean de la manera más óptima a lo diseñado, lo que facilita notablemente la instalación sin ser necesaria ninguna modificación en su cuerpo. Su sustentamiento en el diseño aumenta las características de soporte ya que está por encima de lo recomendado garantizando que el sistema tendrá una tolerancia mayor en caso de tener más exigencia por parte del sistema y está totalmente dentro de los límites requeridos de espacio.

En la tabla que se muestra a continuación se detallan las características.

**Tabla 3.8 Características del interenfriador aire – agua  
seleccionado**

Material de fabricación	Aluminio
Disposición de los paneles	Vertical
Disposición de las tomas de entrada y salida de aire	Opuestas Invertidas
Largo total (in.) / (cm.)	11 in / 27,9 cm
Ancho total (in.) / (cm.)	9 in / 22,86 cm
Espesor (in.) / (cm.)	3,5 in / 8,89 cm
Longitud de la coraza (in.) / (cm.)	9 in / 22,86 cm
Ancho de la coraza (in.) / (cm.)	4 in / 10,6 cm
Ancho panel (in.) / (cm.)	0,4 in / 1 cm
Número de paneles	7
Área de flujo interno (in <sup>2</sup> ) / (cm <sup>2</sup> .)	16,2 in <sup>2</sup> / 41,14 cm <sup>2</sup>
Diámetro ducto ingreso y salida de aire (in.) / (cm.)	2,5in / 6,35cm
Rosca Neplo agua (in.) / (cm.)	1/2in / 0,19cm

Fuente: Autor

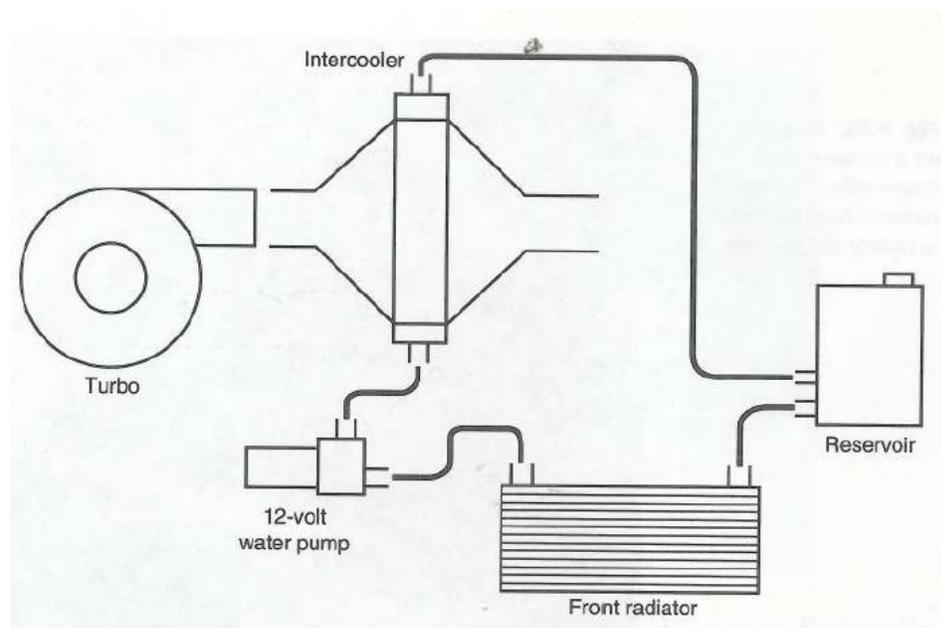
### **3.6. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA ANEXO DEL INTERENFRIADOR AIRE - AGUA**

El sistema anexo consiste en toda la parte que va alrededor del interenfriador de aire – agua y del cual el interenfriador depende para tener un funcionamiento adecuado y efectivo.

El interenfriador al realizar el enfriamiento del aire mediante el agua necesita de varios elementos como una bomba, la misma que permite que el liquido circule por todo el sistema. El agua bombeada deberá ser succionada de un depósito

que la contenga y hacerla circular por el interenfriador para posteriormente enfriarse en un pequeño radiador de agua, formando de esta un circuito y repitiendo el ciclo.

A continuación en la figura 3.13 se muestra el circuito principal que el interenfriador debe poseer como sistema anexo para su funcionamiento.



Fuente: CORKY BELL, Maximum Boost

**Figura 3.13 Circuito de agua del interenfriador aire – agua**

Como podemos ver el circuito del agua es cerrado y a más del interenfriador está compuesto de otros componentes.

### **3.6.1. Depósito**

Este componente debe contener en su interior la cantidad necesaria de agua para enfriar el aire que pasa por el interenfriador. La cantidad de agua que debe contener debe abastecer a todo el sistema.

El depósito seleccionado está dotado de las siguientes características



**Figura 3.14 Depósito de Agua Adquirido**

### **3.6.2. Bomba Eléctrica de Agua**

Debe tener la capacidad de succionar el agua que se encuentra en el todo el circuito. De esa manera y por lo general es necesaria una bomba con las siguientes especificaciones.

- Funcionamiento con 12 voltios y de DC.

De acuerdo a estas especificaciones y comparadas con las posibilidades del mercado encontramos las siguientes opciones del fabricante Rule.

Model # Aftermarket	Model # OEM	Cartridge Livewell Baitwell Pump	Port Sizes Outlet	Dualport	Amps 12v, 13.6v	Fuse size Amps
401C	401CM	500 GPH Livewell Pump-Angled Thru-Hull Fitting	3/4" (19mm)	1/2" NPT	2.1 / 2.5	2.5
403C	403CM	800 GPH Livewell Pump-Angled Thru-Hull Fitting	3/4" (19mm)	1/2" NPT	2.8 / 4.0	5
401STC	401STCM	500 GPH Livewell Pump-Straight Thru-Hull Fitting	3/4" (19mm)	1/2" NPT	2.1 / 2.5	2.5
403STC	403STCM	800 GPH Livewell Pump-Straight Thru-Hull Fitting	3/4" (19mm)	1/2" NPT	2.8 / 4.0	5
405STC	405STCM	1100 GPH Livewell Pump-Straight Thru-Hull Fitting	1 1/8" (29mm)	1/2" NPT	3.3 / 5.0	6
* 401FC	401FCM	500 GPH Livewell Pump-Seacock Fitting	3/4" (19mm)	1/2" NPT	2.1 / 2.5	2.5
* 403FC	403FCM	800 GPH Livewell Pump-Seacock Fitting	3/4" (19mm)	1/2" NPT	2.8 / 4.0	5
* 405FC	405FCM	1100 GPH Livewell Pump-Seacock Fitting	1 1/8" (29mm)	1/2" NPT	3.3 / 5.0	6

\* For seacock application -Straight 1" (25mm) pickup tube with tapered threads

Fuente: [www.rule-industries.com](http://www.rule-industries.com)

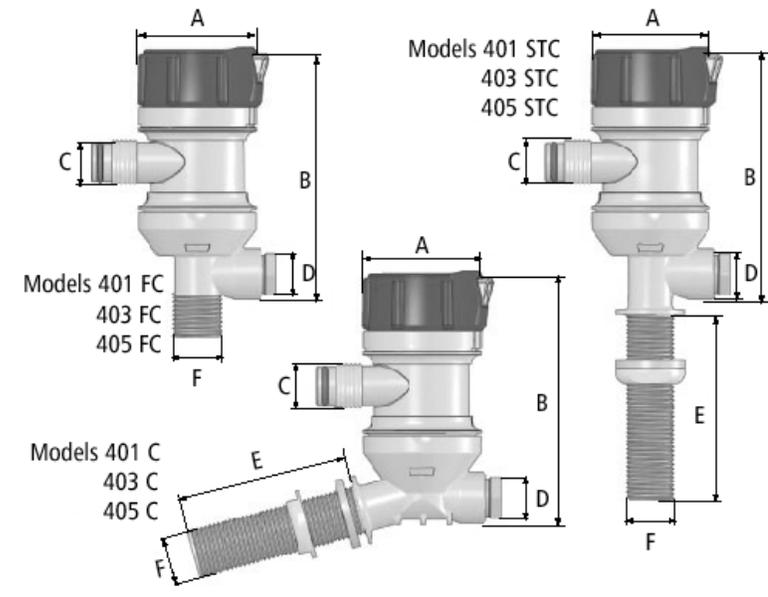
**Figura 3.15 Características de bombas de agua**

Según esta tabla y de acuerdo a nuestras necesidades la bomba que se usara para el desarrollo de la tesis será la bomba de modelo 401FC. A continuación en la siguiente tabla mostramos las especificaciones y su diseño.

Model	Capacity GPH (LPH)	A in (mm)	B in (mm)	C in	D in	E in (mm)	F in
401C	500 (1893)	2.76 (70.1)	5.87 (149.1)	3/4-14NPSM	1/2-14NPT	4.0 (101.6)	3/4-14NPSM
403C	800 (3028)	2.76 (70.1)	5.87 (149.1)	3/4-14NPSM	1/2-14NPT	4.0 (101.6)	3/4-14NPSM
405C	1000 (3785)	2.76 (70.1)	5.87 (149.1)	1-11.5NPSM	1/2-14NPT	4.0 (101.6)	3/4-14NPSM
401STC	500 (1893)	2.76 (70.1)	5.84 (148.3)	3/4-14NPSM	1/2-14NPT	4.33 (109.9)	3/4-14NPSM
403STC	800 (3028)	2.76 (70.1)	5.84 (148.3)	3/4-14NPSM	1/2-14NPT	4.33 (109.9)	3/4-14NPSM
405STC	1100 (4164)	2.76 (70.1)	5.84 (148.3)	1-11.5NPSM	1/2-14NPT	4.33 (109.9)	3/4-14NPSM
401FC	500 (1893)	2.76 (70.1)	5.87 (149.1)	3/4-14NPSM	1/2-14NPT		3/4-14NPT
403FC	800 (3028)	2.76 (70.1)	5.87 (149.1)	3/4-14NPSM	1/2-14NPT		3/4-14NPT
405FC	1100 (4164)	2.76 (70.1)	5.87 (149.1)	1-11.5NPSM	1/2-14NPT		3/4-14NPT

Fuente: [www.rule-industries.com](http://www.rule-industries.com)

**Figura 3.16 Especificaciones de bombas de agua**



Fuente: [www.rule-industries.com](http://www.rule-industries.com)

**Figura 3.17 Bomba de agua seleccionada**

### **3.6.3. Radiador de Agua**

Esta pieza será la encargada de enfriar toda el agua removida por la bomba que pasa por el interenfriador de aire - agua. Esta pieza no debe ser muy grande ya que la cantidad de agua que va a enfriar no es considerable y debe permitir un circuito corto y rápido para tener una gran eficiencia.

Debido a que debe ser pequeño en tamaño, su construcción debe ser en aluminio, por lo que se recomienda utilizar radiadores similares a los de aceite.

