



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

MECÁNICA AERONÁUTICA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

**TEMA: CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MAQUETA DIDÁCTICA PARA DEMOSTRAR EL
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FUEL/OIL COOLER DEL
MOTOR JT8D EN LOS TALLERES DEL ITSA.**

AUTOR: ARIAS JIMÉNEZ LUIS GERMAN

DIRECTOR: TLGO. PROAÑO ALEJANDRO

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

CERTIFICACIÓN

Tlgo. Alejandro Proaño

CERTIFICA

Que el trabajo titulado “Construcción e implementación de una maqueta didáctica para demostrar el funcionamiento del sistema fuel/oil cooler del motor JT8D en los talleres del ITSA.” Realizado por LUIS GERMAN ARIAS JIMÉNEZ con C.I. 0503788077 ha sido revisado y guiado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el reglamento de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de acrobat (PDF).

Autoriza a Luis German Arias Jiménez que lo entregue a la Ing. Lucía Guerrero Rodríguez en calidad de Directora de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.

Latacunga, Marzo 2015

Tlgo. Alejandro Proaño
DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

LUIS GERMAN ARIAS JIMÉNEZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Construcción e implementación de una maqueta didáctica para demostrar el funcionamiento del sistema fuel/oil cooler del motor JT8D en los talleres del ITSA.” Ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de este proyecto de grado en mención.

Latacunga, Marzo 2015

Luis German Arias Jiménez

C.I. 0503788077

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS****AUTORIZACIÓN**

Yo Luis German Arias Jiménez

Autorizo a la Unidad de Gestión de Tecnologías la publicación, en la biblioteca virtual de la institución el trabajo “Construcción e implementación de una maqueta didáctica para demostrar el funcionamiento del sistema fuel/oil cooler del motor JT8D en los talleres del ITSA” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y criterio.

Latacunga, Marzo 2015

Luis German Arias Jiménez

C.I 0503788077

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado explícitamente para mis padres y demás familiares quienes supieron darme su apoyo incondicional.

Muchas gracias a todos de corazón.

Luis Arias Jiménez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre por ser mi brazo de apoyo en todo momento, a mi padre que aunque a la distancia siempre estuvo muy pendiente de mis estudios, también quiero agradecer a tíos, primos, hermanas, amigos y demás personas que estuvieron presentes en esta etapa de mi vida. Gratitudes a mis docentes por ser parte fundamental de este proceso de aprendizaje.

Muchas gracias a todos por ser parte de mi vida.

Luis Arias Jiménez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Certificación	ii
Autoría de responsabilidad	iii
Autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras.....	x
Índice de cuadros	xiii
Índice de tablas.....	xiv
Resumen.....	xv
Summary.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
TEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance.....	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Maqueta.....	4
2.2 Motor JT8D.....	4
2.2.1 Diseño.....	4
2.2.2 Sistema de aceite del motor.....	7
2.2.3 Sistema de combustible	11
2.2.4 Fuel/Oil Cooler	15
2.3 Intercambiadores de calor.....	15
2.3.1 Tipos de intercambiadores de calor según su construcción.....	16

2.3.2 Tipos de intercambiadores de calor según su operación.....	19
2.4 Bombas de aceite y combustible.....	23
2.4.1 Bombas de aceite.....	23
2.4.2 Bombas de combustible eléctricas.....	25
2.5 Resistencia eléctrica de inmersión tipo tubular.....	26
2.6 Termómetro digital con sonda.....	27
2.7 Fuente de poder de una PC.....	27
2.7.1 Tipos de fuente de poder.....	28
2.8 Micro motor eléctrico con caja de reducción.....	30
2.9 Reducción bushing.....	31
2.10 Acoples de compresión para termocuplas.....	31
2.11 Serpentin.....	32
2.12 Ventilador.....	33
2.12.1 Tipos de ventiladores.....	33
2.13 Caja de control.....	34
2.13.1 Breaker.....	34
2.13.2 Relé.....	35
2.13.3 Bornera.....	36
2.13.4 Fusibles.....	37
2.13.5 Luz piloto.....	37
CAPÍTULO III.....	38
DESARROLLO DEL TEMA.....	38
3.1 Preliminares.....	38
3.2 Diseño del intercambiador de calor.....	38
3.2.1 Diseño de intercambiador de coraza y tubo.....	39
3.2.2 Diseño de intercambiador de coraza y doble serpentin.....	44
3.3 Diseño de los reservorios de aceite y combustible.....	51
3.3.1 Diseño del reservorio de aceite.....	51
3.3.2 Diseño del reservorio de combustible.....	55
3.4 Material utilizado en las cañerías.....	57
3.5 Proceso de construcción de la maqueta y ensamblaje.....	58

3.5.1	Diseño de la maqueta.....	58
3.5.2	Materiales seleccionados para la maqueta	59
3.5.3	Partes adicionales complemento de la maqueta.....	62
3.5.4	Proceso de pintura del cowling del motor, perfil alar y pylon	63
3.5.5	Ensamblaje de la maqueta.....	65
3.6	Pruebas operacionales del intercambiador de calor.....	68
3.6.1	Pruebas operacionales (Intercambiador de coraza y tubo).....	69
3.6.2	Pruebas operacionales (Intercambiador de coraza y doble serpentín)..	76
3.7	Caja de control.....	81
3.7.1	Diseño de la caja de control.....	81
3.7.2	Construcción de la caja de control	82
3.8	Acabados finales.....	84
3.9	Costo total del proyecto de grado.....	84
CAPÍTULO IV.....		87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		87
4.1	Conclusiones.....	87
4.2	Recomendaciones.....	89
Referencias bibliográficas.....		91
Anexos.....		92
		91

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Motor JT8D	7
Figura 2.2 Componentes del sistema de lubricación	8
Figura 2.3 Sistema de aceite	10
Figura 2.4 Componentes del sistema de combustible	12
Figura 2.5 Indicadores del fuel/heat.....	13
Figura 2.6 Sistema de combustible.....	14
Figura 2.7 Fuel/ oil cooler	15
Figura 2.8 Intercambiador de calor de carcaza y tubos.	17
Figura 2.9 Intercambiador de calor de tipo plato.....	18
Figura 2.10 Intercambiador tipo carcaza y serpentín.....	19
Figura 2.11 Intercambiador de calor de flujo paralelo	20
Figura 2.12 Flujo en contracorriente	21
Figura 2.13 Flujo cruzado	22
Figura 2.14 Bomba a engranajes.....	23
Figura 2.15 Bombas lobulares	24
Figura 2.16 Bombas a engranajes internos	25
Figura 2.17 Bomba eléctrica de combustible	26
Figura 2.18 Resistencia eléctrica de inmersión tipo tubular	26
Figura 2.19 Termómetro digital con sonda	27
Figura 2.20 Fuente de poder ATX.....	28
Figura 2.21 Cables de voltaje de la fuente de alimentación AT	29
Figura 2.22 Cables de voltaje de la fuente de alimentación ATX.....	30
Figura 2.23 Micro motor eléctrico con caja de reducción.....	30
Figura 2.24 Reducción bushing	31
Figura 2.25 Acoples de compresión para termocúplas	31
Figura 2.26 Serpentín de cobre utilizado para enfriamiento de agua.....	32
Figura 2.27 Ventiladores centrífugos	33
Figura 2.28 Ventilador axial	34

Figura 2.29 Breaker	35
Figura 2.30 Relé	36
Figura 2.31 Borneras	36
Figura 2.32 Fusible	37
Figura 2.33 Luz piloto	37

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Partes del intercambiador de calor de coraza y tubo	39
Figura 3.2 Construcción del intercambiador de calor (coraza y tubo)	43
Figura 3.3 Acabado final del intercambiador de calor	44
Figura 3.4 Intercambiador de calor de coraza y doble serpentín	45
Figura 3.5 Factor de corrección (1 paso por la coraza y 2 pasos por los tubos)	47
Figura 3. 6 Partes del intercambiador de calor de coraza y doble serpentín	50
Figura 3.7 Intercambiador de calor de coraza y doble serpentín terminado	51
Figura 3.8 Diseño del reservorio de aceite	52
Figura 3.9 Reservorio de aceite	53
Figura 3.10 Diseño del reservorio de combustible	55
Figura 3.11 Reservorio de combustible	56
Figura 3.12 Tubería de cobre de 1/2"	58
Figura 3.13 Vista lateral de la maqueta	59
Figura 3.14 Proceso de corte y suelda del esqueleto de la maqueta.....	60
Figura 3.15 Proceso de pulido y limpieza del esqueleto de la maqueta	60
Figura 3.16 Proceso de pintura en el esqueleto de maqueta.....	61
Figura 3.17 Proceso de corte, medida e instalación de la plancha MDF	61
Figura 3.18 Proceso de pegado del papel contac en la maqueta	62
Figura 3.19 Cowling de motor y perfil alar	63
Figura 3.20 Proceso de masillado y lijado	64
Figura 3.21 Proceso de sellado y fondo del cowling	64
Figura 3.22 Acabado final de pintura del cowling del motor y pylon	65
Figura 3.23 Acabado final del perfil alar	65
Figura 3.24 Ensamble de la maqueta	66
Figura 3.25 Instalación de reservorios, serpentín y bombas.....	67

Figura 3.26 Instalación de uniones tipo T, bushings y acoples de compresión	67
Figura 3.27 Instalación del fuel/oil cooler y termómetros	68
Figura 3.28 Instalación interina del sistema fuel/oil cooler	69
Figura 3.29 Fugas encontradas en el intercambiador	75
Figura 3.30 Instalación de los accesorios para pruebas operacionales	77
Figura 3.31 Diseño eléctrico de la caja de control	81
Figura 3.32 Caja de control	83
Figura 3.33 Instalación de la caja de control	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1 Características generales del Motor JT8D	5
Cuadro 2. 2 Datos operacionales del motor JT8D	7
Cuadro 2. 3 Presión de combustible	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Conductividad térmica de diversos materiales en $W/(K \cdot m)$	42
Tabla 3.2 Área del intercambiador de calor	49
Tabla 3.3 Prueba operacional N° 01	70
Tabla 3.4 Prueba operacional N° 02.....	72
Tabla 3.5 Prueba operacional N°03.....	74
Tabla 3.6 Prueba operacional N° 04.....	77
Tabla 3.7 Prueba operacional N°05.....	79
Tabla 3.8 Gastos primarios del proyecto.	84
Tabla 3.9 Gastos secundarios del proyecto.....	86

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo implementar una maqueta didáctica que simule el funcionamiento del sistema **fuel/oil cooler** del motor JT8D, dicho en otras palabras viene a ser un **intercambiador de calor** entre el cruce de los fluidos a diferentes temperaturas de combustible y aceite, dicha maqueta cuenta con **sensores e indicadores de temperatura** a las entradas y salidas del intercambiador para poder monitorear la **variación de temperatura** entre los dos fluidos. Dado que las condiciones de operación indican el aceite a altas temperaturas y el combustible a bajas temperaturas se debe precalentar el aceite mediante una resistencia eléctrica antes de empezar a circular los fluidos, lo contrario sucede con el combustible ya que al ser un sistema cerrado este fluido tiende a ganar calor y temperatura después de circular por el intercambiador por lo tanto se instaló un serpentín a la salida del intercambiador para ayudar a enfriar este fluido acompañado de un ventilador, para que posteriormente recircule por el sistema. El **intercambiador** usado para simular el sistema **fuel/oil cooler** es de tipo **coraza y doble serpentín** ya que nos brinda un mayor intercambio de temperatura, cosa que no sucedió con el **intercambiador** de tubo y coraza. El presente trabajo cuenta también con una caja de control para facilitar la operación y monitoreo del sistema **fuel/oil cooler**, el cual controla la resistencia eléctrica, los indicadores digitales de temperatura, las bombas tanto de aceite como también de combustible y el ventilador. La diferencia de temperaturas obtenida en la simulación de este sistema es óptima para poder apreciar la función que cumple el **fuel/oil cooler**.

PALABRAS CLAVES:

- Fuel/oil cooler
- Intercambiador de calor
- Sensores e indicadores de temperatura
- Variación de temperatura
- Coraza y doble serpentín

SUMMARY

This research work aims to implement an educational model that simulates the operation of the fuel / oil cooler JT8D engine system, in other words becomes a heat exchanger between the junction of fluids at different temperatures between fuel and oil, this model has sensors and temperature indicators for inputs and outputs exchanger to monitor the temperature variation between the two fluids. Since operating conditions indicate the high temperature oil and fuel at low temperatures should be preheated oil through electrical resistance before start circulating fluids, the opposite happens with the fuel as being a closed system this fluid tends to gain heat and temperature after flowing through the heat exchanger thus a coil exchanger outlet was installed to help cool this fluid accompanied by a fan, so then recirculated through the system. The exchanger used to simulate the fuel / oil cooler system is of type shell and double coil as it gives us a greater exchange of temperature, which did not happen with shell and tube exchanger. This work also has a control box for easy operation and monitoring of fuel / oil cooler system, which controls the electrical resistance, digital temperature indicators, both oil pumps as fuel and fan. The temperature difference obtained in the simulation of this system is optimal to appreciate the role of the fuel / oil cooler.

KEYWORDS:

- Fuel / oil cooler
- Heat exchanger
- Temperature sensors and indicators
- Temperature variation
- Shell and double coil

CAPÍTULO I

TEMA

“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA DIDÁCTICA PARA DEMOSTRAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FUEL/OIL COOLER DEL MOTOR JT8D EN LOS TALLERES DEL ITSA”

1.1 Antecedentes

Previa la construcción de la maqueta didáctica para la simulación del SISTEMA FUEL/OIL COOLER DEL MOTOR JT8D, se realizó un estudio de factibilidad de construcción de la misma.

Partiendo del análisis de la situación actual de los talleres de mecánica de la UGT y la disponibilidad del material didáctico en los talleres, en base a la utilización de herramientas de investigación como la observación, entrevista y encuesta, así se pudo determinar necesidades de los docentes de materias técnicas como la de los estudiantes de la carrera de MECÁNICA AERONÁUTICA, los cuales coinciden en la implementación de equipos y herramientas didácticos en los talleres y por ende la necesidad específica de adquirir una maqueta la cual simule el funcionamiento y operación del sistema fuel/oil cooler del motor JT8D para de esta manera mejorar el desarrollo de las prácticas en los estudiantes y lograr un aprendizaje significativo en los estudiantes de la carrera anteriormente mencionada, para ello se recopiló información como:

- Proyectos anteriormente realizados
- Información relevante del internet
- Documentación técnica (AMM)

Todos estos enfocados al tema de investigación con el objetivo de ayudar en el inter-aprendizaje del funcionamiento y operatividad del sistema, unidades y componentes.

1.2 Justificación e Importancia

Al no contar en los talleres de la Carrera de Mecánica Aeronáutica con una maqueta didáctica que simule el funcionamiento y operación del sistema fuel/oil cooler del motor JT8D, los cuales son muy comunes en diferentes aeronaves del parque aeronáutico de aviación comercial de nuestro país.

Los conocimientos impartidos sobre este sistema se realiza de forma teórica más no práctica, pudiendo los estudiantes presentar dificultades y confusiones al momento de adquirir conocimientos sobre el funcionamiento y operación de dicho sistema.

El funcionamiento y operación del sistema fuel/oil cooler de este motor como del resto de motores a reacción es realmente importante ya que permite tener un control térmico entre los dos fluidos como son el combustible y el aceite, además permite mejorar el rendimiento de dichos fluidos.

Por tal razón es importante adquirir conocimientos sobre dicho sistema de una forma práctica, visualizando de una manera didáctica el funcionamiento del sistema y todo lo que engloba en una maqueta desde cuando inician a operar los motores hasta cuando se apagan los mismos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Construir una maqueta didáctica que simule la operación y funcionamiento del sistema fuel/oil cooler del motor JT8D, para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en docentes y estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica necesaria sobre el sistema fuel/oil cooler del motor JT8D para la construcción de la maqueta.
- Diseñar la simulación del funcionamiento del sistema fuel/oil cooler.
- Instalar sensores de temperatura en las entradas y salidas del intercambiador de calor para determinar la variación de temperatura entre los dos fluidos.
- Verificar la variación de temperaturas a las entradas y salidas del intercambiador.
- Realizar pruebas operacionales para comprobar su correcto funcionamiento.
- Elaborar los manuales de mantenimiento y operación.

1.4 Alcance

Como beneficiario directo del presente trabajo será la Unidad de Gestión de Tecnologías, implementando materiales de ayuda didáctica en los talleres de la Carrera de Mecánica, para la mejora y enriquecimiento de los conocimientos referentes a sistemas del motor en los estudiantes de la carrera anteriormente mencionada e implementando métodos de enseñanza a los docentes.

De igual manera pueden hacer uso del presente trabajo todas aquellas personas que se interesen en el tema, siempre y cuando lo utilicen con la finalidad de cumplir con el objetivo para el cual fue creado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Maqueta

Una maqueta es un montaje funcional, a menor o mayor "escala", con materiales pensados para resaltar, en su funcionalidad, la atención de aquello que, en su escala real, presentará como innovación o resaltará la funcionalidad de algún sistema específico.

2.2 Motor JT8D

El Pratt & Whitney JT8D es un motor a reacción turbo fan de baja relación de flujo (0.96 a 1), introducido por Pratt & Whitney en febrero de 1964 con el vuelo inaugural del Boeing 727. Fue una modificación del motor Pratt & Whitney J52 turbo jet.

2.2.1 Diseño

El JT8D es un motor turbo fan de flujo axial frontal que incorpora un diseño de doble eje. Tiene dos ensambles de rotación independiente coaxialmente conectados: Un ensamble de rotación para el compresor de baja presión (LPC) que abarca las primeras seis etapas (seis pares de palas rotativas y estatores, incluyendo las dos primeras etapas que comprenden el ventilador frontal); y un segundo ensamble rotativo para la sección del compresor de alta presión (HPC) que comprende siete etapas.

El compresor de alta presión está conectado a la primera turbina delantera, que tiene una sola etapa. El ventilador (fan) frontal tiene dos etapas. El ducto anular de descarga para el ventilador recorre todo el motor, permitiendo que el aire que pasa por el ventilador salga junto a los gases de combustión por la misma tobera. Este aparejo permite cierta atenuación del ruido, en la medida en que los gases de combustión calientes de alta velocidad se compriman dentro

del flujo de aire relativamente frío y de movimiento más lento proveniente del ventilador frontal.

A pesar de que los niveles de sonoridad del JT8D son significativamente menores en comparación a modelos previos de motores no turboventiladores (turbo jets), el hecho de que funcione con un ventilador de ciclo bajo de flujo implica que siguen presentando altos niveles de ruido.

El motor tiene seis secciones generales, la sección de entrada de aire, la sección del compresor, la sección de combustión, la sección de la turbina y de escape, la caja de accesorios (Caja de engranes) y la sección de descarga del fan.

Cuadro 2.1

Características generales del Motor JT8D

J	Motor Jet
T	Turbo fan
8	Ducto del fan
D	Dry (seco, sin inyección de agua ni algún otro aditivo)
Tipo de cámara de combustión	Can-anular
N° de cámaras de combustión	9 / Bujías en la 4 y 7
Longitud	120.0 in / 3048mm - 154.1in / 3914mm
Diámetro	49.2 in / 1250mm
Compresor	Flujo axial de 13 etapas: 6 etapas (LPC) y 7 etapas del (HPC)
Turbina	4 etapas: 1 etapa de (HPC) y 3 de (LPC)
Relación de compresión	16:1
Empuje aproximado	12000-21000 lbf (Según el modelo)

La totalidad de aire que entra a través de las dos primeras etapas del compresor de baja, al momento que deja la segunda etapa de N1 es forzado a dividirse en dos flujos: primario y secundario.

