





**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE  
BOMBAS DE COMBUSTIBLE PARA EL AVIÓN C-130**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECATRÓNICA**

**GABRIEL ALEXANDER REGALADO HIDALGO**

**DIRECTOR: ING. PEÑAHERRERA ANDRADE ROGER SANTIAGO**

**Quito, Abril 2015**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo, **GABRIEL ALEXANDER REGALADO HIDALGO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Gabriel Alexander Regalado Hidalgo  
C.I. 172022324-5

# CERTIFICACIÓN

Certificó que el trabajo que lleva por título “**Diseño y construcción de bancos de prueba de bombas de combustible para el avión c-130**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica**, fue desarrollado por el Sr. **Gabriel Alexander Regalado Hidalgo**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

---

Ing. PEÑAHERRERA ANDRADE ROGER SANTIAGO

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 1709223349

## DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicarlo a Dios quien siempre me dio fuerza, coraje y sabiduría para no rendirme ante las adversidades de la vida, mostrando valor para luchar por mis sueños y enfrentar toda adversidad.

A mis Padres que siempre me apoyaron incondicionalmente en todo momento y de todas las formas, a mi hija Sofía que es lo más grandioso que me puedo pasar en la vida mis hermanos menores que a su manera supieron brindar su empujón para seguir adelante.

A mi gran amigo Edwin Ayo quien con sus conocimientos me supo guiar en parte de mis estudios. Mis abuelitos que con su sabiduría supieron llenarme de conocimientos.

.

A todos ellos quiero decirles millón gracias Dios le pague y los bendiga!!

“ESTA VEZ FUE POR USTEDES... ESTÉN DONDE ESTÉN”

## **AGRADECIMIENTO**

Al ing. Roger Pañaherrera por asumir este reto y brindarme sus valiosos conocimientos ayudándome a cumplir estos objetivos.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial y a sus profesores por brindarme su apoyo y compartir sus conocimientos en campos desconocidos, a todos ellos que sin tener ningún vínculo familiar me trataron como si lo fuera , gracias por su paciencia

Mi mayor agradecimiento va a las personas que por el apoyo: Financiero, experiencias y colaboración en forma de instrucción, ejemplo de amistades y ayuda a la hora de llevar a cabo de este proyecto.

Mis queridos Padres, mis hermanos, mi hermosa familia la cual nunca dudo de mí, Mis amigos que siempre estuvieron para su apoyo moral y académico.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	i
OBJETIVO GENERAL:.....	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. PROPIEDADES DE LOS FLUJOS .....	3
2.1.1. PRESIÓN .....	3
2.1.2. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO .....	4
2.1.3. VISCOSIDAD .....	5
2.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL FLUJO DE FLUIDOS.....	6
2.2.1. NÚMERO DE REYNOLDS .....	7
2.2.2. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD .....	9
2.2.3. Ecuación de Bernoulli.....	10
2.2.4. ECUACIÓN DE DARCY .....	12
2.3. BOMBAS CENTRIFUGAS.....	13
2.3.1. Clasificación .....	13
2.3.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	14
2.3.3. PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	14
2.3.3.1. Características Físicas.....	15
2.3.3.2. Características hidráulicas (velocidad específica).....	16
2.3.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS .....	17
2.3.4.1. Curva de Encienda.....	17
2.3.4.2. Curva de carga.....	18
2.3.4.3. Curva de Carga del Sistema.....	18
2.3.5. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA.....	18

2.3.6. CURVA POTENCIA – GASTO.....	19
2.4. BOMBAS BOOSTER (reforzadas).....	19
2.4.1. Arranque del motor de la bomba booster.....	20
2.4.2. Características de las bombas booster.....	21
2.5. SISTEMA DE COMBUSTIBLE AVIÓN C-130.....	22
2.5.1. UBICACIÓN DE LAS BOMBAS BOOSTER EN AVIÓN C-130 .....	23
2.6. Lab VIEW .....	24
2.7. Arduino one .....	24
2.8. Caudalímetro YF-S201 .....	25
2.8.1. Especificaciones.....	26
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA.....	27
3.1.1. ANALISIS DE REQUERIMIENTO DEL PROYETO .....	28
3.1.1.1. Sistema mecánico del deposito de combustible con capacidad de 5 galones con las siguientes caracteriaticas.....	28
3.1.2. Simulación del depósito de la bomba de combustible.....	32
3.1.2.1. Tensiones (Von ises).....	32
3.1.2.2. Deformaciones del deposito.....	33
3.1.2.3. Desplazamientos del depósito.....	34
3.1.2.4. Sistema de control y electrónico.....	34
3.1.2.5. Control y Adquisición de datos.....	35
3.1.2.6. Sensor medidor de caudal.....	36
3.1.2.7. Arduino uno.....	37
3.1.2.8. LabVIEW.....	37
3.1.2.9. Inicialización de la programación arduino uno.....	38
3.1.2.10. Inicialización del programa LabVIEW.....	42
3.1.2.11. Programacion en LabView.....	44
3.1.2.12. Case Structure.....	44
3.1.2.13. While loop.....	44
3.1.2.14. VISA Configure Serial Port VI.....	45

3.1.2.15. Visa Open Funcion.....	45
3.1.2.16. VISA Read Funtion.....	46
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
4.1.1. Instalación en el banco previa al análisis.....	49
4.1.1.1. Sección mecánica.....	49
4.1.1.2. Sección de alimentación.....	51
4.1.2. Inicialización de funcionamiento de banco de pruebas.....	52
4.1.3. Análisis de resultados en frío.....	53
4.1.3.1. Análisis de caudal en frío.....	53
4.1.3.2. Análisis de presión en frío.....	53
4.1.4. Análisis de resultados en caliente.....	54
4.1.4.1. Análisis de caudal en caliente.....	54
4.1.4.2. Análisis de presión en caliente.....	55
4.1.5. Análisis de resultado en bombas con fallas en frío.....	55
4.1.5.1. Análisis de falla en caudal en frío.....	56
4.1.5.2. Análisis de falla de presión en frío.....	56
4.1.6. Análisis de resultados en bombas con falla en caliente.....	57
4.1.6.1. Análisis de falla de caudal en caliente.....	57
4.1.6.2. Análisis de falla en presión en caliente.....	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1. CONCLUSIONES.....	60
5.2. RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍAS.....	62
6. ANEXOS.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Presión absoluta y manométrica .....	4
<b>Figura 2.</b> Caída de presión en una tubería.....	6
<b>Figura 3.</b> Flujo laminar y turbulento en una tubería .....	7
<b>Figura 4.</b> Perfiles de velocidad laminar y turbulenta. ....	8
<b>Figura 5.</b> Diagrama representativo de la ecuación de continuidad .....	9
<b>Figura 6.</b> Elemento de fluido en un ducto.....	11
<b>Figura 7.</b> Elemento del fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli. ....	11
<b>Figura 8.</b> Componentes principales de una bomba centrífuga.....	15
<b>Figura 9.</b> Principales diseños de impulsores .....	16
<b>Figura 10.</b> Curvas de la bomba centrifugas.....	17
<b>Figura 11.</b> Punto de operación del sistema de desplazamiento .....	18
<b>Figura 12.</b> Curva potencia – gasto .....	19
<b>Figura 13.</b> Bombas booster .....	20
<b>Figura 14.</b> Arranque del motor .....	21
<b>Figura 15.</b> Descripción sistema de alimentación de combustible.....	22
<b>Figura 16.</b> Bombas boostes de los tanques auxiliares y principales .....	23
<b>Figura 17.</b> Esquema eléctrico de las bombas de combustible de los tanques principales .....	23
<b>Figura 18.</b> Software Lab VIEW .....	24
<b>Figura 19.</b> Arduino 1 .....	25
<b>Figura 20.</b> Caudalímetro YF- S201 .....	26
<b>Figura 21.</b> Diseño virtual de deposito .....	32
<b>Figura 22.</b> Simulación de von mises .....	33
<b>Figura 23.</b> Simulación de deformación .....	33
<b>Figura 24.</b> Simulación de desplazamiento.....	34

<b>Figura 25.</b> Proceso de adquisición de datos .....	35
<b>Figura 26.</b> Adquisición de datos .....	36
<b>Figura 27.</b> Diagrama de Flujo de Adquisición de señal de caudal .....	39
<b>Figura 28.</b> Selección de arduino uno.....	40
<b>Figura 29.</b> Selección de puerto .....	40
<b>Figura 30.</b> Programa para caudal de arduino .....	41
<b>Figura 31.</b> Resultados obtenidos en arduino UNO .....	42
<b>Figura 32.</b> Diagrama de flujo de LabVIEW .....	43
<b>Figura 33.</b> Case estructura.....	44
<b>Figura 34.</b> Estrctura While Loop.....	45
<b>Figura 35.</b> Configuración del puerto .....	45
<b>Figura 36.</b> Función de apertura de dato .....	45
<b>Figura 37.</b> Función de lectura de datos .....	46
<b>Figura 38.</b> Tratamiento de datos .....	46
<b>Figura 39.</b> Pantalla modo gráfico .....	48
<b>Figura 40.</b> Soporte de bomba de banco de prueba .....	49
<b>Figura 41.</b> Acople de sujeción .....	50
<b>Figura 42.</b> Tapa superior de banco .....	50
<b>Figura 43.</b> Suministro externo de Energía.....	51
<b>Figura 44.</b> Depósito de bomba de combustible .....	52
<b>Figura 45.</b> Curva de funcionamiento de caudal en frío normal .....	53
<b>Figura 46.</b> Curva de funcionamiento de presión en frío normal .....	54
<b>Figura 47.</b> Muestra de funcionamiento irregular en periodo frio.....	55
<b>Figura 48.</b> Curva de funcionamiento de presión en frío normal .....	55
<b>Figura 49.</b> Curva de funcionamiento con falla de caudal en frío .....	56
<b>Figura 50.</b> Curva de funcionamiento con falla de presión en frío.....	57
<b>Figura 51.</b> Curva de funcionamiento con falla en caudal en caliente.....	58

**Figura 52.** Curva de funcionamiento con falla de presión en caliente.....58

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> Código de programación Arduino .....	63
<b>ANEXO 2.</b> Diseño de depósito de combustible.....	64
<b>ANEXO 3.</b> Tabla de parámetros de bombas de combustible de avión C-130 .....	66

## RESUMEN

En la introducción, se realiza la estructuración del proyecto con base a la necesidad y capacidad de llevar a cabo con el banco de pruebas de las bombas de combustible para el avión C-130.

En el marco teórico se encuentran leves descripciones de los principales fundamentos de los requerimientos para llevar a cabo del diseño y construcción del proyecto que son labView, arduino, sensor de flujo YF-S201, descripción del funcionamiento de las bombas centrífugas y booster.

En la metodología se realiza un análisis de los requerimientos para el desarrollo del banco de prueba parte mecánica: construcción del tanque donde se va a anclar la bomba, en la parte electrónica tenemos una interface de arduino y LabView la cual nos permite una observación gráfica del comportamiento del sistema de caudal y presión que nos accede al desarrollo del proyecto.

En el análisis de resultados obtenemos pruebas de funcionamiento de las bombas de combustible por medio de graficas de comportamiento las cuales nos sirven para determinar si las bombas tienen un caudal y presión adecuados.

## **ABSTRACT**

First section, introduction shows the structure of the project based on the requirements and tools to carry out with the construction of the test bench for the C-130 aircraft fuel pumps.

The Theory section describes the base requirements and the theoretical framework to carry out of the design and construction of the project which most important tools used are labView, arduino, flow sensor YF-S201, also shows the description of the operation of centrifugal pumps and booster.

In the methodology section is carried out an analysis of the requirements for the mechanical part development of the test bench, mainly the construction of the tank , the site where will be anchoring the pump, the electronics and its interface with arduino and LabView which allows us a graphic observation of the behavior of the system flow and pressure that is the main development objective of the project.

In the analysis and results section, we show performance tests of fuel pumps by means of graphs of behavior which help us to determine if the pumps have adequate flow rate and pressure.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Fuerza Aérea Ecuatoriana mantiene el dominio del espacio aéreo y conduce operaciones aéreas para la defensa de la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional y del orden constitucional, donde el Ala de transporte No 11 tiene como fin ejecutar los diferentes tipos de mantenimientos, sean preventivos, correctivos y mayores del equipo aeronáutico. Observando la importancia del mantenimiento del equipo aeronáutico en la Fuerza Aérea Ecuatoriana se crea la necesidad en el Ala de transporte No 11 de acuerdo a los diferentes estudios realizados en el taller de Electricidad de esta unidad la de diseñar y construir un banco de prueba de bombas de combustible para el avión C-130, ya que no se posee una herramienta ni dispositivo que permita observar detalladamente el funcionamiento y estado de las bombas donde se pueda determinar el comportamiento mediante curvas características a los diferentes periodos de tiempo bajo condiciones normales y extremas de trabajo.

## **OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar y Construir un banco de pruebas para las bombas de combustible del avión C-130 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana para determinar las condiciones de operación de las bombas.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar los parámetros de funcionamiento de la bomba de combustible de avión C-130, y realizar el diseño de un banco de pruebas.
- Construir un banco de pruebas para realizar las diferentes pruebas a la bomba de combustible del avión C-130 para verificar su funcionamiento diferentes regímenes de trabajo.

- Documentar un protocolo de las pruebas que permitan identificar problemas de funcionamiento de la bomba.

El presente proyecto de titulación está enfocado al diseño y construcción de un banco de pruebas de las bombas de combustible del avión C-130, con el fin de facilitar la evaluación a diferentes ciclos de operación de presión y caudal por medio de un sistema informático que consta de un entorno gráfico, el cual nos permite observar los diferentes comportamientos de la bomba para determinar el correcto funcionamiento, claro está con la construcción simultáneo de un sistema mecánico que se encarga de alojar la bomba para realizar las pruebas de manera segura ya que obligadamente debe ser maniobrada por personal técnico calificado perteneciente al área de mantenimiento de la fuerza aérea Ecuatoriana del ala de transporte N°11.

## **2. MARCO TEÓRICO**

La inexistencia de bancos de prueba para bombas de combustible del avión C-130 crea la necesidad de investigar el funcionamiento total de este tipo de bombas para desarrollar un sistema práctico de comprobación de funcionamiento.

## **2.1. PROPIEDADES DE LOS FLUJOS**

Es necesario conocer las características principales de los flujos para el correcto uso y aplicación de las bombas de combustible. Los flujos a medirse son limpios o sucios; húmedos o secos, erosivos o corrosivos. El flujo puede ser laminar o turbulento. La presión y temperatura varían desde el vacío hasta presión de gran magnitud y desde servicios criogénicos hasta varios cientos de grados respectivos. Los valores del flujo van desde los L/h, hasta m<sup>3</sup>/s (Salas, 2009)

Entre las principales propiedades a considerar para el manejo de un fluido destacan las siguientes:

### **2.1.1. PRESIÓN**

La presión de un fluido, es la fuerza que se ejerce sobre un área unitaria, sus unidades son el Pascal (Pa) o N/m<sup>2</sup>. El análisis de la presión de un fluido se debe hacer tomando como referencia otra presión, la cual normalmente es la de la atmósfera, la presión resultante se conoce como presión manométrica; si se mide en relación con el vacío perfecto, se conoce como presión absoluta; la ecuación 2.1 muestra la relación existente entre estas presiones (Salas,2009).

$$P_{ab} = P_{atm} + P_{man} \quad [2.1]$$

Dónde:

$P_{ab}$  =Presión absoluta, [Pa].

$P_{atm}$  =Presión atmosférica, [Pa].

$P_{man}$  = Presión manométrica, [Pa].

La Figura 1 muestra una comparación entre la presión manométrica y la presión absoluta, así como el intervalo en el que varía la presión atmosférica al nivel del mar.

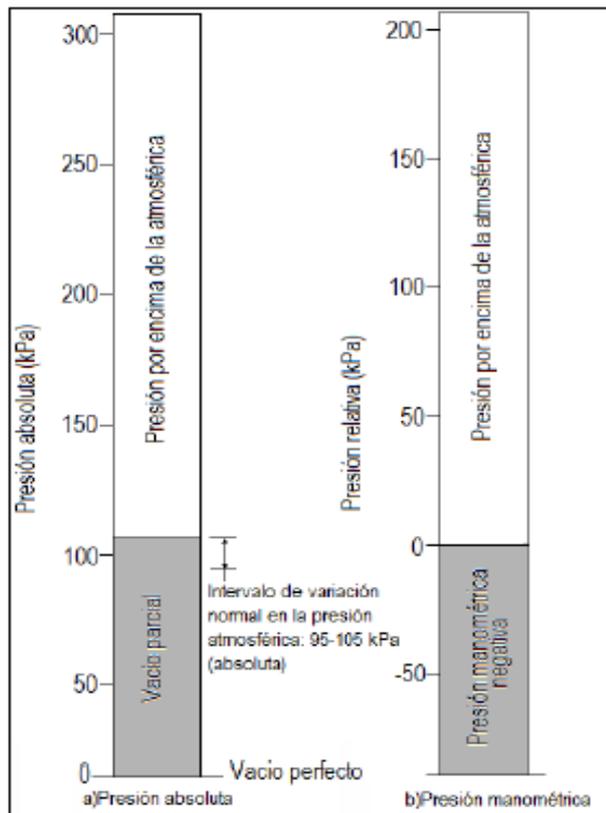


Figura 1. **Presión absoluta y manométrica**

Fuente:(Mott, 1996)

## 2.1.2. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO

La densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia. La densidad de agua es de 4°C, y a una presión atmosférica de 101.325 kPa es de  $100\text{kg}/\text{m}^3$ . El peso específico es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia (Mott 1996).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [2.2]$$

Dónde:

$\rho$ = Densidad, [ $kg/m^3$ ].

m= Masa, [ $kg$ ].

V= Volumen, [ $m^3$ ].

