



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “DISEÑO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PORTÁTIL PARA  
EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS REGULADORES DE  
VELOCIDAD, DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS  
(OCP) ECUADOR S.A.”**

**AUTOR: PAZMIÑO VILLAMARÍN, LIBETH ALEXANDRA**

**DIRECTOR: ING. AYALA TACO, JAIME PAÚL, PhD.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PORTÁTIL PARA EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD, DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS (OCP) ECUADOR S.A”***. fue realizado por la señorita, ***Pazmiño Villamarín, Libeth Alexandra*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que los sustenten públicamente.

**Sangolquí, Julio de 2019**



**Dr. Jaime Paul Ayala Taco**  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

### **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Pazmiño Villamarín, Libeth Alexandra*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“DISEÑO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PORTÁTIL PARA EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD, DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS (OCP) ECUADOR S.A”***. es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Julio de 2019

Srta. Libeth Alexandra Pazmiño Villamarín

C.C 0504119835



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

### **AUTORIZACIÓN**

*Yo, Pazmiño Villamarín, Libeth Alexandra, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE a publicar el trabajo de titulación: “DISEÑO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PORTÁTIL PARA EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD, DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS (OCP) ECUADOR S.A”. en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, Julio de 2019



Srta. Libeth Alexandra Pazmiño Villamarín

C.C 0504119835

## DEDICATORIA

*Nada es eterno, solo el conocimiento prevalece a través del tiempo*

A mis padres Adriana y Misael, por el apoyo incondicional y la dedicación para mi formación, inculcándome principios y valores, que han permitido ser la persona que ahora soy.

A mi hermana Adriana Mishell, por la complicidad y la confianza que cada día me da.

*Esto es para ustedes familia*

Libeth Alexandra Pazmiño Villamarín

## AGRADECIMIENTO

*El miedo es uno de los mayores obstáculos que los seres humanos nos ponemos cuando queremos hacer algo, sin embargo, ese mismo miedo es el que nos da la fuerza para aventurarnos y conseguir las cosas que creemos que no somos capaces de lograr.*

A Dios por bendecirme cada día, y sentir que hay algo superior a los humanos.

A mi padre, quien con su ejemplo me enseñó que, con esfuerzo, dedicación, valentía y humildad, se puede llegar lejos, solo es cuestión de proponérselo, que el conocimiento es la base para que una persona consiga todas sus metas.

A mi madre, heroína de mi vida, valiente, inteligente, bondadosa y de gran corazón, ha sido el mayor soporte, quien me inyecta fortaleza en momentos difíciles, me alienta a no decaer, me enseña el poder de ayudar a alguien de manera desinteresada, y que cuando se tiene la predisposición y las ganas de lograrlo todo es posible. Gracias por todo mamita hermosa.

A mi ñañita Adri, amiga, cómplice, compañía, con quién comparto toda mi vida, agradezco que siempre está ahí cuando la necesito y es un apoyo.

A mi familia, ya que todos nos hemos sacrificado por cumplir esta meta.

A mis tíos, tías, primos, primas a toda mi familia, gracias por su apoyo.

Al alma mater que me acogió en sus aulas y me brindó la oportunidad de capacitarme, eternamente agradecida con la Universidad de la Fuerzas Armadas “ESPE”. Y a los catedráticos que aportaron con valioso conocimiento para mi formación académica.

En el transcurso de la vida universitaria fui conociendo a nuevas personas, que ahora forman parte de mí, ellos son mis queridos amigos y compañeros, gracias a cada uno de ellos por brindarme su amistad, paciencia, anécdotas, experiencias, compañía, confianza, las locuras, las risas, por las largas noches sin dormir, los amaneceres, las peleas, los llantos, los desacuerdos, etc. El camino no ha sido nada fácil, pero su apoyo ha sido incondicional y ha permitido que gracias a eso logré culminar con éxito este objetivo.