Flujo Secundario: Es comprimido por el fan y dirigido alrededor del motor (bypass) fluyendo hacia atrás en donde es descargado hacia la atmósfera. El movimiento de esta masa de aire produce un incremento en el empuje, ayudando al enfriamiento del motor, y disminuye el ruido del escape.

Flujo Primario: Es progresivamente comprimido por las restantes etapas del compresor de baja, y luego al compresor de alta.

El flujo de masa primaria desde la última etapa de N2 fluye a los difusores. En donde el aire es enderezado, su velocidad aumentada y su presión disminuida antes de entrar a la sección de combustión donde el aire es acelerado por acción de la combustión de los gases expandidos junto con el combustible y la ignición. (Energía térmica).

Los gases calientes que salen de las cámaras de combustión pasan a través de las turbinas y decrecen su velocidad y temperatura; por cuanto esta energía que es cinética de movimiento es absorbida por la turbina que lo transforma en energía mecánica de movimiento rotativo para ir a los compresores y operar los accesorios.

Una vez que el flujo primario deja las turbinas se descargan en la sección de escape en donde se junta con el flujo secundario para salir por la jet pipe acelerados.

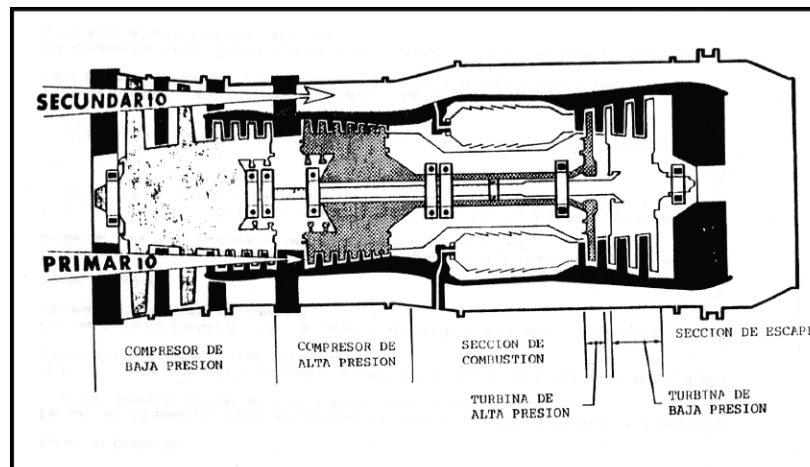


Figura 2.1 Motor JT8D

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

2.2.2 Sistema de aceite del motor

Propósito: Lubricar y enfriar a las cavidades de los bearings y la gear box, a su vez proporciona una fina película de aceite a las superficies de fricción para evitarla y enviar una presión adecuada.

Cuadro 2.2

Datos operacionales del motor JT8D

Presión mínima	40 psig
Presión máxima	55 psig
Temperatura máxima	130°C
Flujo de aceite hacia los bearings	5-6 lb/m
Rendimiento de la bomba	35 gal/min
Capacidad del tanque	total 6.3 gal usable 4 gal , cap. expansión 1.3 gal
Presión de respiradero	Max 8.5" Hg
Tipo de bearings	Rodillos 1, 4 ¹ , 5 y 6 Bolas 2, 3 y 4

- **Secuencia del flujo de aceite a presión**

Del tanque a la bomba, de ahí pasa al filtro principal, donde se toma una línea para la válvula reguladora, si el filtro se obstruye cuenta con bypass de ahí pasa al fuel/oil cooler y de ahí a las toberas de descarga, pasando por filtros de última oportunidad.

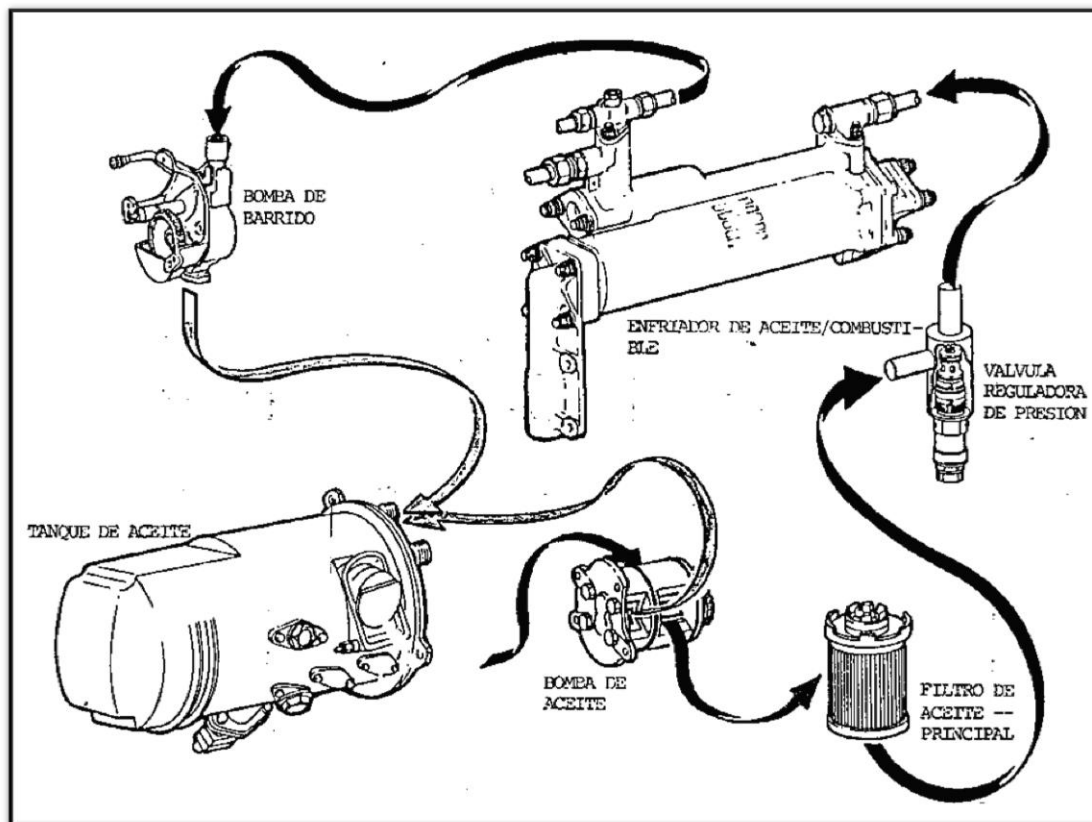


Figura 2.2 Componentes del sistema de lubricación

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

- **Los subsistemas son:**

Sistema de presión: Una bomba lubrica a presión las cavidades de los bearings y a la gear box.

El aceite fluye por gravedad desde el tanque de aceite hacia la bomba de aceite localizada dentro de la gear box. Esta mantiene la presión (45 ± 5 PSI en IDLE) a través del filtro de aceite localizado debajo de la bomba. Entre la entrada y salida del filtro principal de aceite se encuentra la válvula bypass que permite la libre circulación del aceite en caso que el filtro principal se obstruyese (CLOGED) circulando el aceite sin filtrarse al sistema.

Además si esto ocurriese un interruptor de presión diferencial del filtro (oil filter bypass switch) hará que se encienda una luz ambar en P2 esta luz también puede indicar una situación de baja presión de aceite (low oil pressure).

Sistema de scavenge: Cuatro scavenge pump recuperan el aceite de las cavidades de los bearings y la gear box al tanque de aceite. La scavenge pump de los bearings 1 y 6 son impulsados por N1.

Una doble scavenge impulsada por N2 de los bearings 4, 4 ½ y 5. El aceite de los bearings 2 y 3 se drenan por gravedad hacia la gear box y con el aceite de la gear box se envía al tanque por medio de una scavenge.

Sistema breather: Este sistema conecta las cavidades de los bearings, accesorios de la gear box y el tanque de aceite con un desaceitador tipo centrífugo.

Gotas de aceite y vapor son removidos del sistema breather por un separador centrífugo localizado en la gear box después pasa por una unidad separadora y libera el aceite del aire que luego es expulsado por un ducto de ventilación al exterior evitando de esta manera una sobre presurización en el sistema.

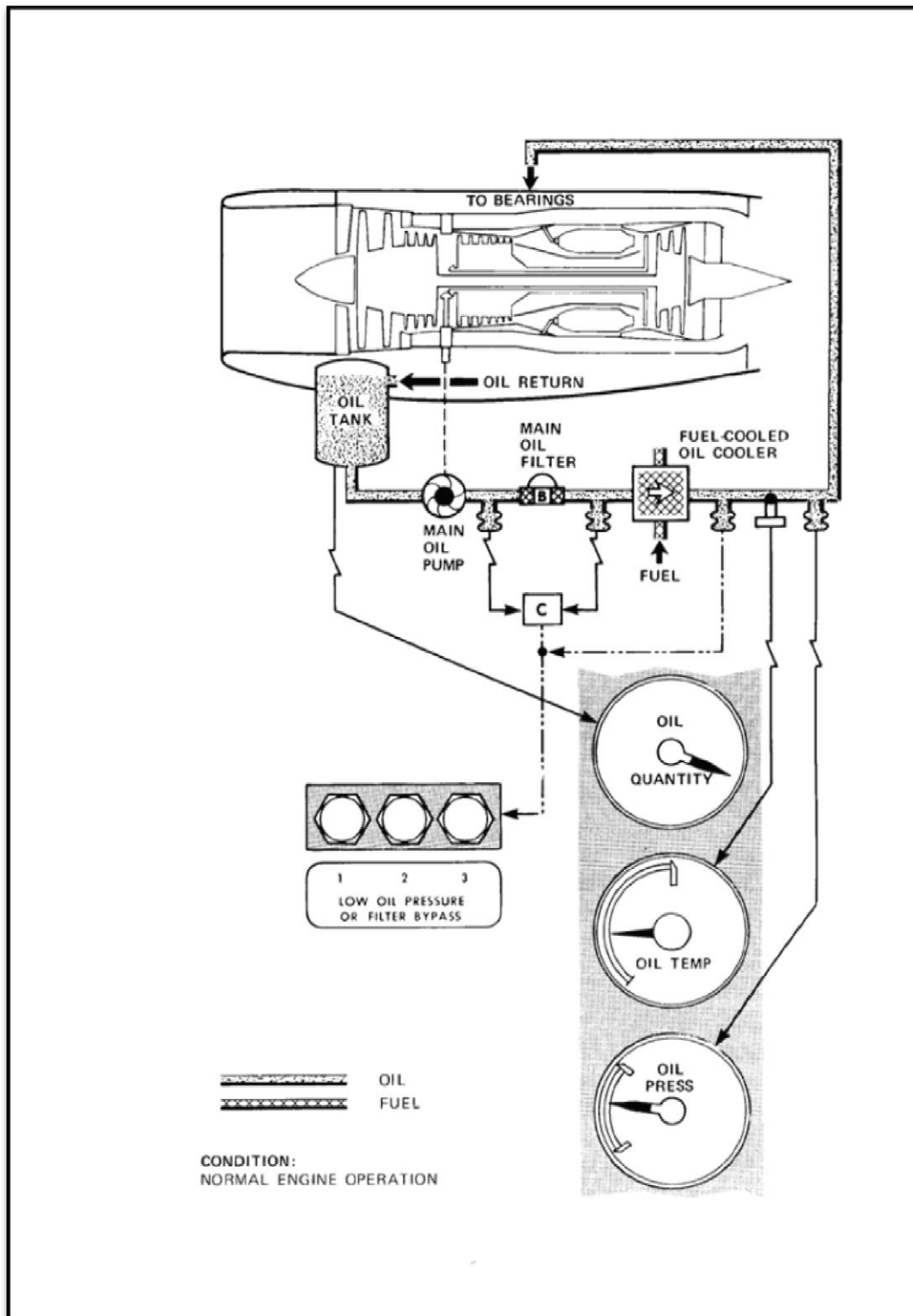


Figura 2.3 Sistema de aceite

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

2.2.3 Sistema de combustible

La unidad de control de combustible FCU mide el combustible hacia la sección de combustión. El flujo de combustible es gobernado por la thrust-lever y es modificado por el sistema computarizado que detecta y combina la presión, temperatura, y RPM del motor para controlar la salida del sistema de medición.

Posicionando la palanca de arranque en posición CUTOFF invalida la apertura del switch de corte de combustible del motor y cierra la válvula de paso de combustible al motor respectivo. Siempre que el switch de fire en el motor está en la posición apagado (normal) y el switch de corte de combustible del motor este posicionado en OPEN, luego posicionando la palanca de arranque a IDLE abre la válvula.

Cuadro 2.3

Presión de combustible

Presión mínima de entrada	5 psi
Presión a la salida de la 1° etapa	10 - 60 psi
Presión a la salida de la 2° etapa	150 - 900 psi
Presión del calentador	15 - 20 psid
Presión del filtro	8 - 10 psid
Presión dif. del filtro	4.4 - 5.8 psid

- **Secuencia de flujo**

El combustible entra a la bomba con una presión entre 5 y 50 psi y es conducida a la etapa centrífuga, donde la presión se eleva de 10 a 60 psi, en el despegue esta es de 55 a 65 psi. A la salida el combustible es enviada al

calentador, regresa a la etapa de engranes de la bomba donde la presión se eleva entre 150 a 900 psi, donde es enviada al FCU, de aquí al trasmisor de flujo (F/F), pasa por el cambiador de calor (aceite – combustible) y de aquí a la válvula de presurización y descarga y de aquí a los atomizadores.

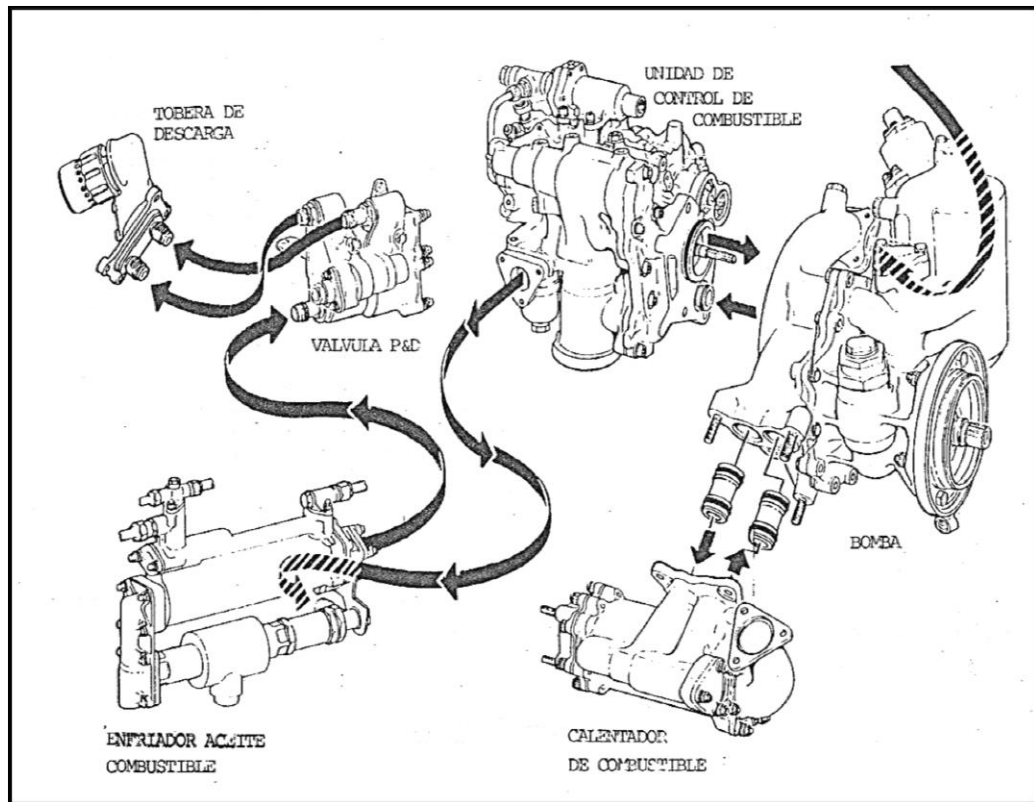


Figura 2.4 Componentes del sistema de combustible

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

- **Fuel heat**

Cuando la temperatura del combustible está por debajo de los 0 ° C, suelen formarse cristales de hielo que se acumulan en la superficie del elemento de filtro que causa una caída de presión a través del mismo. Al llegar a una diferencia de presión predeterminada a través del filtro, el switch de presión diferencial activa una luz de aviso de formación de hielo del combustible.

El fuel heat está localizado entre la primera y la segunda etapa de las bombas de combustible accionadas por el motor. Cuando se utiliza el fuel heat, el aire sangrado pasa por el heater calentando el combustible.

El combustible caliente resultante derrite cualquier formación de hielo dentro del filtro haciendo que la luz de la formación de hielo del combustible se apague, como la caída de presión a través del filtro desaparezca. En el caso de que el filtro se tapa con un contaminante sólido, se enciende la luz de formación de hielo combustible y permanece iluminada.