De acuerdo a nuestras necesidades se debe utilizar un radiador fabricado totalmente en aluminio por su peso y tamaño, y obviamente tomando en cuenta

que en condiciones reales, estos siempre serán ubicados en la parte delantera del vehículo donde tengan llegada de aire.

Las únicas condiciones que debe cumplir a más de un tamaño adecuado de acuerdo al espacio que se pose, es que debe su entrada de agua debe ser de ½” NPT con rosca hembra, todo porque a la salida que tenemos de la bomba que arriba se detalla.

A continuación detallamos las características del mismo.

**Tabla 3.9 Características del radiador seleccionado**

Material	Aluminio
Largo	13” pulgadas
Ancho	10” pulgadas
Espesor	2” pulgadas
Número de filas	30
Diámetro de la rosca de entrada y salida	1/2” pulgada
Tipo de rosca	NPT Hembra

Fuente: Autor

En la siguiente figura se aprecia el radiador seleccionado.



Fuente: Autor

**Figura 3.18 Radiador de agua seleccionado**

#### **3.6.4. Electroventilador**

Esta parte es fundamental, ya que es la encargada de enfriar el radiador de agua lo mejor y pronto posible, mientras pueda bajar más la temperatura del agua el intercambio de calor en el interenfriador va a ser más eficiente.

Al ser un electroventilador instalado en un vehículo, sabemos que debe usar corriente de 12 voltios.

Obviamente las medidas que debe tener esta pieza deben ser en base al radiador que arriba se describe y que nos permita montarlo sobre él. Según las posibilidades del mercado y adaptándolo al radiador seleccionado, se decidió conveniente montar uno con las siguientes características:

**Tabla 3.10 Características del electroventilador del radiador de agua**

Tamaño	8,25" X 7,75" pulgadas
Voltaje	12 v
Amperaje	3 amps
Flujo de aire	1100 cfms

Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Figura 3.19 Electroventilador del radiador de agua**

### **3.6.5. Mangueras de Agua y Neplos**

La forma en la que el interenfriador, el radiador, la bomba y el depósito se conectan entre sí, es por medio de una manguera y los neplos de acople.

Las características que se usaran en el circuito de agua tienen las siguientes características.

**Tabla 3.11 Características de la manguera del circuito de agua**

Material	Caucho
Diámetro interno	5/8" pulgada

Los otros componentes que cierran el circuito de agua son los neplos de acople los cuales tienen las siguientes características.



Fuente: Autor

**Figura 3.20 Neplos de Acople**

**Tabla 3.12 Características de los neplos de acople**

Material	Cobre
Rosca	1/2" Pulgada NPT
Diámetro	3/4" Pulgada

### **3.7. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS Y CONSTRUCCIÓN**

Para la selección de los componentes del banco de pruebas es necesario diferenciarlo, ya que este debe tener una forma didáctica con el fin de poder

simular el funcionamiento de las partes con un rápido acceso a las herramientas de medición y comprobación de datos.

Este banco de pruebas será compuesto de dos sistemas tales como son el interenfriador de aire – agua con su sistema anexo y el de aire – aire con su sistema también. El motivo de mostrar los dos sistemas es de que permita realizar las pruebas y obtener medidas en las mismas condiciones por igual, para que los datos sean lo más real posibles.

Además de los componentes del los dos tipos de interenfriadores, el banco de pruebas también posee sus partes como tal, ya que será el encargado de contenerlos.

### **3.7.1. Selección Materiales de Construcción del Banco de Pruebas**

La estructura como tal será construida en su totalidad con materiales de hierro, misma que debe soportar y contener todos los componentes.

Los materiales que se usan para armar este tipo de estructuras son los mismos que se usaran para este proyecto y se los detalla a continuación:

- *Láminas de tool.*- Son fabricadas a base de hierro, misma que permiten su modelaje o corte para dar forma. Se puede realizar soldado y permite la cobertura de pintura en proceso normal. El espesor seleccionado para la fabricación del banco es de 0.09mm, espesor suficiente para evitar deformaciones y que otorgue resistencia.
- *Tubo Rectangular.*- El uso del tubo será el que nos permita realizar la forma y estructura del banco de pruebas, esta estructura permitirá el

anclaje de todas las piezas anexas de los dos sistemas de enfriamiento.

Las medidas del tubo serán de 40mm x 20mm con un espesor de 2mm.

- *Platina.*- Este elemento será utilizado para poder realizar las sujeciones necesarias a distintos componentes por lo que debe tener un gran espesor. Las especificaciones de la misma es de 3cm de ancho, con un espesor de 3mm.
- *Refuerzo.*- Este elemento será utilizado para realizar bases o anclajes más pequeños por lo que sus dimensiones serán menores al tubo rectángulas. Sus especificaciones son de 20mm x 20mm con un espesor de 1.5mm.

### **3.7.2. Modelaje de la Estructura**

Esta estructura esta delineada de tal manera que permite montar los dos sistemas de enfriamiento fácilmente y sin mucha dificultad, además debe dar fácil

acceso a las piezas y ser totalmente didáctica, donde sea fácil realizar las mediciones sin ocupar mucho espacio.

La estructura prácticamente se compone de dos partes como son el centro de mandos y control, y la bancada de los sistemas de enfriamiento.

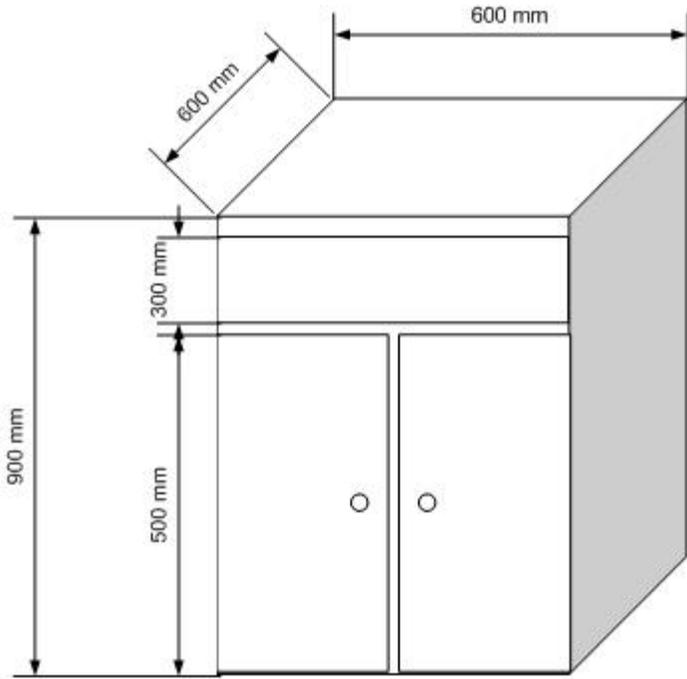
#### **3.7.2.1 Centro de Mandos y Control**

Es la estructura central que se encarga de controlar y manejar todo el banco de pruebas. Este centro de control estará anclado a la bancada formando un solo cuerpo. En este centro se lograra manejar el funcionamiento de los sistemas de

enfriamiento. Aquí contendrá implementados a él todos los elementos necesarios para controlar y manejar todo el banco.

La estructura seleccionada a construir se muestra en la siguiente hoja.

VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR

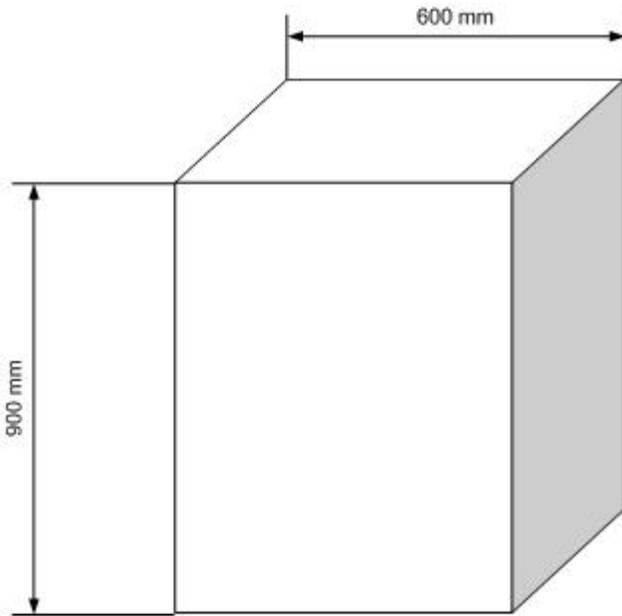
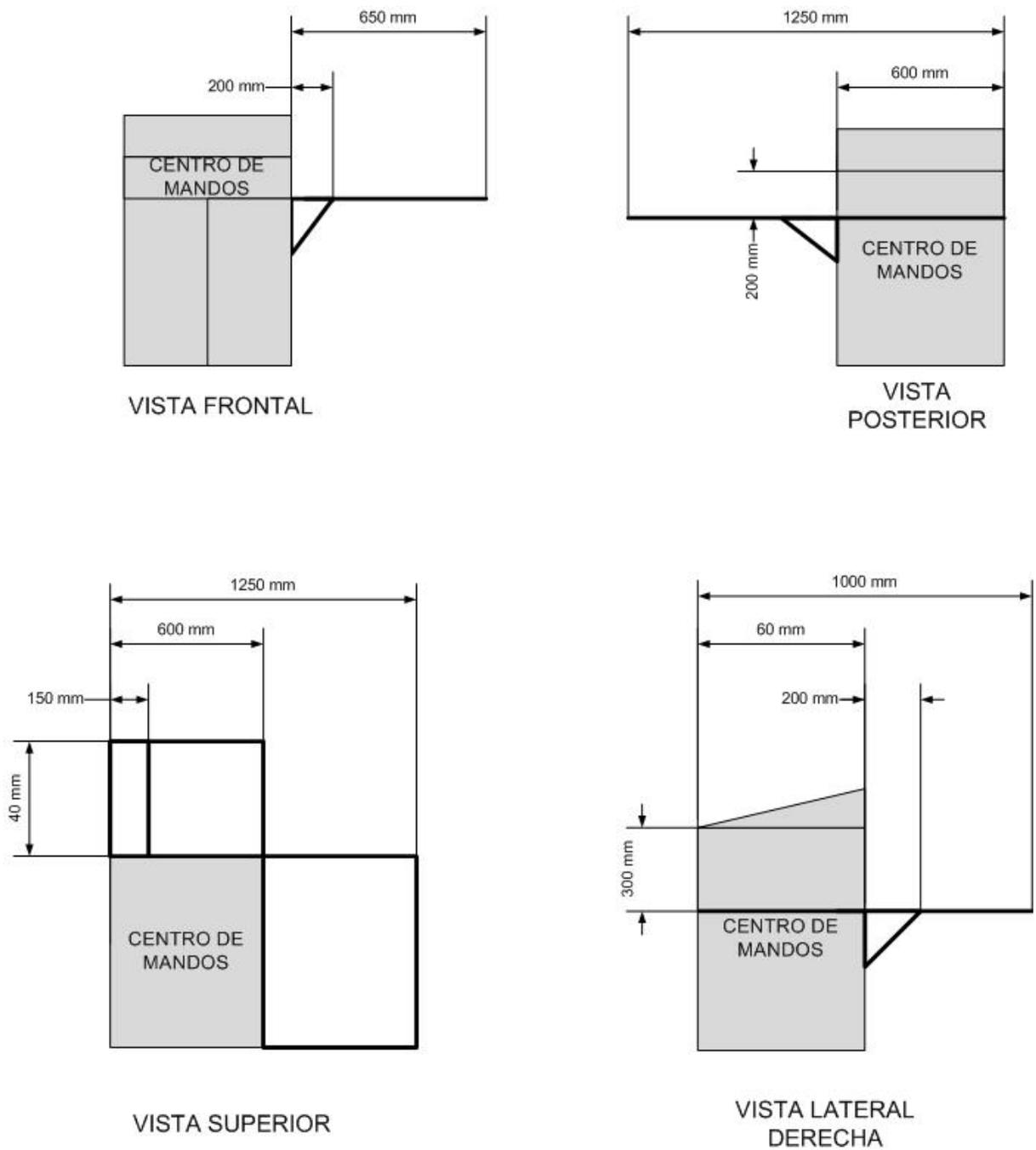