Al Ingeniero Paúl Ayala, director de este proyecto, por la buena disposición que tuvo, el tiempo dedicado y los conocimientos brindados, formaron parte clave para el desarrollo de este proyecto.

A la Empresa Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) Ecuador S.A, la experiencia tanto como pasante y tesista fue la mejor, aprendí cosas valiosas y de gran importancia para aplicarlas en mi etapa profesional.

Al Ingeniero Robert Guevara, por la confianza que depositó en mí y proponerme este proyecto, su experiencia y conocimientos fueron de gran ayuda.

*Infinitas gracias a todos*  
Libeth Alexandra Pazmiño Villamarín

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	i
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	ii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>LISTADO DE ABREVIATURAS</b> .....	xii
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>Capítulo I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación e importancia. ....	4
1.3. Alcance del proyecto. ....	5
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo General. ....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
<b>Capítulo II</b> .....	<b>8</b>
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>8</b>
2.1. Introducción.....	8
2.2. Motores de Combustión Interna .....	8
2.3. Funcionamiento del motor de Combustión Interna .....	9
2.4. Clasificación de los motores de combustión interna .....	12
2.4.1. Motor de cuatro tiempos .....	13
2.4.2. Motores de dos tiempos .....	15
2.4.3. Turbinas de Gas .....	15
2.4.4. Motor Otto .....	17

2.4.5.	Motor Diesel .....	17
2.5.	Principales componentes de un motor de combustión interna.....	18
2.6.	Motor Vasa 32 .....	19
2.7.	Sistema de Control de velocidad .....	20
2.8.	Regulador de Velocidad .....	20
2.9.	Equipos Woodward PGA .....	22
2.9.1.	Componentes del Gobernador PGA.....	22
2.9.2.	Descripción Woodward PGA 58.....	23
2.10.	Principios de control de velocidad de motores de combustión interna.....	24
2.10.1.1.	Sección básica Gobernador.....	25
2.10.1.2.	Ajuste de la velocidad al incrementar carga .....	27
2.10.1.3.	Ajuste de la velocidad al disminuir la carga.....	28
2.10.1.4.	Sección Ajuste de la velocidad.....	28
2.10.1.5.	Enlace de caída de velocidad.....	29
2.10.1.6.	Operación.....	30
2.11.	Mantenimiento .....	31
2.12.	Fallas .....	32
2.13.	Causas que producen desgaste en los componentes.....	34
2.14.	Variables de medida.....	35
<b>Capítulo III</b>	<b>.....</b>	<b>37</b>
<b>3. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS E INTERFAZ PARA ADQUISICIÓN DE DATOS</b>		
	37	
3.1.	Introducción.....	37
3.2.	Proceso que se debe seguir para realizar la calibración y mantenimiento de los reguladores.....	37
3.3.	Variables de medida .....	41
3.3.1.	Presión.....	44
3.3.2.	Posición.....	44
3.3.3.	Velocidad .....	44
3.4.	Selección de dispositivos.....	44
<b>Capítulo IV</b>	<b>.....</b>	<b>49</b>
<b>4. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA HERRAMIENTA</b>	<b>.....</b>	<b>49</b>

4.1.	Introducción.....	49
4.2.	Principios Básicos de adquisición de datos .....	49
4.2.1.	Sensor .....	50
4.2.2.	Tarjeta de adquisición de datos (DAQ).....	50
4.2.3.	PC en un Sistema DAQ.....	51
4.3.	Selección de la tarjeta de adquisición de datos.....	52
4.4.	Descripción interfaz de comunicación.....	53
4.5.1.	Requerimientos del Sistema para LabVIEW .....	53
4.6.	Especificación del Sistema .....	54
4.7.	Diagrama de bloques de la herramienta.....	55
4.8.	Relación de las variables .....	55
4.9.	Diseño de la interfaz hombre-máquina.....	57
<b>Capítulo V</b>	<b>.....</b>	<b>62</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD .....</b>	<b>62</b>
5.1.	Introducción.....	62
5.2.	Factibilidad Técnica.....	62
5.2.1.	Requerimientos de hardware .....	62
5.2.1.1.	Sensores .....	62
5.2.1.2.	Tarjeta de Adquisición de datos.....	63
5.2.1.3.	Computadora.....	64
5.2.2.	Requerimientos de software .....	65
5.2.2.1.	LabVIEW.....	65
5.2.3.	Recurso Humano .....	65
5.2.4.	Protocolo de pruebas .....	65
5.3.	Factibilidad Económica .....	66
5.3.1.	Valor Actual Neto (VAN) .....	67
5.3.1.1.	Inversión Inicial .....	68
5.3.1.2.	Valor de Mantenimiento .....	69
5.3.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	72
5.4.	Factibilidad .....	73
<b>Capítulo VI</b>	<b>.....</b>	<b>74</b>