A menudo resulta conveniente indicar el peso específico o densidad de un fluido en términos de su relación con el peso específico o densidad de un fluido en común. La gravedad específica es el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad del agua a 4 °C, o bien el cociente del peso específico de una sustancia entre el peso específico del agua a 4 °C (Mott, 1996).

$$Sg = \rho_s / \rho_{H_2O} \quad [2.3]$$

Dónde:

sg= Gravedad específica , [*adimensional*].

$\rho$  = Densidad de una sustancia, [ $kg/m^3$ ].

$\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua a 4°C, [ $kg/m^3$ ].

### 2.1.3. VISCOSIDAD

La viscosidad es una propiedad física de los fluidos que se define como la resistencia de un fluido a fluir. Fluidos con viscosidad baja fluyen libremente; fluidos con viscosidad alta oponen resistencia a fluir libremente. El agua a 20 °C es un punto de referencia para la medición de la viscosidad, a esta temperatura su viscosidad es de 1.0 centipoise. Esta unidad es un valor alto para muchos fluidos; por lo tanto, las viscosidades se expresan más comúnmente en centipoise, siendo un centipoise igual a 0.01 poise. Las unidades de poise y centipoise se refieren a viscosidad dinámica, en cambio la

viscosidad cinemática, es la razón de la viscosidad dinámica entre la densidad (Salas,2009).

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad [2.4]$$

Dónde:

$v$ = Viscosidad cinemática, [ $m^2/s$ ].

$\mu$ =Viscosidad dinámica, [ $Pa \cdot s$ ].

El valor de viscosidad de un fluido que depende de la temperatura y en menor grado de la presión. La viscosidad de los líquidos disminuyen al aumentar la temperatura. El efecto de la presión en la viscosidad de líquidos es pequeño. En gases el efecto es significativo, solamente a presiones altas particularmente alrededor de la presión crítica.(Salas,2009)

## 2.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL FLUJO DE FLUIDOS

El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí, el rozamiento con la tubería y consecuentemente por la pérdida de energía disponible; por lo cual se genera una pérdida de presión en el sentido del flujo. Si se conectan dos manómetros en una tubería por la que pasa un fluido, como se muestra en la Figura 2, el manómetro 1 indicaría una presión estática mayor que el manómetro 2(Salas,2009)

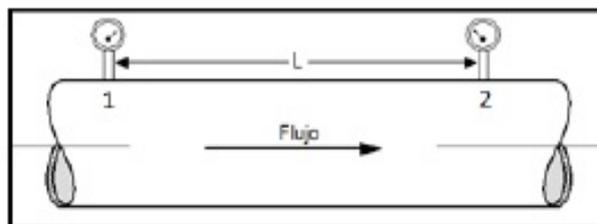


Figura 2. Caída de presión en una tubería.

Fuente:(Mott,1996)

### 2.2.1. NÚMERO DE REYNOLDS

Cuando un líquido fluye en un tubo y su velocidad es baja, éste fluye en líneas paralelas a lo largo del eje del tubo; a este régimen se le conoce como flujo laminar. Conforme aumenta la velocidad y se alcanza la llamada velocidad crítica, el flujo se dispersa hasta que adquiere un movimiento aleatorio en el que se forman corrientes cruzadas y remolinos; a este régimen se le conoce como flujo turbulento. El paso del régimen laminar a turbulento no es inmediato, sino que existe un comportamiento intermedio indefinido que se conoce como régimen de transición (Salas, 2009).

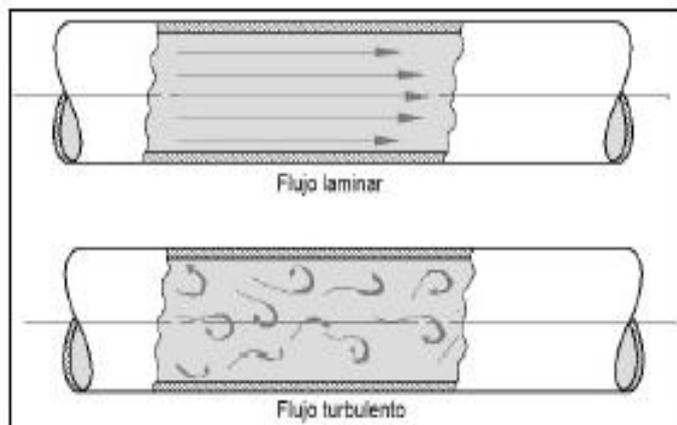


Figura 3. **Flujo laminar y turbulento en una tubería**

Fuente: (Mott, 1996)

Para el flujo laminar, el perfil de velocidades es una parábola y la velocidad promedio es un medio de la velocidad máxima. Para el flujo turbulento la curva de distribución de velocidades es más plana y el mayor cambio de velocidades ocurre en la pared de la tubería, (Figura 4) (Salas 2009).

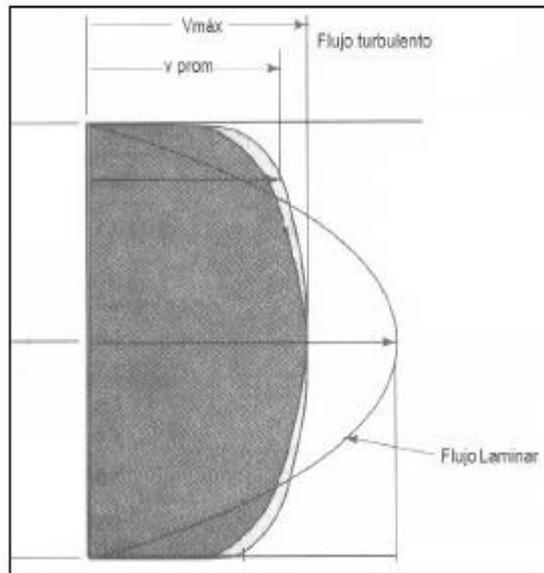


Figura 4. **Perfiles de velocidad laminar y turbulenta.**

Figura:(Mott,1996)

El número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, viscosidad dinámica, densidad, velocidad y la geometría del ducto por el que fluye. Éste parámetro permite determinar si un flujo es laminar, turbulento o de transición y se determina con la ecuación 2.5 (Mott,1996)

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad [2.5]$$

Dónde:

Re= número de Reynolds, [adimensional].

D= Diámetro del Ducto, [m].

V= Velocidad promedio del líquido, [m/s].

Si el número de Reynolds es menor a 2100 el flujo es laminar, en el intervalo entre 2100 y 4000 el flujo es de transición y para valores mayores de 4000 el flujo es turbulento. Cuando se trata de tuberías que no son circulares se

emplea el diámetro equivalente  $De$ , el cual se determina con la siguiente ecuación (Mott,1996)

$$De = \frac{4 \cdot \text{Área transversal del flujo}}{\text{Perímetro en contacto con el fluido}} \quad [2.6]$$

## 2.2.2. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

La ecuación de continuidad o conservación de masa, es una herramienta útil para el análisis de fluidos que fluyen por tubos o ductos. En estos casos, la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del ducto a otra. Si se considera un flujo continuo a través de un volumen fijo con una entrada y una salida Figura 5; la razón con la cual el fluido entra en el volumen debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del volumen para que se cumpla el principio fundamental de conservación de la masa(Salas,2009).

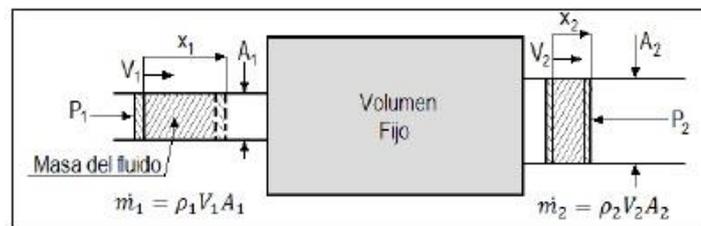


Figura 5. **Diagrama representativo de la ecuación de continuidad**

Fuente(Mott,1996)

El flujo masico se define como:

$$\dot{m} = \rho Av \quad [2.7]$$

Dónde:

$\dot{m}$ =Flujo másico, [kg/s].

A= Área transversal, [ $m^2$ ]

### 2.2.3. Ecuación de Bernoulli

Basándose en el principio físico de la conservación de la energía aplicada al flujo en ductos, se tiene tres tipos de energía que hay que tomar en consideración, que son la energía potencial, cinética y la del flujo. Tomando una parte del fluido figura 6 dentro de un ducto en un sistema de flujo, localizado a una cierta elevación  $z$ , tiene una velocidad  $v$  y una presión  $\rho$  (Salas, 2009).

- Energía potencial (EP). Debido a su elevación respecto a algún nivel referencia.

$$EP = wz \quad [2.8]$$

Dónde :

EP= Energía potencial, [Nm].

w = Peso del fluido, [N]

z = Elevación del fluido[m].

- Energía cinética (EC). Debido a la velocidad que posee el fluido.

$$EC = \frac{wv^2}{2g} \quad [2.9]$$

Dónde:

EC= Energía cinética, [Nm].

g = Aceleración de la gravedad,  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

- Energía del fluido (EF). También conocida como energía de presión o trabajo del flujo, esta presenta la cantidad de trabajo necesario para mover el flujo a través de una sección en contra de presión (ecuación 2.10).

$$EF = \frac{wP}{\gamma} \quad [2.10]$$

Dónde:

EF= Energía de flujo, [Nm].

$p$  = Presión, [N/m<sup>2</sup>].

$\gamma$  = Peso específico del fluido, [N/m<sup>3</sup>].

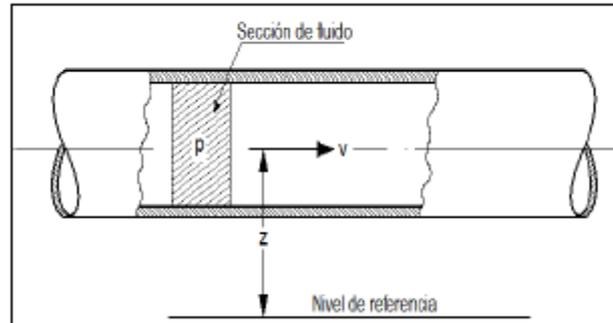


Figura 6. **Elemento de fluido en un ducto**

Fuente: (Mott,1996)

Sumando las tres energías que intervienen en el fluido y tomando en consideración que se desplaza de una sección 1 a una sección 2 en una tubería figura 7, donde los valores  $p$ ,  $v$  y  $z$  varían en cada una de estas secciones, se tiene que(Salas,2009)

$$E = EP + EC + EF = wz + \frac{wv^2}{2g} + \frac{wp}{\gamma} \quad (2.11)$$

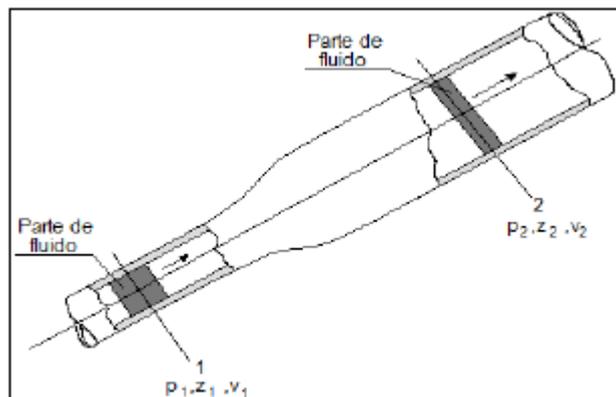


Figura 7. **Elemento del fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli.**

Fuente: (Mott,1996)

Si no se agrega o se pierde energía entre las selecciones 1 y 2, basándose en el principio de la conservación de la energía, y sabiendo que el peso del elemento ( $w$ ) es común en todos los términos se tiene la ecuación de Bernoulli (Salas, 2009).

$$E_1 = E_2 \quad (2.12)$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

#### 2.2.4. ECUACIÓN DE DARCY

La ecuación general que se emplea para calcular la pérdida de presión es la ecuación de Darcy que se expresa en metros de fluido.

$$h_L = \frac{fLv^2}{2Dg} \quad (2.13)$$

Dónde:

$h_L$  = Pérdida de energía debido a la fricción, [m].

$f$  = Factor de fricción, [adimensional].

$L$  = Longitud de la tubería [m].

Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida de presión en  $N/m^2$  sustituyendo el cambio de presión:

$$\Delta = \frac{\rho fLv^2}{2D} \quad [2.14]$$

La ecuación de Darcy es válida tanto para fluido laminar como turbulento de cualquier fluido incompresible en una tubería. Con las restricciones necesarias la ecuación de Darcy puede utilizarse con gases y vapores (fluidos compresibles).

Con la ecuación anterior se obtiene la pérdida de presión debida al rozamiento y se aplica a tubería recta de diámetro constante por la que pasa un fluido cuya

densidad permanece constante. Para tuberías verticales, inclinadas o de diámetro variable, el cambio de presión debido a cambios de elevaciones, velocidad o densidad del fluido debe hacerse de acuerdo con la ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción  $f$ , que debe ser determinado experimentalmente. El factor fricción para condiciones de fluido laminar es función del tipo de pared de la tubería (Salas,2009).

## **2.3. BOMBAS CENTRIFUGAS**

Las bombas centrifugas son equipos para realizar trabajos convirtiendo la energía mecánica en un cambio de presión en un líquido, esto con el fin de transportarlo de un lugar a otro o para proporcionar la presión y flujo necesario en un proceso. Para esto se debe controlar el motor que se encuentre acoplado a este equipo, y que es el encargado de proporcionar le energía mecánica para su funcionamiento (Salas,2009).

### **2.3.1. Clasificación**

Las bombas de acuerdo a la posición del eje se clasifica en horizontal y verticales, en función del flujo en el interior del impulsor, se divide en:

- a) Bombas de flujo axial
- b) Bombas de flujo mixto
- c) Bombas de flujo radical

En las bombas de flujo radial, el líquido es empujado en las direcciones correspondientes a los radios del círculo descrito por los impulsores en su giro. Estas bombas son las más usadas en la industria, ya que se emplean en servicios que necesitan cargas intermedias y elevadas. Las bombas de flujo axial suelen tener solo dos o cuatro alabes, que permiten trabajar con fluidos

que contengan elementos sólidos, evitando obstrucciones, mientras que las bombas de flujo mixto utilizan una combinación de las características de los impulsores, tanto radial y axial, este tipo de bombas son utilizadas para impulsar fluidos con características especiales, como pulpas (Urrestazu,2008).

### **2.3.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS**

El principio de operación de una bomba centrífuga, está basado en el cambio del momento angular que un fluido experimenta debido a un cambio en la velocidad absoluta a su paso por los alabes de un impulsor. Este cambio en la cantidad de movimiento es el responsable directo de que el fluido al abandonar el impulsor esté sometido a una presión mayor que la que experimenta antes de entrar en éste. En la Figura 8 se muestra el esquema básico de una bomba centrífuga, donde se aprecian los componentes principales de ésta.

La carga dinámica total, es el incremento de presión que el fluido sufrirá a su paso por el impulsor, y que deberá ser la necesaria para enviar el fluido de un sitio a otro. Por lo cual el servicio de una bomba puede ser determinado por dos características primordiales, la carga dinámica total y el gasto volumétrico (Urrestazu,2008).

### **2.3.3. PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS**

Simplificando muchos aspectos de las bombas centrífugas, se observa que las partes básicas por las que están constituidas son: impulsor, flecha, voluta, difusor y algunas ocasiones corona directriz; sin embargo las bombas centrífugas tienen un gran número de componentes, dependiendo del tipo, tamaño y aplicación.

Las bombas centrífugas, además de producir la carga necesaria con la capacidad requerida, deben manejar una variedad casi infinita de líquidos que se caracterizan, por su viscosidad, densidad y la presencia o ausencia de sólidos. La bomba se puede adaptar a las variaciones en esas propiedades mediante impulsores de diferentes diseños que son su componente esencial.

Aunque hay casi tantos diseños de impulsores como clases de líquidos, se les clasifica en general como abiertos o cerrados. El impulsor imparte la velocidad

al líquido, como resultado de la fuerza centrífuga cuando gira el impulsor, se identifica por la forma en que entra el líquido, los detalles de los alabes y el uso para el que se destina. La clasificación de los impulsores puede ser de acuerdo a sus características físicas y/o hidráulicas. (Slas, 2009)

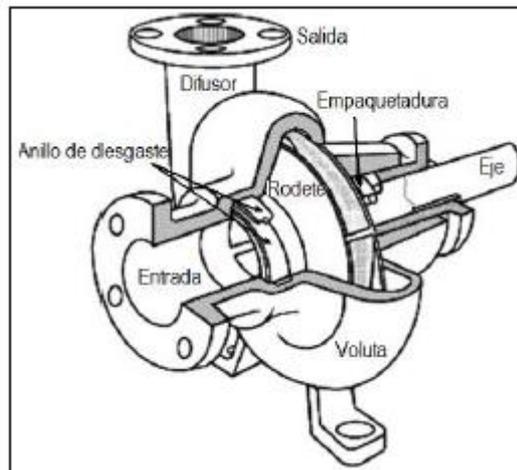


Figura 8. **Componentes principales de una bomba centrífuga**

Fuente: (Urrestazu, 2008)

### 2.3.3.1. Características Físicas.

En la Figura 9 se observan cuatro grupos típicos de impulsores, los cuales son:

- A. impulsores abiertos.- Consisten únicamente de alabes, estos están sujetos a un cubo central para montarse en la flecha sin forma alguna de pared lateral o cubierta. La desventaja de este impulsor es su debilidad estructural, si los alabes son largos deben reforzarse con costillas.
- B. impulsores semiabiertos.- Están formados por un impulsor abierto y una cubierta o pared posterior, se puede incluir o no alabes posteriores, cuya función es evitar que materia extraña se deposite entre la pared del impulsor y la cubierta.