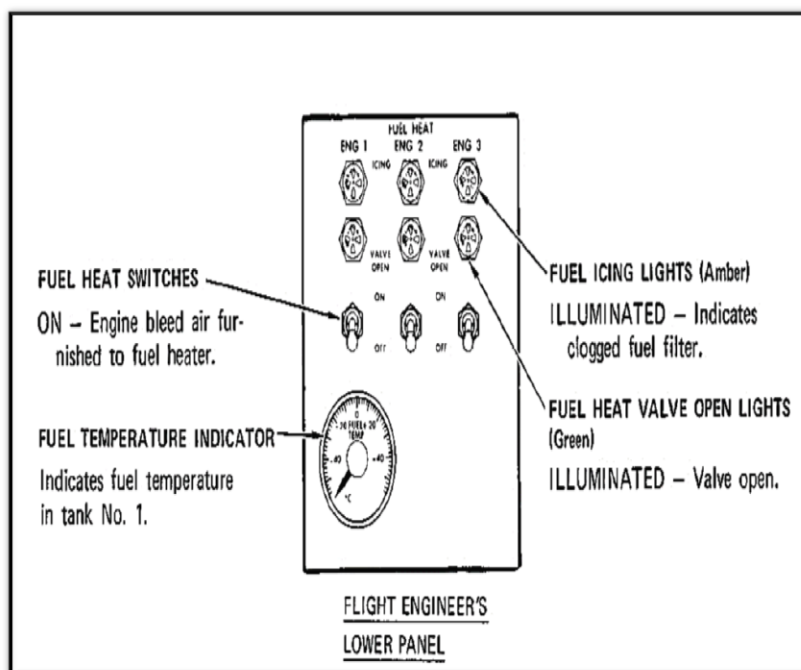


Figura 2.5 Indicadores del fuel/heat

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

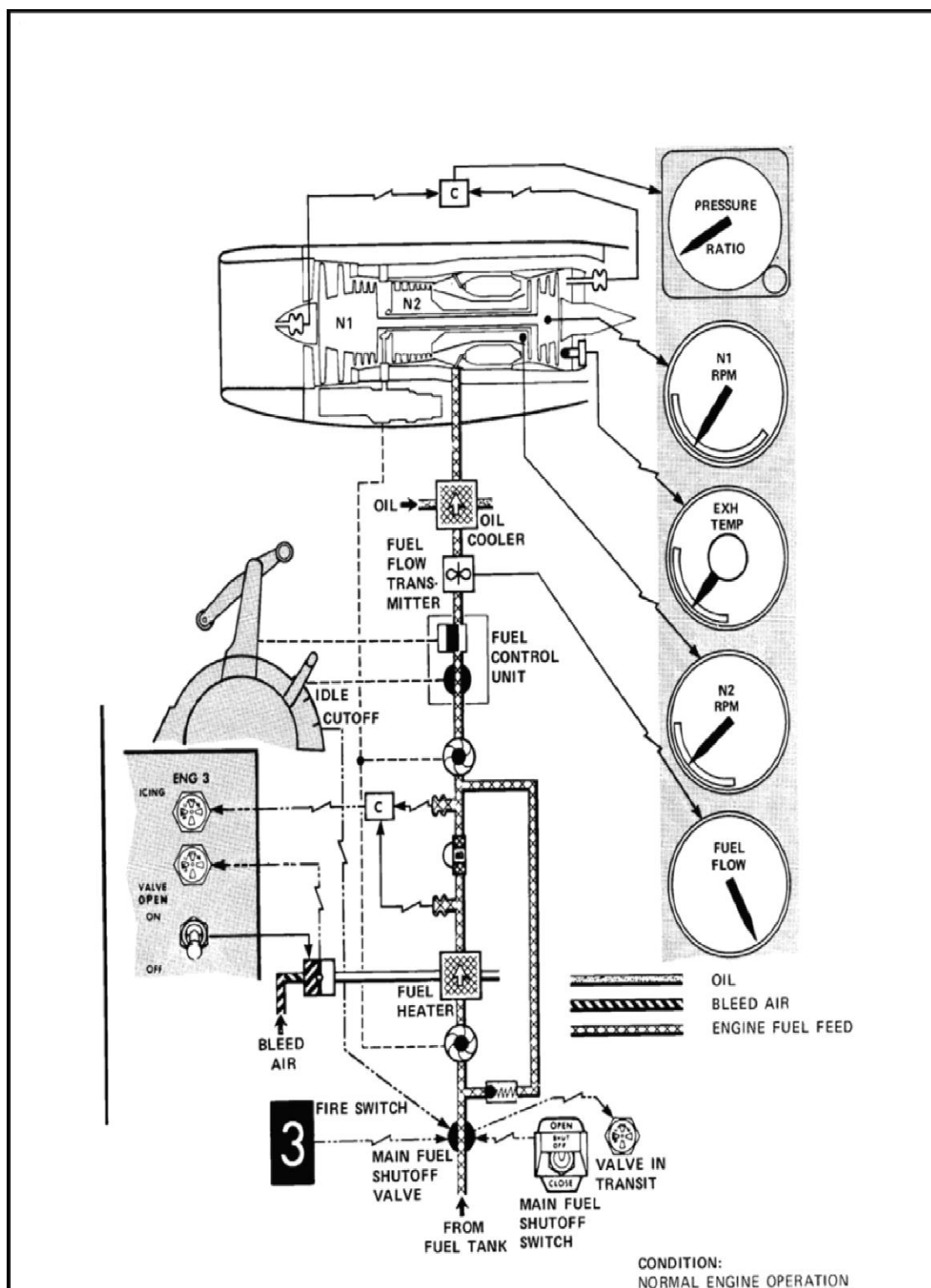


Figura 2.6 Sistema de combustible

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

2.2.4 Fuel/Oil Cooler

Este componente es típico del sistema de combustible del turbo fan es el cambiador de calor aceite-combustible. El combustible fluye directamente a través de los tubos en el cambiador y el aceite del motor fluye alrededor de los tubos. El calor del aceite calienta al combustible y este enfría al aceite.

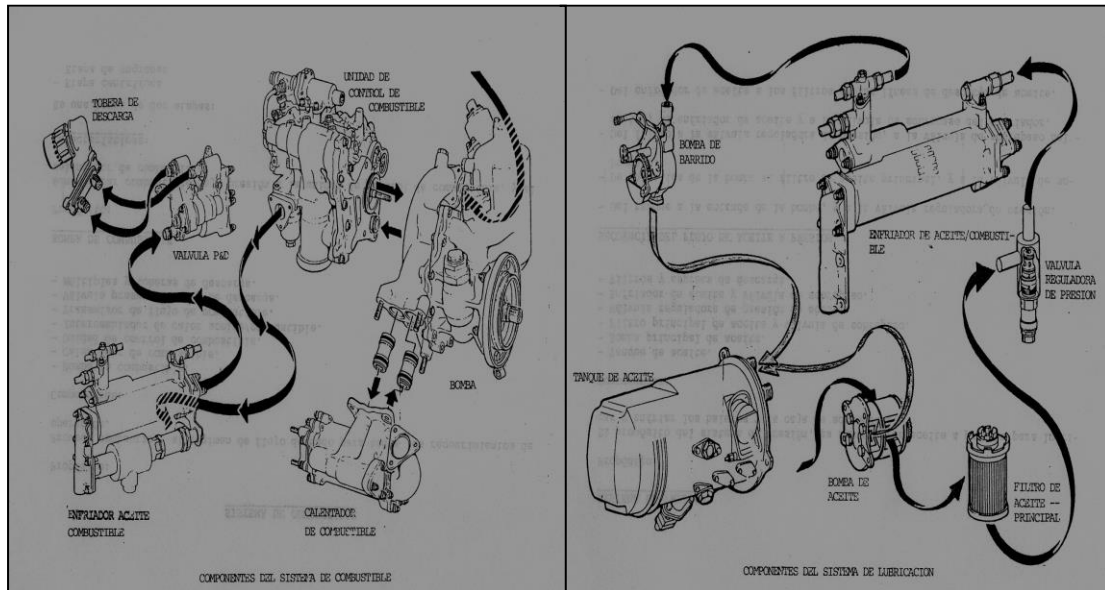


Figura 2.7 Fuel/ oil cooler

Fuente: http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html

2.3 Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.

- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan.

2.3.1 Tipos de intercambiadores de calor según su construcción

Si bien los intercambiadores de calor se presentan en una inimaginable variedad de formas y tamaños, la construcción de los intercambiadores está incluida en alguna de las dos siguientes categorías: carcaza y tubo o plato.

Como en cualquier dispositivo mecánico, cada uno de estos presenta ventajas y desventajas en su aplicación.

- **Intercambiador de tipo coraza y tubo**

La construcción más básica y común de los intercambiadores de calor es el de tipo tubo y carcaza que se muestra en la figura (2.8).

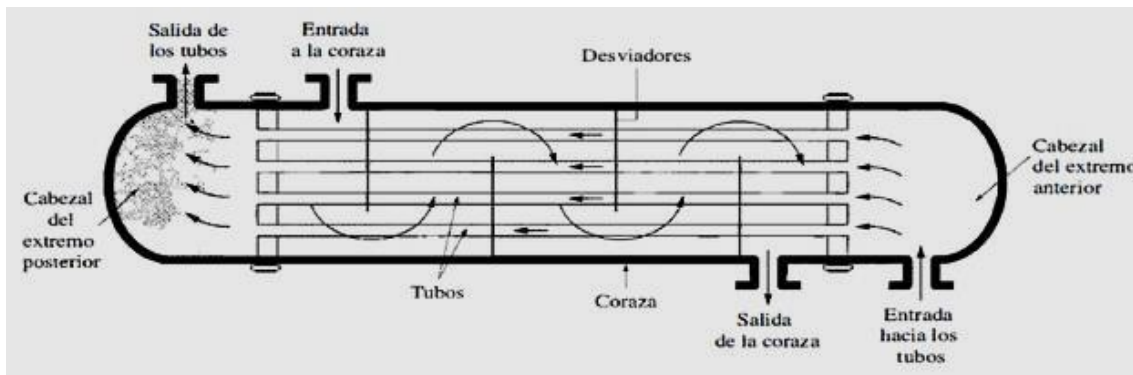


Figura 2.8 Intercambiador de calor de carcaza y tubos.

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcaza. El flujo de fluido dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcaza o fluido externo. En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcaza por la(s) placa(s) del tubo. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la cáscara. Esto es debido a los costos en materiales, los tubos del intercambiador de calor se pueden fabricar para soportar presiones más altas que la cáscara del cambiador con un costo mucho más bajo. Las placas de soporte (support plates) mostradas en figura (2.8) también actúan como baffles para dirigir el flujo del líquido dentro de la cáscara hacia adelante y hacia atrás a través de los tubos.

- **Intercambiador tipo Plato**

El intercambiador de calor de tipo plato, como se muestra en la figura (2.9), consiste de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío. Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada uno de las placas y los baffles dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas

tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcasa y tubos con volumen semejante, esto es debido a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos. El intercambiador de calor de plato, debido a la alta eficacia en la transferencia de calor, es mucho más pequeño que el de carcasa y tubos para la misma capacidad de intercambio de calor.

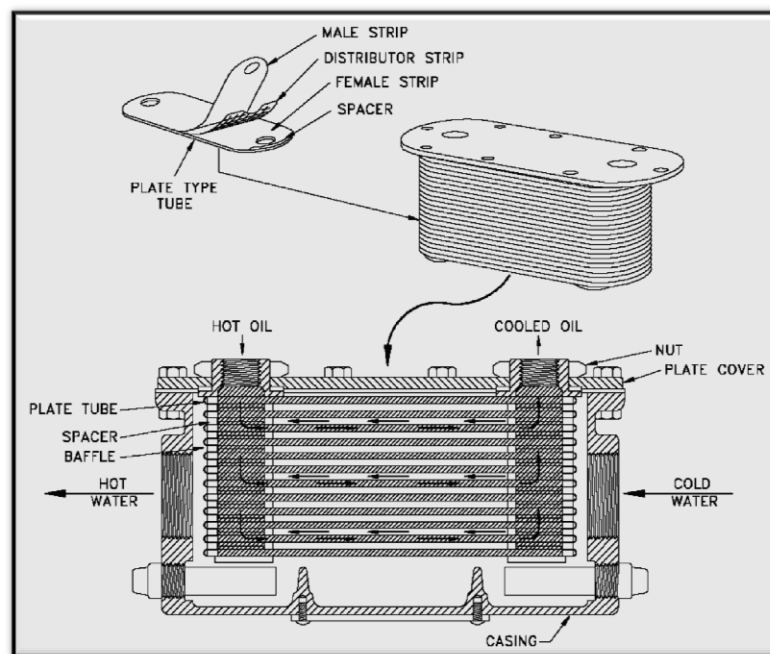


Figura 2.9 Intercambiador de calor de tipo plato.

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

Sin embargo, el tipo de intercambiadores de placa no se utiliza extensamente debido a la inhabilidad de sellar confiablemente las juntas entre cada una de las placas. Debido a este problema, el tipo intercambiador de la placa se ha utilizado solamente para aplicaciones donde la presión es pequeña o no muy alta, por ejemplo en los refrigeradores de aceite para máquinas. Actualmente se cuentan importantes avances que han mejorado el diseño de las juntas y sellos,

así como el diseño total del intercambiador de placa, esto ha permitido algunos usos a gran escala de este tipo de intercambiador de calor. Así, es más común que cuando se renuevan viejas instalaciones o se construyen nuevas instalaciones el intercambiador de la placa está substituyendo paulatinamente a los intercambiadores de carcaza y tubo.

- **Intercambiador tipo carcaza y serpentín**

Este intercambiador está formado por uno o varios serpentines de tubo desnudo o aleteado sumergidos dentro de la coraza por los que circula el fluido de menor temperatura y una carcaza de acero por la que circula el fluido de mayor temperatura.

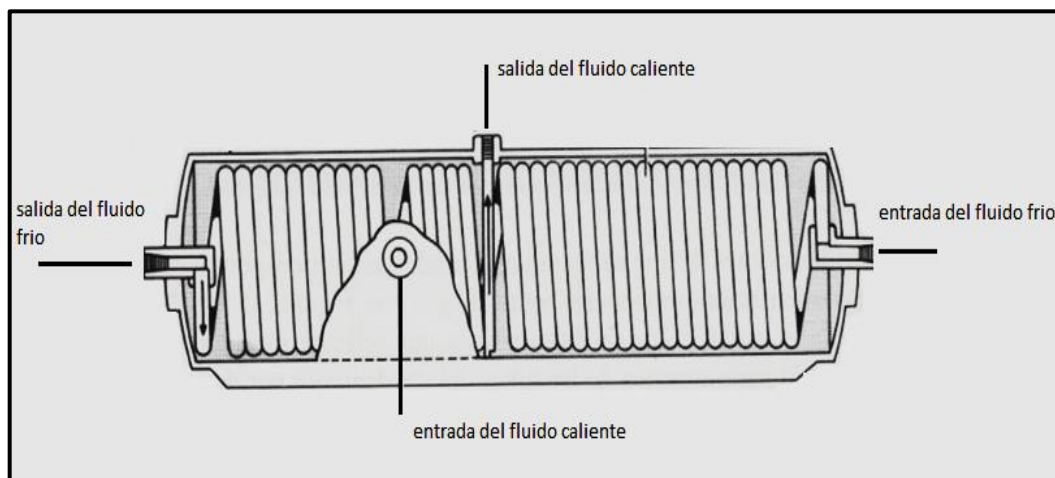


Figura 2.10 Intercambiador tipo carcaza y serpentín

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

2.3.2 Tipos de intercambiadores de calor según su operación

Ya que los intercambiadores de calor se presentan en muchas formas, tamaños, materiales de manufactura y modelos, estos son categorizados de acuerdo con características comunes. Una de las características comunes que

se puede emplear es la dirección relativa que existe entre los dos flujos de fluido. Las tres categorías son: Flujo paralelo, Contraflujo y Flujo cruzado.

- **Flujo paralelo**

Como se ilustra en la figura (2.11), existe un flujo paralelo cuando el flujo interno o de los tubos y el flujo externo o de la carcaza ambos fluyen en la misma dirección. En este caso, los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa.

Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos.

Debe quedar claro que el fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente.

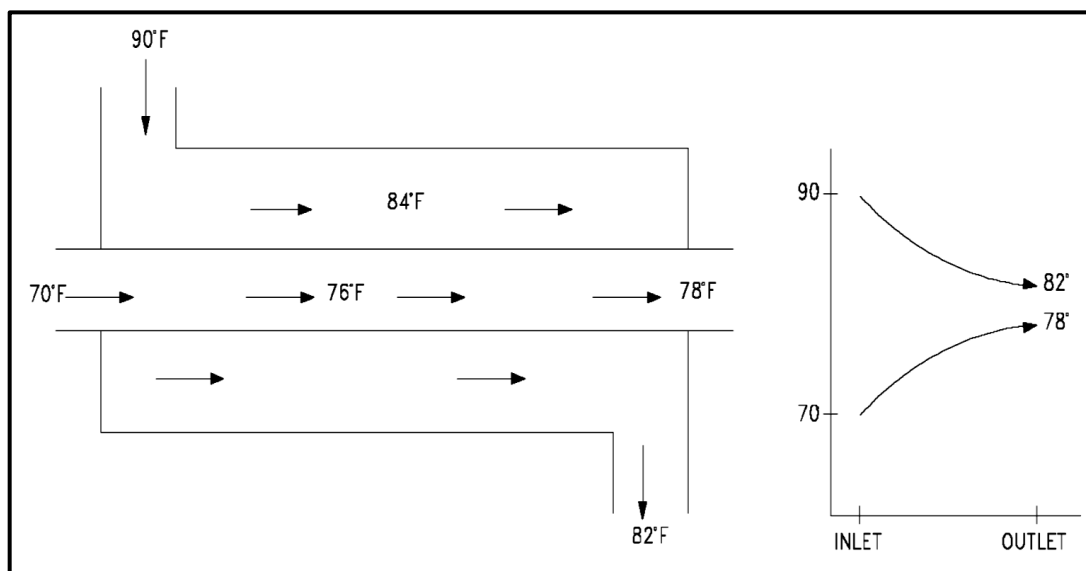


Figura 2.11 Intercambiador de calor de flujo paralelo

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

- **Contraflujo**

Como se ilustra en la figura (2.12), se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos ya que el fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada.

Este tipo de intercambiador resulta ser más eficiente que los otros dos tipos mencionados anteriormente. En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo, el intercambiador de contraflujo puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador.

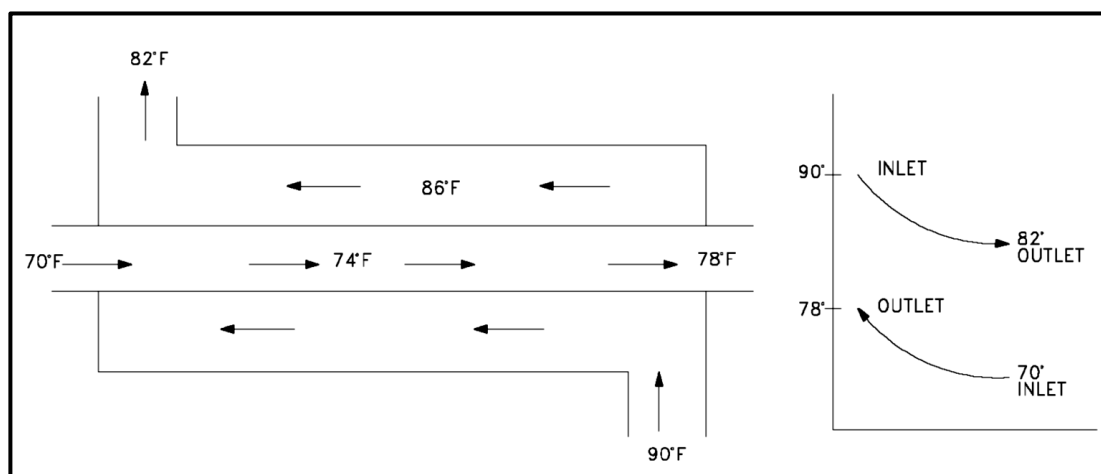


Figura 2.12 Flujo en contracorriente

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

- **Flujo cruzado**

En la figura (2.13) se muestra como en el intercambiador de calor de flujo cruzado uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido, esto es,

uno de los fluidos pasa a través de tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos formando un ángulo de 90° . Los intercambiadores de flujo cruzado son comúnmente usados donde uno de los fluidos presenta cambio de fase y por tanto se tiene un fluido pasado por el intercambiador en dos fases bifásico.

Un ejemplo típico de este tipo de intercambiador es en los sistemas de condensación de vapor, donde el vapor exhausto que sale de una turbina entra como flujo externo a la carcasa del condensador y el agua fría que fluye por los tubos absorbe el calor del vapor y éste se condensa y forma agua líquida. Se pueden condensar grandes volúmenes de vapor de agua al utilizar este tipo de intercambiador de calor.