<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
6.1. Conclusiones .....	74
6.2. Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Clasificación de los motores de combustión interna</i> .....	12
<b>Tabla 2</b>	<i>Principales componentes de un motor de combustión interna</i> .....	18
<b>Tabla 3</b>	<i>Etapas del regulador de velocidad</i> .....	21
<b>Tabla 4</b>	<i>Componentes del gobernador</i> .....	22
<b>Tabla 5</b>	<i>Rangos de los parámetros principales</i> .....	23
<b>Tabla 6</b>	<i>Fallas que afectan las operaciones</i> .....	34
<b>Tabla 7</b>	<i>Efectos y Causas de fallas del gobernador</i> .....	41
<b>Tabla 8</b>	<i>Características Técnicas sensor de presión</i> .....	45
<b>Tabla 9</b>	<i>Características Técnicas del sensor de presión</i> .....	45
<b>Tabla 10</b>	<i>Características de sensor de posición</i> .....	46
<b>Tabla 11</b>	<i>Características de sensor de posición</i> .....	46
<b>Tabla 12</b>	<i>Características de sensor de velocidad</i> .....	47
<b>Tabla 13</b>	<i>Características de sensor de velocidad</i> .....	48
<b>Tabla 14</b>	<i>Partes de la tarjeta de adquisición de datos</i> .....	51
<b>Tabla 15</b>	<i>Características Técnicas de la tarjeta de adquisición de datos USB-6210</i> .....	52
<b>Tabla 16</b>	<i>Características del Software LabVIEW</i> .....	53
<b>Tabla 17</b>	<i>Requerimientos del Sistema para LabVIEW</i> .....	54
<b>Tabla 18</b>	<i>Especificaciones del Sistema</i> .....	54
<b>Tabla 19</b>	<i>Datos de calibración después del overhaul</i> .....	56
<b>Tabla 20</b>	<i>Sensores seleccionados para cada variable</i> .....	63
<b>Tabla 21</b>	<i>Características Técnicas de la tarjeta de adquisición de datos USB-6210</i> .....	64
<b>Tabla 22</b>	<i>Requerimientos para el computador</i> .....	64
<b>Tabla 23</b>	<i>Criterios de decisión VAN</i> .....	67
<b>Tabla 24</b>	<i>Costos de Hardware</i> .....	68
<b>Tabla 25</b>	<i>Costos de Recurso Humano</i> .....	69
<b>Tabla 26</b>	<i>Inversión Inicial</i> .....	69
<b>Tabla 27</b>	<i>Costo Mantenimiento</i> .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Conversión de energía térmica del combustible a energía mecánica .....	9
<b>Figura 2.</b> Funcionamiento de un motor de combustión interna .....	9
<b>Figura 3.</b> Movimiento del mecanismo biela-manivela.....	11
<b>Figura 4.</b> Diagrama de bloques de entradas y salidas en un motor de combustión interna.....	11
<b>Figura 5.</b> Fases de un motor de 4 tiempos.....	14
<b>Figura 6.</b> Motor de Turbina de gas de ciclo abierto .....	16
<b>Figura 7.</b> Elementos principales .....	19
<b>Figura 8.</b> Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad .....	20
<b>Figura 9.</b> Sistema de control de velocidad .....	21
<b>Figura 10.</b> Diagrama esquemático de PGA .....	24
<b>Figura 11.</b> Descripción de las partes del gobernador .....	25
<b>Figura 12.</b> Conjunto de caída de velocidad .....	30
<b>Figura 13.</b> Técnicas cambiantes de Mantenimiento .....	32
<b>Figura 14.</b> Modos de Falla .....	33
<b>Figura 15.</b> Principales causas de desgaste .....	35
<b>Figura 16.</b> Pruebas iniciales antes de overhaul .....	38
<b>Figura 17.</b> Contaminación en el Gobernador .....	38
<b>Figura 18.</b> Desgaste en base de bomba de aceite .....	39
<b>Figura 19.</b> Evaluación de componentes del gobernador .....	39
<b>Figura 20.</b> Repuestos utilizados en el overhaul.....	40
<b>Figura 21.</b> Calibración de gobernador después de overhaul .....	40
<b>Figura 22.</b> Seguro en tapa del gobernador.....	41
<b>Figura 23.</b> Diagrama de bloques del funcionamiento del gobernador .....	43
<b>Figura 24.</b> Partes de un Sistema DAQ .....	50
<b>Figura 25.</b> Partes de la tarjeta de adquisición de datos.....	50
<b>Figura 26.</b> Diagrama de Bloques herramienta de monitoreo .....	55
<b>Figura 27.</b> Curva Presión vs Velocidad.....	56
<b>Figura 28.</b> Curva Presión vs Posición .....	57
<b>Figura 29.</b> Distribución de ventana Guía Gedis .....	58
<b>Figura 30.</b> Ventana Principal Monitoreo.....	58
<b>Figura 31.</b> Ventana de Monitoreo .....	59
<b>Figura 32.</b> Ventana variable Presión .....	59
<b>Figura 33.</b> Ventana variable posición.....	60
<b>Figura 34.</b> Ventana variable velocidad.....	60
<b>Figura 35.</b> Ventana Presión vs Velocidad .....	61
<b>Figura 36.</b> Ventana Presión vs Posición.....	61
<b>Figura 37.</b> Protocolo de Pruebas .....	66