- C. Impulsores mixtos.- Se muestran diseños para manejar pulpa de papel, un tipo de paletas y uno de flujo mixto.
- D. impulsores cerrados - Consisten en un conjunto de cubiertas o paredes laterales que encierran totalmente los conductos, desde la succión hasta la periferia, aunque este diseño evita el escurrimiento que sucede normalmente en el impulsor abierto y semiabierto con sus placas laterales.

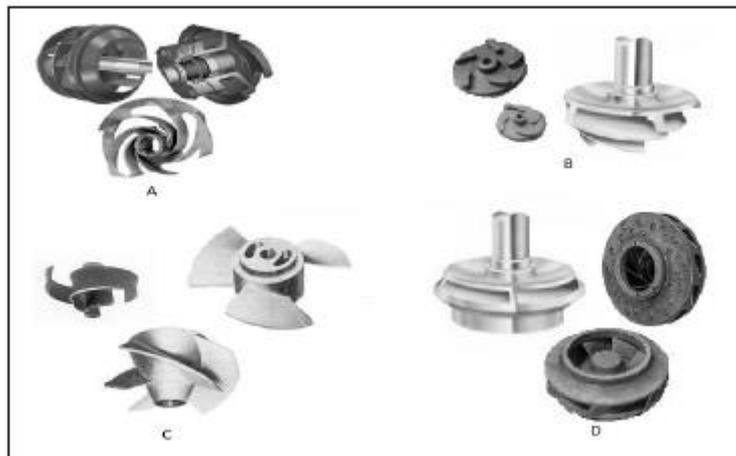


Figura 9. **Principales diseños de impulsores**

Fuente: (Urrestazu,2008)

### **2.3.3.2. Características hidráulicas (velocidad específica).**

El principio de similitud dinámica, expresa que dos bombas geoméricamente semejantes, tendrán un funcionamiento similar. Con objeto de contar con alguna base de comparación entre varios tipos de máquinas centrifugas, es necesario establecer la relación entre capacidad, carga y velocidad en un solo término, denominado velocidad específica, la cual es un número adimensional. Además de los impulsores este tipo de equipos puede o no contar con una gran variedad de accesorios mecánicos que varían de un equipo a otro de acuerdo a las condiciones de operación específica de cada equipo, así como la aplicación para la que se requiera. La mayoría de estas piezas contribuyen a generar un menor desgaste mecánico de las partes principales, tales como los rodamientos, bujes, cojinetes, aceiteras, etc.; así como proporcionar una unión

mecánica de todas las piezas, esto mediante tuercas, cubiertas y anillos proporcionando una mayor duración de todo el conjunto de la bomba(Salas,2009).

### 2.3.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS

Las curvas características de las bombas son relaciones gráficas entre la carga, el gasto, potencia y eficiencia. Excepto cuando se trata de bombas de tamaño pequeño, es indispensable conocer las curvas características antes de adquirir una bomba, ya que de esta manera se conoce el comportamiento de la bomba una vez instalada en un determinado sistema hidráulico (Mott,2009).

#### 2.3.4.1. Curva de Eficiencia

En abscisas se lleva el gasto y en las ordenadas la eficiencia en porcentaje, siempre con la velocidad constante. Para  $Q=0$ ,  $\eta=0$  y llega a su máximo para la condición de funcionamiento normal, luego empieza a descender. Las pérdidas de eficiencia de una bomba pueden ser:

Hidráulicas, debido a pérdidas de carga al escurrir el líquido.

Mecánicas, debido a rozamientos mecánicos.

De filtración, debido a que una pequeña cantidad de agua que se filtra desde el lado de presión alta hacia el lado de presión baja (Salas,2009).

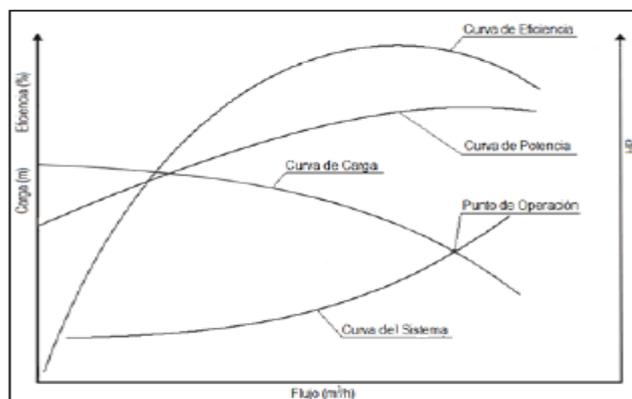


Figura 10. **Curvas de la bomba centrífuga**

Fuente: (Salas,2009)

### 2.3.4.2. Curva de carga

Esta Figura 10 presenta el comportamiento que del gasto de la bomba respecto a la carga que tenga que suministrar, cuando esta se hace interceptar con la curva de carga de sistema se obtiene el punto de operación del sistema en general (Salas,2009).

### 2.3.4.3. Curva de Carga del Sistema

Si se considera el sistema hidráulico dentro del cual opera la bomba, se dibuja una curva que dé en las abscisas el gasto y en las ordenadas las pérdidas de carga totales figura 10 es decir, la suma de las pérdidas de carga por fricción en la tubería y accesorios en las tuberías y accesorios. Depende exclusivamente de las características hidráulicas del sistema (Salas2009).

### 2.3.5. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA

Como se muestra en la Figura 11, si al combinar la curva de carga del sistema con la curva de la bomba, se obtiene un punto de intersección de ambas (punto de operación), en donde se obtienen las características de funcionamiento de gasto y altura con las cuales funcionará la bomba. Suponiendo que se estrangula parcialmente la válvula de salida o una válvula cualquiera del sistema. En ese caso la curva de carga del sistema variará como se indica con la línea de segmentos. Se obtiene así mayor altura de elevación de la bomba, pero un gasto menor (Salas,2009).

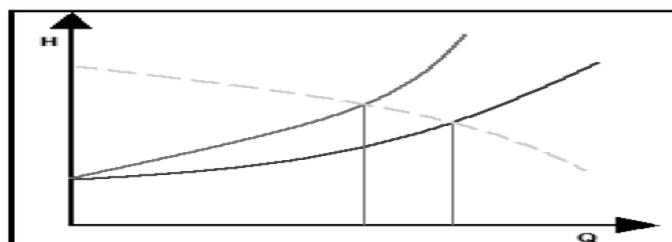


Figura 11. Punto de operación del sistema de desplazamiento

Fuente: (Salas,2009)

### 2.3.6. CURVA POTENCIA – GASTO

En la Figura 12 se muestra que el mínimo de potencia se produce para un gasto cero o sea con válvula de salida cerrada. La potencia se consume sólo en sostener el agua contra la válvula y no hay consumo de energía para hacerla circular por el sistema. Esa potencia es aproximadamente un 50% - 60% de la potencia normal de funcionamiento. Se comprende que no solo es posible cerrar la válvula de salida sino que es conveniente debido a que se tiene el mínimo de energía. Se debe tratar en lo posible que la curva de potencia sea plana en la zona de funcionamiento cuando la carga es variable, es decir, que la potencia sea ligeramente diferente a la de funcionamiento normal (Salas,2009).

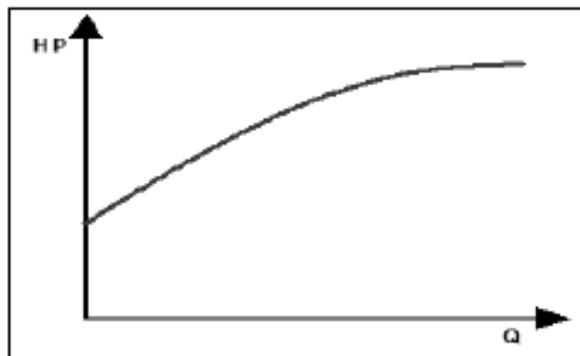


Figura 12. **Curva potencia – gasto**

Fuente: (Salas,2009)

### 2.4. BOMBAS BOOSTER (reforzadas)

La bomba de combustible está montada en el tanque y sumergida en el combustible. El combustible enfría y lubrica la bomba. Cuando la corriente fluye a través del motor, la armadura y el impulsor giran. El impulsor extrae combustible a través de un filtro y envía combustible a presión a través del orificio de salida. La capacidad de bombeo de la bomba de combustible está diseñada para exceder los requerimientos del motor. Esto asegura que siempre habrá suficiente combustible para satisfacer las demandas del mismo.

Una válvula check de salida, localizada a la salida de descarga, mantiene una presión de combustible residual en el sistema de combustible cuando el motor está apagado. Esto mejora las características de arranque y reduce el vapor.

Sin la presión del combustible residual, el sistema tendría que ser presurizado cada vez que el motor es encendido y esto aumentaría el tiempo de arranque del motor. Cuando un motor caliente es apagado, aumenta la temperatura del combustible contenido en las líneas alrededor del motor. Mantener el sistema presurizado aumenta el punto de ebullición del combustible y evita que el combustible se evapore.

Una válvula de alivio de presión se abrirá si el sistema de combustible es restringido como se muestra en la Figura 13. Este es un dispositivo de seguridad para evitar que las líneas de combustible revienten y daños a la bomba.

En muchos modelos la bomba de combustible es parte de un ensamble o conjunto. Este conjunto contiene los filtros, la presión (solo el sistema de combustible), la unidad emisora, y la bomba de combustible. Muchos de los componentes pueden ser reparados por separado (e-auto,2008).

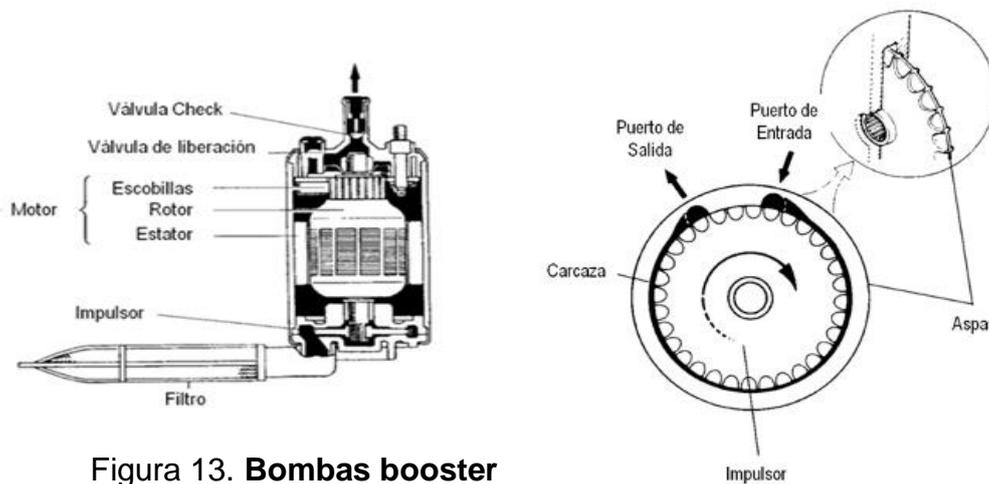


Figura 13. Bombas booster

Fuente:(e-auto, 2008)

#### 2.4.1. Arranque del motor de la bomba booster

Cuando el motor está girando, la corriente fluye desde la terminal de IG del interruptor de encendido a la bobina L1 del relé principal EFI, activando el relé.

Al mismo tiempo, la corriente fluye desde la terminal ST de la llave de encendido a la bobina L3 del relé de apertura del circuito, accionándolo para operar la bomba de combustible. La bomba de combustible inicia el suministro de combustible al sistema de inyección de combustible.

Después del arranque del motor, los cilindros comienzan a aspirar aire, haciendo que la placa de medición, en el interior del medidor de flujo de aire, se abra. Esto activa el interruptor de la bomba de combustible, que está conectado a la placa de medición, y la corriente fluye a la bobina L2 del relé del circuito de apertura (e-auto,2008).

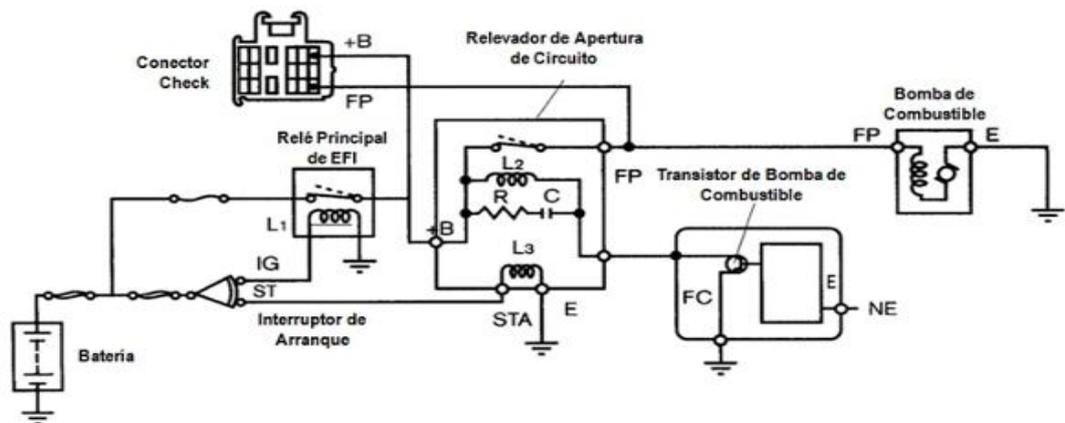


Figura 14. Arranque del motor

Fuente:(e-auto, 2008)

## 2.4.2. Características de las bombas booster

Una bomba de alimentación de combustible está situada en la caja de aumento de cada tanque de combustible. El tanque externo de combustible y tanques de fuselaje si está instalado, tienen dos bombas de combustible situado que impulsa en la caja de sobretensión. La bomba de alimentación es de tipo de bomba centrífugo, accionado por motor, 3-fases, 115/200 VAC, 400 Hz.

Contiene una Pantallas de malla de alambre que se colocan sobre las entradas de combustible inferior y superior para evitar que objetos extraños sea recogido por la bomba. Una válvula de derivación de flujo libre que permite el flujo por gravedad de combustible al motor durante el funcionamiento del motor cuando la bomba deja de funcionar. La bomba de alimentación es enfriado y se lubrica

por el combustible que está inmerso en el acople .Las válvulas de aislamiento de verificación están instalados en las líneas de flujo de combustible que van desde las bombas de impulso. Estas válvulas de retención evitar el flujo de combustible en el depósito a través de una bomba de carga de inoperante. Las bombas booster provee la fuerza para mover combustible de los tanques. La presión de las bombas booster de los tanques externos y auxiliares son más altas que la presión de los tanques principales. Dicha acción asegura que los tanques auxiliares y externos se vacíen primero durante el vuelo y que los tanques principales se utilicen para el resto del vuelo (e-auto2008).

## 2.5. SISTEMA DE COMBUSTIBLE AVIÓN C-130

El sistema de combustible es de tipo fluido a presión constante en un sistema cerrado. El combustible se almacena en tanques integrales, externos y flexibles. El sistema tiene la capacidad de abastecer cualquier motor desde cualquier tanque. Sus funciones principales son de reaprovisionamiento, extracción y transferencia de combustible.

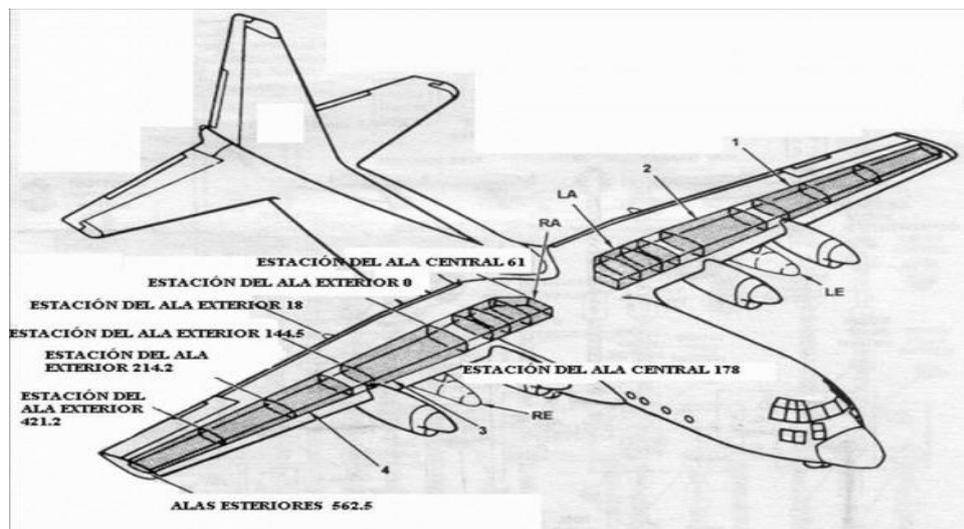


Figura 15. Descripción sistema de alimentación de combustible

Fuente: (integrated, 2009)

## 2.5.1. UBICACIÓN DE LAS BOMBAS BOOSTER EN AVIÓN C-130

Las bombas booster ubicadas en los diferentes tipos de tanques de almacenamiento se encuentran ancladas en la superficie inferior al centro de los depósitos. Este tipo bombas de impulso tienen un caudal de 2400 L/h a 39.15 PSI de presión; presión que es suficiente para abastecer a dos motores a potencia nominal.