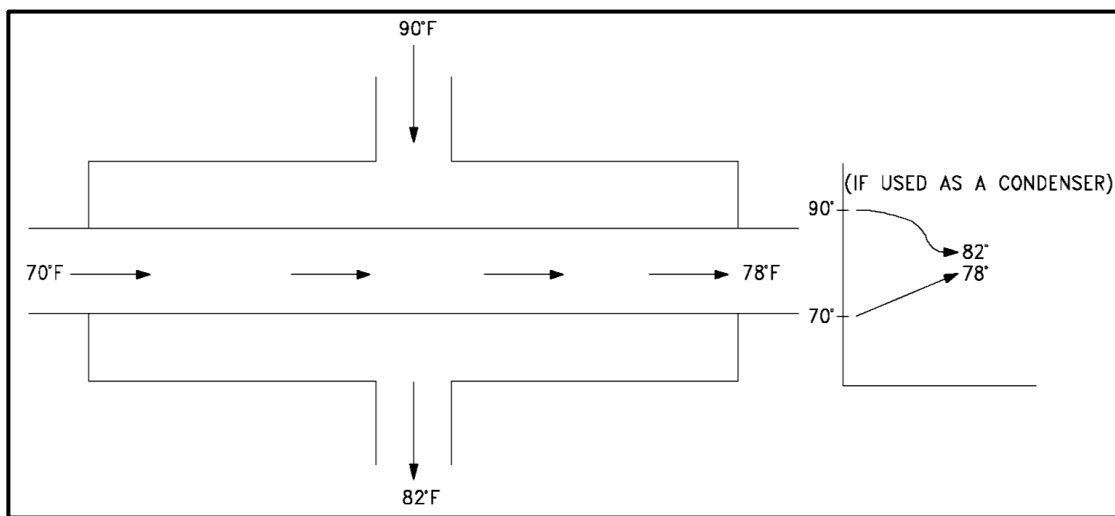


Figura 2.13 Flujo cruzado

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

En la actualidad, la mayoría de los intercambiadores de calor no son puramente de flujo paralelo, contraflujo, o flujo cruzado; estos son comúnmente una combinación de los dos o tres tipos de intercambiador. Desde luego, un intercambiador de calor real que incluye dos, o los tres tipos de intercambio descritos anteriormente, resulta muy complicado de analizar. La razón de incluir la combinación de varios tipos en uno solo, es maximizar la eficacia del intercambiador dentro de las restricciones propias del diseño, que son: tamaño,

costo, peso, eficacia requerida, tipo de fluidos, temperaturas y presiones de operación, que permiten establecer la complejidad del intercambiador.

2.4 Bombas de aceite y combustible

2.4.1 Bombas de aceite

La bomba de aceite es la encargada de poner en circulación ese aceite y hacer que todo el circuito del motor se mantenga a una presión y caudal adecuado para el correcto funcionamiento del mismo.

- **Bombas a engranajes**

En este tipo de bombas el movimiento es transmitido por el árbol de levas el cual a través del eje comando de la bomba, le da movimiento a los engranajes, los cuales producen el arrastre del aceite, que llega a través del filtro de la bomba. El aceite pasa a través de los huecos de los dientes de los engranajes, por ambos lados del cuerpo de la bomba, para salir por el otro extremo a las distintas canalizaciones de engrase del motor.

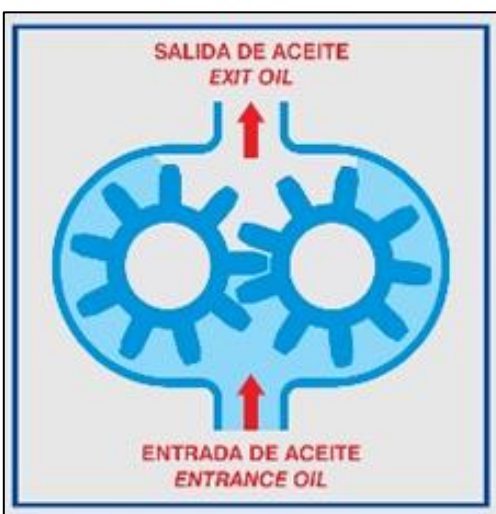


Figura 2.14 Bomba a engranajes

Fuente: <http://www.rexite.net/pdf/bombas.pdf>

- **Bombas lobulares**

En este caso el movimiento puede ser transmitido por el árbol de levas, el cual, a través del eje comando de la bomba, le da movimiento al rotor interno por el cigüeñal, que se aloja en la figura interna del rotor interno. El rotor interno, al tener un lóbulo menos, hace rotar al rotor externo.

Durante la rotación el aceite es succionado del cárter, pasando por el filtro de la bomba e ingresando a la cámara de admisión. Los espacios entre lóbulos aumentan al pasar por dicha cámara, por lo cual el aceite se aloja en los mismos y es transportado a la de compresión donde los espacios entre lóbulos se reducen.

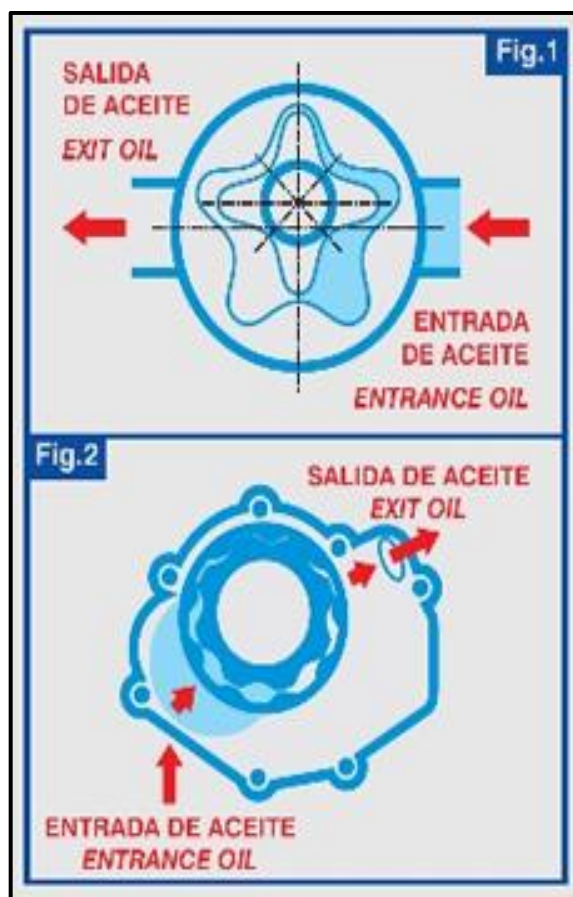


Figura 2.15 Bombas lobulares

Fuente: <http://www.rexite.net/pdf/bombas.pdf>

- **Bombas a engranajes internos**

En este caso el engranaje conducido está montado excéntricamente en el cuerpo de la bomba con respecto al engranaje conductor. El movimiento es transmitido por el cigüeñal.

La rotación continua de la bomba forma un vacío parcial entre los dientes del engranaje conducido (externo), esto causa que el aceite fluya en la bomba transportándolo entre los dientes de los engranes y la medialuna del cuerpo, desde la cámara de compresión, en la cual los engranes, tanto el exterior como el interior, generan e incrementan la presión que fuerza al aceite a dirigirse hacia la línea de salida al circuito de lubricación del motor.



Figura 2.16 Bombas a engranajes internos

Fuente: <http://www.rexite.net/pdf/bombas.pdf>

2.4.2 Bombas de combustible eléctricas

Una bomba de combustible es un dispositivo que le entrega al fluido de trabajo o combustible la energía necesaria para desplazarse a través del carburador o inyector. La bomba crea una presión positiva en las líneas de combustible empujando la gasolina en el motor.

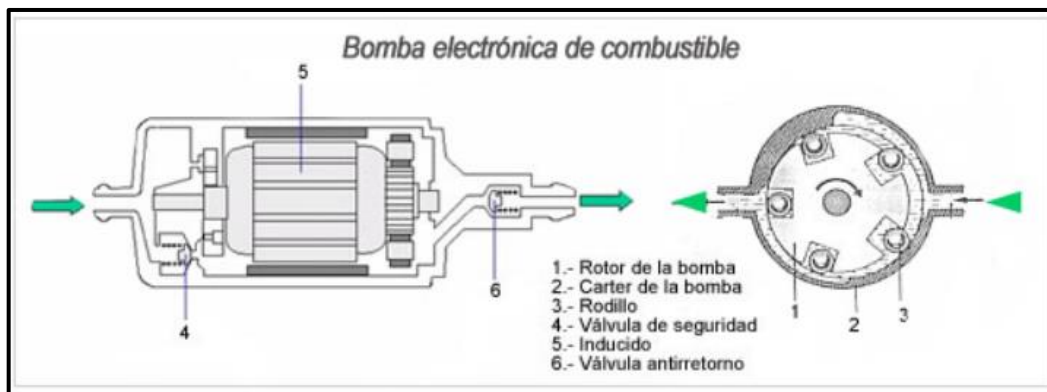


Figura 2.17 Bomba eléctrica de combustible

Fuente: <https://prezi.com/q3at1s1-h4l-/bombas/>

2.5 Resistencia eléctrica de inmersión tipo tubular

La resistencia eléctrica de inmersión tipo tubular convierte energía eléctrica en calor. Procedimiento descubierto por James Prescott Joule cuando en 1841 al hacer circular corriente eléctrica a través de un conductor se liberó calor por encontrar resistencia.

En la actualidad las resistencias eléctricas se utilizan para calentar diferentes tipos de líquidos utilizados para usos desde boilers eléctricos, calentadores de agua especiales hasta procesos industriales.

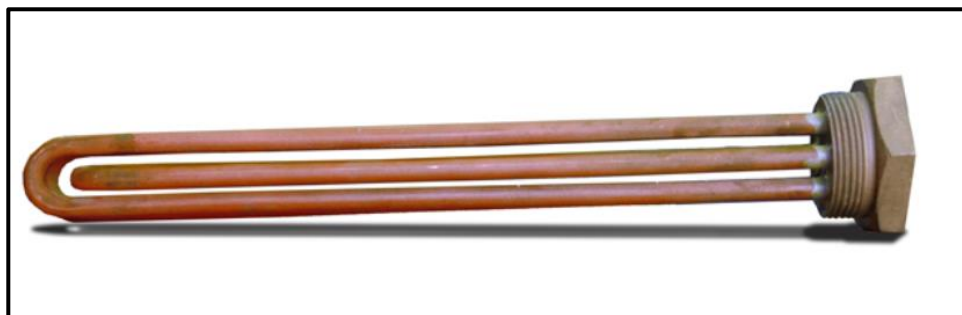


Figura 2.18 Resistencia eléctrica de inmersión tipo tubular

Fuente: <http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>

2.6 Termómetro digital con sonda

Medidor de temperatura con pantalla digital color rojo opera con 12V DC, posee sensor DS18B20 con longitud del cable de 90 cm. Provee una precisión de 0.06 °C sus rangos operacionales son:

- Temperatura mínima: - 55°C
- Temperatura máxima: 125°C



Figura 2.19 Termómetro digital con sonda

2.7 Fuente de poder de una PC

El dispositivo responsable de suministrar la potencia a la computadora es la Fuente de Poder.

La principal función de la fuente de poder es convertir el voltaje alterno (AC) que suministra la CFE a un voltaje continuo (DC) .Es decir, la fuente de poder convierte el voltaje alterno convencional alterno de 110 V o 220V a un voltaje continuo usado por la electrónica de la computadora, los cuales son +3.3V,+5V,+12V,-5V y -12V.

La fuente de poder también está presente en la PC en el proceso de enfriamiento, facilitando el flujo de aire dentro del gabinete.



Figura 2.20 Fuente de poder ATX

Fuente: <http://es.slideshare.net/AlejoRueda/fuentes-de-poder-alejandro-rueda>

2.7.1 Tipos de fuente de poder

- **La fuente de poder AT**

Fueron usadas con gabinetes AT y motherboards AT. Proporciona cuatro voltajes, +5V,+12V,-5V y -12V, y usa un conector de 12 terminales, generalmente dividido en dos conectores de seis terminales.

El problema fue que estos dos conectores, podían ser insertados en cualquier lado del conector de 12 terminales de la motherboard. Para evitar errores se debe instalar estos conectores de tal forma que los cables negros se coloquen en el centro del conector.

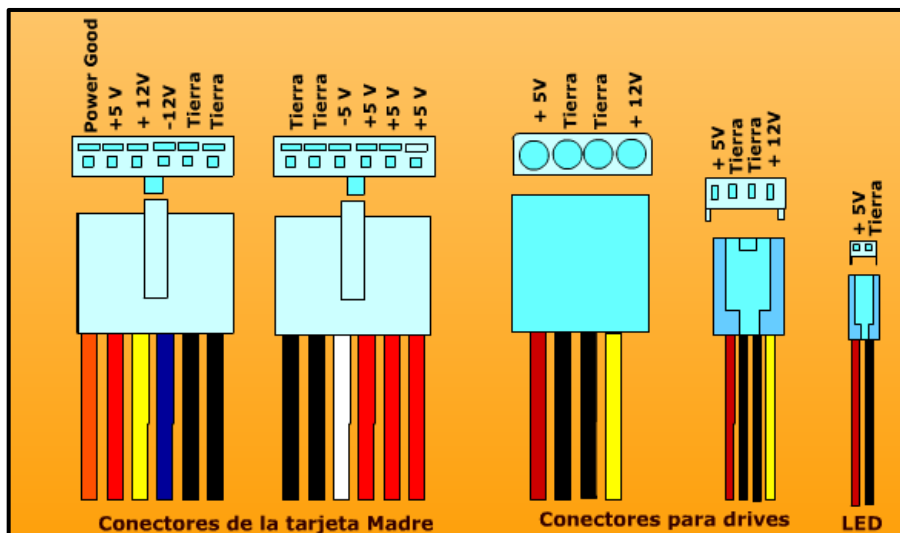


Figura 2.21 Cables de voltaje de la fuente de alimentación AT

Fuente: <http://es.slideshare.net/AlejoRueda/fuentes-de-poder-alejandro-rueda>

- **Fuente de poder LTX**

Una fuente ATX siempre está activa, aunque el ordenador no esté funcionando, la fuente siempre está alimentada con una tensión pequeña para mantenerla en espera. Hay tres diferencias básicas entre las fuentes de poder AT y ATX.

- Tiene una línea de voltaje extra, la de +3.3V
- Las fuentes de poder ATX tienen solo un conector de 20 terminales.
- Tiene un alambre de “power-on”, que permite que la fuente sea apagada por software.

Una de las ventajas es que las fuentes ATX no disponen de un interruptor que enciende/apaga la fuente, si no que se trata de un pulsador conectado a la placa base, y esta se encarga de encender la fuente, esto conlleva pues el poder realizar conexiones/desconexiones por software.

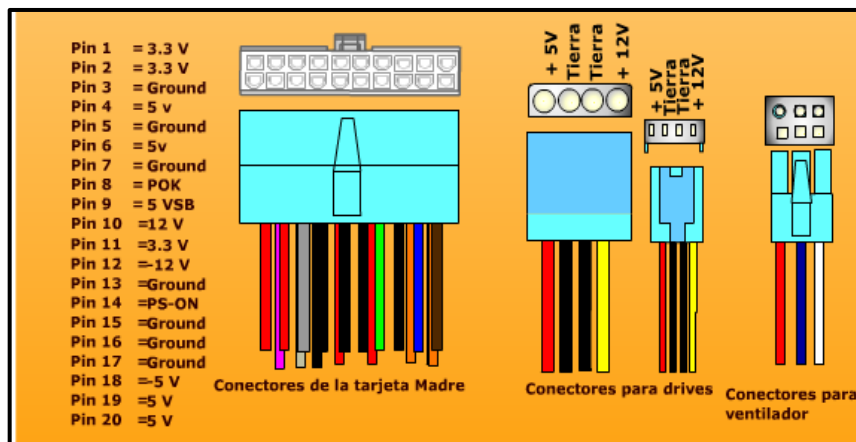


Figura 2.22 Cables de voltaje de la fuente de alimentación ATX

Fuente: <http://es.slideshare.net/AlejoRueda/fuentes-de-poder-alejandro-rueda>

2.8 Micro motor eléctrico con caja de reducción

Este micro motor con caja de reducción es originalmente diseñado para autos a batería para niños. El micro motor es del modelo 540 37 mm y opera con un rango de tensión de 4.5V DC a 12V DC capaz de producir 17500 RPM.

La caja de reducción consta de tres engranajes de diferente medida, ubicados en serie de tal manera que el eje del engranaje pequeño está conectada con el eje del micro motor para de esta forma mover el engranaje intermedio y posteriormente al engranaje de mayor diámetro reduciendo las RPM del motor.

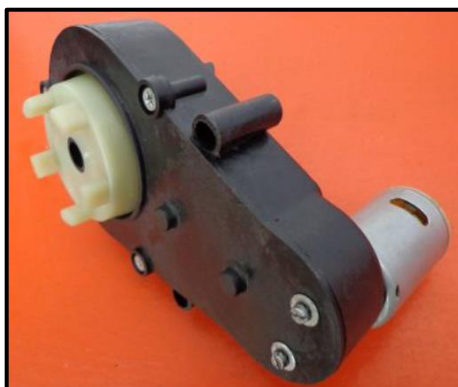


Figura 2.23 Micro motor eléctrico con caja de reducción

2.9 Reducción bushing

La reducción bushing de bronce es un accesorio roscado en anillo NPT, con reducción macho a hembra con cabeza hexagonal. Y se utiliza para unir neoplos de un diámetro con neoplos de otro diámetro inferior. Las medidas varían de acuerdo a la necesidad.



Figura 2.24 Reducción bushing

2.10 Acoples de compresión para termocuplas

Los acoples de compresión para termocuplas son por lo general de acero inoxidable y son usados para sellar la unión entre la termocupla y el neplo, de tal manera que no existan fugas del líquido o gas a sensar.

Accesorio de compresión de acero inoxidable	
Diámetro exterior del tubo	1/16", 1/8", 3/16", 1/4", 3/8"
Roscado del proceso	1/8" NPT, 1/4" NPT, 1/2" NPT
Longitud	1 1/4", 1 7/16", 1 1/2", 1 9/16", 1 5/8", 1 3/4", 1 7/8"
Diámetro exterior del tubo	1/8", 3/16", 1/4", 3/8"
Roscado del proceso	1/8" NPT, 1/4" NPT, 1/2" NPT
Longitud	1 1/16", 1 3/16", 1 1/4", 1 5/16", 1 3/8", 1 1/2"

Accesorio de compresión ajustable de acero inoxidable	
Diámetro exterior del tubo	1/16", 1/8", 3/16", 1/4", 3/8"
Tamaño de roscado	1/8" NPT, 1/4" NPT, 1/2" NPT
Longitud	1 1/4", 2 1/2"
Diámetro exterior del tubo	1/16", 1/8", 3/16", 1/4", 3/8"
Tamaño de roscado	1/8" NPT, 1/4" NPT, 1/2" NPT
Longitud	1", 1 1/4", 1 3/8", 1 1/2", 1 9/16", 1 13/16"
Temperatura máxima del casquillo en Neopreno	93°C

Figura 2.25 Acoples de compresión para termocúplas

Fuente: <http://es.slideshare.net/accesioscompresionajustables>

2.11 Serpentín

Se denomina serpentín o serpentina a un tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar vapores frecuentemente vapores provenientes de la destilación de un calderín y así condensarlos en forma líquida. Suelen ser de vidrio, cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente. Este aparato se utiliza de diversas formas pero más comúnmente en el laboratorio de química.