Figura 3.21 Plano de diseño de la consola de mando

### **3.7.2.2. Bancada de los Sistemas de Enfriamiento**

La bancada comprende una estructura metálica la cual se encarga de dar forma a todo el banco, esta será la encargada de guiar donde se montara e implementara cada parte de los componentes de los sistemas de enfriamiento.

El modelo elegido para construir es el siguiente.



**Figura 3.22 Plano de diseño de la bancada**

### **3.7.3. Selección de Componentes del Banco de Pruebas**

El banco está compuesto por una gran cantidad de partes, ya que en este es donde todo irá implementado. En la idea general del banco para este proyecto se toma en cuenta como parte de este, a los dos sistemas de enfriamiento a comparar, además de todos los elementos de encendido, control y medición.

#### **3.7.3.1. Batería de 12 Voltios**

Este componente estará ubicado en su base, con el objetivo de hacer trabajar a la bomba de agua y los electroventiladores que trabajan con el mismo voltaje.

La batería seleccionada para este banco, y tomando en cuenta de que no cuenta con una fuente de carga tiene las siguientes características:

**Tabla 3.13 Características de la batería seleccionada**

MODELO	NC40 – 460
VOLTAJE	12V
AMPERAJE	420amp
BORNES	DELGADOS



Fuente: Autor

**Figura 3.23 Bateria**

### **3.7.3.2. Corta-Corriente**

Es el encargado de habilitar o deshabilitar todo los componentes eléctricos del banco de simulación para su control y protección.

### **3.7.3.3. Switchs de Encendido y Apagado**

La plana de tool principal, se instalan varios switchs para el control y encendido de los diferentes componentes eléctricos como son:

- Bomba de Agua.
- Electroventiladores.
- Blower o soplador.



Fuente: Autor

### **Figura 3.24 Switchs de funcionamiento**

#### **3.7.3.4. Leds Indicadores**

Todos los switch estarán provistos de leds que indicaran su encendido y funcionamiento respectivamente.



Fuente: Autor

**Figura 3.25 Leds indicadores**

### 3.7.3.5. Componentes Eléctricos Varios

Al tener varios elementos que trabajaran tanto con corriente alterna como continua, banco de pruebas contendrá un circuito eléctrico conformado por elementos como:

- Alambre de corriente.
- Relé.
- Típe.
- Abrazaderas.
- Fusibles.
- Porta Fusibles



Fuente: Autor

**Figura 3.26 Componentes eléctricos**

### **3.7.3.6. Tabla de Apuntes**

Se instalara un respectivo formato de apuntes para recopilar los datos que en el banco se extraen.

### **3.7.3.7. Herramientas de Medición**

Al ser un banco de pruebas se necesita herramientas que puedan medir para obtener los datos, por tal razón se ha dispuesto la selección de las siguientes partes.

- Termómetros.- El sistema estará provisto por termómetros de pantalla digital, los cuales nos indicaran la temperatura. Además se trabajara con una pistola de temperatura de infrarrojo para tener una guía adicional.
- Anemómetro.- Se trabajara también con un anemómetro con el fin de mostrar las CFM producidas por el blower o soplador.

### **3.7.3.8. Soplador o Blower**

El soplador será el encargado de simular el trabajo del turbo, generando una cantidad de aire necesaria para que pase por la tubería y los interenfriadores, debido a las altas presiones que se manejan en el turbo, estas no podrán ser

simuladas, pero el cálculo del interenfriador es para que funciones en todas las condiciones que parten desde 0.

Para este propósito se ha dispuesto usar el siguiente soplador con estas características:

**Tabla 3.14 Características del blower o soplador seleccionado**

Cubierta	Aluminio
Voltaje	110 voltios AC
Corriente	3 amperios
Potencia	330 watts
R.P.M	3000 / 3600
Capacidad de Flujo	2000 CFM
Diámetro Ducto de Salida	2,5" pulgadas

Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Figura 3.27 Blower o soplador**

#### **3.7.3.9. Fuente de Calor**

Como la intención del sistema es comprobar que sistema de enfriamiento es más eficiente, es preciso provocar que el aire que sale del blower o soplador sea caliente, para esto se a decidido instalar una pistola de calor que mediante un ducto se internara directamente al tubo que sale del soplador para generar temperatura. Estas pistolas de calor son capaces de genera temperaturas de

hasta 500°C dependiendo el flujo de aire, a medida que aumenta el flujo disminuye la temperatura.

Las características de esta pistola son con las siguientes:

**Tabla 3.15 Características de la pistola de calor seleccionada**

Voltaje	110 voltios AC
Corriente	15 amperios
Potencia	1800 watts
Capacidad Gen Temperatura	45°C – 500°C regulable
Capacidad de flujo	550 CFM

Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Figura 3.28 Pistola de calor**

### **3.7.3.9. Tubería**

Esta parte está directamente parametrizada por las bocas de entrada y salida de cada interenfriador y el soplador.

Dependiendo las características de cada elemento se usara el tubo con el diámetro correspondiente.

Según lo diseñado para la salida de aire que proviene des el blower sale un tubo de 3" pulgadas de diámetro, este acopla perfectamente en la boca del

componente. Después se acoplará a los distintos interenfriadores con mangueras de acuerdo a su diámetro requerido.

### 3.7.3.11. Mangueras de Acople

Los sistemas de enfriamiento al tener que conectarse a un tubo metálico para que entre el aire, se lo unirá mediante una manguera de acople con las siguientes características:

**Tabla 3.16 Características de las mangueras de acople seleccionadas**

Diámetro	2,5" Pulgadas
Largo	13,7" pulgadas / 35 Cm

Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Figura 3.29 Mangueras de acople**

### 3.7.3.12. Sistema Interenfriador Aire – Aire

El sistema de aire – aire está compuesto por partes de similares características del interenfriador aire – agua ya diseñado, es decir que debe tener capacidades similares al de aire – agua para que la comprobación sea más efectiva. Cabe recalcar que los dos sistemas serán sometidos a las mismas condiciones, por ende deben ser de similar capacidad.

Tomando en cuenta estas consideraciones se detalla las características del interenfriador aire – aire con el que se realizara las comparaciones.

**Tabla 3.17 Características del interenfriador de aire – aire**

Material de fabricación	Aluminio
Disposición de los paneles	Vertical
Disposición de las tomas de entrada y salida de aire	Opuestas
Distribución laminillas	Baja densidad
Largo total (in.) / (cm.)	14,96 in / 38 cm
Ancho total (in.) / (cm.)	9,33 in / 23,7 cm
Espesor (in.) / (cm.)	2,5 in / 6,5 cm
Longitud de la coraza (in.) / (cm.)	9,64 in / 24,5 cm
Ancho de la coraza (in.) / (cm.)	8,07 in / 20,5 cm
Ancho del panel (in.) / (cm.)	0,3 in / 1cm
Número de paneles	20

Área de flujo interno (in <sup>2</sup> .) / (cm <sup>2</sup> .)	23,03 in <sup>2</sup> / 58,49 cm <sup>2</sup>
Diámetro ducto (in.) / (cm.)	2in / 5,08cm

Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Figura 3.30 Interenfriador de aire - aire**

Este interenfriador estará dotado de un ventilador, que es el encargado de simular el aire que pasa por el interenfriador cuando el vehículo esta en circulación. Este ventilador estará fijado a unas bases en el banco de simulación y sus características son las siguientes.

#### **3.7.4. Construcción**

Para la construcción de este banco se tuvo que dividir su proceso en dos partes, las cuales consisten en la construcción de la estructura de la consola de mandos, y luego en la estructura de la bancada acoplada y soldada a la consola.

La construcción de la consola de mando se la hizo en base al modelo antes mostrado, proveyéndole de un cajón y un pequeño closet de almacenamiento.

En su parte superior se le desarrollo una tapa atornillada con el fin de que sea desmontable facilitando la instalación de las conexiones eléctricas.



Fuente: Autor

**Figura 3.31 Vista frontal consola de mandos**



Fuente: Autor

**Figura 3.32 Vista diagonal de la consola de mandos**

Luego se procedió con el ensamblaje de unas ruedas, las cuales facilitan el movimiento de la pesada estructura.



Fuente: Autor

### **Figura 3.33 Ruedas consola de mandos**

Una vez concluida la consola de mandos pasamos a construir la estructura de la bancada, la cual consiste en soldarle dos bases, una lateral y una posterior.

Empezamos por la colocación de la base posterior, que es donde nace todo el sistema, ya que alojara al blower o soplador y a la fuente de calor.

Para instalar esta base se realiza un medio marco del mismo largo de la consola, pero con diferente ancho.

Luego procedemos a realizar las medidas que necesita el blower para ser anclado, y dependiendo de ese resultado se procede a la soldadura.



Fuente: Autor

**Figura 3.34 Soldadura de base posterior**



Fuente: Autor

**Figura 3.35 Ensamblaje base posterior**

Ya que se encuentra soldada la base posterior, se empieza a realizar el mismo proceso, pero para la base lateral. Esta base lateral es igual un medio marco que va soldado a la consola de mandos, al cual se procede a realizar su instalación.



Fuente: Autor

### **Figura 3.36 Ensamblaje base lateral**

Una vez que se ha logrado soldar la base posterior como lateral se procede a instalar un pie de amigo a la misma, ya que este ayudara a soportar el peso que en ellas se coloque cuando se implemente la estructura.