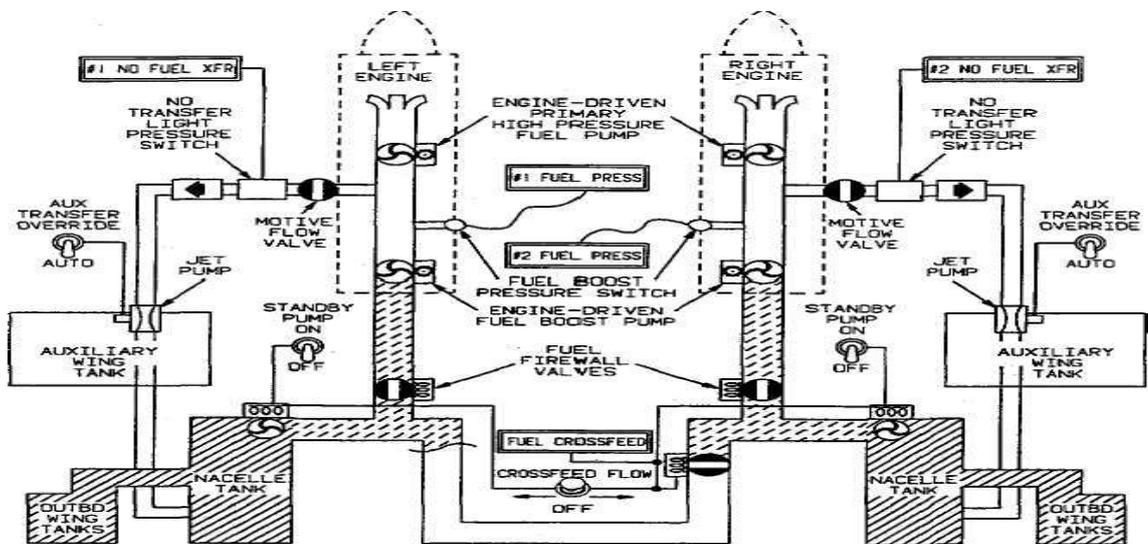


Figura 16. Bombas boostes de los tanques auxiliares y principales

Fuente: (integrated, 2009)

Las características de funcionamiento son a 3-fases, 115/200VCA A 400HZ , la potencia se suministrara a través de 3 interruptores que se ubican en el panel principal del piloto.

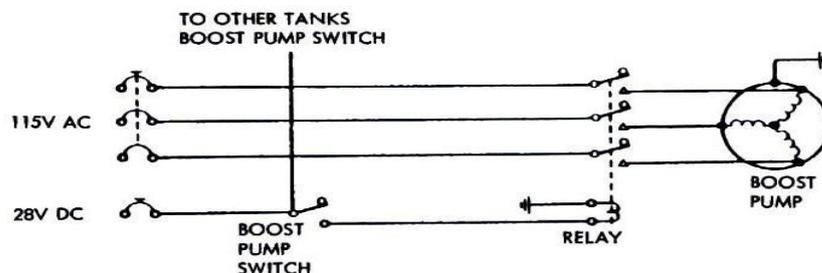


Figura 17. Esquema eléctrico de las bombas de combustible de los tanques principales

Fuente: (smartcockpit, 2000)

A continuación en la Figura 17 se aprecia el sistema de control eléctrico para las diferentes bombas que son usadas para el funcionamiento del Avión C-130.

## 2.6. Lab VIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Labview permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactivo basado en software. Usted puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. Labview es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes). (Cifuentes, 2001 )



Figura 18. **Software Lab VIEW**

Fuente:(National, 2011)

## 2.7. Arduino one

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipo basada en software y hardware libre, flexibles y facilidad de uso se creo para

artistas, diseñadores, aficionado cualquier interesado en crear entorno u objetos interactivos (Arduino,2010).

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada, para esto toda una gama de sensores puede ser usada y puede efectuar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa de Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino basado en wiring y el entorno del desarrollo basado en processing Los hechas con Arduinos pueden ejecutarse sin necesidad de conectarlo a un procesador , si bien tiene la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software(Chicaisa, 2014).



Figura 19. **Arduino 1**  
Fuente(Arduino,2013)

## 2.8. Caudalímetro YF-S201

Contiene un sensor de molinete que permite ayudar a medir la cantidad de líquido que se ha movido atreves del sensor. Posee un sensor de efecto Hall magnético que se encuentra integrado, el cual emite un impulso electrónico en cada revolución. El sensor de efecto hall está totalmente sellado en una tubería de plástico o metálica que permite que el sensor este seco y seguro.

### 2.8.1. Especificaciones

- Tensión de trabajo: 5V- 24V.
- Máxima corriente de operación: 15mA(DC5V).
- Sensor primario: Molinete de 8 alabes.
- Sensor secundario: Efecto Hall.
- Voltaje de trabajo(de 5 a 18VDC)
- Rango de entrada : 1 -30LPM
- Rango de Temperatura: -25°C a + 80°C.
- Presión máxima de trabajo: 2MPa.
- Posición de operación: Vertical
- Características de pulso:  $F(\text{Hz})=7.5 \times Q$  (LPM).
- Rango de humedad del trabajo: 35% - 80%.
- Pulso por litros: 450
- Tiempo de subida de señal de salida:  $0.04\mu$
- Tiempo de caída de la señal de salida:  $0.18\mu$



Figura 20. Caudalímetro YF- S201

Fuente:(Leon,2010)

### **3. METODOLOGÍA**

A lo largo de este capítulo se determinara el método por el cual facilitara el análisis y construcción del proyecto, los métodos que se estudiaran para este proyecto son: metodología mecánica, metodología de control entre otros

### **3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA**

“La mecatrónica está compuesta de “meca” de mecanismo y por “trónica” de electrónica” (Yasakawa, 2008)

“Mecatrónica se refiere al diseño integrado de los sistemas buscando un menor costo, una mayor eficiencia y mayor confiabilidad y flexibilidad desde el punto de vista mecánico, eléctrico, electrónico, de programación y de control” (Sterein, 1998).

“El término mecatrónica se usa para describir la integración de sistemas de control basados en microprocesadores, sistemas eléctricos y sistemas mecánicos. Un sistema mecatrónico no es simplemente la unión de sistemas eléctricos y mecánicos, y es más que un simple sistema de control: es la integración completa de todo lo anterior”. (Boltón, 2006)

Después de analizar las definiciones citadas anteriormente se puede concluir que mecatrónica es una rama multidisciplinaria de la ingeniería, la cual integra diferentes áreas técnicas como son: Mecánica, Electrónica y Control e Informática con el objetivo de desarrollar sistemas flexibles, confiables e inteligentes para la industria.

Para aplicar esta metodología se requiere hacer un análisis integrado de todas las áreas técnicas involucradas para que el sistema pueda tener las principales características de un sistema mecatrónico los cuales son: Flexibilidad, Rentabilidad y Confiabilidad, además de esto la metodología se basa en el diseño paralelo el cual trata de integrar todas las etapas del diseño en una etapa sinérgica en la cual el diseño electrónico, mecánico, software, hardware, control no se analicen de una forma individual sino en una manera conjunta para poder optimizar el tiempo de diseño y mejorar el prototipo.

### 3.1.1. ANALISIS DE REQUERIMIENTO DEL PROYETO

En el análisis de requerimientos del proyecto se a analizar el sistema mecánico, electrónico para realizar el diseño y construcción del banco de pruebas de bombas de combustible

#### 3.1.1.1. Sistema mecánico del deposito de combustible con capacidad de 5 galones con las siguientes caracteriaticas

El depósito de combustible de pruebas sirve como contenedor temporal el cual permite realizar maniobras netamente externas de la bomba de combustible del avión c-130 ya que no tiene contacto con el circuito interno del avión por razones de seguridad de la base aérea, por tales razones debe poseer características tanto de seguridad y de retroalimentación porque estará sometido a trabajos fuera de una área normal de desempeño.

En el interior del depósito se encuentra un recubrimiento de dos capaz de pintura anticorrosiva para evitar inconvenientes con el combustible de avión JP8.

Parámetros de construcción de espesor del contenedor de combustible:

Si la pared del cilindro es delgada, el esfuerzo transversal máximo es.

$$\sigma_x = \frac{pD}{2t} \quad [3.15]$$

Dónde:

$\sigma_x$ = Esfuerzo transversal.[Psi]

$p$  = Presión.[psi]

$D$ = Diámetro [in].

$t$ = Espesor [in].

El esfuerzo longitudinal es:

$$\sigma_y = \frac{pD}{4t} \quad [3.16]$$

Dónde:

$\sigma_y$ = Esfuerzo longitudinal.[Psi]

$p$  = Presión.[psi]

$D$ = Diámetro [in].

$t$ = Espesor [in].

Se ha demostrado que el método de la energía de distorsión es el mejor estimulador de la falla para materiales dúctiles bajo cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinadas totalmente reversibles. Requiere la definición del nuevo termino esfuerzo de von mises, representado por el símbolo  $\sigma$ , que se puede calcular con los esfuerzos longitudinales y transversal.  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ .(Mott,2006)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y} \quad [3.17]$$

Dónde:

$\sigma'$ =Esfuerzo de von Mises [Psi].

$\sigma_x$ =Esfuerzo transversal [Psi].

$\sigma_y$ =Esfuerzo longitudinal [Psi].

Para diseñar se puede aplicar el factor de diseño  $N$  a la resistencia de fluencia y entonces empleamos:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad [3.18]$$

Dónde:

$\sigma'$ =Esfuerzo de Von Mises[Psi].

$\sigma_d$ = Esfuerzo de Diseño [Psi].

$S_y$ = Resistencia de Fluencia.

N=factor de diseño

La selección del factor de diseño N, con frecuencia se hace de conformidad con un reglamento debido al peligro creado cuando falla un recipiente a presión. Esto es particularmente cierto en el caso de recipiente que contiene gases o vapor a presión porque las fallas dan lugar a la explosión violenta del gas en el momento en que se libera un alto nivel de la energía almacenada. Si un reglamento ,utilizaremos N=4 como valor mínimos y valores mayores en aplicaciones críticas o cuando exista incertidumbre en las condiciones de operación o las propiedades del material. (Mott,2009).

Se calcula de la siguiente manera: La Resistencia de Fluencia del acero galvanizado SS G33 (230) ES DE 230MPA es igual a 33358,67Psi.

$$\sigma_d = \frac{33358,67}{4}$$

$$\sigma_d = 8339,67 \text{ Psi}$$

El espesor de un cilindro:

$$\begin{aligned}\sigma' &= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y} \\ \sigma' &= \sqrt{\left(\frac{pD}{2t}\right)^2 + \left(\frac{pD}{4t}\right)^2 - \frac{pD}{2t} \frac{pD}{4t}} \\ \sigma' &= \sqrt{\left(\frac{60 \times 14.17}{2t}\right)^2 + \left(\frac{60 \times 14.17}{4t}\right)^2 - \frac{60 \times 14.17}{2t} \frac{60 \times 14.17}{4t}} \\ \sigma' &= \sqrt{\left(\frac{850.2}{2t}\right)^2 + \left(\frac{850.2}{4t}\right)^2 - \frac{850.2}{2t} \times \frac{850.2}{4t}} \\ \sigma'^2 &= \frac{722840.04}{4t^2} + \frac{722840.04}{16t^2} - \frac{722840.04}{8t^2} \\ \sigma'^2 &= \frac{2891360.2 + 722840.04 - 1445680.8}{16t^2} \\ \sigma'^2 &= \frac{2168519.44}{16t^2} \\ 16t^2 &= \frac{2168519.44}{8339.67^2}\end{aligned}$$

$$16t^2 = \frac{2168519.44}{69550095.70}$$

$$16t^2 = 0.03117$$

$$t^2 = \frac{0.03117}{16}$$

$$t^2 = 0.001948$$

$$t = \sqrt{0.001948}$$

$$t = 0.441 \text{ in}$$

$$t = 1.12 \text{ mm}$$

Espesor del repostero es 0.441 in es igual a 1.12mm.El cual se colocara en el depósito de las bombas de combustible.

- De capa de acero galvanizado de 3mm
- Incorporación de acoplamientos, Están contruidos para una presión de trabajo de 20 a 60 psi. Con un amplio factor de seguridad. Las medidas de los acopladores poseen la calibración de las cañerías o mangueras que normalmente se usan en el avión. Las medidas standard para los acoplamientos es de 1/2 pulgadas o 12.5mm.
- Las mangueras usadas para el transporte de combustible están fabricadas de diversos materiales tales como, neopren byna N, hypalon. El interior está forrado por teflón y el exterior por varias capas de material resistente al combustible. Poseen además en su interior alambres para eliminar la estática generada por el combustible.
- Las dimensiones del depósito para bomba de combustible tiene las siguientes medidas: largo de 32cm x 40cm de ancho, posee orificios de las siguientes medidas donde se encuentra la retroalimentación de combustible y conexión de la alimentación de la bomba que posee un diámetro de 10mm, ventanilla de observación posee una diámetro de 10 cm la cual está fabricado de nailon trasparente,
- La tapa del depósito tiene las siguientes medidas 36cm x 23cm la cual posee 23 tornillos de 5/16 pulgadas para poder ajustar el depósito.

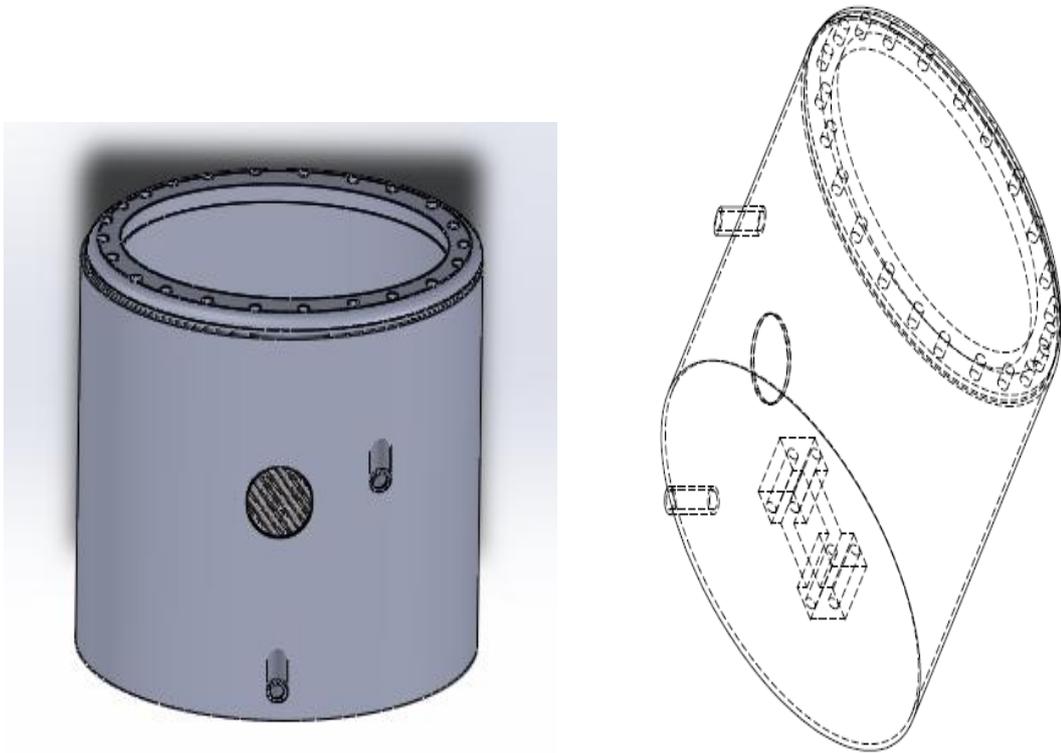


Figura 21. **Diseño virtual de deposito**

Fuente (El autor)

### **3.1.2. Simulación del depósito de la bomba de combustible**

En la simulación se puede demostrar los distintos comportamientos que se dan en el depósito de combustible que pueden ser desplazamiento, esfuerzo de von mises, deformación.

#### **3.1.2.1. Tensiones (Von Mises)**

Por medio de la simulación se puede comprobar el método de distorsión de esfuerzos estáticos. Es el mejor estimador de las fallas para materiales dúctiles bajo cargas estadísticas o para esfuerzos normales, cortante o combinados totalmente reversibles.

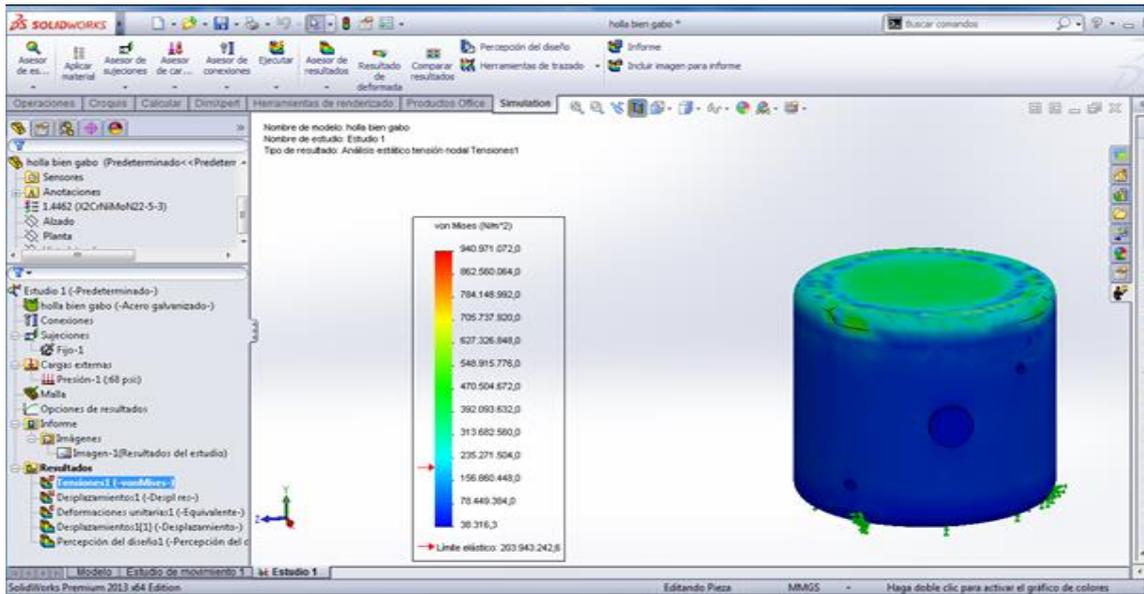


Figura 22. Simulación de von mises

Fuente (El Autor)

### 3.1.2.2. Deformaciones del deposito

En las deformaciones se puede verificar si el depósito tiene algún tipo de cambio por la presión y dimensiones.

Especialmente en los colores se puede verificar las deformaciones que pueden ocurrir en el transcurso del manejo.