Los serpentines se usan desde la antigüedad en la destilación de bebidas alcohólicas, aunque en la actualidad cualquier proceso refinado de crudos u obtención de un producto líquido puede utilizar un serpentín bien para enfriar o bien para calentar líquidos o gases.



Figura 2.26 Serpentín de cobre utilizado para enfriamiento de agua

Fuente:http://www.wiseupkids.com/informacion/quimica/elementos_de_calificacion.pdf

2.12 Ventilador

Un ventilador es una máquina de fluidos, más exactamente, una máquina neumática, concebida para producir una corriente de aire.

Se utiliza para producir corrientes de aire, es decir, mover el aire para usos muy diversos. Entre ellos, ventilar los ambientes habitados, refrescar objetos o maquinas o para mover gases (principalmente el aire por un sistema de conducciones).

2.12.1 Tipos de ventiladores

- **Ventiladores centrífugos**

Toma el aire en la misma dirección que en su eje de rotación pero lo centrifuga contra la carcasa envolvente y acaba impulsándolo por una boca de esa carcasa en una dirección que forma un ángulo recto con el eje de rotación.

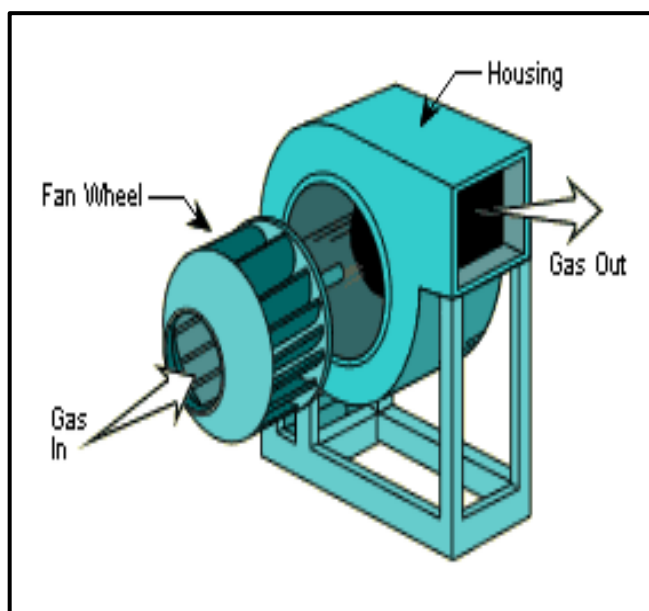


Figura 2.27 Ventiladores centrífugos

Fuente:http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm

- **Ventiladores axiales**

Es el que recoge e impulsa el aire (u otro gas) en la misma dirección que el eje de rotación de sus aspas, este tipo de ventilador es el más utilizado para ventilar los ambientes habitados.



Figura 2.28 Ventilador axial

Fuente:http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm

2.13 Caja de control

Conjunto del material que compone una caja de mando y de regulación.

2.13.1 Breaker

Un disyuntor, interruptor automático (España), breaker o pastilla (México), taco (Colombia), térmica (Argentina), es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede de un determinado valor, o en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de evitar daños a los equipos eléctricos. A diferencia de los fusibles, que deben ser reemplazados tras un único uso, el

disyuntor puede ser rearmado una vez localizado y reparado el problema que haya causado su disparo o desactivación automática.



Figura 2.29 Breaker

Fuente: <http://www.datuopinion.com/disyuntor>

2.13.2 Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba "relevadores" de ahí "relé".

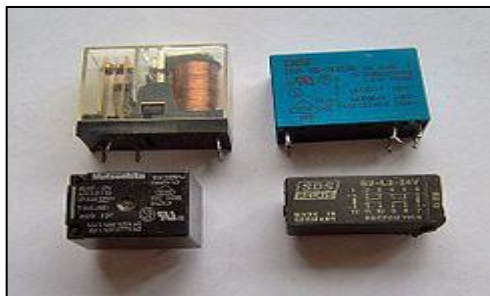


Figura 2.30 Relé

Fuente: <http://isabelitac.blogspot.com/2012/06/rele.html>

2.13.3 Bornera

Las clemas o borneras se usan normalmente para conectar un terminal de tierra en aparatos como protectores de sobretensiones. La mayoría de los sistemas de megafonía de los edificios los usan para los altavoces. También se usan con frecuencia en el cableado eléctrico, para conectar enchufes e interruptores a la red, y para conectar electrodomésticos como la secadora o el horno a un circuito aislado en un hogar.

Estas pueden ser dispuestas como una tira, teniendo cada conexión dos tornillos. Se usa este tipo para conectar dos componentes distintos, uno a cada lado. Esto crea una gran facilidad para distribuir la electricidad hacia varios puntos diferentes.

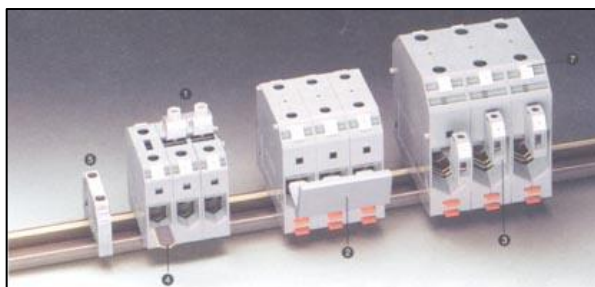


Figura 2.31 Borneras

Fuente: http://www.cimatelsrl.com/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=55

2.13.4 Fusibles

En electricidad, se denomina fusible a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por Efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

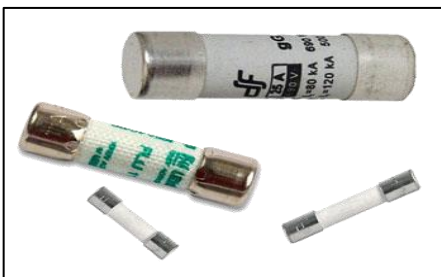


Figura 2.32 Fusible

Fuente: <http://www.electronicaembajadores.com/Subfamilias/Productos/15/FUCE/fusibles-ceramicos>

2.13.5 Luz piloto

Es una luz que indica cual número o condiciones normales de un sistema o dispositivo existe. Una luz piloto es también conocida como una luz monitor o de monitor.



Figura 2.33 Luz piloto

Fuente: <http://www.induelectro.cl/productos/Senalizacion/piloto.html>

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

El tema consiste básicamente en demostrar el funcionamiento del sistema fuel/oil cooler, este cumple con la función de intercambiar el calor entre los dos fluidos en cuestión (aceite 100°C y combustible 15°C). La maqueta contiene dos sistemas cerrados e independientes que son el sistema de aceite y el sistema de combustible, los dos fluidos son conducidos por cañerías de cobre y accionados por bombas desde el reservorio hacia el fuel/oil cooler donde se producirá el intercambio de calor, después los fluidos regresarán a cada reservorio.

Para calentar el aceite se utilizará una resistencia eléctrica tipo tubular introducida en el reservorio, mientras que para enfriar el combustible que se calienta tras el intercambio de calor se utilizará un serpentín colocado a la salida del fuel/oil cooler.

Después de haber analizado cada uno de los componentes necesarios para la construcción de la maqueta se procede a diseñar el intercambiador de calor de coraza y tubo (fuel/oil cooler), el reservorio de aceite y el reservorio de combustible.

3.2 Diseño del intercambiador de calor

Previo el diseño y construcción del intercambiador de calor se pensó en comprar un intercambiador ya fabricado con características de operación para una piscina pero por motivo del traslado desde el extranjero al país se descartó esta opción.

El diseño del intercambiador de calor fue inicialmente de tipo coraza y tubo de un solo paso por la coraza y los tubos.

3.2.1 Diseño de intercambiador de coraza y tubo

- **Condiciones de operación previstas.**

Las condiciones de operación para el diseño mecánico del intercambiador de calor fueron el rango de temperatura de entrada del combustible de 18°C en los tubos con un diámetro exterior (D.E.) de 3/8" por donde circulará el combustible JET A-1 y desde 100°C a 55°C en la coraza por donde circulará el aceite de motor, los rangos de los flujos máximos fueron de 0.025 kg/s en los tubos y de 0.015 kg/s en la coraza. El flujo del fluido seleccionado en los tubos fue de un solo paso. Se sabe que el coeficiente global de transferencia de calor es $U = 190 \text{ W/m}^2\text{k}$.

Se desea determinar el área necesaria de la tubería interna para producir el intercambio de calor deseado.

El valor de U se determinó del libro de Karlekar de los coeficientes globales de transferencia de calor aproximados para estimaciones preliminares de diseño.

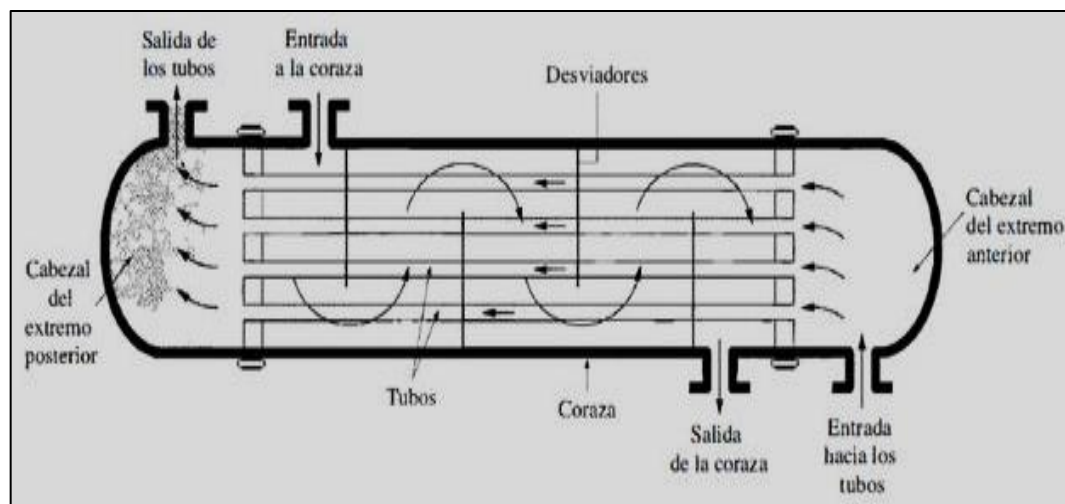


Figura 3.1 Partes del intercambiador de calor de coraza y tubo

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

Propiedades:**Aceite**Calor específico: $C_{Ph} = 2219 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ Flujo másico: $m_h = 0.015 \text{ kg/s}$ Temp. in: $t_{hi} = 100^\circ\text{C}$ Temp. out: $t_{ho} = 55^\circ\text{C}$ **Combustible**Densidad: 800 kg/m^3 Calor específico $C_{Pc} = 2010 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ Flujo másico: $m_c = 0.025 \text{ kg/s}$ Temp. in: $t_{ci} = 18^\circ\text{C}$ Temp. out: $t_{co} = ?$

$$Q = m_h * C_{Ph}(t_{hi} - t_{ho}) = m_c * C_{Pc}(t_{co} - t_{ci}) = (UA)(DTML) \text{ ECUACIÓN N}^\circ \text{ 01}$$

Dónde:

 $Q = \text{calor transferido}$ $m_h = \text{flujo másico de fluido caliente}$ $C_{Ph} = \text{calor específico del fluido caliente}$ $t_{hi} = \text{temperatura de entrada del fluido caliente}$ $m_c = \text{flujo másico del fluido de frío}$ $t_{ho} = \text{temperatura de salida del fluido frío}$ $C_{Pc} = \text{calor específico del fluido frío}$ $t_{co} = \text{temperatura de salida del fluido frío}$ $t_{ci} = \text{temperatura de entrada del fluido frío}$ $A = \text{área}$ $U = \text{coeficiente global de transferencia de calor}$ $DTML = \text{diferencia de temperaturas medias logarítmicas}$ Para encontrar t_{co}

$$Q = m_h * C_{Ph}(t_{hi} - t_{ho}) = m_c * C_{Pc}(t_{co} - t_{ci}) \text{ ECUACIÓN N}^\circ \text{ 02}$$

$$0.015 \text{ kg/s} * 2219 \text{ J/kg}^\circ\text{K} (100^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C}) = 0.025 \text{ kg/s} * 2010 \text{ J/kg}^\circ\text{K} (t_{co} - 18^\circ\text{C})$$

$$t_{co} = \frac{1497.83 + 18}{50.25}$$

$$t_{co} = 30.17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

También determinamos DTML: **ECUACIÓN N° 03**

$$DTML = \frac{(t_{hi} - t_{co}) - (t_{ho} - t_{ci})}{\ln\left(\frac{t_{hi} - t_{co}}{t_{ho} - t_{ci}}\right)}$$

$$DTML = \frac{(100 - 29.43) - (55 - 18)}{\ln\left(\frac{100 - 29.43}{55 - 18}\right)}$$

$$DTML = \frac{33.57}{0.645}$$

$$DTML = 52.05$$

Luego la cantidad de calor está dada por:

$$Q = m_h * C_{ph}(t_{hi} - t_{ho}) = (UA)(DTML)$$

$$0.015 \frac{kg}{s} * 2219 \frac{J}{kg} ^\circ K (100^\circ C - 55^\circ C) = 190 \frac{W}{m^2 K} (A) * 52.05$$

$$A = \frac{1497.83}{9889.5}$$

$$A = 0.1514 \text{ m}^2$$

Una vez determinada el área necesaria fue importante señalar la longitud del intercambiador a construir para lo cual se diseñó una longitud de 45 cm.

Al ser un intercambiador de un solo paso por la coraza y un solo paso por los tubos se acomodó 12 tubos de 45 cm de longitud en una coraza de 2.5”.

- **Materiales para la construcción**

Ya que la parte fundamental del proceso de transferencia de calor está dado por el material, debido a la conductividad calorífica. Habrá que determinar el material que posea una alta conductividad térmica.

Guiados por la tabla 3.1 se determinó que el material con mejor conductividad térmica y que se adapte a nuestra economía es el cobre para los 12 tubos que van a cruzar dentro de la coraza. Mientras que para la cámara exterior (coraza) se utilizará acero al carbono de 3 líneas de espesor.

Tabla 3.1

Conductividad térmica de diversos materiales en W/ (K*m)

Material	λ	Material	λ	Material	λ
Acero	47-58	Corcho	0,03-0,04	Mercurio	83,7
Agua	0,58	Estaño	64,0	Mica	0,35
Aire	0,02	Fibra de vidrio	0,03-0,07	Níquel	52,3
Alcohol	0,16	Glicerina	0,29	Oro	308,2
Alpaca	29,1	Hierro	80,2	Parafina	0,21
Aluminio	209,3	Ladrillo	0,80	Plata	406,1-418,7
Amianto	0,04	Ladrillo refractario	0,47-1,05	Plomo	35,0
Bronce	116-186	Latón	81-116	Vidrio	0,6-1,0
Zinc	106-140	Litio	301,2	Cobre	372,1-385,2
Madera	0,13	Tierra húmeda	0,8	Diamante	2300
Titanio	21,9				

Fuente: <http://www.milenium.com/prontuario/tablas/quimica/propiedadestermica>

- **Proceso de construcción**

Para la construcción del intercambiador de tubo y coraza fue necesario acudir a un taller especializado en procesos de solda autógena y demás.

Como se mencionó anteriormente se introdujo 12 tubos de cobre con diámetro exterior (D.E.) de 3/8" y longitud de 45 cm, en una coraza con diámetro de 2.5". Para dividir las cámaras fue necesario soldar cada una de las uniones de la tubería de cobre con bronce dando un sellado compacto.



Figura 3.2 Construcción del intercambiador de calor (coraza y tubo)

También se introdujo dos difusores de flujo en la coraza para mejorar el proceso de intercambio de calor, luego se soldó los cabezales en los extremos, seguido de las entradas y salidas de los tubos y la coraza acompañados de bridas para una mejor sujeción a las cañerías salientes, luego del proceso de pintura se obtuvo un acabado final como se muestra en la siguiente figura (3.3).



Figura 3.3 Acabado final del intercambiador de calor

3.2.2 Diseño de intercambiador de coraza y doble serpentín

- **Condiciones preliminares de diseño**

Se necesitó determinar el área superficial para un intercambiador de calor de coraza y doble serpentín, para enfriar aceite de motor con una razón de flujo de masa de 0.0150 kg/s de 100°C a 50°C, si se dispone de combustible JET A-1 que fluye a razón de 0.0250 kg/s con una temperatura de ingreso de 20°C. El coeficiente global de transferencia de calor aproximado es $U = 190 \text{ W/m}^2\text{k}$. El combustible es el fluido del tubo. Se desea determinar el área necesaria del tubo interno para producir el intercambio de calor deseado.

El valor de U se determinó en acuerdo al libro de Karlekar en la sección coeficientes globales de transferencia de calor aproximados para estimaciones preliminares de diseño de intercambiadores de calor.

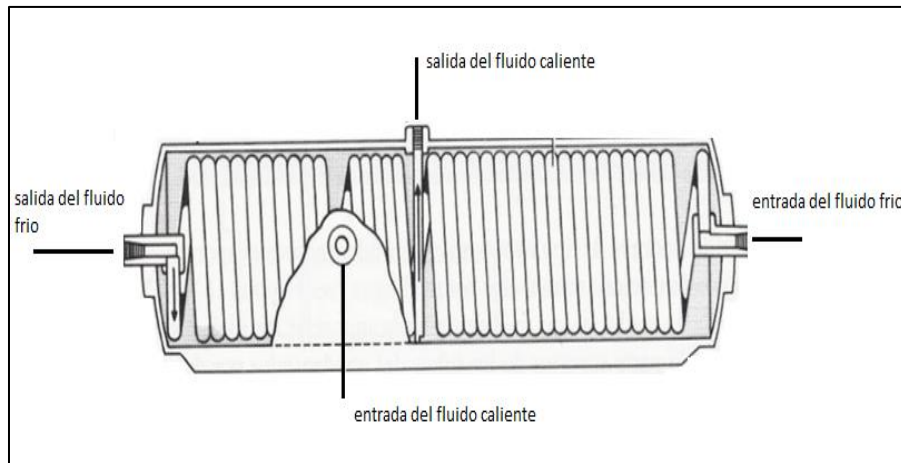


Figura 3.4 Intercambiador de calor de coraza y doble serpentin

Fuente: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

Propiedades:

Aceite

Calor específico: $C_{Ph} = 2219 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$

Flujo másico: $m_h = 0.015 \text{ kg/s}$

Temp. in: $t_{hi} = 100^\circ\text{C}$

Temp. out: $t_{ho} = 50^\circ\text{C}$

Combustible

Densidad: 800 kg/m^3

Calor específico $C_{Pc} = 2010 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$

Flujo másico: $m_c = 0.025 \text{ kg/s}$

Temp. in: $t_{ci} = 20^\circ\text{C}$

Temp. out: $t_{co} = ?$

$$Q = m_h * C_{Ph}(t_{hi} - t_{ho}) = m_c * C_{Pc} (t_{co} - t_{ci}) = (UAF)(DTML) \text{ ECUACIÓN N}^\circ \text{ 04}$$

Dónde:

$Q = \text{calor transferido}$

$m_h = \text{flujo másico de fluido caliente}$

$C_{Ph} = \text{calor específico del fluido caliente}$

t_{hi} = temperatura de entrada del fluido caliente

m_c = flujo másico del fluido de frío

t_{ho} = temperatura de salida del fluido frío

C_{Pc} = calor específico del fluido frío

t_{co} = temperatura de salida del fluido frío

t_{ci} = temperatura de entrada del fluido frío

F = factor de corrección

A = área

U = coeficiente global de transferencia de calor

$DTML$ = diferencia de temperaturas medias logarítmicas

Para encontrar t_{co}

$$Q = m_h * C_{Ph}(t_{hi} - t_{ho}) = m_c * C_{Pc} (t_{co} - t_{ci}) \quad \text{ECUACION N° 05}$$

$$0.015 \text{ kg/s} * 2219 \text{ J/kg}^\circ\text{K} (100^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) = 0.025 \text{ kg/s} * 2010 \text{ J/kg}^\circ\text{K} (t_{co} - 20^\circ\text{C})$$

$$t_{co} = \frac{1664.25 + 20}{50.25}$$

$$t_{co} = 33.51^\circ\text{C}$$

Parámetros para el factor de corrección.

$$R = \frac{(t_{hi} - t_{ho})}{(t_{co} - t_{ci})}$$

$$P = \frac{(t_{co} - t_{ci})}{(t_{hi} - t_{ci})}$$

$$R = \frac{(100 - 50)}{(33.51 - 20)}$$

$$P = \frac{(33.51 - 20)}{(100 - 20)}$$

$$R = 3.7$$

$$P = 0.1688$$

De la figura 3.5 se obtiene el valor de F para los citados P y R.