## **4. CAPÍTULO** **IMPLEMENTACIÓN**

Una vez diseñado y construido el interenfriador de aire- agua, identificados todos los componentes anexos que se necesitan, y construida la estructura del banco

de pruebas, podemos implementar el proyecto para realizar las pruebas necesarias.

La implementación contiene el montaje de todos los elementos en el banco de simulación, eso incluye su estructura como tal y también el montaje y desmontaje de los sistemas a medir que son los interenfriadores de aire – agua y aire – aire.

Con todos los elementos que se van a implementar, se lo dividirá para poder avanzar efectivamente. La división consta de cuatro puntos importantes como son:

- Montaje e instalación de componentes del banco de simulación.
- Montaje e instalación de componentes del interenfriador aire– gua.
- Montaje e instalación de componentes del interenfriador aire– aire.

#### **4.1. IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE SIMULACIÓN**

La implementación del banco de simulación es el más importante, ya que este contendrá a los sistemas que en él se van a someter a pruebas para ser comparados.

Las estructura como fue detalla en el capítulo tres, será implementada con varios componentes que permitan el funcionamiento y medición de los dos sistemas de enfriamiento de aire.

La implementación del banco de simulación empieza con la estructura realizada en tubo rectangular el cual da la forma en donde se sostendrá los sistemas de enfriamiento.

#### **4.1.1. Control de Mandos**

Esta estructura de tubo rectangular, tendrá su centro de mandos el cual esta forrado con láminas de tool, que se encarga de proteger y dar forma al mismo centro de mandos.

Procedemos a seleccionar la ubicación del lugar donde se instalaran cada elemento eléctrico, como los leds, switch, interruptores.

Ya que ubicamos el lugar de estos elementos, procedeos a realizar la perforación para crear el orificio donde serán situados.



Fuente: Autor

#### **Figura 4.1 Instalación de elementos eléctricos**

Después de saber dónde van ubicados cada elemento eléctrico, iniciamos a rutear todo el cableado eléctrico que conectara con cada uno de ellos para su manejo.



Fuente: Autor

## **Figura 4.2 Instalación de cables**

Como ya sabemos la ruta que debe seguir el cable para conectar los elementos, procedemos a realizar la suelda del cable con sus respectivos elementos, para posteriormente probarlos e instalarlos.

### **4.1.2. Base Posterior**

El banco de simulación tiene soldado en su parte posterior una base posterior, la cual contendrá en ella al blower de aire y la fuente de calor, que nos permiten tener las condiciones de simulación para medir los interenfriadores.

Para su implementación realizamos el procedimiento de ir midiendo el espacio que necesitan dichos componentes para su anclaje.

El primer componente en instalarse es el blower, a este se le posiciona en la estructura aumentando una pequeña base de tubo de refuerzo, en él se realizan las perforaciones para sujetar el componente.

Una vez realizadas las bases del blower, se procede a medir la distancia del tubo requerido para transmitir el aire, a este también se le realiza una pequeña base en platina al final del mismo, ya que por el otro extremo se sostiene con la boca del blower.

Este tubo de 3" pulgadas de diámetro posee un orificio, el cual permitirá el ingreso del calor producido por la fuente.



Fuente: Autor

### **Figura 4.3 Implementación del blower**

Posterior a esto procedemos con la implementación de nuestra fuente de calor, que es la pistola de calor. La pistola de calor mediante su boquilla se acopla al tubo que sale del blower, que se calcula la distancia a la que debe estar ubicado para fabricarle sus bases. Estas bases irán ubicadas en su mango por medio de una platina, la misma que ira anclada a la base posterior.



Fuente: Autor

#### **Figura 4.4 Implementación de la pistola de calor**

El blower y la pistola se alimentan de voltaje 110, por lo que simplemente se le agrega a su cable original una extensión debidamente ruteada para que sea de fácil conexión.

La pistola de calor como la base posterior van recubiertos con lamina de tool para proporcionar un mejor aspecto, así como el tubo que sale del blower ira forrado de cinta aislante con el fin de sacar el mayor provecho calorífico.

#### **4.1.3. Base Lateral**

El banco de simulación posee una base en su lateral derecho, la misma que se anclara al control de mandos para sostener los siguientes componentes.

- *Bomba de Agua*
- *Reservorio de Agua*
- *Radiador de Agua*

Para la implementación de esta base se realizó la suelda de dos soportes, anclados a su respectivo cuadrante para que sea resistente.

Luego realizamos la medición del espacio que van a necesitar la bomba, el radiador y el reservorio, para soldar su soporte a la estructura y ser montados.

El montaje de la bomba se la realizó con una pequeña base de platina la misma que sostiene al elemento fijamente.



Fuente: Autor

#### **Figura 4.5 Soldadura de base para la bomba de agua**

Luego se procedió con la medida y determinación de la ubicación del radiador de agua, al cual por facilidades de funcionamiento se lo ubico horizontalmente,

atornillándolo a la base lateral. Encima del radiador va montado su respectivo electroventilador, para forzar el paso del aire.



Fuente: Autor

#### **Figura 4.6 Implementación del radiador de agua**

Como la bomba y el electroventilador se alimentan de 12 voltios, ruteamos su cable hacia donde está la batería, para después soldar sus cables y sujetarlos.

Posterior a esto pasamos a la instalación del reservorio, para el cual es necesario atornillarle en la consola de mandos, que tiene la estructura suficiente para soportar su peso, sostenida por las bases.



Fuente: Autor

**Figura 4.7 Implementación del depósito o reservorio**

#### **4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AIRE – AGUA**

Como se analizó en los capítulos anteriores el interenfriador de aire-agua contiene a más de su cuerpo mismo, varios componentes que son estrictamente necesarios para su correcto funcionamiento.

El sistema del interenfriador aire – agua va a estar anclado totalmente en la estructura principal, con la particularidad de que es un montaje que no es fijo, es decir se puede montar y desmontar cuantas veces sean necesarias.

El sistema se ya fue instalando en la base lateral con sus componentes anexos como lo son el radiador de agua, la bomba y el depósito. Con estos componentes ya instalados nos permite deliberar la altura y posición del interenfriador. El

interenfriador de aire – agua, ira atornillada a una base de platina que va soldada en la estructura, para posteriormente ser instalado.



Fuente: Autor

**Figura 4.8 Implementación del interenfriador de aire - agua**



Fuente: Autor

#### **Figura 4.9 Interenfriador de aire – agua en la estructura**

Una vez instalado el interenfriador en la bancada, procedemos a unir el blower con el interenfriador mediante mangueras de acople plásticas, y también se instala un tubo a la salida



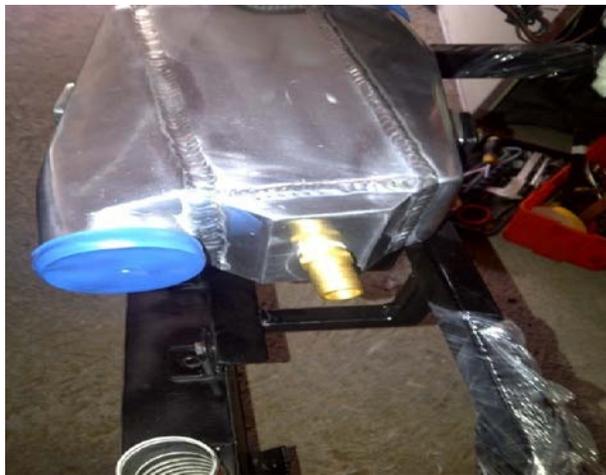
Fuente: Autor

#### **Figura 4.10 Implementación de mangueras de acople**

Como se menciona antes, el sistema de interenfriador aire – agua esta compuesto de otros componentes anexos, estos también deben ser instalados en la estructura para el correcto funcionamiento. Tres de estos elementos ya

fueron instalados en la base de control en la base lateral, como lo son la bomba de agua, el depósito y el radiador.

Continuamos a conectar las líneas de agua que provienen de la bomba, para eso es necesario enroscar los neplos de cobre en el interenfriador en las tomas de entrada y salida.



Fuente: Autor

**Figura 4.11 Implementación de neplos de agua**

Continuamos con el ruteo de la manguera de agua desde la bomba al interenfriador, para realizar la conexión y aseguramiento con sus abrazaderas.



Fuente: Autor

#### **Figura 4.12 Implementación de manguera de agua**

Luego procedemos a instalar y conectar los termómetros digitales, que van instalados en unos pequeños orificios en los tubos, uno antes de la entrada al interenfriador y otro a la salida del mismo.



Fuente: Autor

#### **Figura 4.13 Implementación termómetros de temperatura**

El elemento faltante de conectar es el radiador, que va ubicado entre el depósito y la bomba. Para esto ruteamos desde la base lateral al radiador, para luego conectarlas con sus respectivas abrazaderas.



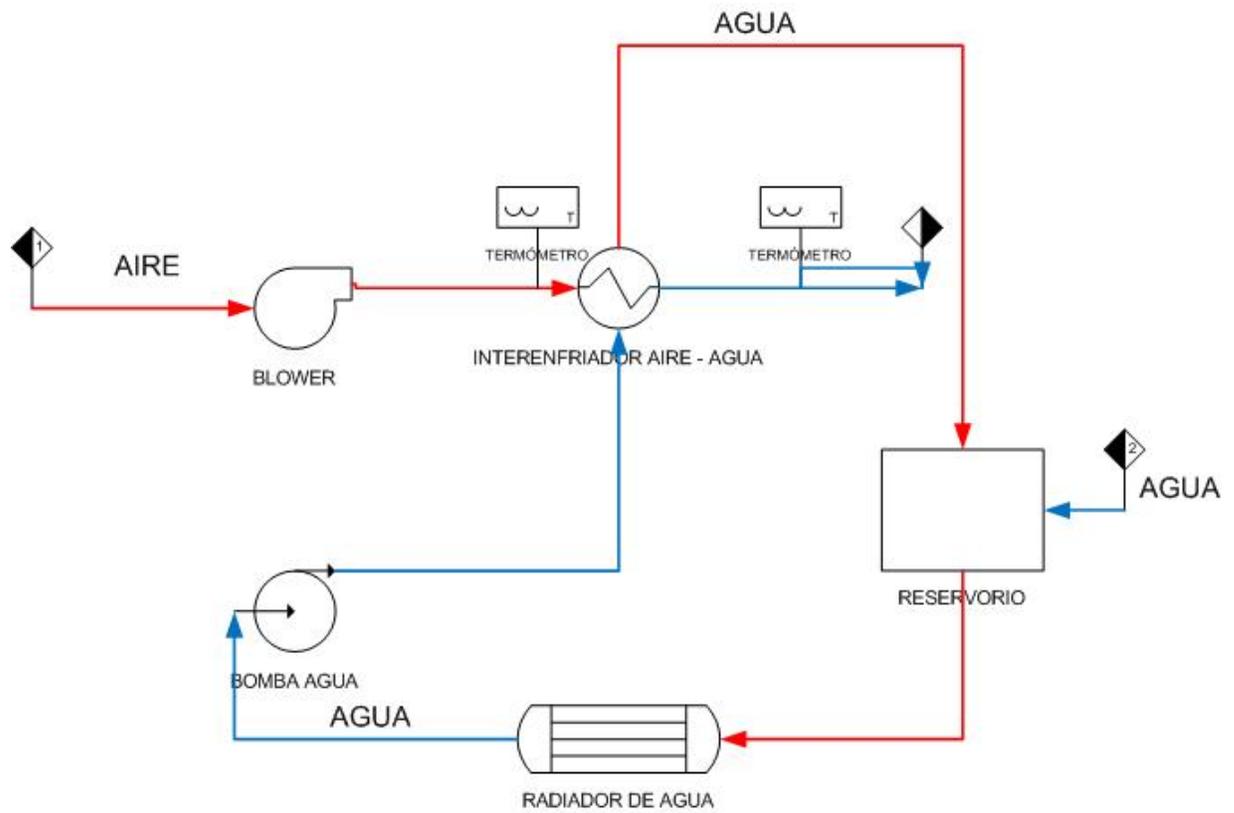
Fuente: Autor

#### **Figura 4.14 Instalación de mangueras de agua del radiador**

Por último para terminar con este proceso, se debe rutear las líneas de cableado del electroventilador, los cuales funcionan con voltaje 12, estas son soldadas en sus terminales para su funcionamiento.