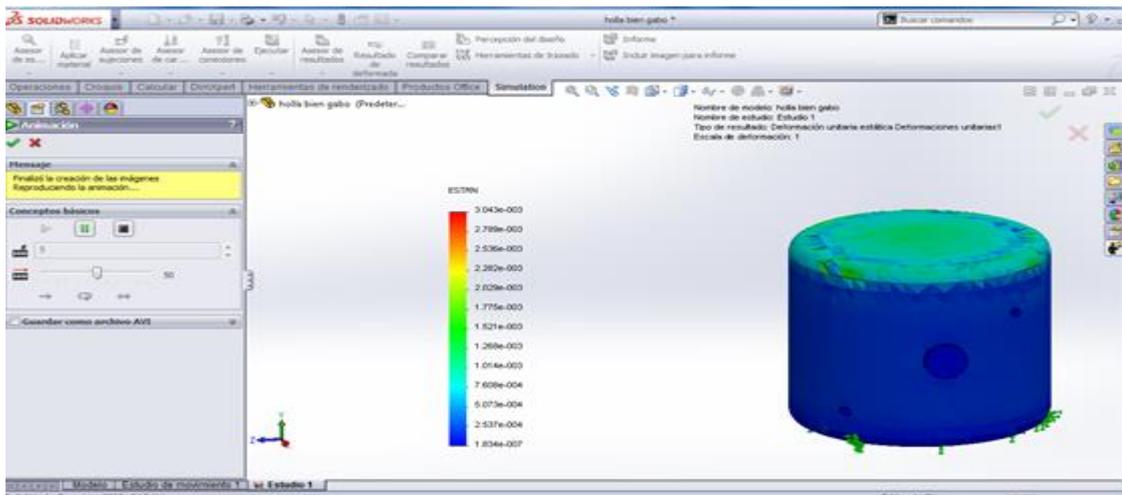


Figura 23. Simulación de deformación

Fuente (El Autor)

### 3.1.2.3. Desplazamientos del depósito

Luego de la simulación se puede observar donde son los lugares donde se puede desplazar con que se puede tomar en cuenta cuanto de realicen los análisis del banco de pruebas de las bombas de combustible

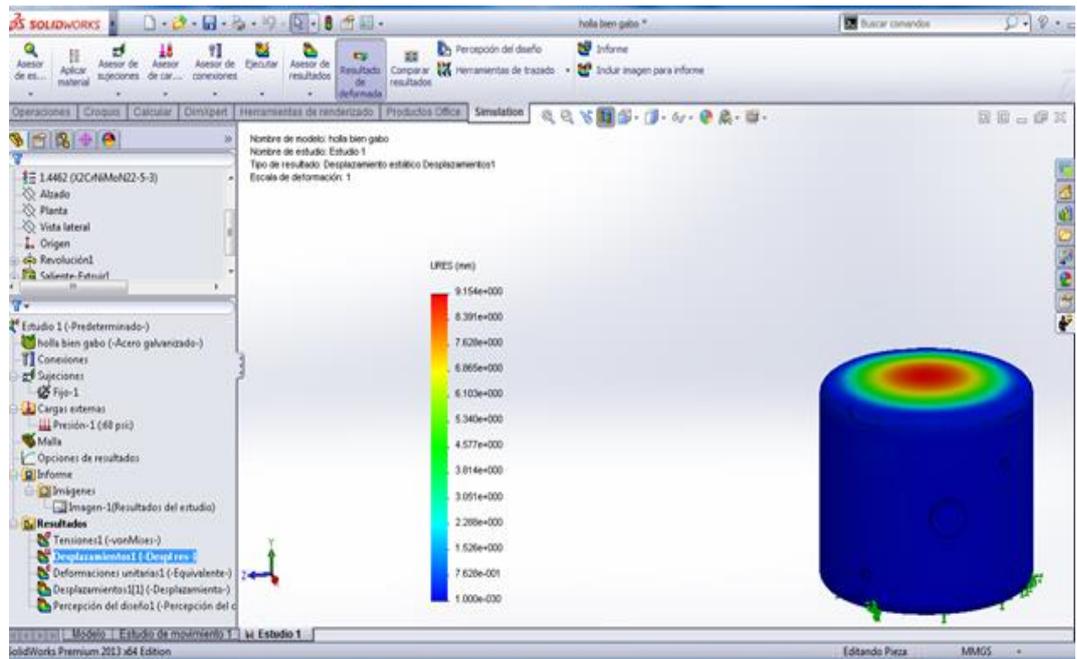


Figura 24. Simulación de desplazamiento

Fuente(El Autor)

### 3.1.2.4. Sistema de control y electrónico

En la adquisición de datos del proyecto el cual se lo considera como uno de los más importantes ya que es el paso final del proceso para el análisis de comportamiento de las bombas a ser comprobadas. En esta etapa se adquiere datos de manera análoga para luego ser procesados y convertidos a datos digitales y por último estos datos digitales convertidos a un entorno gráfico en el cual se representa los comportamientos a manera de curvas del caudal y presión del combustible de las bombas del avión C-130. (Figura.22)

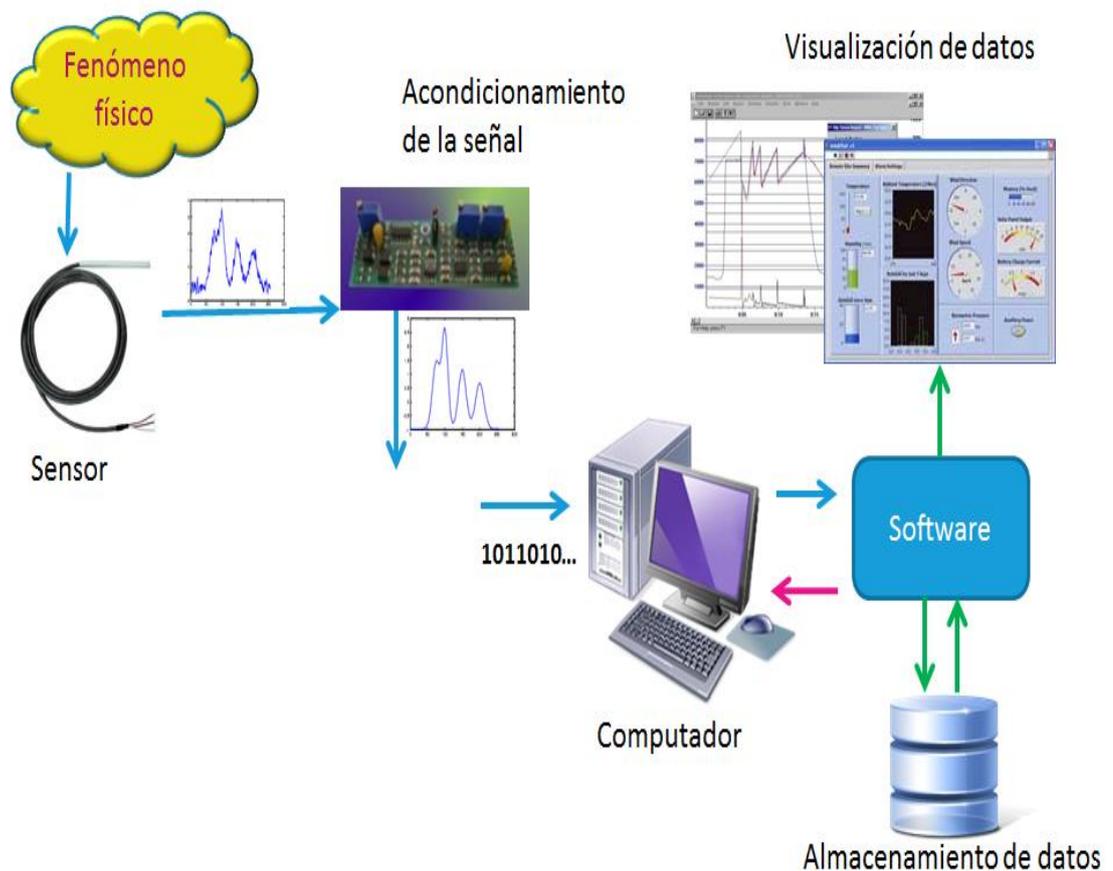


Figura 25. **Proceso de adquisición de datos**

Fuente:(Genexus,2011)

### 3.1.2.5. Control y Adquisición de datos

La adquisición de datos consiste en la toma de muestras del entorno real a manera de señales análogas para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador mediante la conversión a datos digitales mediante una interfaz. Se requiere una etapa de acondicionamiento que no es más que adecuar las señales a niveles compatibles con la programación que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos.

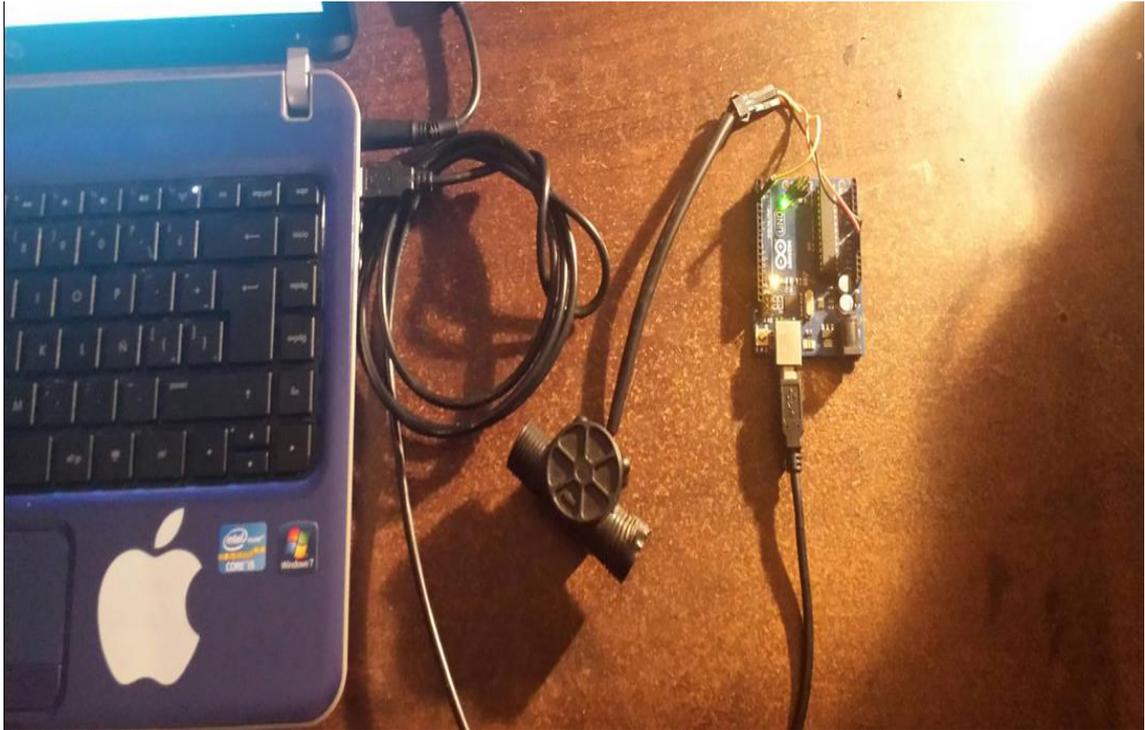


Figura 26. **Adquisición de datos**

Fuente (El autor)

### **3.1.2.6. Sensor medidor de caudal**

Cuyo principio de funcionamiento está basado en un sensor de molinete bajo principios de efecto hall que ayuda a medir la cantidad de líquido que se ha movido atreves del sensor.

El sensor de caudal es el más adecuado para la medición de caudal por que cumple con los parámetros de la bomba y del combustible del avión C-130.

El sensor de efecto hall posee 3 cables cuya conexión es la siguiente:

Rojo (energía 5-24 VDC)

Negro (Tierra)

Amarillo (salida de impulso Hall o datos análogos)

### **3.1.2.7. Arduino uno**

Esta tarjeta cumple con las necesidades del número de entradas y salidas analógicas/digitales necesarias, este elemento posteriormente se conecta al ordenador para que funcione por medio de un programa elaborado para el análisis del flujo de combustible.

“Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basados en software y hardware flexible y fácil de usar” (Arduino, 2013).

Algunas de las ventajas de utilizar Arduino son:

- Funciona bajo varias plataformas como Windows, Macintosh OSX y Linux.
- El entorno de programación es fácil y directo.
- Software ampliable y de código abierto, el cual puede modificarse para trabajar con librerías de C++ la cual potenciaría aún más la aplicación.
- Hardware ampliable y de código abierto, lo que permite que el módulo pueda extenderse y optimizarse.

Arduino tiene la posibilidad de comunicarse con diferentes tipos de software como Flash, Max,ProreMSP,LabVIEW, etc. En ellos se puede realizar la interface visual para el ambiente de programación del equipo. Las tarjetas tienen disponible pines de entrada para una amplia gama de sensores y pines de salida para conectar los actuadores necesarios implementando únicamente su etapa de potencia.

### **3.1.2.8. LabVIEW**

Lab View es una plataforma estándar en la industria de pruebas y medidas, para el desarrollo de sistemas de prueba y control de instrumentación.

En el campo de automatización industrial se usa para la adquisición de datos, análisis, monitoreo y para el control, permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específico con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos.

Las razones por las cuales se utiliza el paquete de LabVIEW (Laboratory Virtual Engineering workbench), son varias y se las describe las más importantes:

- Es muy simple de manejar, debido a que está basado de un sistema de programación gráfico, llamado lenguaje G.
- Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con muchas herramientas de presentación gráfica, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y de gran eficacia.
- Es un programa donde se puede encontrar muchas librerías específicas para el manejo de DAQ, Redes, comunicación, Análisis Estadísticos, comunicación con Bases de datos útiles para una automatización de una empresa a nivel total.

### **3.1.2.9. Inicialización de la programación arduino uno**

Placa de adquisición de datos arduino uno, el cual es la interface encargada de convertir señales análogas obtenidas del sensor de caudal de modelo YF-S201 a la interfaz gráfica como se indica en el diagrama de flujo (Figura.24).

En el interface gráfico se analiza el algoritmo para poder programar en el entorno de arduino en el cual no es muy complicado y fácil de manejar como se muestra en la (Figura 24)

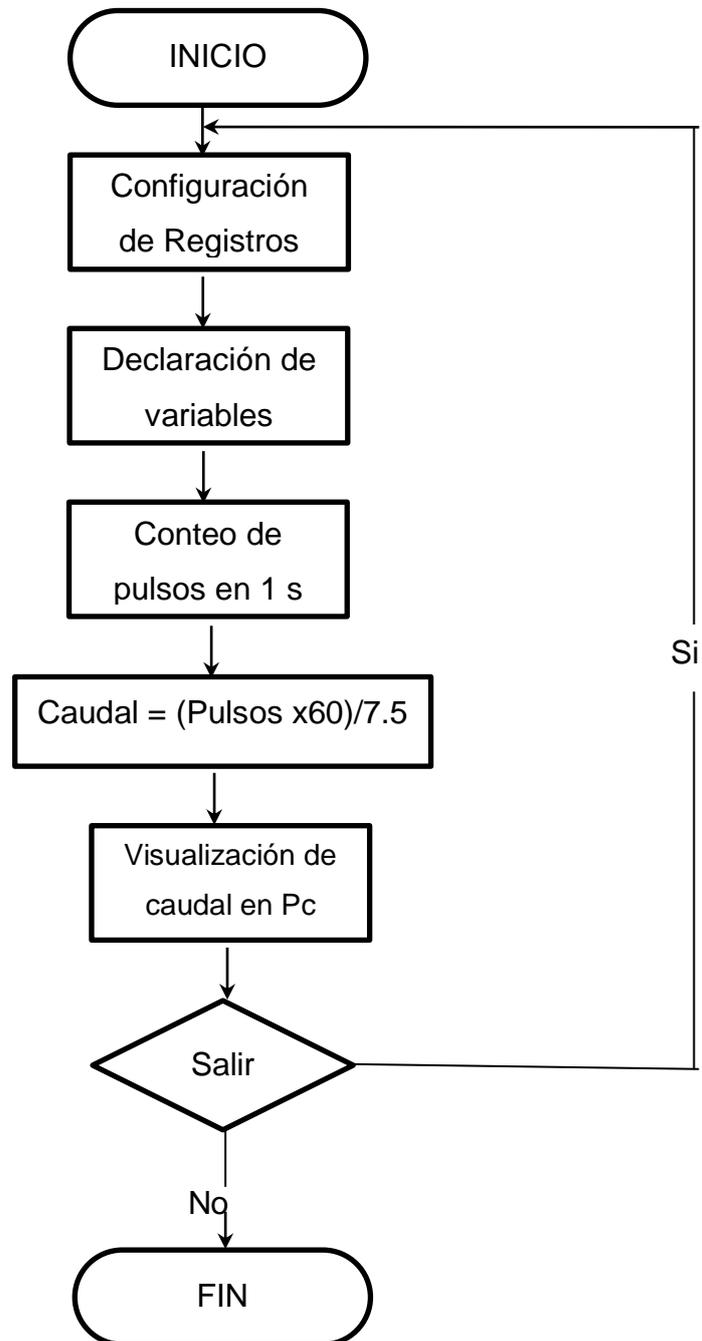


Figura 27. Diagrama de Flujo de Adquisición de señal de caudal

Fuente: (El autor)

Para poder utilizar el entorno de programación de arduino uno, se empieza con la configuración de la tarjeta, con los siguientes pasos de menú:

- 1.- herramientas
- 2.- tarjeta
- 3.- Escogemos la tarjeta que “Arduino Uno”