**LISTADO DE ABREVIATURAS**

<b>API</b>	Instituto Americano del Petróleo (por sus siglas en inglés “ <i>American Petroleum Institute</i> ”)
<b>OCP</b>	Oleoducto de Crudos Pesados
<b>RPM</b>	Revolución por Minuto
<b>PGA</b>	Ajuste de velocidad de aire compensado por presión (por sus siglas en inglés “ <i>pressure compensated-air speed setting</i> ”)
<b>PSI</b>	Libra por pulgada cuadrada (por sus siglas en inglés “ <i>pounds-force per square inch</i> ”)
<b>HMI</b>	Interfaz hombre- máquina (por sus siglas en inglés “ <i>Human Machine Interface</i> ”)
<b>DAQ</b>	Adquisición de datos (por sus siglas en inglés “ <i>data acquisition</i> ”)
<b>DAC</b>	Convertor Análogo Digital (por sus siglas en inglés “ <i>Digital-analog converter</i> ”)
<b>USB</b>	Universal Serial Bus (por sus siglas en inglés “ <i>universal serial bus</i> ”)
<b>VAN</b>	Valor actual neto
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno

## **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación presenta el diseño de la solución de una herramienta portátil que permitirá evaluar el funcionamiento de los reguladores de velocidad de los motores de combustión interna, específicamente del motor marca Warstila Vasa 32. Estos equipos utilizan un sistema de control de velocidad (RPM), y lo que se espera es determinar si el equipo requiere ser llevado a mantenimiento, sin la necesidad de desmontarlo de su lugar habitual de operación, para definir si se requieren realizar correcciones preventivas, a través de la evaluación de algunos parámetros de control que influyen en su operación, además que sea monitoreado a través de un computador, para lo cual se especificarán los sensores, la tarjeta de adquisición de datos y el software que se requiere para definir estas variables. Se realizará un estudio de factibilidad técnica y económica, y se definirán los componentes más aptos para la realización de este diseño, así como también el presupuesto que se requiere para su futura implementación. Este estudio servirá de base para la empresa Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) Ecuador S.A., para su posterior ejecución, con lo que se reducirán tiempos, mejorará la disponibilidad de equipos, y se conseguirá eficiencia en los procesos.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **REGULADORES DE VELOCIDAD**
- **MANTENIMIENTO**
- **MOTOR COMBUSTIÓN INTERNA**
- **ESTUDIO FACTIBILIDAD**

## **ABSTRACT**

The present research project presents the design of the solution of a portable tool that will allow to evaluate the operation of the speed regulators of the internal combustion engines, specifically of the Warstila Vasa 32 engine. These equipments use a speed control system (RPM), and what is expected is to determine if the equipment needs to be taken to maintenance, without the need to dismantle it from its usual place of operation, to define if preventive corrections are required, through the evaluation of some control parameters that influence their operation, in addition to being monitored through a computer, for which the sensors, the data acquisition card and the software that is required to define these variables will be specified. A technical and economic feasibility study will be carried out, and the most suitable components for the realization of this design will be defined, as well as the budget that is required for its future implementation. This study will serve as the basis for the company Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) Ecuador S.A., for its subsequent execution, which will reduce time, improve the availability of equipment, and achieve efficiency in the processes.