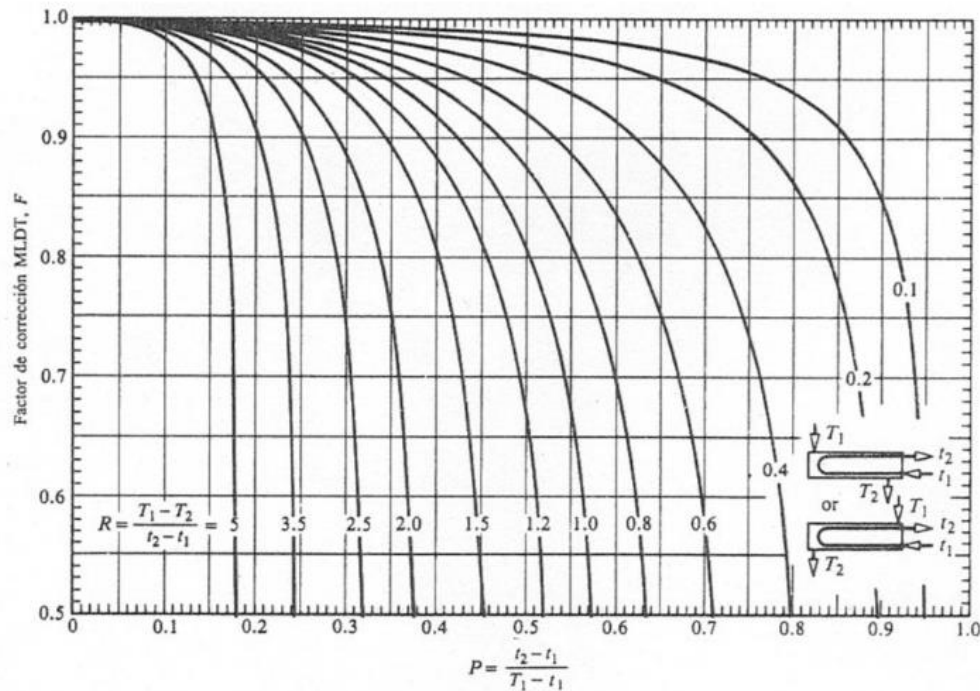


Figura 3.5 Factor de corrección (1 paso por la coraza y 2,4,6 por los tubos)

Fuente: (KARLEKAR, 1999)

El valor del factor de corrección es:

$$F = 0.96$$

También determinamos DTML:

$$DTML = \frac{(t_{hi} - t_{co}) - (t_{ho} - t_{ci})}{\ln\left(\frac{t_{hi} - t_{co}}{t_{ho} - t_{ci}}\right)}$$

$$DTML = \frac{(100 - 33.51) - (50 - 20)}{\ln\left(\frac{100 - 33.51}{50 - 20}\right)}$$

$$DTML = \frac{36.49}{0.795}$$

$$DTML = 45.899$$

Luego la cantidad de calor está dada por:

$$Q = m_h * C_{ph}(t_{hi} - t_{ho}) = (UAF)(DTML) \text{ ECUACIÓN N° 06}$$

$$0.015 \frac{kg}{s} * 2219 \frac{J}{kg} ^\circ K (100^\circ C - 50^\circ C) = 190 \frac{W}{m^2 K} (A) * 0.96 * 45.899$$

$$A = \frac{1664.25}{8371.97}$$

$$A = 0.1987 m^2$$

Una vez determinada el área necesaria de la superficie para el intercambio de calor se procede a diseñar el arreglo de los tubos para lo cual se utilizó un arreglo de tipo doble serpentín.

Con la finalidad ahorrar espacio y reducir el tamaño de la maqueta se incrusto dos serpentines, uno dentro del otro y así obtener una longitud no mayor a 30 centímetros del intercambiador de calor.

Se acomodó 4 metros de tubería de cobre flexible de 3/8" en el primer serpentín obteniendo 0.1196 m² y en el segundo serpentín se utilizó 4 metros de tubería de cobre flexible de 1/4" obteniendo 0.0796 m² sumado las dos áreas se obtuvo 0.1992 m².

Tabla 3.2

Área del intercambiador de calor

ÁREA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR			
SERPENTÍN #	01	SERPENTÍN #	02
TUBERÍA	3/8"	TUBERÍA	1/4"
DIÁMETRO	0.00952 m	DIÁMETRO	0.00634 m
LONGITUD	4 m	LONGITUD	4 m
ÁREA	0.1196 m ²	ÁREA	0.0796 m ²
ÁREA TOTAL= 0.1992 m²			

- **Materiales para la construcción**

Al igual que en el intercambiador de coraza y tubo se determinó que el mejor material a utilizar en el proceso de transferencia de calor es el cobre, gracias a su alto coeficiente de conductividad térmica y a su fácil accesibilidad en el mercado.

Por tal motivo utilizaremos tubería de cobre flexible de 3/8" en el serpentín N° 01 y tubería de cobre flexible de 1/4" en el serpentín N° 02, mientras que en la coraza utilizaremos acero al carbono al 15 % de 3" con un espesor de 2 milímetros.

- **Proceso de construcción**

Para el presente intercambiador de tipo coraza y doble serpentín se necesitó de dos dobladoras de tubo pequeñas, ya que a pesar de ser el tubo flexible durante el proceso de doblado se atachaba lo cual fue un percance ya que no se halló pronto la dobladora necesaria y alargó la fecha de entrega de dicho intercambiador.

Una vez logrado el doblado de la tubería se instaló dos uniones en forma de T para unir los dos serpentines a las tomas del intercambiador, seguido se soldó los respectivos cabezales del extremo anterior y posterior acompañada de las entradas y salidas del lado de la tubería y de igual forma de lado de la coraza. También se instaló bridas para un mejor sellamiento del intercambiador con las tuberías.



Figura 3.6 Partes del intercambiador de calor de coraza y doble serpentín

Luego se puede observar en la figura 3.7 el acabado final del intercambiador de calor, el mismo que posee una longitud de 30 cm sin contar las tomas de entrada y salida, su área interior de tubería de cobre de 0.1992 m^2 .



Figura 3.7 Intercambiador de calor de coraza y doble serpentín terminado

3.3 Diseño de los reservorios de aceite y combustible

Para el diseño de los respectivos reservorios se analizó distintos factores como material, forma y dimensiones de los mismos.

3.3.1 Diseño del reservorio de aceite

La geometría del tanque es de tipo cilíndrico con eje vertical, provisto de una tapa en la parte superior para facilitar el montaje/desmontaje y mantenimiento de la bomba de aceite con una capacidad nominal de 13 litros de los cuales por seguridad se ocupará solo el 80% de la capacidad total.

Adicional el reservorio cuenta con una boquilla de salida y otra de entrada del fluido en este caso el aceite de motor, también cuenta con una boquilla de llenado y otra de drenaje. Está acoplada la resistencia eléctrica de 250W en la parte inferior para calentar el combustible.

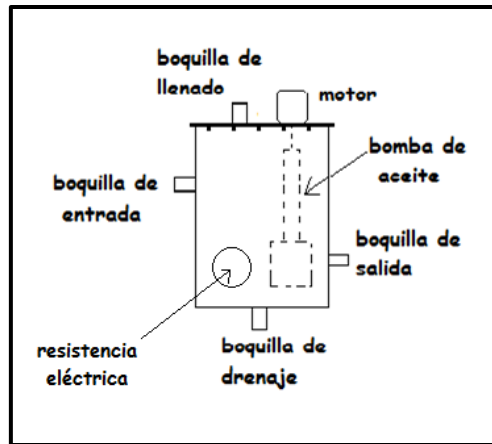


Figura 3.8 Diseño del reservorio de aceite

- **Material**

Para la construcción del reservorio se utilizó acero al carbono de 3 mm de espesor por ser el más disponible y económico en el mercado, recomendable para la mayoría de los recipientes donde no existan elevadas temperaturas ni altas presiones.

- **Forma**

Se diseñó con una forma cilíndrica gracias a que provee mayor almacenamiento con menor material empleado, que cualquier otra figura geométrica y así disminuir el costo de construcción.

- **Dimensiones y acabado final**

Las dimensiones son:

- Altura (h)= 30 *cm*
- Diámetro (d)= 25 *cm*
- Espesor del material= 0.3 *cm*



Figura 3.9 Reservorio de aceite

- **Volumen del reservorio**

El reservorio tiene una capacidad total de 13747cm^3 de los cuales se debe restar el espacio ocupado por la bomba de aceite que se encuentra sumergida en el reservorio.

$$V_{total} = \pi r^2 h$$

$$V_{total} = \pi(12.2\text{cm})^2 29.4\text{cm}$$

$$V_{total} = 13747\text{cm}^3$$

Para calcular el volumen, se considera que la bomba es un objeto irregular y para estos objetos se utiliza el método de desplazamiento cúbico que consiste en sumergir por completo el objeto en un recipiente graduado conteniendo agua y determinar la cantidad que sube el nivel del agua. Obteniendo como resultado un volumen de la bomba de 450cm^3 .

El volumen útil del reservorio será el volumen total menos el volumen ocupado por la bomba y multiplicado por el 0.8. Ya que solo el 80% del recipiente será útil por cuestiones de seguridad ya que el aceite al aumentar su temperatura también incrementa su volumen.

$$V_{util} = (V_{total} - V_{bomba}) * 80\%$$

$$V_{util} = (13747\text{cm}^3 - 465\text{cm}^3) * 0.8$$

$$V_{util} = 13282\text{cm}^3 * 0.8$$

$$V_{util} = 10625.6\text{cm}^3$$

- **Pérdidas de calor en el reservorio**

Calcular la pérdida de calor sabiendo que la temperatura media dentro del reservorio es 100°C y la temperatura ambiente es 15°C.

$$A = 2\pi r(h + r)$$

$$A = 2 * \pi * 12.5 * (30 + 12.5)$$

$$A = 3337.95 \text{ cm}^2$$

- **Calorías necesarias para aumentar la temperatura del aceite de 20°C a 100°C**

Calor específico del aceite de motor a 100°C = 2219 cal/kg

$$Q = m * c_e * (t_f - t_i)$$

$$Q = 8.926 \text{ kg} * 0.5299 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q = 378.390 \text{ Kcal}$$

- **Pérdida de calor hacia el exterior**

Acero al carbono endurecido al 15 %

$k = 0.08598 \text{ cal/cm*s}^\circ\text{C}$ (Coeficiente de conductividad térmica)

$$H = A * k * \Delta t / e$$

$$H = (3337.95 \text{ cm}^2 / 0.3\text{cm}) * 0.08598 \text{ cal/cm*s}^\circ\text{C} * (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$H = 76532.701 \text{ Kcal/s}$$

3.3.2 Diseño del reservorio de combustible

La geometría del tanque es de tipo cilíndrico con eje vertical con una capacidad nominal de 13 litros de los cuales por seguridad se ocupará solo el 80% de la capacidad total.

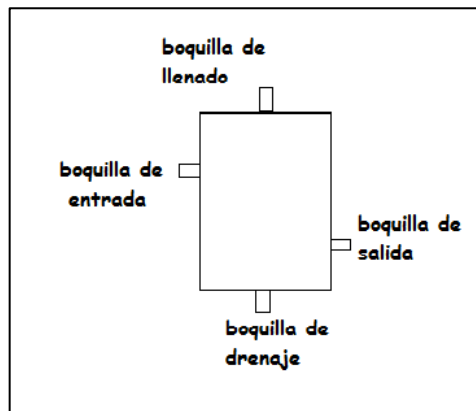


Figura 3.10 Diseño del reservorio de combustible

- **Material**

Para la construcción del reservorio se utilizó acero al carbono de 3 mm de espesor por ser el más disponible y económico en el mercado, recomendable para la mayoría de los recipientes donde no existan elevadas temperaturas ni altas presiones. Las uniones se encuentran soldadas con 2 cordones de soldadura 60-11 de penetración y 1 cordón 60-13 de acabado.

- **Forma**

Se diseñó con una forma cilíndrica gracias a que provee mayor almacenamiento con menor material empleado, que cualquier otra figura geométrica y así disminuir el costo de construcción.

- **Dimensiones y acabado final**

Las dimensiones son:

Altura (h)= 30 *cm*

Diámetro (d)= 25 *cm*

Espesor del material= 0.3 *cm*



Figura 3.11 Reservorio de combustible

- **Volumen del reservorio**

El reservorio tiene una capacidad total de 13747cm^3 .

$$V_{total} = \pi r^2 h$$

$$V_{total} = \pi(12.2\text{cm})^2 29.4\text{cm}$$

$$V_{total} = 13747\text{cm}^3$$

El volumen útil del reservorio será el volumen total multiplicado por el 0.8, ya que solo el 80% del recipiente será útil por cuestiones de seguridad.

$$V_{\text{útil}} = (V_{total} * 80\%)$$

$$V_{\text{útil}} = (13747\text{cm}^3) * 0.8$$

$$V_{\text{útil}} = 10997.6\text{cm}^3$$

- **Pérdidas de calor en el reservorio**

Calcular la pérdida de calor sabiendo que la temperatura media dentro del reservorio es de 30°C después de 15 min. de operación y la temperatura ambiente es 20°C.

$$A = 2\pi r(h + r)$$

$$A = 2 * \pi * 12.5 * (30 + 12.5)$$

$$A = 3337.95 \text{ cm}^2$$

- **Calorías necesarias para aumentar la temperatura del combustible de 20°C a 30°C**

Calor específico del combustible a 30°C = 2010 kcal/kg

$$Q = m * c_e * (t_f - t_i)$$

$$Q = 8.798 \text{ kg} * 0.491 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C} (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q = 43.198 \text{ Kcal}$$

- **Pérdida de calor hacia el exterior**

Acero al carbono endurecido al 15 %

$k = 0.08598 \text{ cal/cm} * \text{s} * ^\circ\text{C}$ (Coeficiente de conductividad térmica)

$$H = A * k * \Delta t / e$$

$$H = (3337.95 \text{ cm}^2 / 0.3 \text{ m}) * 0.491 \text{ kcal/cm} * \text{s} * ^\circ\text{C} * (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$H = 9.5665 \text{ kcal/s}$$

3.4 Material utilizado en las cañerías

Para el proceso de instalación de las entradas y salidas del intercambiador de calor se pensaba instalar tubería de aluminio de 1/2", para generar una buena estética y que la maqueta de fuel/oil cooler se vea lo más cercano a la realidad.

Pero por motivo de la baja accesibilidad al mercado no fue factible instalar tubería de aluminio, por consiguiente se optó por utilizar tubería de cobre flexible de $\frac{1}{2}$ " , gracias a su fácil instalación y disponibilidad en el mercado.



Figura 3.12 Tubería de cobre de $\frac{1}{2}$ "

3.5 Proceso de construcción de la maqueta y ensamblaje

3.5.1 Diseño de la maqueta

Para el proceso de ensamblaje se diseñó una maqueta con la capacidad necesaria para alojar todos los accesorios y complementos que se requiere en los dos sistemas para permitir las características deseadas en la temperatura de los fluidos.

Medidas establecidas para la maqueta:

- Longitud= 1.60 metros
- Ancho= 1.40 metros
- Altura= 1.70 metros



Figura 3.13 Vista lateral de la maqueta

3.5.2 Materiales seleccionados para la maqueta

Para el esqueleto de la maqueta se utilizó tubo cuadrado de acero al carbono de 1" x 1/4" de espesor, ya que la maqueta va a soportar un peso considerable. Cabe indicar que se escogió la forma cuadrada del tubo para un mejor acoplamiento con las planchas de MDF. Se utilizó material MDF de 15 mm para ensamblar la maqueta en la parte vertical debido a que sobre esta plancha se va a montar todos los componentes y accesorios, mientras que en la parte lateral y en el piso se utilizó MDF de 9 mm ya que no soportan cargas adicionales.

3.5.3 Proceso de construcción de la maqueta

Una vez determinado las medidas necesarias para esta maqueta se procede a medir y cortar el tubo de acero al carbono, seguido del proceso de suelda en las uniones para fijar y dar forma a la maqueta. En este proceso fue necesario un flexómetro, la cierra de hierro, una entenalla, también la suelda eléctrica con electrodos de tipo 60-11.



Figura 3.14 Proceso de corte y suelda del esqueleto de la maqueta

Una vez culminado el proceso de suelda se pule las uniones para obtener una superficie plana y lisa. Luego se removi6 la grasa protectora de la superficie del tubo para el proceso de pintura. Las herramientas necesarias en este proceso son la pulidora, un trapo y el equipo de protecci6n personal.

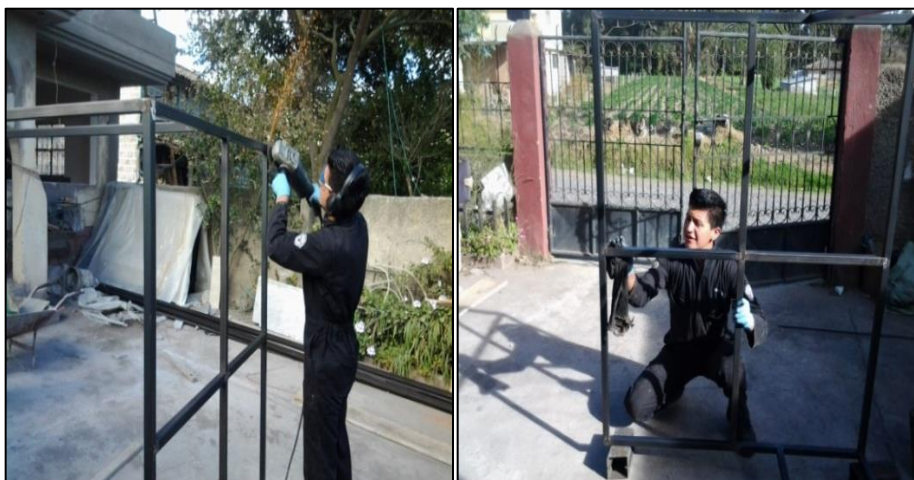


Figura 3.15 Proceso de pulido y limpieza del esqueleto de la maqueta

Seguido del proceso anterior se dio paso a pintar la estructura con pintura de esmalte color negro para resaltar los fillos de la maqueta y evitar la corrosi6n en el material. Para lo cual se necesit6 de un compresor y una pistola de pintura, sin dejar a un lado los equipos de protecci6n como son overol, gafas, guantes y mascarilla.