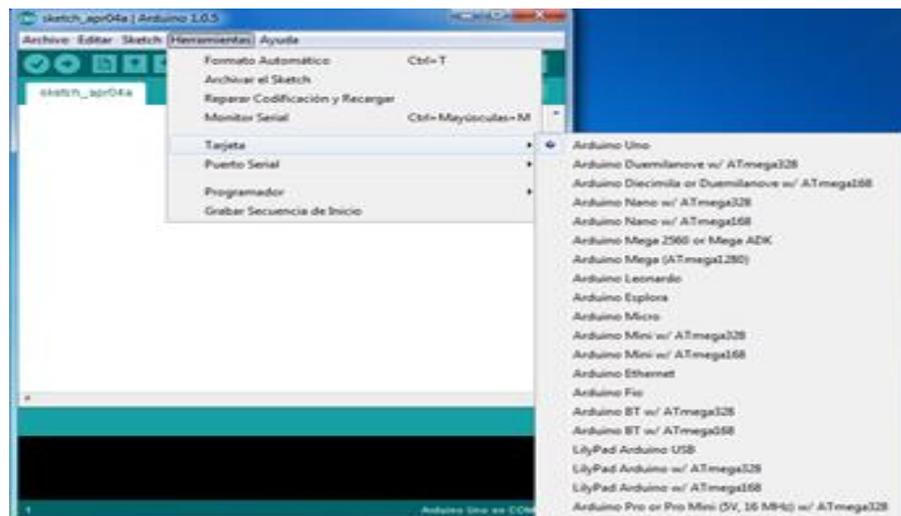


Figura 28. Selección de arduino uno

Fuente:(El autor)

Luego se selecciona el puerto al que se va activar para registrar parámetros

:

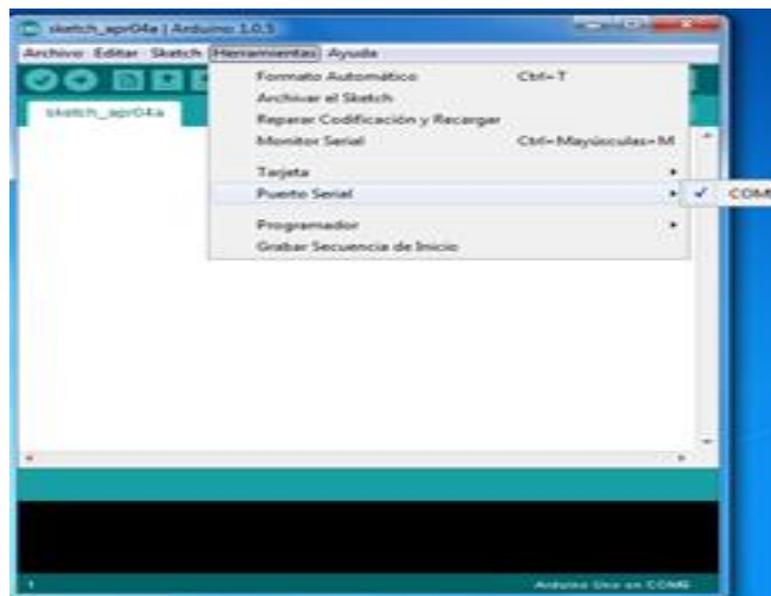
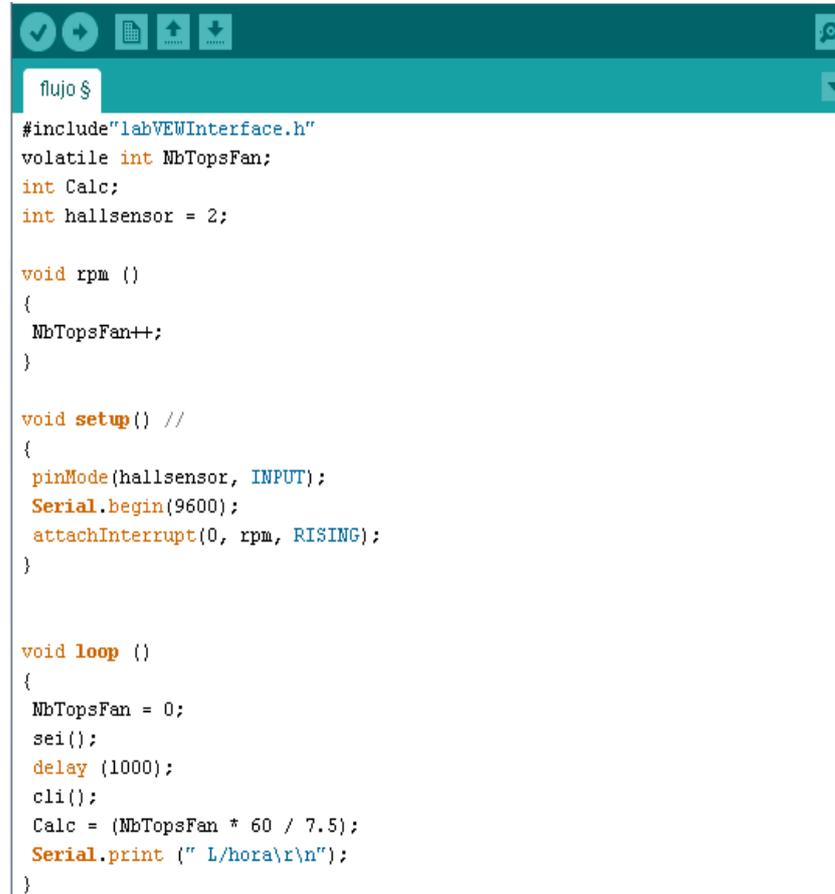


Figura 29. Selección de puerto

Fuente: (El autor)

Programación para el funcionamiento de este proyecto.



```
flujo $
#include"labVEWInterface.h"
volatile int NbTopsFan;
int Calc;
int hallsensor = 2;

void rpm ()
{
  NbTopsFan++;
}

void setup() //
{
  pinMode(hallsensor, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0, rpm, RISING);
}

void loop ()
{
  NbTopsFan = 0;
  sei();
  delay (1000);
  cli();
  Calc = (NbTopsFan * 60 / 7.5);
  Serial.print (" L/hora\r\n");
}
```

Figura 30. Programa para caudal de arduino

Fuente: (El autor)

Explicación de programa en entorno de arduino ver Anexo 1

El resultado que se obtiene en arduino es el siguiente:

El cual muestra los resultados de caudal en litros /hora.

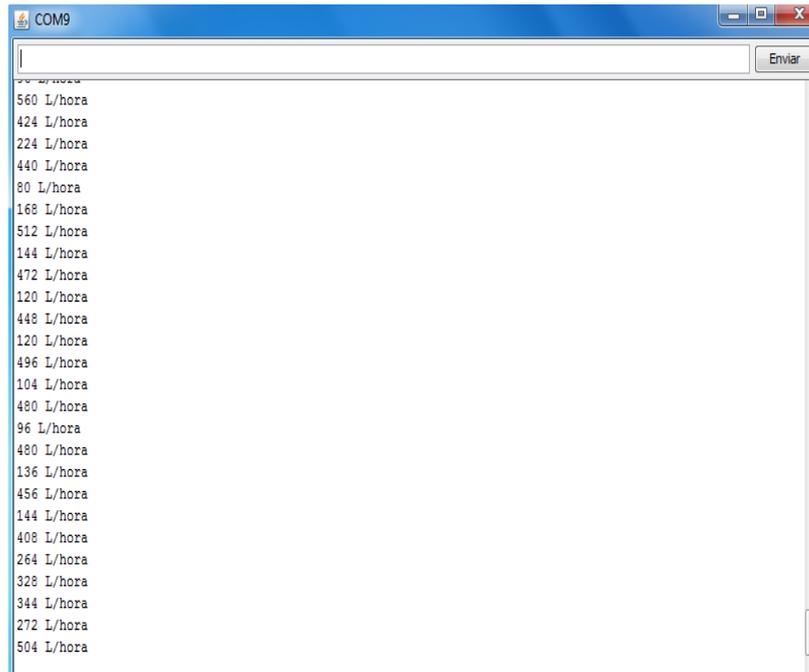


Figura 31. **Resultados obtenidos en arduino UNO**

Fuente: (El autor)

De acuerdo a los resultados obtenidos en arduino se procesara en el entorno de LabVIEW para poder visualizar el comportamiento de la bomba de combustible en el ordenador.

### **3.1.2.10. Inicialización del programa LabVIEW**

Este programa está orientado a realizar aplicaciones de monitoreo, lo que se conoce como instrumentación virtual. El diagrama de flujo (Figura.29) se representa los conceptos necesarios requeridos para la construcción del sistema básico con LabVIEW, en el que constan las herramientas y las estructuras necesarias para usar y navegar en el entorno que se necesita para la visualización del comportamiento del funcionamiento de la bomba de combustible.

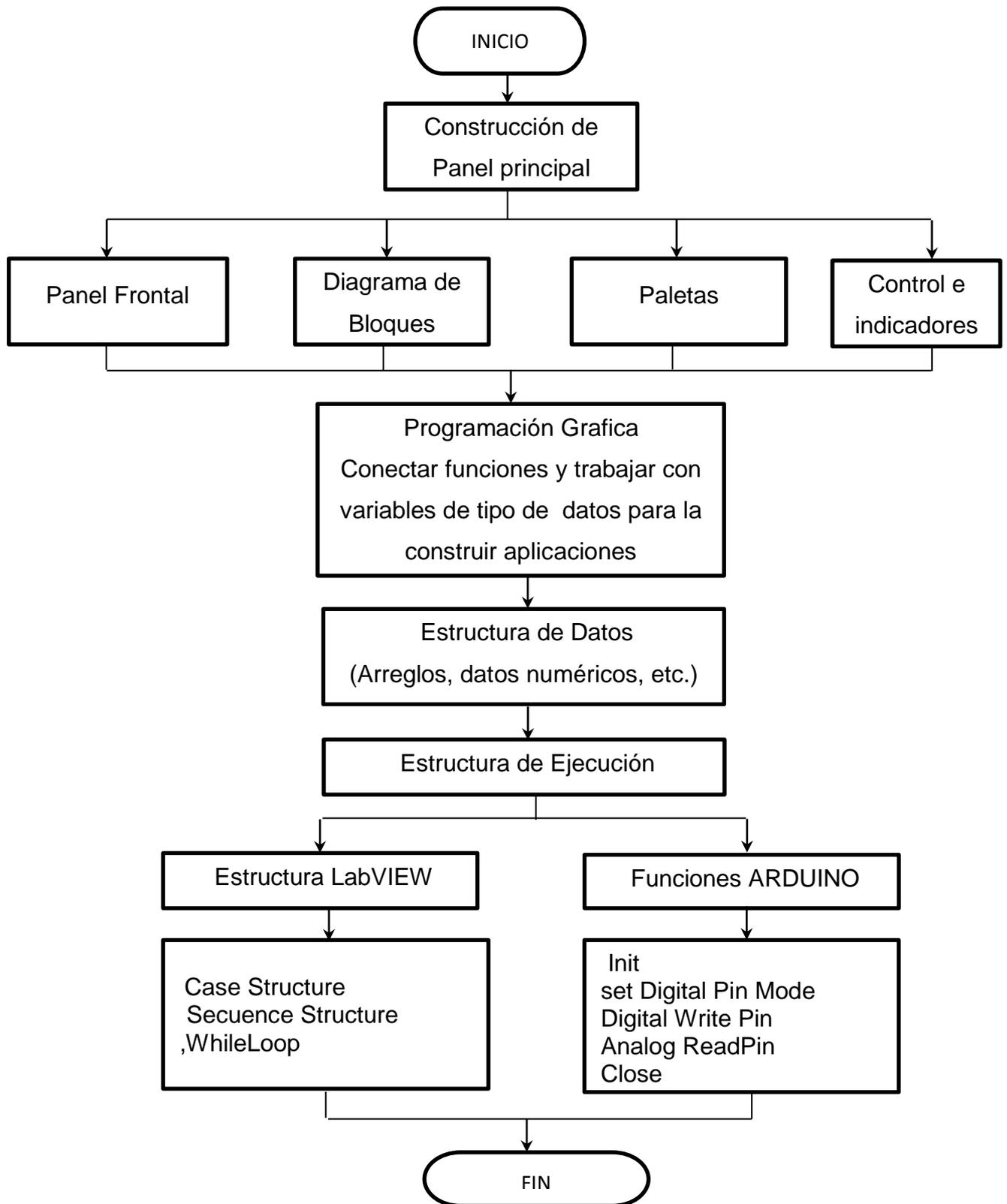


Figura 32. Diagrama de flujo de LabVIEW

Fuente:(Salas,2009)

### 3.1.2.11. Programacion en LabView

Se debe empezar a programar en LabVIEW por medio del panel frontal. Como primer paso se debe definir y seleccionar todos los controles (entradas) y los indicadores (salidas), que se empleara para mostrar los resultados de arduino, una vez puesto todos los elementos en el panel frontal, se procede a la programacion con la ayuda del Diagrama de Flujo. En esta ventana se debe situar las funciones , estructuras , arreglos , conecciones que se requiere para el desarrollo del programa.

### 3.1.2.12. Case Structure

Esta estructura posee varias sub-diagramas , en la parte superior aparece el identificador del que se esta representando en la (Figura.30)

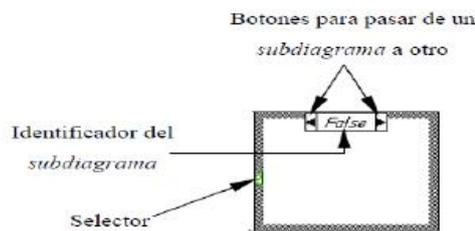


Figura 33. Case estructura

Fuente: (NI,2011)

La estructura Case tiene al menos dos sub-diagramas (true y false). Unicamente se ejecutara el contenido de uno de ellos , dependiendo que desea el usuario conectar al selector .

### 3.1.2.13. While loop

Es el equivalente al bucle while (Figura.31), empleado en el lenguaje convencional de programacion, se ejecuta hasta que cumpla la condición.

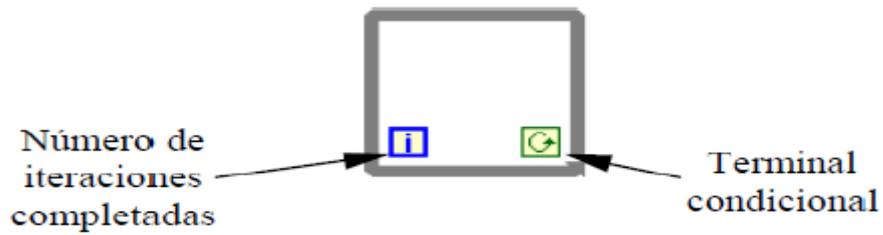


Figura 34. **Estructura While Loop**

Fuente: (NI,2011)

### 3.1.2.14. VISA Configure Serial Port VI

Inicializa el puerto serial en donde está conectado arduino en la Pc (Figura.32).

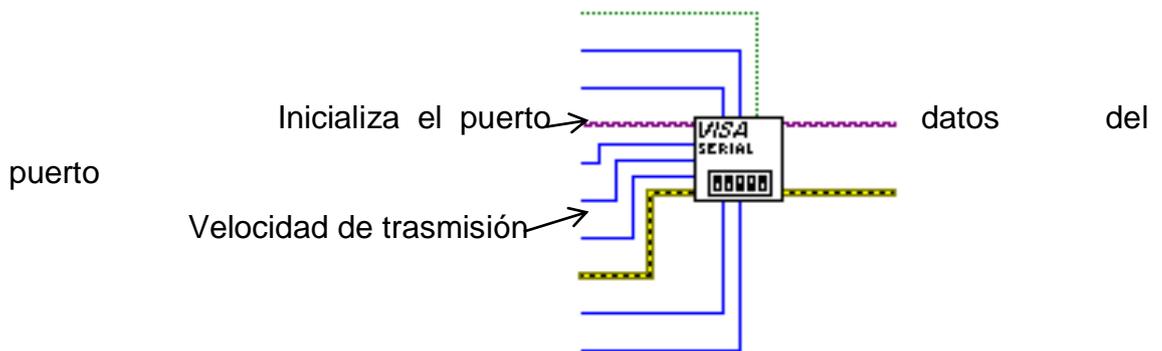


Figura 35. **Configuración del puerto**

Fuente: (NI,2011)

### 3.1.2.15. Visa Open Funcion

Abre el puerto para inicializar proceso (Figura.33).

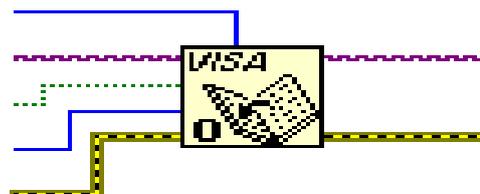


Figura 36. **Función de apertura de dato**

Fuente: (NI,2011)

### 3.1.2.16. VISA Read Function

Lee el número específico de bytes desde el dispositivo o interfaz y devuelve los datos al bufer de lectura (Figura. 34)

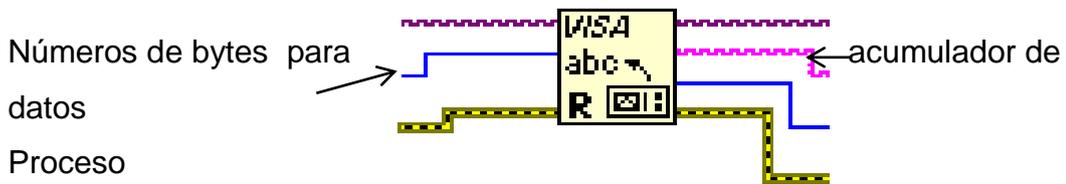


Figura 37. Función de lectura de datos

Fuente: (NI,2011)

A continuación se representa proceso de conversión de datos con sus equivalencias al pasar de datos análogos a digitales (Figura. 35)

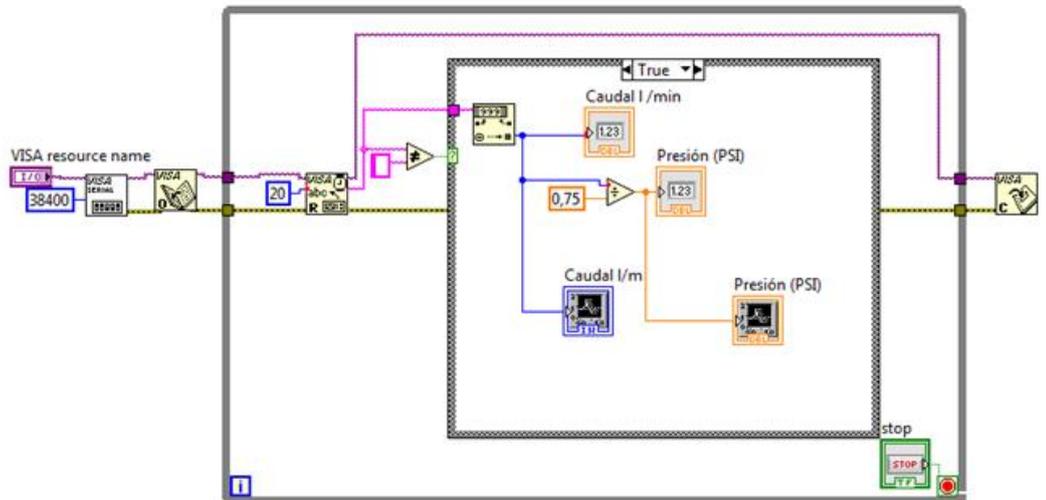


Figura 38. Tratamiento de datos

Fuente: (El autor)

El siguiente proceso es la descripción de tratamiento de información adquirida mediante el sensor de flujo por lo cual va hacer interpretada mediante software desarrollado en LabView y que será mostrado en la interface gráfica para el

análisis de ciclos de funcionamientos donde la lógica se describe a continuación.