### **KEY WORDS:**

- **SPEED REGULATORS**
- **MAINTENANCE**
- **INTERNAL COMBUSTION ENGINE**
- **FEASIBILITY STUDY**

# Capítulo I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

El Oleoducto de Crudos Pesados Ecuador S.A. (OCP Ecuador S.A.) es una empresa privada ecuatoriana, que se dedica al transporte, almacenamiento y despacho de petróleo crudo pesado de 18 a 24 grados API. Es el segundo oleoducto que opera en nuestro país, y su funcionamiento se inició en noviembre del 2003 (OCP Ecuador S.A, 2018).

El diseño del oleoducto contempla estaciones de bombeo, las cuales emplean sistemas motrices equipados con motores de combustión interna marca Wartsila, estos equipos utilizan un sistema de control de velocidad (RPM) electrónico, hidráulico de marca Woodward, este regulador debe ser llevado a un banco de pruebas, por sus horas de operación, OCP definió en su plan de mantenimiento 20000 horas el tiempo para la revisión de mantenimiento.

En el campo industrial, se encuentra una gran cantidad de maquinaria, en la que se destacan los motores por su: tamaño, versatilidad y rendimiento; estos equipos rotativos forman parte fundamental dentro de un proceso industrial, por lo cual la implementación de un plan de mantenimiento, previene que se presenten estados críticos que afecten la producción de una empresa (Electro Industria, 2014).

El mantenimiento de los motores permite la continuidad de los procesos industriales, ya que con la operación frecuente y el pasar del tiempo, los componentes eléctricos y mecánicos se desgastan. El evaluar a través de una herramienta portátil las distintas variables de funcionamiento de un dispositivo, entre las que se puede enumerar las vibraciones, presión hidráulica y neumática, para así definir si cumplen con parámetros establecidos para su marcha normal, sin la necesidad de desmontar el equipo, lo que permitirá ahorrar costos y evitar paros en la producción (Álvarez, Huérfano, & Oscar, 2015).

En cuanto a la importancia de un adecuado mantenimiento se realizó el diseño y construcción de un banco de pruebas para turbocompresores asistido mediante un programa computarizado, este trabajo permite detectar fallas oportunamente y corregirlas con el menor impacto posible. Se basa en la realización de tareas de diagnóstico y mantenimiento, consta de un sensor de vibración que proporciona una señal de salida modulada por ancho de pulso (PWM) y mediante una tarjeta de adquisición de datos, permite interpretar esta información, además a través de Labview elaboró el software de adquisición y procesamiento de datos, y por medio de una interfaz se puede observar las señales procesadas tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia y de esta manera determina la velocidad de giro del motor (Lara, 2006).