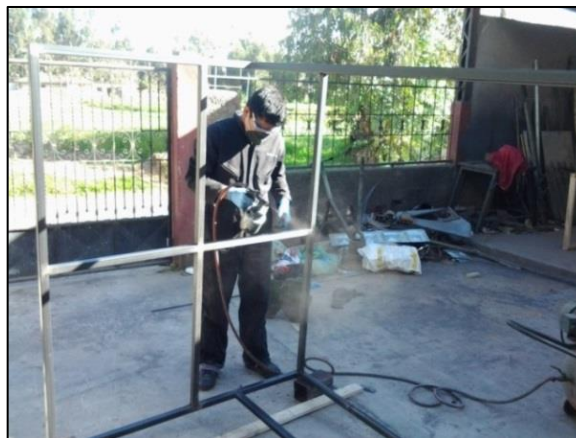


Figura 3.16 Proceso de pintura en el esqueleto de maqueta

Culminado el proceso de pintura se esperó 12 horas para asegurar que la pintura se seque adecuadamente. Continuando con el proceso se cortó a la medida necesaria las planchas de MDF y se montó sobre la estructura asegurándolas con remaches 3/16". Nótese que en la figura 3.17 la maqueta se encuentra tendida, para un mejor ajuste de los remaches. En este paso se utilizó serrucho, cepilladora, flexómetro y una remachadora pop.



Figura 3.17 Proceso de corte, medida e instalación de la plancha MDF

Después de haber puesto cada uno de los remaches, se aseguró que las planchas MDF queden completamente fijas a la estructura. Terminado este proceso se instaló cuatro garruchas para facilitar el traslado de la maqueta de un lugar a otro, de las cuales dos tienen freno para asegurar su fijación.

A continuación se adhirió papel contac decorativo para dar un acabado tipo madera. Se empleó este material para evitar la necesidad de pintar ya que en cuestiones económicas representaba más costoso y sin lugar a duda el acabado de madera se ve elegante.

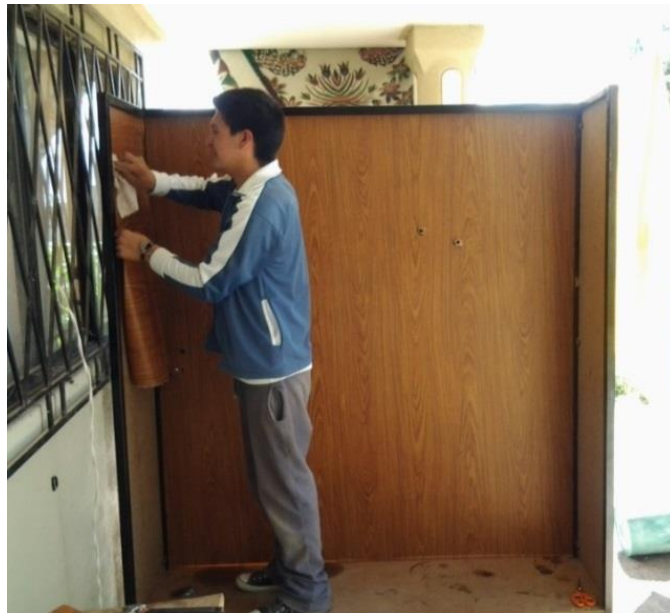


Figura 3.18 Proceso de pegado del papel contac en la maqueta

3.5.3 Partes adicionales complemento de la maqueta

Para tener una mejor simulación del trabajo que realiza el sistema fuel/oil cooler fue necesario recrear una vista parecida a lo que se tiene en la realidad. Para lo cual fue necesario construir un cowling de madera, un perfil alar hecho de tol y un pylon elaborado de madera. Adicional se baroló una plancha de acero de 3 mm para simular el cuerpo del motor.



Figura 3.19 Cowling de motor y perfil alar

3.5.4 Proceso de pintura del cowling del motor, perfil alar y pylon

Para el proceso de pintura primero se corrigieron las fallas, masillando todo el contorno para luego pasar varias pasadas de lija y obtener después una superficie lisa sin imperfecciones en el cowling del motor.

Mientras que en el perfil alar se procede a colocar en toda la superficie un antioxidante para posterior proceder a pintarlo.



Figura 3.20 Proceso de masillado y lijado

Posterior al lijado se utilizó dos pasadas de sellador para evitar que la madera absorba la pintura, luego se dio una pasada de fondo color gris.

Mientras que para el perfil alar, al ser este de acero, bastó con limpiar el polvo adherido y se dio paso a pintarlo del color deseado sin necesidad de corregir fallas.



Figura 3.21 Proceso de sellado y fondo del cowling

Por último se dio el acabado final colocando colores blanco y aluminio en la parte exterior del cowling, dorado envejecido en la parte interior del cowling y en los álabes, mientras que en el perfil alar se dio un acabado de color aluminio en el borde de ataque y gris en el contorno.



Figura 3.22 Acabado final de pintura del cowling del motor y pylon



Figura 3.23 Acabado final del perfil alar

3.5.5 Ensamblaje de la maqueta

El proceso de ensamblaje empezó por colocar el cowling del motor a la maqueta sujeta por tres pernos de 5", la plancha de acero barolada está montada por delante sobre una parte del cowling del motor y en la parte trasera está sujeta por dos pernos de $\frac{1}{4}$ " \times 2".

El perfil alar está sujeto en la parte trasera por dos ganchos, que le adhieren a la maqueta con acción del peso del mismo perfil. Luego se inserta el pylon entre el cowling del motor y el perfil alar.



Figura 3.24 Ensamble de la maqueta

Posteriormente se instaló los reservorios de aceite y combustible sujetos a la maqueta por 2 pernos de $\frac{1}{4}$ " \times 2", también se aseguró el intercambiador fuel/oil cooler con el motor, enseguida se colocó las cañerías de cobre que salen de los respectivos reservorios y se conectan con el fuel/oil cooler.

Cabe indicar que la bomba de aceite se encuentra sumergida en el interior del reservorio por lo tanto la cañería de retorno está conectada directamente desde el fuel/oil cooler hacia el reservorio, mientras que la cañería de retorno del fluido de combustible pasa del intercambiador a una de las bombas de retorno, luego se conecta con un serpentín de aluminio, este permite enfriar el fluido de combustible luego de haber sido calentado por acción del intercambiador para que después ingrese como fluido frío en el proceso de transferencia de calor, seguido se conecta con otra bomba de combustible para permitir que el fluido suba al reservorio y finalmente se conecta al reservorio.



Figura 3.25 Instalación de reservorios, serpentín y bombas

También se instaló los respectivos termómetros sujetados al motor con la ayuda de la masilla epóxica, mientras que las sondas (termocúplas) son introducidas en las cañerías de las entradas y salidas del intercambiador (fuel/oil cooler) estas permiten sensor la temperatura a la que ingresan y abandonan el intercambiador los fluidos, para insertar la termocupla en la cañería se utilizó una unión de cobre en forma de T luego se conectó un bushing de 3/8" a 1/4" sobre el cual se insertó un acople de compresión para evitar fugas en la unión de la termocupla, cabe indicar que los sensores sensan como máximo 125 °C.

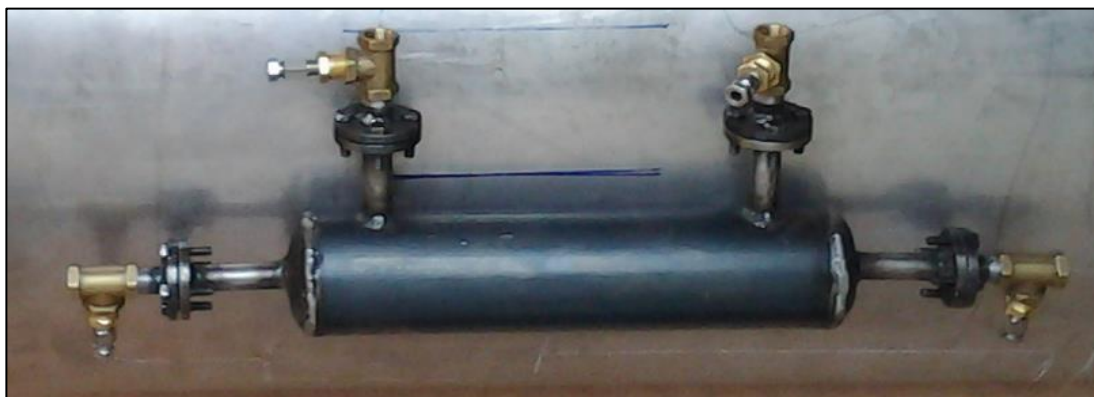


Figura 3.26 Instalación de uniones tipo T, bushings y acoples de compresión



Figura 3.27 Instalación del fuel/oil cooler y termómetros

3.6 Pruebas operacionales del intercambiador de calor

La primera prueba operacional se realizó con el intercambiador de coraza y tubo construido como diseño original para el proceso de intercambio de calor. Los accesorios que comprenden todo el proceso de intercambio de calor son:

- 1 Intercambiador de calor (coraza y tubo / coraza y doble serpentín)
- 2 Reservorios
- 1 Serpentín (Para enfriar el combustible, luego de haber trabajado)
- Cañerías
- 4 Termocuplas
- 4 Indicadores de temperatura
- 1 Bomba de aceite
- 1 Moto reductor (Para activar la bomba de aceite)
- 2 Bombas de combustible eléctricas 12 V
- 2 Válvulas de paso

Se instaló los accesorios en un soporte interino para determinar la cantidad de caudal que provee cada bomba y determinar la efectividad del intercambiador. Se utilizó como fluido calorífico aceite de motor usado SAE- 40 y como fluido refrigerante combustible JET A-1.



Figura 3.28 Instalación interina del sistema fuel/oil cooler

3.6.1 Pruebas operacionales (Intercambiador de coraza y tubo)

Según la tabla 3.3 se observa que la ganancia de temperatura en el fluido refrigerante no supera los 5°C , mientras que el fluido calorífico obtiene una caída de temperatura de hasta 53.5°C . Lo cual no es tan apropiado para el trabajo demostrativo siendo que la temperatura del combustible debe subir por lo menos 14°C .

También cabe indicar que al ser un sistema cerrado la temperatura inicial del combustible tiende a subir un promedio de 1.5°C cada 5 minutos, mientras que el caudal permanece constante en todo el proceso.

Tabla 3.3

Prueba operacional N° 01.

(Intercambiador de coraza y tubo)

Día: Miércoles		Fecha: 09/Julio/2014		HORA: 20H20	
TIEMPO		ACEITE DE MOTOR		COMBUSTIBLE JET-A1	
min.	Caudal cm ³ /min	IN °C - OUT °C	Caudal cm ³ /min	IN °C - OUT °C	
0	500	13.3 - 13.0 - 0.3	1500	13.3 - 13.6 + 0.3	
5	500	94.3 - 47.0 - 47.3	1500	14.5 - 19.5 + 5	
10	500	96.1 - 48.5 - 47.6	1500	17.3 - 23.1 + 5.8	
15	500	97.0 - 50.4 - 46.6	1500	22.0 - 26.3 + 6.3	
20	500	98.5 - 53.6 - 44.9	1500	24.3 - 28.4 + 4.1	
25	500	100.0 - 53.6 - 46.4	1500	25.1 - 29.2 + 4.1	
30	500	102.8 - 54.6 - 48.2	1500	26.0 - 30.6 + 4.6	
35	500	104.5 - 55.0 - 49.5	1500	26.8 - 31.6 + 4.8	
40	500	106.8 - 56.1 - 50.7	1500	27.8 - 32.6 + 4.8	
45	500	107.3 - 55.5	1500	28.3 - 33.2	

CONTINÚA



		- 51.8		+ 4.9
50	500	109.6 - 56.6	1500	29.1 - 34.0
		- 53		+4.9
55	500	110.5 - 57.0	1500	29.7 - 34.6
		- 53.5		+ 4.9
60	500	111.8 - 58.2	1500	30.0 - 35.0
		- 53.6		+ 5

Posterior a la primera prueba operacional se tuvo un percance a la hora de bombear aceite ya que el fluido caliente no circulaba a través del sistema, esto demoró el avance programado de la tesis.

Lo cual dio a pensar que la bomba se encontraba defectuosa pero luego de varios intentos se determinó que el aceite al ser usado mucho tiempo perdió sus propiedades (viscosidad) por ende la bomba no absorbía el fluido, sin embargo esto era una hipótesis del problema en cuestión.

Para solucionar este problema se optó en usar aceite aeronáutico MOBIL JET OIL 254 en la prueba operacional N° 02. Durante el tiempo que trabajó la bomba con este nuevo aceite no presentó ningún inconveniente, sin embargo se realizaron varias pruebas adicionales para comprobar que el problema se había solucionado satisfactoriamente.

Como se observa en la prueba operacional N° 02 la variación de temperatura es significativa en el fluido calorífico mientras que en el fluido frigorífico no existe un aumento mayor a 5 °C hasta el minuto 55, ya que luego se apagó una de las dos bombas que permiten que el combustible recircule reduciendo así el caudal y permitiendo variar la temperatura en algo más que 7 °C.

Tabla 3.4

Prueba operacional N° 02

(Intercambiador de coraza y tubo)

Día: Viernes		Fecha: 11/Julio/2014		HORA: 19H25	
TIEMPO		ACEITE DE MOTOR		COMBUSTIBLE JET - A1	
min.	Caudal cm ³ /min	IN °C - OUT °C	Caudal cm ³ /min	IN °C - OUT °C	
0	500	18.0 - 18.0 0.0	1500	18.0 - 18.0 0	
5	500	108.0 - 49.5 - 58.5	1500	20.0 - 24.5 + 4.5	
10	500	110.1 - 59.7 - 50.4	1500	24.4 - 29.8 + 5.4	
15	500	110.4 - 62.6 - 47.8	1500	28.1 - 33.3 + 5.2	
20	500	109.7 - 63.8 - 49.5	1500	31.6 - 36.5 + 4.9	
25	500	104.6 - 62.4 - 42.2	1500	34.2 - 38.8 + 4.6	
30	500	105.2 - 64.2 - 41	1500	35.5 - 39.9 + 4.4	
35	500	109.4 - 73.8 - 35.6	1500	37.6 - 42.8 + 5.2	
40	500	111.3 - 77.1 - 34.4	1500	39.1 - 44.5 + 5.4	
45	500	112.5 - 77.8 - 34.7	1500	41.2 - 46.4 + 5.2	

CONTINÚA



50	500	112.0 - 79.7	1500	42.4 - 47.2
		- 32.3		+ 4.8
55	500	109.5 - 75.8	1500	41.1 - 45.6
		- 33.7		+ 4.5
60	500	109.7 - 77.3	800	39.9 - 49.5
		- 32.4		+ 9.6
65	500	113.1 - 79.7	800	40.4 - 49.2
		-33.4		+ 8.8
70	500	114.7 - 83.3	800	42.4 - 50.1
		- 31.4		+ 7.7
75	500	114.8 - 81.3	800	43.3 - 50.3
		- 33.5		+7

Previo la siguiente prueba se presentó el mismo problema con el sistema de aceite ya que nuevamente el fluido no circulaba. El fluido en frío circulaba normalmente pero una vez precalentado a más de 60 °C el fluido no circulaba a través del sistema. Se revisó todos los componentes para constatar que no hubiese averías en ninguno de ellos, asumiendo nuevamente el problema al fluido utilizado, dado que el aceite sometido a altas temperaturas pierde parte de su viscosidad, se comprendió que la bomba no succiona en dichas condiciones.

Por tal motivo se tuvo dos opciones a elegir, se cambiaba la bomba de aceite o a su vez se utilizaba otro aceite relativamente más pesado. Se cambió el aceite ya que era más factible a tener que rediseñar el sistema.

Durante la siguiente prueba operacional se redujo el caudal del lado calorífico para observar la variación que produce en las temperaturas. Sin embargo se observó que la temperatura levemente variaba, teniendo así una ganancia de temperatura en el combustible de aproximadamente 8 °C.

El fluido caliente circuló con un caudal de 400 cm³/min ya que se disminuyó el voltaje del moto reductor que actúa la bomba de aceite de 9 V a 6 V, mientras que el fluido frío circulaba a una razón de 1500 cm³/min.

Tabla 3.5

Prueba operacional N° 03.

(Intercambiador de coraza y tubo)

Día: Martes		Fecha: 16/Julio/2014		HORA: 22H10	
TIEMPO		ACEITE DE MOTOR		COMBUSTIBLE JET - A1	
min.	Caudal cm³/min	IN °C - OUT °C	Caudal cm³/min	IN °C - OUT °C	
0	500	11.5 - 11.5	1500	11.5 - 11.5	
		0.0		0.0	
5	500	90.8 - 52.3	1500	11.4 - 23.1	
		- 38.5		+ 11.7	
10	500	101.5 - 59.8	1500	14.1 - 26.7	
		- 41.7		+ 12.6	
15	500	101.8 - 62	1500	18.5 - 29	
		- 39.8		+ 10.5	
20	500	103.8 - 64	1500	22.3 - 31.8	
		- 39.8		+ 9.5	
25	400	103.3 - 62.5	1500	25.1 - 33.6	
		- 40.8		+ 8.5	
30	400	103.6 - 57.5	1500	26.1 - 33.5	
		- 46.1		+ 7.5	

CONTINÚA



35	400	105.3 - 58.5 - 46.8	1500	26.5 - 33.7 + 7.3
40	400	108.3 - 60.3 - 48	1500	26.5 - 33.7 + 7.2
45	400	110 - 62.3 - 47.7	1500	27.8 - 35.5 + 7.7
50	400	110.6 - 63 - 47.6	1500	27.8 - 35.7 + 7.9
55	400	113 - 63.7 - 49.3	1500	28.6 - 36.6 + 8
60	400	112.2 - 61.9 - 50.3	1500	29.8 - 37.4 +7.6
65	400	114.4 - 64.1 - 50.3	1500	30.1 - 38 + 7.9

Luego de la tercera prueba operacional se notó algo extraño en el fluido refrigerante ya que su coloración se volvió negra producto de una mezcla de fluidos entre el aceite y combustible. Se revisó todo el sistema exteriormente y no se encontró fugas, después de varias pruebas adicionales se determinó que la mezcla entre los fluidos se producía en las uniones internas del intercambiador de calor que se encuentran soldadas con bronce.



Figura 3.29 Fugas encontradas en el intercambiador

Una vez conocida la ubicación de la fuga, se trató de dar solución colocando un anillo de suelda en todas las uniones para sellar las fugas existentes. El resultado que se obtuvo luego de haber soldado no fue nada satisfactorio, dado que las fugas se incrementaron. Se soldó nuevamente dichas uniones pero no se tuvo éxito.

Después del fracaso del intercambiador de coraza y tubo se optó por diseñar y construir otro intercambiador de coraza y doble serpentín, eligiendo este tipo de intercambiador para evitar la necesidad de soldar los extremos de cada uno de los tubos y prevenir futuras fugas.