Después de haber dado parámetros para la relación entre valores análogos y digitales obteniendo valores en litros por minuto cuyo valor se denominará caudal. Para obtener valores de presión en Psi se realiza dos relaciones matemáticas a groso modo de conversiones de litros por minuto a m.c.a (metros columnas de agua) y finalmente a Psi.

La bomba de combustible posee un caudal de 2400 l/h de fábrica la cual se transforma a l/min en la siguiente relación:

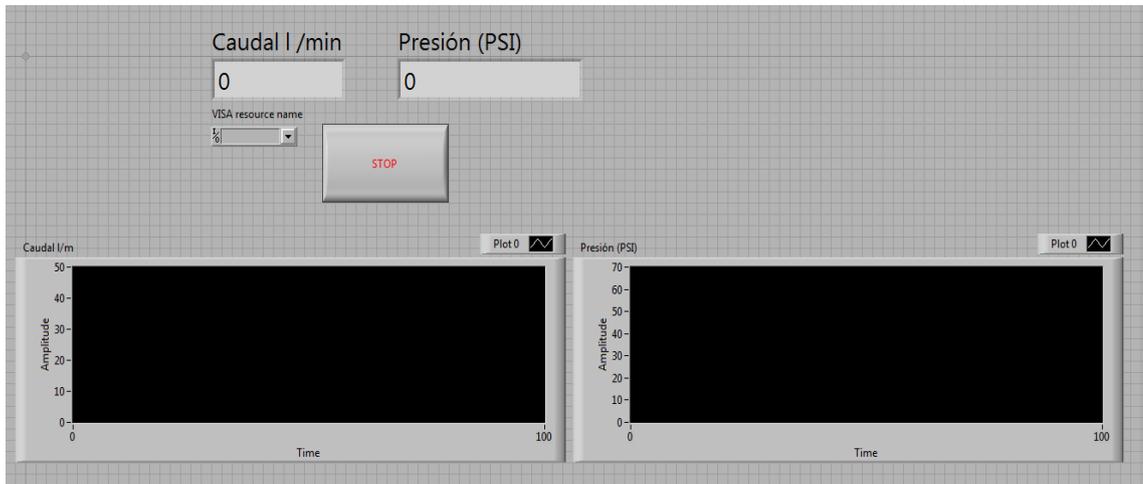
$$2400 \frac{l}{h} \times \frac{1h}{60min} = 40 l/min$$

En la bomba de combustible del avión C -130 se posee como parámetros de fábrica 40 l/min a baja presión y que equivale a 40 m.c.a (metros columna de agua), donde el valor de encendido del sensor empieza en 30 l/min y a partir de este valor se realiza la interpretación a los diferentes valores superiores a este

$$\begin{array}{l} 40 \frac{l}{min} \longrightarrow 40mca \\ 30 \frac{l}{min} \longrightarrow X \\ x = \frac{\frac{30l}{min} \times 40mca}{\frac{40l}{min}} \\ x = 30 mca \end{array}$$

Obteniendo la medida en metros de columna de agua se procede a realizar una relación de 1Psi que es igual a 0.75 m.c.a la cual se adjunta como dato al parámetro en el entorno de programación de LabView

A continuación se presenta la interface final que va ser usada para mostrar el funcionamiento de las bombas de combustible empleadas en avión C-130



**Figura 39. Pantalla modo gráfico**

Fuente: (El autor)

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### 4.1.1. Instalación en el banco previa al análisis

En el siguiente análisis se muestra las partes que van dentro de la realización del banco

#### 4.1.1.1. Sección mecánica

Realizar la instalación en el banco creado para este fin donde se detalla a continuación:

1. Verificar visualmente que el depósito se encuentre totalmente vacío de combustible y limpio de impureza, como por ejemplo partículas de agua.
2. Realizar limpieza total de bomba previa a instalación.
3. Acoplar bomba en soporte mediante pernos de sujeción con un torque adecuado en el banco como se muestra en la Figura. 37



Figura 40. **Soporte de bomba de banco de prueba**

Fuente: (Autor)

4. Realizar las conexiones de los acoples verificando que se encuentren herméticamente selladas.



**Figura 41. Acople de sujeción**

Fuente: (Autor)

5. Sellar tapa superior verificando que no tenga ninguna de fuga con un torque adecuado a los pernos de anclaje.



**Figura 42. Tapa superior de banco**

Fuente: (El Autor)

6. Verificación visual de existencia de liqueo a baja presión y en caso de existir algún tipo de esto realizar la corrección respectiva.

#### 4.1.1.2. Sección de alimentación

1. Extraer cableado de alimentación de suministro de energía que se encuentra como parte de funcionamiento del avión.



Figura 43. **Suministro externo de Energía**

Fuente: (Cbos. Jiménez Darwin)

2. Realizar la conexión de los acoples en la bomba de combustible realizando una verificación mediante equipo de comprobación (multímetro y osciloscopio), con el fin de cerciorarse que el sistema de cableado se encuentre en correcto estado, conector como se muestra en la Figura 41.
3. En caso de presentarse de algún problema con el suministro de energía realizar la corrección necesaria.



Figura 44. **Depósito de bomba de combustible**

Fuente: (El Autor)

#### **4.1.2. Inicialización de funcionamiento de banco de pruebas**

Una vez que se haya cerciorado que se cumple los pasos previos se procede al arranque del banco de pruebas como se detalla a continuación:

1. Dependiendo del tipo de pruebas que se vaya a realizar que esta dado en función del tiempo damos un primer arranque de verificación de liqueo a alta presión y en caso de presentarse algún inconveniente realizar la corrección respectiva.
2. Maniobra en frío la cual consta de realizar funcionamiento de la bomba durante cinco minutos con la respectiva adquisición de datos para el análisis de bomba en periodo frío
3. Maniobra de funcionamiento de bomba sin adquisición de datos durante diez minutos.

4. Maniobra de funcionamiento de bomba durante cinco minutos en periodo caliente.

### 4.1.3. Análisis de resultados en frío

Se realiza los diferentes tipos de pruebas en un régimen de trabajo en frío, obteniendo los siguientes resultados.

#### 4.1.3.1. Análisis de caudal en frío

En la Figura 42 se observa el comportamiento del caudal en un régimen de trabajo frío el cual está tomado en los primeros cinco minutos de funcionamiento, el cual da a conocer el funcionamiento normal de la bomba que tiene una curva continua con leves variaciones a un caudal a 293.63 l/min los cuales están dentro de los parámetros de funcionamiento de la bomba.

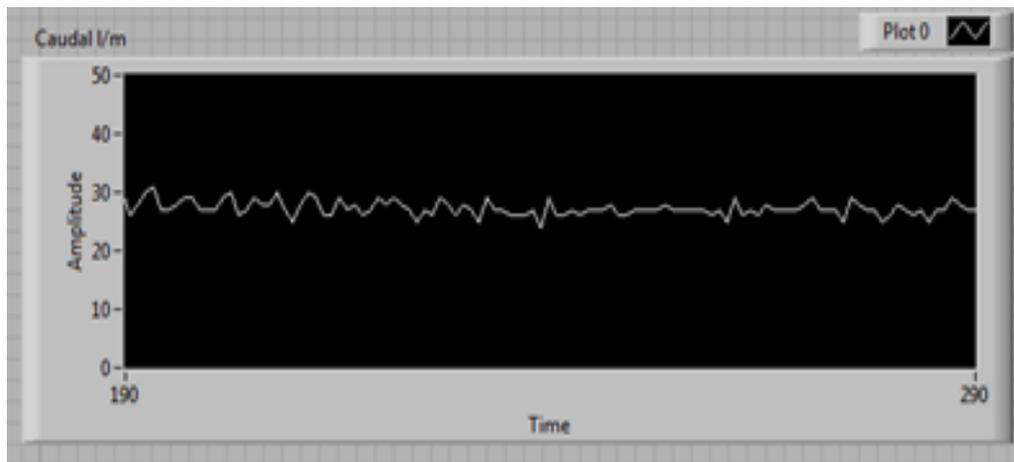


Figura 45. Curva de funcionamiento de caudal en frío normal

Fuente: (El autor)

#### 4.1.3.2. Análisis de presión en frío

En la Figura 43 se observa el comportamiento de la presión en un régimen de trabajo frío el cual está tomado al igual que la muestra anterior en los primeros cinco minutos de funcionamiento, el cual da a conocer el funcionamiento normal de la bomba que tiene una curva continua con leves variaciones a una

presión a 39.15 Psi los cuales están dentro de los parámetros de funcionamiento de la bomba.

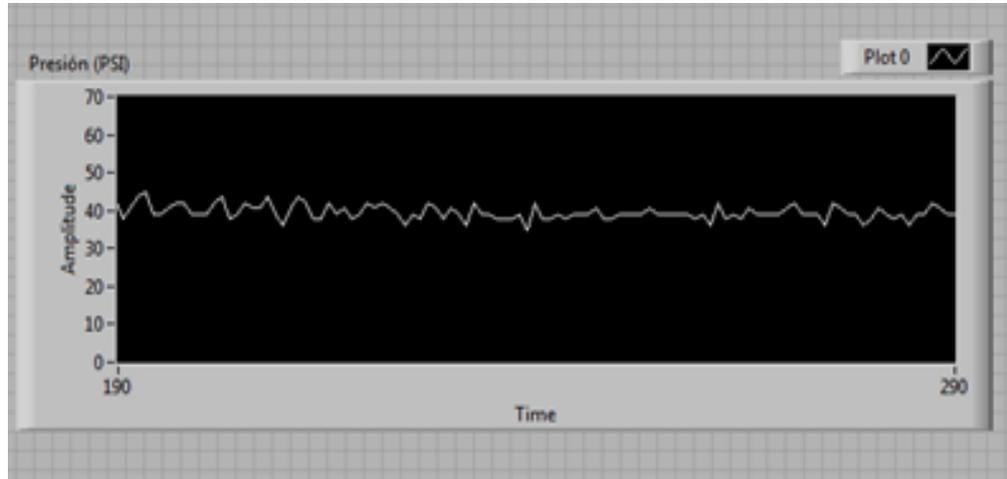


Figura 46. **Curva de funcionamiento de presión en frío normal**

Fuente: (El Autor)

#### **4.1.4. Análisis de resultados en caliente**

Se realiza los diferentes tipos de pruebas en un régimen de trabajo en caliente, obteniendo los siguientes resultados

##### **4.1.4.1. Análisis de caudal en caliente**

En la Figura 44 se observa el comportamiento del caudal en un régimen de trabajo caliente que consiste en primer lugar en hacer funcionar la bomba en un periodo en vacío sin adquisición de datos para luego conocer el funcionamiento normal de la bomba ya con adquisición de datos donde se observa que tiene una curva continua con leves variaciones a un caudal a 293.63 l/min los cuales están dentro de los parámetros de funcionamiento de la bomba.

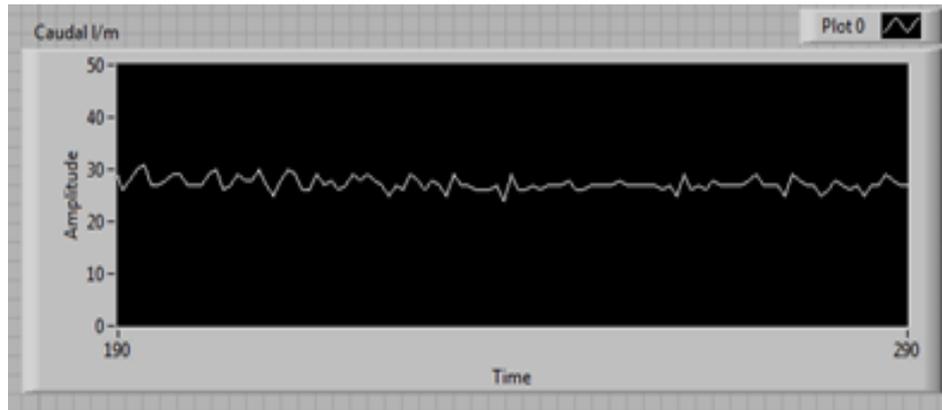


Figura 47. **Muestra de funcionamiento irregular en periodo frio**  
Fuente:(El autor)

#### 4.1.4.2. Análisis de presión en caliente

En la Figura 45 se observa el comportamiento de la presión en un régimen de trabajo caliente que consiste en primer lugar en hacer funcionar la bomba en un periodo en vacío sin adquisición de datos para luego conocer el funcionamiento normal de la bomba ya con adquisición de datos donde se observa que tiene una curva continua con leves variaciones a una presión 39.15 Psi los cuales están dentro de los parámetros de funcionamiento de la bomba.



Figura 48. **Curva de funcionamiento de presión en frío normal**  
Fuente: (El Autor)

#### 4.1.5. Análisis de resultado en bombas con fallas en frío

Se realiza los diferentes tipos de pruebas en un régimen de trabajo en frio en bombas con falla, obteniendo los siguientes resultados

#### 4.1.5.1. Análisis de falla en caudal en frío

En la Figura 46 se observa el comportamiento del caudal en un régimen de trabajo frío el cual está tomado en los primeros cinco minutos de funcionamiento, el cual da a conocer un mal funcionamiento de la bomba ya que no se encuentra dentro de los parámetros adecuados y además de mostrar una curva inestable tiene una pérdida considerable de caudal a 163.12 l/min los cuales no están dentro de las características correctas de funcionamiento de la bomba.

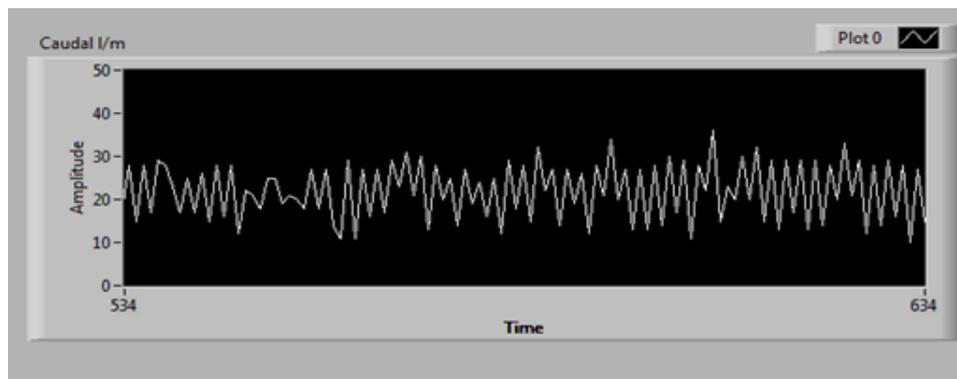


Figura 49. Curva de funcionamiento con falla de caudal en frío

Fuente: (El autor)

#### 4.1.5.2. Análisis de falla de presión en frío

En la Figura 47 se observa el comportamiento de la presión en un régimen de trabajo frío el cual está tomado en los primeros cinco minutos de funcionamiento, el cual da a conocer un mal funcionamiento de la bomba ya que no se encuentra dentro de los parámetros adecuados y además de mostrar una curva inestable tiene una pérdida considerable de presión 21.75 Psi los cuales no están dentro de las características correctas de funcionamiento de la bomba.