Una vez instaladas todas las piezas que conforman el sistema de enfriamiento, se realiza una revisión de las uniones plásticas y las mangueras, verificando el apriete de sus abrazaderas.

#### **4.2.1. Diagrama de Flujo del Interenfriador Aire – Agua y sus Componentes** **Anexos**



<b>Lista de equipamiento</b>	
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
BLOWER	GENERIC
BOMBA AGUA	RULE 401 FC
INTERENFRIADOR AIRE - AGUA	FROZEN BOOST TYPE 8
RADIADOR DE AGUA	FROZEN BOOST GENERIC
RESERVORIO	GENERIC

<b>Lista de instrumentos</b>	
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
TERMOMETRO	UNIVERSAL

#### 4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AIRE – AIRE

El sistema de aire – aire está provisto por un solo componente como tal, el mismo que va anclado a la estructura principal por medio de sus bases. Este está ubicado al inferior del otro interenfriador para ser más fácil el cambio de sistema

Al interenfriador de aire – aire se le coloca un electroventilador a su cuerpo, el cual se encarga de simular la entrada de aire del frente del vehículo.



Fuente: Autor

**Figura 4.15 Instalación del electroventilador del interenfriador de aire - aire**

Una vez que tiene instalado el electro se procede a montar el mismo a la estructura. Esta está provista de dos bases para sujetarse por pernos.



Fuente: Autor

**Figura 4.16 Base del interenfriador aire – aire**



Fuente: Autor

#### **Figura 4.17 Interenfriador de aire – aire en la estructura**

Por último para terminar con este proceso, se debe rutear las líneas de cableado del electroventilador, los cuales funcionan con 12 voltios, estas son soldadas en sus terminales para su funcionamiento.

Luego de montarla en la base, se procede a conectar las tuberías de aire provenientes del blower de aire. Estas tuberías tienen mayor longitud en comparación al otro sistema, debido a que tener una curvatura de 90 grados.



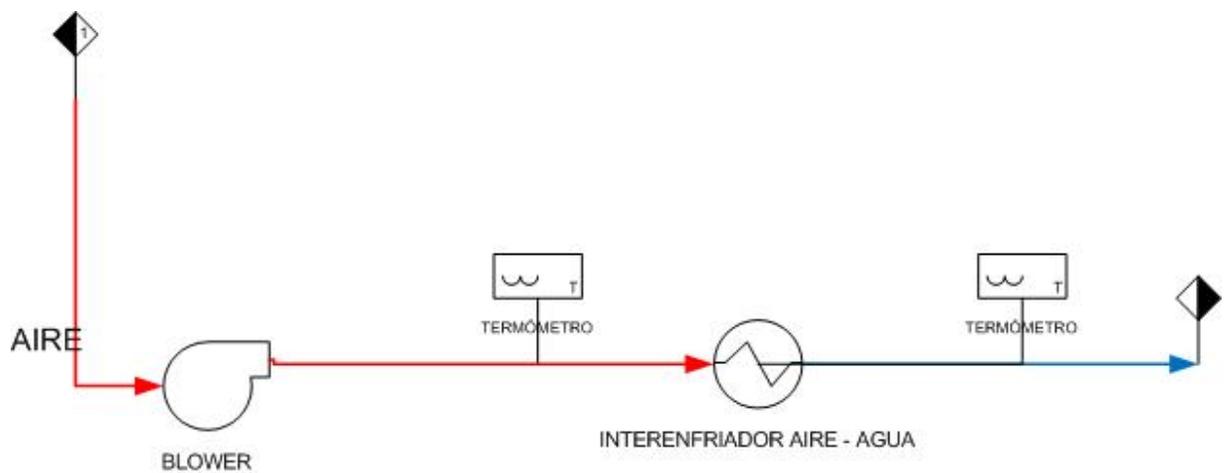
Fuente: Autor

#### **Figura 4.18 Conexión de mangueras al interenfriador de aire – aire**

Las dos tuberías tienen unos orificios pequeños tanto antes, como a la salida del interenfriador, estos son para colocar los termómetros digitales para la medición de la temperatura.

Una vez instaladas todas las piezas que conforman el sistema de enfriamiento, se realiza una revisión de las uniones plásticas y las mangueras, verificando el apriete de sus abrazaderas.

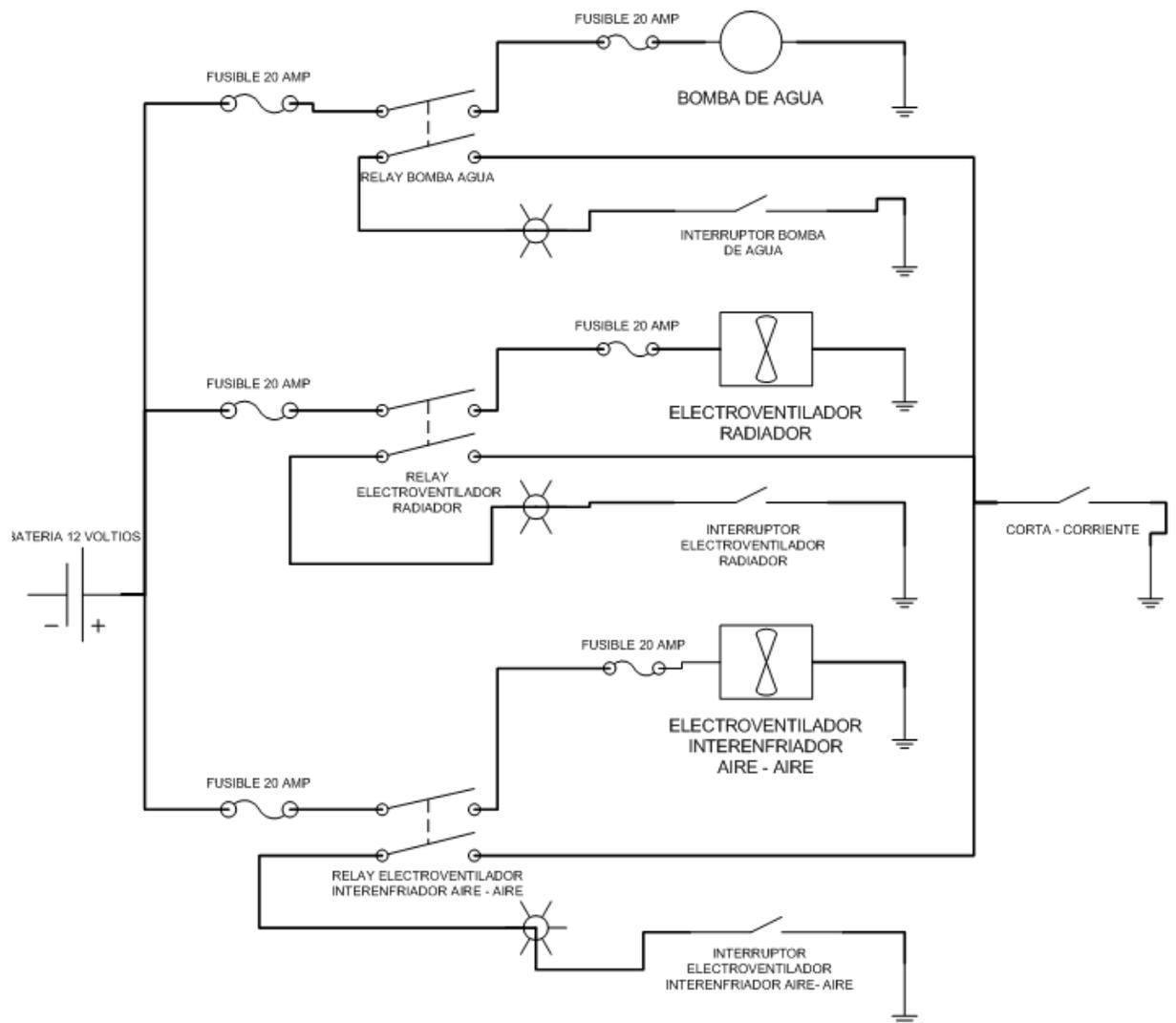
#### **4.2.1. Diagrama de Proceso de Montaje y Desmontaje del Interenfriador Aire - Aire.**



<b>Lista de equipamiento</b>	
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
BLOWER	GENERIC
INTERENFRIADOR AIRE - AGUA	MAZDA BT - 50

<b>Lista de instrumentos</b>	
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
TERMÓMETRO	UNIVERSAL

#### 4.4. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS DEL BANCO



#### **4.5. BANCO DE PRUEBAS IMPLEMENTADO**

Una que la estructura ya construida e implementada, procedemos a pintarla, con el objetivo de poder protegerla de la corrosión y oxido que vienen del exterior y para su correcto funcionamiento quedando de la siguiente manera.



Fuente: Autor

**Figura 4.19 Estructura completa**



Fuente: Autor

**Figura 4.20 Banco de pruebas implementado**

#### **4.6. DESMONTAJE DE LOS DOS SISTEMAS**

Como se explico anteriormente, el sistema de alimentación de aire solo puede proveer a un sistema a la vez, por lo que siempre para probar cada sistema se debe desmontar el otro, independientemente de cuál sea.

En este proceso los elementos que no deben ser desmontados en toda la estructura son el radiador de agua, solamente se le debe desconectar sus

mangueras de alimentación y taponarlas. Por esta situación siempre se recomienda que el primer sistema a probar siempre sea el de aire – aire.