La construcción del intercambiador de tubo y doble serpentín se demoró, porque la tubería de los serpentines al ser de diámetro pequeño no soportaba y se atachaba y al no haber en el mercado dobladoras de tubo pequeñas se construyó primero la dobladora para formar los serpentines.

3.6.2 Pruebas operacionales (Intercambiador de coraza y doble serpentín.

Una vez construido el intercambiador se realizó la respectiva instalación para dar paso a las respectivas pruebas operacionales, como se puede observar en la siguiente figura 3.30 tenemos la vista posterior de la maqueta donde se encuentran instalados los reservorios, las bombas de aceite y combustible, las cañerías y el serpentín.

A pesar de que el serpentín tiene un tamaño considerable no fue suficiente para ayudar a enfriar el fluido de combustible ya que cada 5 minutos el fluido subía su temperatura entre 4°C y 6 °C, lo cual no era óptimo ya que a medida que el tiempo iba pasando la temperatura de entrada del combustible iba subiendo hasta llegar al punto en que las temperaturas entre los dos fluidos se

igualaran. Para lo cual se tuvo que instalar un ventilador en el serpentín para que el aire de impacto ayude a enfriar dicho fluido.



Figura 3.30 Instalación de los accesorios para pruebas operacionales

En la prueba operacional N° 04 se puede constatar que pasado los 30 minutos de funcionamiento se observa una ganancia considerable de aproximadamente 13°C de temperatura en el fluido frío. Mientras que en el fluido caliente una pérdida de temperatura que supera los 30°C. Teniendo en cuenta que las bombas de combustible funcionan a 12V DC obteniendo un caudal de 1500 cm³ mientras que el motor que acciona la bomba de aceite trabaja de igual forma a 12V DC con un caudal de 650 cm³

Tabla 3.6

Prueba operacional N° 04.

(Intercambiador de coraza y doble serpentín)

Día: Viernes

Fecha:

HORA: 13H00

19/Septiembre/2014

CONTINÚA



TIEMPO	ACEITE DE MOTOR		COMBUSTIBLE JET - A1	
	min.	Caudal cm ³ /min	IN °C - OUT °C	Caudal cm ³ /min
0	650	20.0 – 20.0	1500	20.0 – 20.0
		0.0		0.0
5	650	77.4 – 43.6	1500	20.8 – 30.6
		- 33.8		+ 9.8
10	650	85.4 – 52.3	1500	25.4 - 36.0
		- 33.1		+ 10.6
15	650	91.7 – 59.1	1500	28.8 – 40.1
		- 32.6		+ 11.3
20	650	93.8 – 61.8	1500	32.2 – 43.7
		- 32		+ 11.5
25	650	93.5 – 60.2	1500	33.4 – 44.0
		- 33.3		+ 10.6
30	650	93.4 – 61.7	1500	34.8 – 45.6
		- 31.9		+ 10.8
35	650	98.6 – 65.2	1500	35.9 – 48.1
		- 33.4		+ 12.2
40	650	102.5 – 71.1	1500	37.3 – 50.3
		- 31.4		+ 13
45	650	105.1 – 74.5	1500	38.6 – 52
		- 30.6		+ 13.4
50	650	105.8 – 74.4	1500	39.7 – 52.9
		- 31.4		+ 13.2
55	650	107 – 76.2	1500	40.3 – 53.8
		- 30.8		+ 13.5
60	650	108.3 – 77.4	1500	41.0 – 54.4
		- 30.9		+13.4

En la prueba operacional N° 05 el voltaje del moto reductor que mueve la bomba mecánica de aceite se redujo de 12 V dc a 5 V dc para reducir el caudal del aceite de 650 cm^3 a 400 cm^3 , mientras que en combustible se mantiene los 1500 cm^3 que provee las dos bombas de combustible conectadas en serie. Se realizó esta configuración de caudal para observar como varían las temperaturas de los dos fluidos.

De acuerdo a la tabla 3.7 se verificó que existe una gran pérdida de temperatura en el fluido calorífico que supera los 60°C y en el fluido refrigerante una ganancia de temperatura que redondea los 13°C . Dando como resultado una variación de temperaturas adecuada para simular el funcionamiento del sistema fuel/oil cooler.

Nótese que este intercambio de temperaturas obtenidas en este trabajo no es el real que se produce en un motor puesto que para ello se necesitará mayor inversión y un espacio relativamente grande por lo cual no es factible. Pero se puede apreciar el fundamento del fuel/oil cooler que es intercambio de calor entre los fluidos de aceite y combustible.

Tabla 3.7

Prueba operacional N° 05.

(Intercambiador de coraza y doble serpentín)

Día: Sábado

Fecha:

HORA: 21H50

20/Septiembre/2014

TIEMPO

ACEITE DE MOTOR

COMBUSTIBLE JET - A1

CONTINÚA



min.	Caudal cm³/min	IN °C - OUT °C	Caudal cm³/min	IN °C - OUT °C
0	400	13.0 – 13.0 0.0	1500	13.0 – 13.0 0.0
5	400	82.8 – 30.8 - 52	1500	16.6 – 25.7 + 9.1
10	400	92.7 – 40.2 - 52.5	1500	19.1 – 29.1 + 10
15	400	102.1 – 46.4 - 55.7	1500	21.6 – 32.6 + 11
20	400	108.4 – 50.6 - 57.8	1500	24.6 – 36.1 + 11.5
25	400	111.7 – 53.7 - 58	1500	26.2 – 38.2 + 12
30	400	114.4 – 56 - 58.4	1500	27.5 – 39.8 + 12.3
35	400	116.0 – 57.7 - 58.3	1500	28.7 – 41.3 + 12.6
40	400	117.5 – 59.0 - 58.5	1500	29.6 – 42.3 + 12.7
45	400	119.6 – 60.5 - 59.1	1500	30.6 – 43.4 + 12.8
50	400	120.3 – 60.5 - 59.8	1500	31.2 – 44.2 + 13.0
55	400	121.2 – 60.7 - 60.5	1500	31.5 – 44.4 + 12.9
60	400	122.1 – 61.8 - 60.3	1500	31.8 – 44.9 +13.1

3.7 Caja de control

3.7.1 Diseño de la caja de control

Para darle un fácil control y adecuada operación del sistema fuel/oil cooler se diseñó una caja de control que monitoree todo el sistema eléctrico de la maqueta.

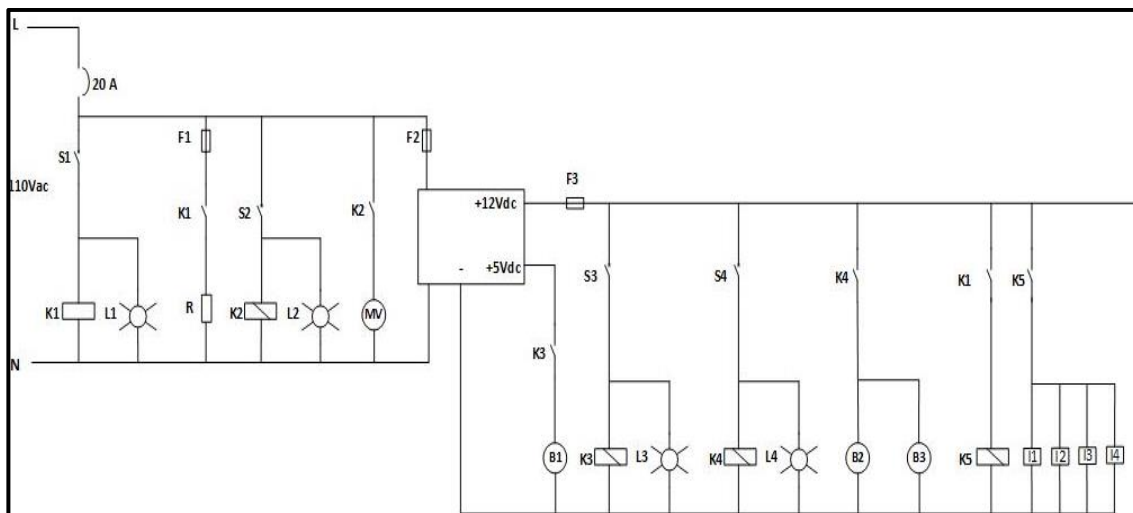


Figura 3.31 Diseño eléctrico de la caja de control

DONDE:

K1= relé de activado de la resistencia

S1= interruptor de arranque de la resistencia

K2= contactor de la resistencia

K2= relé motor de la resistencia

S2= interruptor para el ventilador

F1= fusible

F2= fusible

F3= fusible

S3= interruptor de activado de bombas de combustible

K3= relé de activado de bombas

S4= interruptor de activado de bombas de aceite

K4= relé bomba de aceite

3.7.2 Construcción de la caja de control

Para la construcción de la caja de control fue necesario comprar:

- Gabinete
- 3 Relés de 12 VDC
- 1 Relé de 110 VAC
- 2 Porta fusibles
- 1 Fusible de 4 amperios
- 1 Fusible de 6 amperios
- 1 Contactor
- 1 Fuente de poder para PC
- 1 Breaker
- 2 Luces piloto de 110 VAC
- 2 Luces pilotos de 12 VDC
- Cable N° 18
- Cable N° 10
- 10 Borneras

Posterior a la compra se procedió a ensamblar todos los componentes dentro del gabinete con ayuda de un ingeniero electrónico dando como resultado un fácil y sencillo control para su operación. Así se tiene 4 interruptores de control el primero que controla la resistencia eléctrica que está ligada a los sensores, de tal forma que al encender la resistencia eléctrica también se encenderán los indicadores de temperatura, el segundo que activa la bomba de combustible, el tercero que activa el motor de la bomba de aceite y el cuarto interruptor activa el ventilador que permite enfriar el combustible.



Figura 3.32 Caja de control

Después de culminar con el ensamble de la caja de control se la instaló en el lugar más apropiado, sobre un soporte tipo base. Generando una vista apropiada para controlar todo el sistema fuel/oil cooler.



Figura 3.33 Instalación de la caja de control

3.8 Acabados finales

Terminado el acoplamiento de todos los componentes se corrigió las posibles fallas existentes en la maqueta, como fueron fugas existentes en los acoples de la tubería, pequeñas aberturas en las uniones del cowling y pylon y de igual forma entre el pylon y el perfil alar.

Se realizó la instalación eléctrica en lo que son bombas, termómetros digitales, mini motorreductor, resistencia eléctrica y ventilador. Todos controlados desde una caja de control instalada en la parte frontal de la maqueta para optimizar el funcionamiento del sistema fuel/oil cooler.

Luego se pintó el piso de la maqueta, para dar un mejor realce al trabajo de graduación.

Adicional se dio los últimos acabados colocando stikers con el nombre de la maqueta, también con el escudo de la universidad.

3.9 Costo total del proyecto de grado

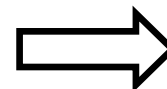
Para determinar el costo total del proyecto se ha realizado dos tablas, referentes a los gastos primarios y secundarios. Tal cual se detalla a continuación con los respectivos costos.

Tabla 3.8

Gastos primarios del proyecto.

GASTOS PRIMARIOS DEL PROYECTO			
Cantidad	Detalle	Valor unitario	Valor total

CONTINÚA



2	Intercambiadores de calor	200.00	400.00
2	Reservorios	70.00	140.00
8	Tubería de cobre flexible ½"	9.00	72.00
2	Bombas de combustible	20.00	40.00
1	Bombas de aceite	25.00	25.00
10	Acoples hembra para tubería	2.00	20.00
1	Perfil alar	60.00	60.00
1	Fan del motor (madera)	80.00	80.00
3	Tubos cuadrados de 1"	12.00	36.00
2	Planchas MDF	40.00	80.00
4	Garruchas	5.00	20.00
1	Ventilador	26.00	26.00
6	Aceite de motor (gls)	4.50	27.00
2	Papel contac decorativo	15.50	31.00
4	Termómetros con sonda	20.00	80.00
4	Acoples de compresión	18.00	76.00
4	Bushings	2.50	10.00
1	Caja de control y cableado	300.00	300.00
2	Pintura (Qts)	5.00	10.00
40	Remaches	0.05	2.00
50	Pernos (diferente medida)	0.20	10.00
2	Formica	24.00	48.00
1	Mano de obra	200.00	200.00
8	Abrazaderas ½"	1.00	8.00
1	Sujetadores tipo gancho	5.00	5.00
1	Silicona térmica	15.00	15.00
1	Electrodos 60-11 (lb)	2.00	2.00
1	Tubería flexible 3/8" (m)	5.00	5.00
1	Gastos varios	115.00	115.00
		TOTAL=	\$ 1827.00

Tabla 3.9

Gastos secundarios del proyecto.

GASTOS SECUNDARIOS DEL PROYECTO			
Cantidad	Detalle	Valor unitario	Valor total
1	Internet	40.00	60.00
1	Material de oficina	20.00	20.00
1	Cortadora de tubo	12.00	12.00
1	Diseño en AUTOCAD	40.00	40.00
1	Transporte	100.00	100.00
1	Impresiones y empastados	150.00	150.00
		TOTAL=	\$ 382.00

Gastos primarios del proyecto \$1827.00

Gastos secundarios del proyecto \$ 382.00

El costo total del proyecto de grado es de \$ 2209.00

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se construyó la maqueta que simula el sistema fuel/oil cooler para implementar equipos didácticos en los talleres de la UGT. Ayudando de esta forma a equipar material de apoyo que contribuirá a mejorar las clases de los estudiantes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.
- Se recopiló información escasa pero necesaria para diseñar el fuel/oil cooler, sabiendo que se diseñó y construyó dos intercambiadores de calor de tipo **coraza y tubo** y otro de tipo **coraza y doble serpentín**, siendo el segundo utilizado para la demostración del sistema fuel/oil cooler.
- Para observar la variación de temperatura se instaló sensores con indicadores de temperatura digitales para tener una mejor apreciación del intercambio de calor entre el aceite y combustible.
- Se afirma y se comprueba la ley de la termodinámica que dice que la energía calorífica perdida por un cuerpo es igual a la energía calorífica que absorbe otro cuerpo. Sin embargo ningún proceso de transferencia calorífica puede ser del 100% ya que en los procesos naturales tienden a ir hacia la dispersión de la energía. Dicho de otra manera parte de la energía se dispersa hacia el exterior del medio.
- En el proceso de transferencia de calor la energía calorífica siempre fluye espontáneamente desde el fluido con mayor temperatura hacia el fluido con menor temperatura y nunca de forma inversa.

- Al ser soldados los tubos con una placa divisora en los extremos de la entrada y salida del intercambiador de tubos y coraza se presentó un grave problema a partir de la tercera prueba operacional, ya que se desoldó más de un tubo, permitiendo así que los fluidos se mezclaran. Al intentar corregir dicho problema soldando nuevamente con bronce todas las uniones se alargó el problema ya que aumentaron las fugas, debido a que se desoldaron mayormente las uniones.
- Durante el proceso de transferencia de calor mientras mayor sea la superficie de contacto entre los fluidos, mayor será el intercambio de calor. Tanto es así que tuvimos que rediseñar el intercambiador de tubo y coraza por un intercambiador de coraza y doble serpentín, para lograr obtener una mayor área de superficie de contacto en un espacio reducido y evitarnos la necesidad de soldar los extremos de los tubos para no producir fugas como en el caso del intercambiador anterior.
- Al encontrarse el fluido refrigerante en un circuito cerrado tiende a subir la temperatura luego de haber realizado su trabajo, y por ende sube la temperatura de ingreso al intercambiador, lo cual no es bueno, ya que a medida que transcurre el tiempo la temperatura inicial del fluido refrigerante alcanza temperaturas elevadas lo cual decrece la eficiencia del intercambiador. Para corregir este percance se ha utilizado un serpentín acompañado de un ventilador los cuales están ubicados a la salida del fuel/oil cooler para que el fluido luego ingrese al reservorio.
- Dado que las bombas de combustible y los indicadores digitales operan con 12V DC, mientras que el motorreductor opera de 4,5V DC a 12V DC se utilizó una fuente de poder de computadoras, la cual nos provee de 12V, 5V y 3.5V DC.

- Se concluye que el intercambiador de calor de coraza y doble serpentín alcanza su mejor rendimiento cuando operamos con 12V DC las bombas de combustible, mientras que la bomba de aceite es accionada por un motorreductor con un voltaje de 5V DC. Estos voltajes son provistos por una fuente de computador.

4.2 Recomendaciones

- Al trabajar con sistemas hidráulicos cerrados se recomienda utilizar válvulas de paso y válvulas unidireccionales (check) en las tomas del reservorio, ya que estos accesorios permiten controlar el fluido para una buena operación de los sistemas y cualquier mantenimiento a realizar.
- Se recomienda utilizar un aceite de motor pesado de preferencia SAE 90 para que la bomba de aceite pueda succionar sin dificultad. Debido a que cuando se enciende la resistencia sube la temperatura mientras que la viscosidad del fluido disminuye y la bomba no succiona el fluido.
- Para un mejor rendimiento del intercambiador de calor es preferible ponerlo a funcionar cuando la temperatura ambiente este por debajo de los 15°C. Esto ayudará a que el fluido de combustible mantenga una temperatura óptima al ingreso de intercambiador.
- Es importante no olvidar que los sensores de temperatura que están instalados a las entradas y salidas del intercambiador tienen una tolerancia máxima de 150°C, los cuales pasado los 125°C dejan de mostrar indicación. Por lo cual no es recomendable sobrepasar los 125°C para evitar quemar el sensor de temperatura.
- Para una mejor apreciación de la variación de temperatura en el intercambiador es recomendable esperar entre 15 a 20 minutos

después de haber encendido la resistencia eléctrica, para que el aceite se caliente y alcance una temperatura superior a 90°C, luego de este tiempo es factible poner a correr el sistema.

- Una vez terminado la operación del fuel/oil cooler es indispensable apagar la resistencia eléctrica, seguido de las bombas de combustible y aceite también el ventilador y cerrar las válvulas de paso que se encuentran a la salida de cada reservorio.

Referencias bibliográficas

- KARLEKAR, B. (1998). *Transferencia de calor. México. Editorial Interamericana.*
- O.A.Jaramillo. (2007). *INTERCAMBIADORES DE CALOR. MÉXICO. Centro de investigación en energías.*
- EDSON GUZMÁN VELÁZQUEZ. (2011). *Diseño y simulación de intercambiadores de calor para túneles del metro de la ciudad de México. México.*
- <http://es.slideshare.net/AlejoRueda/fuentes-de-poder-alejandrorueda>. (citado el 08-06-2014).
- <http://es.slideshare.net/kof2002plus/termodinmica-intercambiadores-de-calor>. (citado el 12-04-2014).
- <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>.(citado el 15-04-2014).
- <http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>. (citado el 15-07-2014).
- <http://www.rexite.net/pdf/bombas.pdf>.(citado el 01-09-2014).
- <http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Fuel.htm>. (citado el 26-03-2014).
- http://www.smartcockpit.com/aircraft-ressources/B727-Power_Plant.html. (citado el 29-03-2014).
- http://www.wiseupkids.com/informacion/quimica/elementos_de_calefaccion.pdf.(citado el 09-09-2014).
- <https://prezi.com/q3at1s1-h4l-/bombas>.(citado el 21-10-2014).

ANEXOS