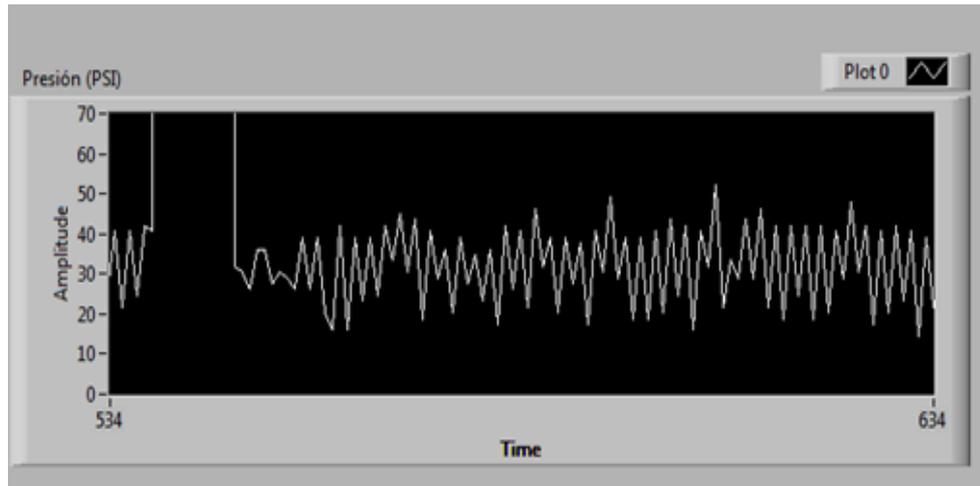


Figura 50. **Curva de funcionamiento con falla de presión en frío**

Fuente: (El autor)

#### **4.1.6. Análisis de resultados en bombas con falla en caliente**

Se realiza los diferentes tipos de pruebas en un régimen de trabajo en caliente en bombas con falla, obteniendo los siguientes resultados

##### **4.1.6.1. Análisis de falla de caudal en caliente**

En la Figura 48 se observa el comportamiento del caudal en un régimen de trabajo caliente que consiste en primer lugar en hacer funcionar la bomba en un periodo en vacío sin adquisición de datos para luego visualizar la irregularidad del funcionamiento de la bomba ya que no se encuentra dentro de los parámetros adecuados y además de mostrar una curva inestable tiene una pérdida considerable de caudal a 165 l/min los cuales no están dentro de las características correctas de funcionamiento de la bomba.

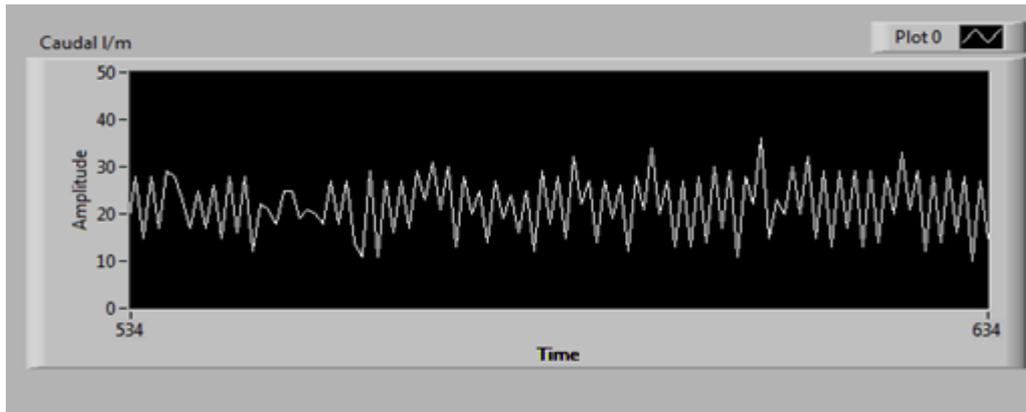


Figura 51. **Curva de funcionamiento con falla en caudal en caliente**

Fuente: (El autor)

#### 4.1.6.2. Análisis de falla en presión en caliente

En la Figura 49 se observa el comportamiento de la presión en un régimen de trabajo caliente que consiste en primer lugar en hacer funcionar la bomba en un periodo en vacío sin adquisición de datos para luego visualizar la irregularidad del funcionamiento de la bomba ya que no se encuentra dentro de los parámetros adecuados y además de mostrar una curva inestable tiene una pérdida considerable de presión a 22 Psi los cuales no están dentro de las características correctas de funcionamiento de la bomba.

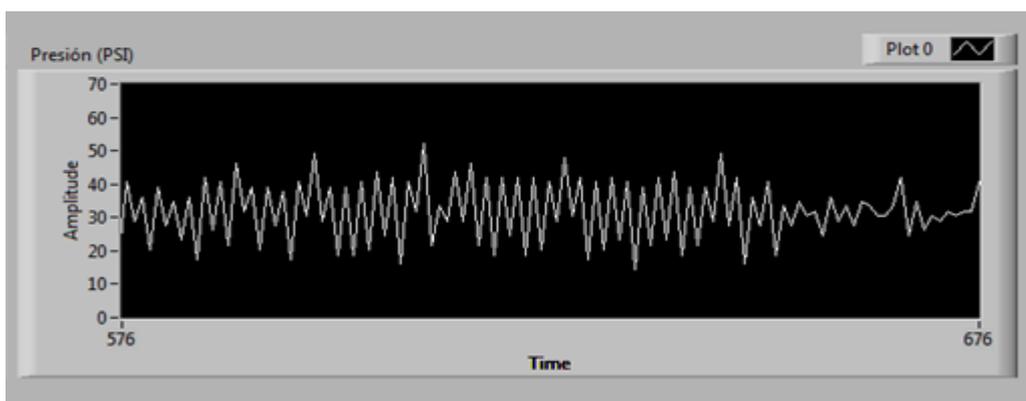


Figura 52. **Curva de funcionamiento con falla de presión en caliente**

Fuente: (El autor)

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. CONCLUSIONES

- Después de estudiar el comportamiento de las bombas de combustible, se logró diseñar y construir un banco que permite analizar el trabajo en diversos regímenes de trabajo de acuerdo a los caudales y presiones de trabajo que eran requeridos.
- El software realizado para la visualización de las pruebas del banco de combustible, demuestran que la herramienta LavView seleccionada permite analizar con efectividad el comportamiento funcional de la bomba.
- El diseño y construcción del banco de pruebas permite analizar el desempeño de las bombas y graficar sus curvas de funcionamiento, que son utilizadas directamente para diagnosticar su estado de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- El banco de pruebas de las bombas de combustible permitió adicionalmente comprobar el estado funcional de 2 bombas una en funcionamiento y la otra en mal estado , que se mantenían en el área de almacenamiento.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- El uso del banco de pruebas de las bombas de combustible se deben realizar exclusivamente en el área de mantenimiento del avión, de acuerdo a la normatividad vigente para las áreas de mantenimiento de la base aérea.
  
- Antes de inicializar con las pruebas de las bombas es recomendable verificar las condiciones normales de funcionamiento estén cubiertas:
  - La fuente de alimentación de 115VAC a 400Hz estén habilitadas y funcionando.
  - Verificar las conexiones eléctricas de la bomba de combustible
  - Los cables de comunicación estén correctamente conectados a la tarjeta de datos.
  - La bomba de combustible debe estar correctamente anclado al banco de pruebas.
  - Exista el sello hermético en el banco de combustible, en la tapa superior, los acoples de la tubería, el sensor de flujo, y la tapa de observación.
  - Configurar correctamente el Puerto serial que se va utilizar.
  
- Se debe tener extremo cuidado en el manejo de las mangueras y no debe exponerse a esfuerzos, torceduras o dobleces innecesarios, ni a desgaste excesivo.
  
- Los extremos de los acoples no deben tocar el suelo, si así ocurriese deberá limpiarse adecuadamente empleado material adecuado para ello.

## BIBLIOGRAFÍAS

- Arduino. (2013). *Arduino*. Recuperado 8 de Agosto del 2013, de: <http://arduino.cl/index.html>.
- Chicaiza Conchambay Pablo Rubén, (2014). *intercambio de calor de flujo liquido del laboratorio de termodinámica de la carrera de ingeniería mecánica*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- E-auto.(1999). *Fuel Injection 1/3 Bomas de Combustible*. Recuperado 10 de julio 2013, de : [http://e-auto.com.mx/manual\\_detalle.php?manual\\_id=259](http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=259).
- FUERZA AÉREA DE CHILE DIRECCIÓN DE OPERACIONES,(1984). *Para la manipulación de los combustibles de aviación*, Santiago, Chile
- Martin M. Miriel y Santos G. Félix, *Universidad Central Martha Abreu de las Villas, Evaluación energética sobre el empleo del variador de frecuencia como método de regulación del flujo en bombas de accionamiento por motos eléctrico de corriente alterna*, Santa Clara Villa Clara, Cuba
- NI.(2011). *National Instrument*. Recuperado (2013), de: <http://www.ni.com/labview/esa/>.
- Ranald V. Giles, *Mecánica de fluidos e hidráulica 3ª Edición*, Editorial Mc. Graw Hill Shaum, Madrid, España, 1996.
- Raúl Salas Venegas,(2009). *Ahorro De Energía en bombas centrifugas por medio del control del flujo*. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, Mexico DF, Mexico.

- Robert L. Mott, *Mecánica de Fluidos aplicada 4ª Edición*, Editorial Pearson Prentice Hall, México, 1996.
- Scrib. *Bombas de combustible*. Recuperado 6 de junio 2013, de: <http://es.scribd.com/doc/6057846/Bombas-Centrifugas>
- Salas, A. F., Urrestarazu, L. P. (2008). *Grupo de Bombeo*. Recuperado 8 de julio 2013, del sitio web deL (Open Cuurse Ware de la Universidad de Sevilla): [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_01.htm)
- Victor L. Streeter, *Mecánica de los Fluidos*, Mc. Graw Hill, Mexico, 1977.
- Viejo Zubicaray, *BOMBAS: Teoría, diseño y aplicaciones 3ª Edición*, Editorial Limusa, Mexico, 1997.
- Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone, *Marks Manual del Ingeniero Macanico 8ª*, Editorail McGraw Hill, Mexico, 1984

## **6. ANEXOS**

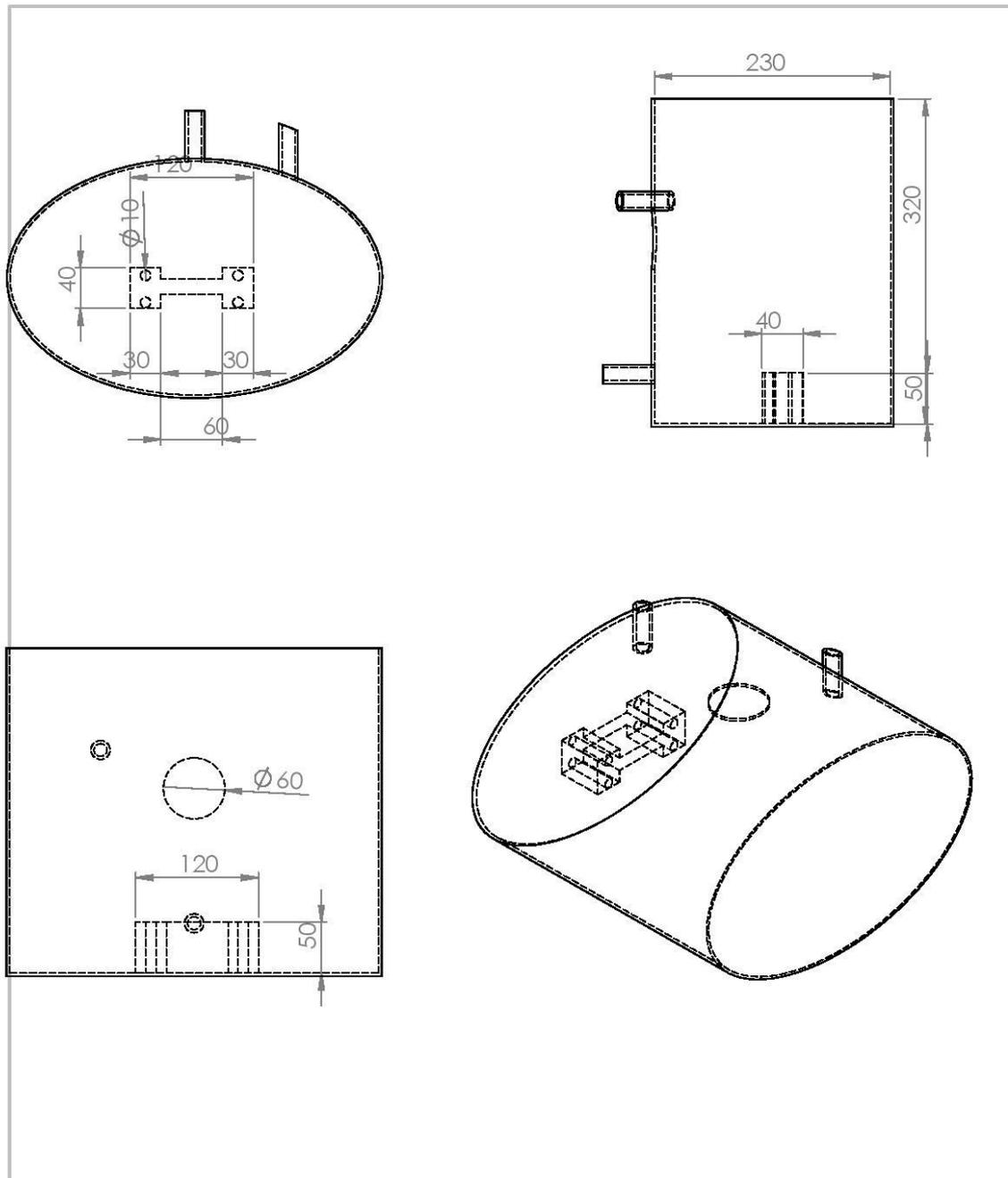
## ANEXO 1. Código de programación Arduino

```
#include "LabVIEWInterface.h"// Librería para lab view
volatile int NbTopsFan; //Mide el valor ascendente que tiene la señal

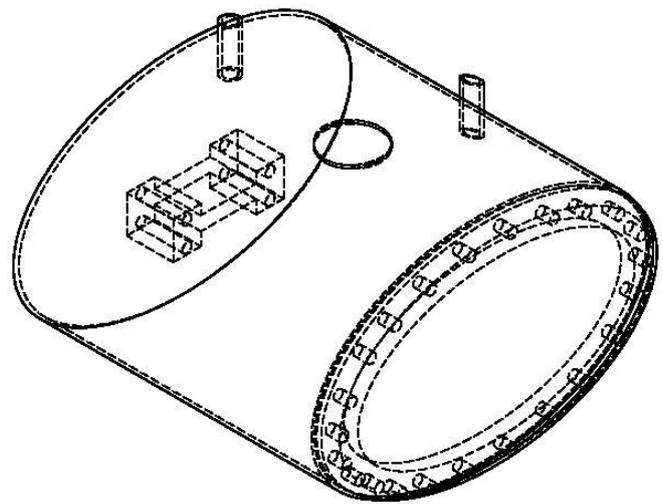
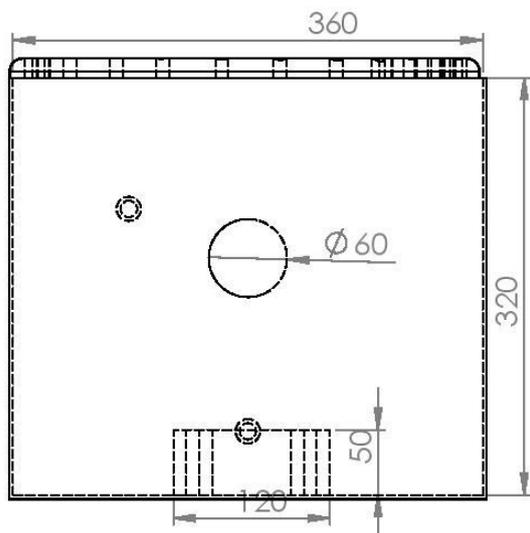
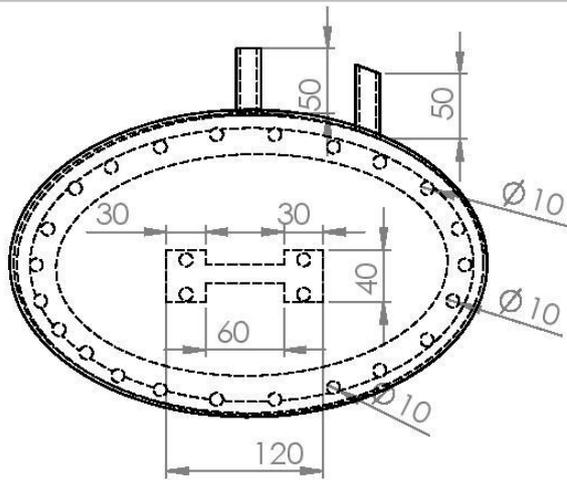
int Calc;
int hallsensor = 2; //El Pin Digital que está conectado del sensor

void rpm () // Función que interrumpe
  NbTopsFan++; //La función que mide el valor que tiene de la señal del sensor
de efecto hall
}
void setup()
{
  pinMode(hallsensor, INPUT); // Inicializa el pin 2 como entrada
  Serial.begin(9600); //Inicializa la lectura
  attachInterrupt(0, rpm, RISING); // Configuración de interrupción
}
void loop ()
{
  NbTopsFan = 0; //Coloca en 0 para comenzar a calcular
  sei(); //Activa los interrupts
  delay (1000); //Espera 1 segundo
  cli(); //desactiva los interrupts
  Calc = (NbTopsFan * 60 / 7.5); //(Pulso de Frecuencia x 60) / 7.5Q, = tasa de
flujo en L/hora
  Serial.print (Calc, DEC); //Imprime el número calculado anteriormente
  Serial.print (" L/hora\r\n"); //imprime "L/hora" y devuelve una nueva línea
}
```

## ANEXO 2. Diseño de depósito de combustible



Ciencias de la Ingeniería	INGENIERIA MECATRONICA	
NOMBRE  Gabriel Regalado Hidalgo	TÍTULO:  Diseño y construcción de un banco de pruebas de las bombas de combustible el avión C-130	
Escala en mm	N.º DE DIBUJO  Pieza 2	<b>A4</b>
ESCALA 1:5		HOJA 1 DE 1



Ciencias de la Ingeniería		INGENIERIA MECATRONICA	
NOMBRE Gabriel Regalado Hidalgo		TÍTULO: Diseño y construcción de un banco de pruebas de las bombas de combustible el avión C-130	
Escala en mm		Nº DE DIBUJO Ensamblaje	A4
PESO:		ESCALA 1:5	HOJA 1 DE 1

**ANEXO 3. Tabla de parámetros de bombas de combustible de avión C-130**

Bombas	Caudal	Presión
Bomba valor min	292.5 l/min	39 Psi
Bomba valor max	525 l/min	70 Psi