En el artículo titulado “Detection of mechanical faults in induction machines with infrared thermography: field cases” (López & Antonino, 2016), su objetivo es presentar algunos ejemplos de campo, donde se detectaron fallas mecánicas con la técnica de termografía infrarroja como una herramienta eficaz para el mantenimiento predictivo, en donde la idea es buscar una metodología que proporcione información adicional para aumentar el diagnóstico generado por el análisis de datos de vibración o incluso para mostrar una información directa. Para este objetivo, se han

explorado las técnicas que se basan en el análisis de la corriente o datos de temperatura que son fuentes informativas confiables. Dentro de este estudio se ha demostrado que el análisis actual (ya sea en estado estable (MCSA) o durante el inicio de la operación de los motores), es una fuente valiosa de información para el diagnóstico de algunas fallas mecánicas, Estos fallos mecánicos que pueden ser potencialmente detectables con la termografía infrarroja incluye, entre otras, tales como daños en los rodamientos, lubricación deficiente de los rodamientos, problemas en el sistema de transmisión o desalineaciones que conducen a la emisión térmica.

En el trabajo titulado “Device for measuring mechanical variables for fault detection in cement production kilns” (Romero, y otros, 2018), se describe un dispositivo portátil, que se centra en la medición de variables mecánicas en marcha en estaciones de soporte y en accionamientos de hornos, que permite evaluar posibles fallas. Este equipo surge de la necesidad de un sistema de medición que no involucre la disminución de la velocidad de giro del horno, para de esa manera analizar el sistema mecánico en su régimen de giro normal y evitar paradas de la línea productiva, además que permita visualizaciones de modo gráfico del registro y facilite el análisis de las fallas. Este dispositivo se basa en sensores inductivos de alta resolución para la medición de distancias, un adquisidor de datos NI- USB6210 que permita el registro de señales, como procesador de datos e interfaz de usuario, un programa desarrollado en NI-LabVIEW.

Con respecto a los reguladores de velocidad, en la central termoeléctrica Guangopolo, debido a la demanda de energía existente, las unidades de generación siempre deben estar disponibles para la producción de esta, además que deben estar preparadas para cualquier imprevisto que se pueda presentar. En el artículo titulado “Diseño e implementación de un sistema de control de velocidad y voltaje para la unidad 4 de generación de la central termoeléctrica Guangopolo” (Asipuela &

Paredes, 2013), plantea un sistema de control de velocidad y voltaje que reaccionen frente a dichas fallas de manera adecuada, y que conserve una mínima potencia necesaria para mantener energizados los sistemas auxiliares de la central termoeléctrica. Para el lazo de control de velocidad, la planta es el motor de combustión interna que es la máquina motriz del generador. Dentro del diseño el controlador compara la señal de salida con el valor requerido de velocidad, si la salida permanece constante la inyección de combustible permanece constante, procedimiento que realiza el gobernador para el control de la velocidad, y de acuerdo con el valor requerido abre o cierra las cremalleras.

## **1.2. Justificación e importancia.**

En la búsqueda por mejorar los procesos de producción y estar a la vanguardia de la industria mundial, resulta de gran importancia establecer y llevar a cabo un plan de mantenimiento adecuado que garantice el correcto funcionamiento de los motores a diesel. Ya que una falla del normal funcionamiento conlleva una serie de dificultades, principalmente económicas y pérdidas significativas de la producción. Por lo que, la industria debe aplicar rigurosos planes de mantenimiento para los motores, ya sean estos preventivos periódicos como predictivos, en lugar de mantenimiento orientado a la falla o correctivo (Electro Industria, 2014).