Una vez que se realiza la instalación del sistema de aire – aire, solo se debe desmontar la tubería de aire color verde marcada con el numero uno, esto implica sacar sus abrazaderas, las uniones de caucho y los termómetros. El interenfriador como tal puede quedarse instalado ya que no influye en el uso del otro sistema.

Luego del desmontaje de estos elementos, se puede proceder con el montaje del otro sistema.

## **5. CAPÍTULO**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **5.1. PRUEBAS**

Las pruebas deben ser realizadas una vez que la estructura y los dos sistemas estén correctamente disponibles y aptos para ser medidos. La facilidad de las pruebas es que todas serán realizadas en el banco de pruebas, y el mismo nos permitirá realizar unas pequeñas modificaciones para obtener la mayor cantidad de datos posibles.

Las pruebas a las que puede ser sometido un interenfriador, deben ser las que permita identificar la eficiencia de enfriamiento. Como en este caso el objetivo es saber qué sistema funciona mejor, las pruebas básicamente consistirán en medición de presión y temperatura con variación de las mismas.

#### **5.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Las pruebas a realizarse para el análisis del siguiente proyecto son las siguientes:

#### **5.2.1. Medición de Volumen y Temperatura**

Por medio de este método es posible medir el volumen de ingreso al interenfriador y luego a la salida del interenfriador. Además también se podrá

medir la temperatura de entrada del aire, y la temperatura de salida del aire del interenfriador.

Estas pruebas se las realizara en el banco de pruebas diseñado para los dos interenfriadores.

#### **5.2.1.1. Parámetros Técnicos**

Los parámetros técnicos son las características que tienen los elementos que van a simular el funcionamiento de los interenfriadores, por los que de interés para este proyecto son los siguientes:

- *Cfm producidos.*- Los cfm serán producidos por la pistola y/o el blower tendrá modificaciones para variar el volumen del mismo.
- *Temperatura del aire.*- La temperatura del aire será producida por la fuente de calor la misma que ira variando con los cfm producidos.

#### **5.2.1.2. Instrumentación Utilizada**

Los instrumentos que se van a utilizar para medición son los siguientes:

- *Termómetros.*- Son los encargados de medir la temperatura en los distintos puntos del banco de pruebas para poder obtener datos.
- *Anamómetro.*-- Es el encargado de medir los cfm producidos por el soplador.

### **5.2.1.3. Parámetros a Medirse**

Los parámetros a medirse son la temperatura tanto a la entrada como a la salida de cada uno de los interenfriadores, para esto el sistema esta parametrizado en dos generadores, el uno es la pistola de calor con la generación de 550 cfm promedio, y el blower el cual tiene la posición de tapa abierta con 2500 cfm promedio y con la tapa cerrada 3300 cfm.

- 1 era configuración.- La pistola se encontrara encendida en la segunda velocidad y no es necesario accionar el blower. Aquí se producen 550 CFM y más de 115°C promedio generados por la misma pistola.
- 2da configuración.- La pistola se encontrara encendida en segunda velocidad y el blower encendido pero con la tapa de este cerrada. Aquí se producen 2500 CFM y 107°C promedio.
- 3era configuración.- La pistola se encontrara encendida en segunda velocidad y el blower encendido pero con la tapa de este abierta. Aquí se producen 3300 CFM y 102°C promedio.

### **5.2.1.4. Protocolo de la Prueba**

A continuación se detalla todo el protocolo que se debe realizar en una comparación de eficiencia completa. Al ser dos sistemas, la prueba total estará

dividida en dos partes, por lo que hay que tomar muy en cuenta los detalles del montaje detallado en el capítulo anterior. Los procedimientos son los siguientes:

- Parte 1: Medición sistema interenfriador aire-agua.
  - Verificar que todo el sistema de agua se encuentren correctamente conectado y apto para el funcionamiento.
  - Conectar la manguera del interenfriador aire – agua con el tubo del blower.
  - Colocar la tapa del blower o soplador cerrada.
  - Encender únicamente la pistola de calor en segunda velocidad durante 2 minutos.
  - Encender el electroventilador del radiador de agua.
  - Encender la bomba de agua.
  - Recopilar los datos proporcionados después de transcurridos dos minutos de haber encendido la pistola de calor mediante los termómetros digitales y pistola de calor.
  - Encender el blower siempre con la tapa cerrada.
  - Recopilar los datos proporcionados después de haber encendido el blower mediante los termómetros digitales y pistola de calor.
  - Apagado del sistema.
  - Si se desea realizar más pruebas en este sistema se puede cambiar el agua a temperatura ambiente y colocar agua a punto de congelamiento y extraer los datos.

- Parte 2: Medición sistema interenfriador aire-aire.
  - Conectar el interenfriador aire – aire con la manguera designada.
  - Colocar la tapa del blower o soplador cerrada.
  - Encender únicamente la pistola de calor en segunda velocidad durante 2 minutos.
  - Encender el electroventilador del interenfriador aire – aire.
  - Recopilar los datos proporcionados después de transcurridos dos minutos de haber encendido la pistola de calor mediante los termómetros digitales y pistola de calor.
  - Encender el blower siempre con la tapa cerrada.
  - Recopilar los datos proporcionados después de haber encendido el blower mediante los termómetros digitales y pistola de calor.
  - Apagar el sistema.

#### **5.2.1.5. Diseño del Registro**

El diseño del registro posee todos los datos necesarios que nos permitan saber en qué condiciones son probados los sistemas, y además todos los necesarios para calcular la eficiencia respectiva.

El mismo se encuentra dividido en dos partes, donde en la primera el objetivo es hacer la comparación de los sistemas con el agua del interenfriador aire – agua a temperatura ambiente y el otro con el agua a temperatura de congelación.

**Tabla 5.1 Registro de datos de las pruebas**

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO #		HORA 11:30AM	CONFIGURACIÓN			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE
AIRE - AGUA						
AIRE - AIRE						
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL						0
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						0%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL						0
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						0%
Configuración						
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO #			CONFIGURACIÓN			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE
AIRE - AGUA						
AIRE - AIRE						
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL						0
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						0%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL						0
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						0%
Configuración						

Fuente: Autor

### **5.3. EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS**

#### **5.3.1. Pruebas de los sistemas en el banco de pruebas**

La realización de las pruebas según las indicaciones, se pueden obtener los siguientes resultados, mismos que se encuentran detallados en la hoja de resultados.

Para el análisis de los resultados fue muy importante obtener los datos necesarios para calcular la eficiencia térmica. Esta resultante se calcula mediante la fórmula 2.25, donde divide el incremento de la temperatura generada por el compresor (en este caso el blower y la pistola de calor) para la temperatura removida, que es la diferencia de la temperatura del aire al ingreso menos la temperatura de salida del interenfriador.

Las pruebas se las realizaron variando las condiciones de temperatura (ambiente, agua), así como también los elementos de producción de aire (pistola de calor y blower), lo que nos permitirá tener un análisis final más completo. Con estas características una prueba consiste en probar los dos sistemas en las diferentes condiciones a las que se le puede exponer.

**Tabla 5.2 Registro de datos de la prueba #1**

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 1		HORA 11:30AM	CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	19,6	18,8	555	117,4	431	19,9
AIRE - AIRE					217	23,3
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 1			97,5
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						100%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						94,1
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						96%
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 1.1			CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	19,6	3	535	121,7	455	9,2
AIRE - AIRE					220	22,9
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 1			112,5
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						109%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						98,8
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						97%

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 2		HORA 12:01 PM	CONFIGURACIÓN 2 (BLOWER CON TAPA CERRADA)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	21,8	19,3	2428	106,8	1805	22,9
AIRE - AIRE					1211	25,5
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 2			83,9
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						99%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						81,3
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						95%
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 2.1			CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	20,8	5	2504	107,4	1867	11,1
AIRE - AIRE					1301	24,2
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 2			96,3
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						110%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						83,2
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						96%

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 3		HORA 12:01 PM	CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	20,8	19,3	3396	102,6	2365	25,3
AIRE - AIRE					1474	28,4
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA		Configuración 3				77,3
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						94%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						74,2
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						90%
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 3.1			CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	20,8	5	3247	103,2	2406	16,6
AIRE - AIRE					1414	27,9
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA		Configuración 3				86,6
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						105%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						75,3
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						91%

Tabla 5.2 Registro de datos de la prueba #2

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 4		HORA 13:15PM	CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	22,6	21,3	552	116	491	20,8
AIRE - AIRE					221	24,5
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 1			95,2
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						102%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						91,5
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						98%
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 4.1		HORA	CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	22,6	3	576	117,1	463	11,8
AIRE - AIRE					233	24
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 1			105,3
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						110%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						93,1
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						98%

<b>PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 5</b>		<b>HORA 13:50 PM</b>	<b>CONFIGURACIÓN 2 (BLOWER CON TAPA CERRADA)</b>			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	21,5	20,7	2370	112,8	1806	24,4
AIRE - AIRE					1278	27,2
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 2			88,4
<b>% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA</b>						<b>97%</b>
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						85,6
<b>% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE</b>						<b>93%</b>
<b>PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 5.1</b>			<b>CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)</b>			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	21,9	5	2407	113	1845	12,8
AIRE - AIRE					1284	26,9
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 2			100,2
<b>% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA</b>						<b>109%</b>
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						86,1
<b>% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE</b>						<b>94%</b>

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 6		HORA 13:50 PM	CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	21,8	19,9	3352	109,2	2392	27,9
AIRE - AIRE					1436	31,4
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 3			81,3
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						92%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						77,8
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						88%
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO # 6.1			CONFIGURACIÓN 1 (PISTOLA DE CALOR)			
SISTEMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMP. INICIAL DEL AGUA (°C)	CFM CONFIGURADAS	TEMP. INGRESO AIRE (°C)	CFM DE SALIDA	TEMP. SALIDA AIRE (°C)
AIRE - AGUA	21,8	5	3312	109,5	2370	17,4
AIRE - AIRE					1455	30,8
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA			Configuración 3			92,1
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AGUA						105%
TEMPERATURA REMOVIDA POR EL INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						78,7
% EFICIENCIA INTERENFRIADOR DE AIRE - AIRE						89%

Con esto podemos comprobar que el sistema de aire – agua con agua a temperatura ambiente es más eficiente en un promedio de 4% en relación al

interenfriador aire – aire, y un promedio del 13% más eficiente con el agua a temperatura menor a los 5°C.

#### **5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DOS SISTEMAS**

Una vez puesto en prueba los dos sistemas hemos podido concluir, que el sistema enfriado por agua es más eficiente que el enfriado por aire en un menor espacio, pero utiliza más componentes adicionales comparado con el de aire.

Llevando estas pruebas a un campo más real, las aplicaciones pueden ser diferentes y se pueden seleccionar dependiendo las características a las que el vehículo vaya a ser sometido. El sistema enfriado por agua puede ser muy útil para vehículos que no alcanzan grandes velocidades y por ende la recepción de aire en el frente del mismo es menor. Puede ser utilizado también en circunstancias de funcionamiento a alta velocidad donde su rendimiento sigue siendo el mismo. En cambio para el que es enfriado por aire, el vehículo debe estar con una buena entrada de aire para tener eficiencia, si esta es restringida su eficiencia irá disminuyendo.

Tomando en cuenta todos los datos obtenidos, también podemos hacer un análisis de costos comparando la eficiencia de cada sistema vs el costo de cada

uno. Los costos de los siguientes cuadros son realizados con valores reales instalados a vehículos para su utilización en la ciudad de Quito.

**Tabla 5.4 Costos de componentes e instalación del sistema aire-agua**

<b>SISTEMA AIRE-AGUA</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
1	Interenfriador aire – agua	\$ 150,00
1	Radiador de agua	\$50 ,00
1	Electroventilador	\$ 45,00
1	Bomba de agua	\$80 ,00
	Reservorio de agua	\$ 30,00
1	Manguera 5/8 para agua	\$ 24,00
	Manguera de aire de 2,5"	\$ 40,00
5	Neplos	\$45,00
	<b>Subtotal componentes del sistema aire-agua</b>	<b>\$464,00</b>
<b>COSTOS DE INSTALACIÓN Y ADAPTACIONES</b>		
	Adaptaciones y soportes (Soldador, Dobladora)	\$150,00
	Importación de componentes	\$ 100,00
	<b>Subtotal costos de instalación y adaptaciones</b>	<b>\$ 250,00</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 714,00</b>

**Tabla 5.5 Costos de componentes e instalación del sistema aire-aire**

*SISTEMA AIRE-AIRE*

<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
1	Interenfriador aire – aire	\$ 200,00
	Tubería de 2,5"	\$ 60,00
	Acoples codos de tubería	\$ 100,00
	<b>Subtotal componentes del sistema de aire-aire</b>	<b>\$ 360,00</b>

*COSTOS DE INSTALACIÓN Y ADAPTACIONES*

Adaptaciones y soportes (Soldador, Dobladora)	\$ 140,00
Fachada	\$ 200,00
Habitáculo de motor	\$ 30,00
<b>Subtotal costos de instalación y adaptaciones</b>	<b>\$ 370,00</b>

<b>TOTAL</b>	<b>\$730,00</b>
--------------	-----------------

Fuente: Autor

Para efectuar el análisis comparativo de los sistemas se utilizó la medición de eficiencia de los dos sistemas. Esta comparación se la realizó con la construcción del banco de simulación, donde se pone en uso los dos sistemas simulando los estados y condiciones a los que son sometidos.

En términos económicos es posible realizar una comparación entre los costos de instalación de cualquiera de los dos sistemas mencionados, de los cuales son puestos a prueba en la ciudad de Quito a 2800 metros de altura, ya que el objetivo

es demostrar la eficiencia superior del sistema del interenfriador aire-agua comparada con la de aire – aire.

Partiendo de este análisis se infiere que la comparación en términos económicos debe cuantificar los efectos de la instalación de cada sistema y su incremento de prestaciones y relacionarlos a sus costos asociados, en otras palabras determinar el costo del incremento unitario de eficiencia de enfriamiento.

Para la comparación del incremento de eficiencia de enfriamiento se utilizó los resultados del cuadro de pruebas obtenidos con la ecuación 2.26, posterior a eso desarrollamos la siguiente ecuación para obtener el costo de incremento de eficiencia.

$$\text{CostoEficiencia} = \frac{\text{Costo de instalación}}{\text{Incremento de eficiencia}}$$

#### **Ecuación 5.1 Costo Eficiencia**

La comparación de eficiencia se la realizo en iguales condiciones de funcionamiento donde se recopilo la siguiente información descrita en la siguiente tabla.

**Tabla 5.6 Análisis comparativos entre los sistemas**

<b>Configuración</b>	<b>Interenfriador Aire - Agua</b>	<b>Interenfriador Aire - Aire</b>
<b>Temperatura del aire antes del interenfriador</b>	111°C	111°C
<b>Eficiencia</b>	97%	93%
<b>Costo de instalación</b>	714	730
<b>Costo potencia [USD/HP]</b>	736,08	784,95

Fuente: Autor

En la tabla se aprecia que pese a que el precio de instalación del sistema de interenfriador aire-agua y el de aire – aire es similar, el sistema de aire – aire en beneficio de rendimiento es más elevado. Adicionalmente el sistema de aire-agua tiene la facilidad de poder ingresar agua a menor temperatura aumentando las prestaciones del sistema.

Pese a que el costo del interenfriador aire-aire no varía mucho no deja de ser eficiente, si bien no logra igualar las prestaciones del sistema de aire -agua, no hay que olvidar que depende mucho del uso que se le vaya a dar al vehículo. Otro punto a tomar en cuenta es que su instalación es más complicada y los costos también por tener que obligatoriamente estar en el frente del vehículo, o en un lugar de fácil recepción de aire. Adicionalmente, debido a la longitud de la

tubería que debe recorrer el aire, empieza a perder presión lo que provoca pérdidas en la presión producida por el turbo.

## **6. CAPÍTULO**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

En el capítulo primero del presente proyecto, se estableció como objetivo el diseño de un interenfriador de aire-agua, el cual es muy poco conocido en el mercado nacional, para así construirlo o adquirirlo según nuestras especificaciones y poder compararlo con el sistema habitual de un interenfriador de aire-aire. Todas las pruebas y comparaciones se las realizaría en un banco. Bajo esta perspectiva el alcance del proyecto es el de un estudio experimental de este sistema para mejorar prestaciones técnicas en un motor mediante el sistema adecuado de interenfriador. En otras palabras, la realización de un estudio económico que involucre el análisis de variables macroeconómicas, las condiciones de la industria, los riesgos de mercado, pronósticos de demanda, entre otros parámetros; no es aplicable.

#### **6.1. COSTO DE DISEÑO**

Para el costo de diseño el egreso económico que se tuvo que realizar no fue considerable, ya que la mayoría de la información para poder diseñar el

interenfriador aire – agua se encontraba en libros de bibliotecas, salvo por dos libros los cuales se debió realizar la compra para poder desarrollar el proyecto.

El costo de estos elementos y otros más se detallan a continuación.

**Tabla 6.1 Costos de elementos para el diseño**

<b>COSTOS DE DISEÑO</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>COSTO</b>
Libro Forced Induction Performance Tuning	\$ 120,00
Libro Maximum Boost	\$ 90,00
Cd Programa Visio Office	\$ 60,00
Cd Programa Autocad	\$ 80,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 350,00</b>

Fuente: Autor

## **6.2. COSTO DE PIEZAS**

Posterior al diseño tenemos el costo de las piezas seleccionadas o fabricadas, estas tuvieron que ser adquiridas en diferentes partes, incluyendo traerlas del exterior, estos costos fueron los siguientes.

**Tabla 6.2 Costos de piezas adquiridas**

<b>COSTO DE PIEZAS</b>		
<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>COSTO</b>
<b>SISTEMA INTERENFRIADOR AIRE - AGUA</b>		
1	Interenfriador de aire - agua	\$ 150,00
1	Radiador de agua	\$ 50,00
1	Electroventilador de aire	\$ 45,00
1	Bomba de Agua	\$ 80,00
1	Depósito de Agua	\$ 30,00
5	Neplos	\$ 45,00
4	Mangueras de agua 5/8"	\$ 24,00
2	Mangueras de aire	\$ 25,00
7	Abrazaderas de tubo agua	\$ 3,50
2	Abrazaderas de tubo aire	\$ 2,50
1	Cinta de teflón	\$ 0,30
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 424,00</b>
<b>SISTEMA INTERENFRIADOR AIRE - AIRE</b>		
1	Interenfriador de aire - aire	\$ 250,00
1	Electroventilador de aire	\$ 45,00
2	Mangueras de aire	\$ 30,00
2	Abrazaderas	\$ 2,50
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 295,00</b>
<b>BANCO DE PRUEBAS</b>		
1	Consola metálica	\$ 250,00
1	Bancada metálica	\$ 50,00
1	Blower o soplador	\$ 46,92
1	Batería de 12 voltios	\$ 54,00
1	Tubo de 3"	\$ 8,00
1	Tubo de 1"	\$ 5,00
1	Pistola de calor	\$ 58,23
3	Termómetros	\$ 35,40
	Pernos y tuercas varios	\$ 4,00
1	Cinta de aluminio	\$ 9,70
	Material eléctrico varios	\$ 28,39
	Stickers	\$ 40,00
1	Extensión eléctrica	\$ 2,00
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 591,64</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.310,64</b>

Fuente: Autor

### 6.3. COSTO DE INSTALACIÓN

Una vez diseñado y adquiridas las piezas se incurrió en los gastos para la instalación e implementación del proyecto, estos costos son los siguientes.

**Tabla 6.3 Costos de implementación del proyecto.**

<b>COSTOS DE INSTALACIÓN</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>COSTO</b>
Adaptaciones y soportes (Soldador)	\$ 60,00
Transporte banco de pruebas	\$ 45,00
Pintura banco de pruebas	\$ 40,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 145,00</b>

Fuente: Autor

## **7. CAPÍTULO**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1. CONCLUSIONES**

- El banco de pruebas cumple con las condiciones de simulación con las cuales fue construido, facilitando la comprensión y entendimiento del funcionamiento de un interenfriador aire – agua.
  
- Se logro comprobar en el banco de pruebas las utilidades de los dos sistemas de enfriamiento.
  
- Una instalación de interenfriador aire - agua tiene un principio de funcionamiento similar a un interenfriador aire – aire tradicional, excepto porque es agua lo que pasa a través del núcleo del intercambiador en lugar de aire, siendo el responsable de disminuir el calor del aire de admisión.
  
- La caída de presión en interenfriador aire – agua tiene un estándar de sólo 0.05 PSI. La caída de presión en este sistema es de hasta 20 veces menos que un aire comparativamente en condiciones reales.
  
- Muchas personas que exigen a sus vehículos en competencias o en las rutas de circulación diaria tienen una alta probabilidad de tener problemas de sobrecalentamiento en el motor debido a que el aire que va al radiador tiene que

pasar primero a través del intercambiador de calor, mermando de esta manera la llegada del mismo. Con una instalación de interenfriador aire -agua, usted tiene opciones mucho más flexibles. El interenfriador varios lugares y no necesariamente en el frente del vehículo, o en algunas aplicaciones de un radiador no es necesaria incluso.

- En lugar de la incómoda adaptación de tubos que normalmente se asocia con interenfriador aire-aire, un interenfriador de aire - agua se puede montar en el compartimiento del motor, justo entre la salida del turbo y el cuerpo del acelerador. Una ruta más corta con menos consumo de curvas que es beneficiosa en todos los sentidos.
- El interenfriador de aire - agua hace un mejor trabajo de transferencia de calor. Por lo general la mayoría de motores son refrigerados por agua lo que demuestra que este componente hace un trabajo mucho más eficaz en refrigeración.
- Los interenfriadores de aire – agua son componentes con configuraciones muy difíciles de construir porque requieren muchos componentes exclusivos y costosos, además que el desconocimiento de fabricación en el medio local incrementa el precio a un valor no accesible.
- Los dos sistemas de enfriamiento son útiles, todo depende de las condiciones a las que vaya a someter al vehículo. Si es una configuración donde el vehículo

va a ser exigido tiempos largos sería preferible un interenfriador de aire – aire, ya que siempre contara con el impacto del aire en el frente. Si es que el vehículo no estará siempre sometido a exigencias de largo tiempo puede usar una configuración de interenfriador aire –agua ya que el sistema estará funcionando al 100% cuando sea requerido.

- El usar un sistema que implique agua para el enfriamiento del aire, implica tener instalado accesorios adicionales, tuberías de agua con probabilidad de fuga y al final como resultado se incrementa el peso. Todo está en la instalación, los objetivos finales y el uso del auto.
- Un interenfriador de aire - agua produce transferencia de calor incluso cuando el vehículo no se mueve.
- El interenfriador de aire – agua tiene la flexibilidad de incrementar componentes como hielo para mejorar el rendimiento por lapsos.
- Un interenfriador de aire – agua debido a que el aire puede llenarse más rápidamente, no provoca tanta pérdida de cfms a la salida del interenfriador, en relación al interenfriador de aire – aire, tal como se lo puede ver en las pruebas realizadas.

- En las pruebas se logro observar que la eficiencia de los interenfriadores iba disminuyendo a medida que se aumentaba la cantidad de CFM a enfriar, ocasionando una pérdida de eficiencia del 5% en la segunda configuración y del 10% en la tercera configuración.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para el momento de realizar la practica en el banco de pruebas, se tenga extremo cuidado con el tubo que sale del blower debido a las temperaturas que puede alcanzar.
- Es indispensable una vez terminadas las pruebas en el banco verificar que la pistola de calor se encuentre apagada, ya que puede generar temperaturas muy altas y ocasionar daños.
- Se recomienda la carga de la batería de 12 voltios, ya que debido a su poco uso puede auto consumirse.
- Es recomendable verificar el nivel del agua en el depósito antes de cada prueba.
- Se recomienda la utilización del interenfriador aire -agua cuando los vehículos serán sometidos a carreras de resistencia, ya que en estas competencias el

vehículo se queda inmóvil durante varios minutos de espera para el siguiente pase, permitiéndole enfriarse aun cuando está detenido.

- Es recomendable el uso del interenfriador aire – agua en vehículos de 4x4, donde los vehículos no alcanzan grandes velocidades y el flujo de aire en el frente sea reducido.
- Siempre es mejor tener un rango de tolerancia mayor a lo diseñado en el interenfriador aire – agua a que no sea suficiente. Sabiendo que en este tipo de sistema la caída de presión es muy baja, no hay inconveniente en sobre dimensionarlo.
- Se recomienda que vehículos que se van a desempeñar en competencias cortas como los piques, usen sistemas como el interenfriador aire – agua donde se pueda aplicar elementos como el hielo para reducir la temperatura del aire por debajo de la temperatura ambiente.

## **RESUMEN:**

El presente proyecto se desarrolla con el objetivo de mostrar una nueva opción de sistema de enfriamiento mediante un interenfriador de aire – agua, para los vehículos que poseen un sistema de supercargador o de turbocargador, realizando un estudio detallado que indique los pasos y consideraciones de diseño que se debe tener dependiendo las características atmosféricas y del vehículo en el cual va a ser instalado. Se ha realizado un análisis minucioso de los todas las cosas que forman

parte de un sistema de interenfriamiento, así como de todos los elementos anexos que influyen para un eficiente funcionamiento.

El aporte de este proyecto es inmenso, ya que nos muestra todos los beneficios que se puede obtener en el funcionamiento del vehículo simplemente con un sistema de transferencia de calor óptimo y diseñado para las características específicas de un vehículo.

Esta es una nueva opción de enfriamiento de este tipo de motores el cual ofrece a las personas obtener un mejor rendimiento del vehículo cuando son modificados.

**PALABRAS CLAVES:**

- Sistema de Interenfriador aire – aire
- Sistema de Interefriador aire – agua.

**MATERIA PRINCIPAL:** Transferencia de calor, termodinámica.

**MATERIA SECUNDARIA:** Motores II, Nuevas tecnologías.

# TRADUCCIÓN AL INGLES

**TITLE:** "Design, selection and implementation of an air to water intercooler in a test to check the thermal efficiency of an air to air intercooler."

## **ABSTRACT:**

This project is developed with the aim of showing a new choice for the cooling system by air to water intercooler, for vehicles that have a supercharger or turbocharger, making a detailed study showing the steps and design considerations that should be taken depending on the atmospheric characteristics of the vehicle and which is to be installed. We performed a thorough analysis of all the things that are part of an intercooling system and all the elements that influence annexes for efficient operation. The contribution of this project is immense, as it shows all the benefits that can be obtained from the operation of the vehicle with just a heat transfer system designed for optimal and specific characteristics of a vehicle.

This is a new option for cooling this engine which provides people with better performance of your vehicle when they are modified.

## **KEYS WORDS:**

- Air to water Intercooler.
- Air to air Intercooler.

## **FIRMAS:**

.....  
DIRECTOR

.....  
GRADUADO ( S)

## **Glosario**

- **$\rho$** .- Densidad.
- **$m$** .- Masa.
- **$V$** .- Volumen del determinado cuerpo.
- **$Q$** .- Calor.
- **$W$** .- Trabajo.
- **$E$** .- Energía total.
- **$Q_{cond}$** .- Conducción de calor.
- **$k$** .- Conductividad térmica del material.
- **$T$** .- Temperatura.
- **$\Delta$** .- Incremento.
- **$dQ$** .- Decremento Calor.
- **$dt$** .- Decremento de temperatura.
- **$h$** .- Coeficiente de convección (ó coeficiente de película).
- **$A_s$** .- Área del cuerpo en contacto con el fluido.
- **$T_s$** .- Temperatura en la superficie del cuerpo.
- **$T_{inf}$** .- Temperatura del fluido lejos del cuerpo.
- **$\sigma$** .- Constante de Stefan-Boltzmann.
- **$\beta$** .- Densidad de área.

- **A.-** Área.
- **D.-** Diámetro.
- **L.-** Longitud del tubo por donde circulara el fluido.
- **R.-** Resistencia Térmica.
- **U.-** Coeficiente de transferencia de calor total.
- **c y h.-** Refieren a la temperatura del fluido.
- **m.c, m.h.-** Gastos de masa.
- **Cpc, Cph.-** Calores específicos.
- **Tc, sal y Th, sal.-** Temperaturas de salida.
- **Tc, ent y Th, ent.-** Temperaturas de entrada.
- **As.-** Superficie de intercambio.
- **$\Delta Tm$ .-** Temperatura media logarítmica.
- **F.-** Factor de corrección.
- **$\epsilon$ .-** Efectividad de transferencia de calor.
- **NTU.-** Número de unidades de transferencia.
- **Pb.-** Potencia al freno.
- **Pi.-** Potencia indicada.
- **Pf.-** Potencia de fricción.
- **P.-** Potencia medida en caballos de fuerza.
- **N.-** Número de revoluciones del motor.
- **T.-** Torque medido en libras pie.
- **T\_c.-** Temperatura del aire al salir del compresor.

- **T\_amb.**- Temperatura ambiente.
- **T\_in.**- temperatura del aire al salir del interenfriador.
- **H<sub>panel.</sub>**- Longitud del panel.
- **A<sub>panel.</sub>**- Ancho de cada panel.
- **N<sub>paneles.</sub>**- Número de paneles.
- **Pr.**- Ratio de presión (Pressure Ratio).
- **Bp.**- Aumento de Presión o presión nominal (Psi).
- **Ap.**- Presión de aire del ambiente (Air Pressure).
- **Tr.**- Temperatura del aire a la salida del compresor.
- **F.**- Factor obtenido de la tabla 3.2.
- **At.**- Temperatura ambiente en °C.
- **E.**- Eficiencia del compresor %.
- **Dt.**- Temperatura de descarga.
- **CFM.**- Pies cúbicos por minutos.
- **L.**- Capacidad del motor en litros.
- **Rpm.**- Revoluciones por minuto (capacidad máxima)
- **VE.**- Eficiencia volumétrica del motor.
- **A<sub>ca.</sub>**- Área de la cara del aire de carga.
- **A<sub>fi.</sub>**-Área de flujo interno.
- **C<sub>w.</sub>**- Ancho de la coraza (Core Width).
- **A<sub>ca.</sub>**- Área de la cara del aire de carga.
- **E<sub>s.</sub>**- Espesor.

- $H_{panel}$ .- Longitud de los paneles.
- $Area_{cara\_aire\_carga}$ .- Área de la cara del aire de carga.
- $A_{panel}$ .- Ancho de cada panel.
- $N_{paneles}$ .- Número de paneles.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- MACLNNES HUGH, Manual de turbo cargadores, Tomo 5, 1era edición, México, Editorial Prentice Hall, 1994
- ALONSO JOSE MANUEL, Tecnologías avanzadas del automóvil, Tomo 1, 1era edición, Madrid, Editorial Paraninfo, 1997.
- CENGEL YUNUS, Termodinámica, Tomo 2, 2<sup>da</sup> edición, Colombia, Editorial McGraw-Hill, 1998.
- CENGEL YUNUS, Transferencia de Calor, Tomo 2, 3<sup>er</sup>a edición, Colombia, Editorial McGraw-Hill, 1994.
- BELL A.GRAHAM, Forced Induction Performance Tuning, Tomo 1, 1era edición, California, Editorial Haynes Publishing, 2002.
- BELL CORKY, Maximum Boost, Tomo 1, 1era edición, USA, Editorial Bentley Publishers, 1997.
- INCROPERA P. FRANK, Fundamentos de Transferencia de Calor, Tomo 1, 4ta edición, México, Editorial Prentice Hall, 1999
- NORBYE JAN, Manual de sistema de Fuel Injection, Tomo 1, 1era edición, Editorial Prentice Hall, 2000.

- ALONSO JOSE MANUEL, Motores, 2<sup>da</sup> edición, Madrid, Editorial Paraninfo, 1998.

## **REFERENCIAS DE INTERNET**

- Sistemas de interenfriadores de aire – agua.  
[www.frozenboost.com](http://www.frozenboost.com)  
[www.bellintercoolers.com](http://www.bellintercoolers.com)
- Guía de interenfriadores  
[www.autospeed.com](http://www.autospeed.com)
- Guía bombas de agua  
[www.rule-industries.com](http://www.rule-industries.com)