Un adecuado plan de mantenimiento tiene que estar enfocado en la mejora continua de una empresa. Lo que le permita garantizar competitividad dentro del sector en el que se encuentre, por lo tanto, es necesario innovar con nuevos métodos de trabajo, mejorar los procesos y, si es necesario, automatizarlos (Catalunya, s.f.).

En el artículo definido como “Técnicas de detección y diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas de inducción”, en donde se enfocan en presentar alternativas de diagnóstico de fallas para

máquinas de inducción y comparar su desempeño. Estas técnicas se destacan por el proceso no invasivo que emplean en donde están en la capacidad de detectar fallas mientras la máquina está bajo funcionamiento y no requiere instalar sensores dentro del motor. Lo que las distinguen de las técnicas tradicionales, en donde se requiere que la máquina en estudio está fuera de servicio para poder establecer un diagnóstico (Verucchi & Acosta, 2007).

OCP Ecuador S.A establece el servicio de revisión de los equipos Woodward de control de velocidad de sus motores con otra empresa que realiza la calibración, sin embargo, para realizar este procedimiento se deben desmontar los equipos de su estructura, para posteriormente ser llevados a un banco de pruebas y evaluar sus condiciones de operación

Como resultado, este estudio permitirá evaluar la factibilidad de una nueva herramienta para determinar el estado de los reguladores de velocidad para los motores de la marca Warstila. Esto conlleva a la aplicación de modernas técnicas para la determinación de planes de mantenimiento que se ajusten a los nuevos requerimientos de la industria.

La ejecución de esta investigación pretende determinar con certeza si el equipo requiere ser llevado a mantenimiento, después de evaluar las variables de control que influyen en su operación; además este estudio servirá de base a la empresa para su posterior implementación lo que reducirá tiempos, mejorará la disponibilidad de equipos, y se conseguirá eficiencia en los procesos.

### **1.3. Alcance del proyecto.**

El presente proyecto se centrará en el diseño y análisis de factibilidad de la implementación de una herramienta portátil para el control de funcionamiento de los reguladores de velocidad Woodward para motores Wartsila Vasa 32, para una futura ejecución en la empresa OCP Ecuador

S.A., con el fin de reducir costos para la empresa, este instrumento monitoreado a través de un computador, permitirá evaluar las condiciones de funcionamiento de las distintas variables del dispositivo, entre las que se tiene: temperatura, presión hidráulica, presión neumática, y vibraciones; sin la necesidad de desmontarlo de su lugar habitual de operación, y definir si se requiere realizar correcciones preventivas para que se ajusten a los parámetros normales de funcionamiento.

Previamente se procederá a conocer el principio de funcionamiento de los equipos Woodward, identificar sus partes principales, las causas que producen desgaste en sus componentes mecánicos y el proceso que se debe seguir para realizar la calibración y mantenimiento de estos equipos.

Luego se identificarán y seleccionarán las variables de control que permitan definir su normal operación para compararlas con las establecidas en los manuales de funcionamiento, y realizar el diseño que permita acoplar este procedimiento de manera computarizada, y extraer las señales obtenidas de los sensores.

Finalmente, con la información recopilada se sustentará la investigación con la metodología de evaluación de proyectos, donde mediante una serie de pasos se estudiará la viabilidad del proyecto, que se centrará en determinar la factibilidad técnica y económica, para esto se definirá los mejores dispositivos, que se emplearán para extraer las señales provenientes del regulador, en donde se incluirá sensores, transmisores, tarjeta de adquisición de datos, el lenguaje de programación y la interfaz de comunicación hacia el ordenador.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

- Diseñar la solución que se ajuste a comprobar el funcionamiento de los reguladores de velocidad para motores Wartsila Vasa 32, analizando la factibilidad para su futura aplicación práctica en la empresa OCP Ecuador S.A

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Definir la solución que se adapte a comprobar el funcionamiento de los reguladores de velocidad Woodward PGA 58, que ejecutan el control de revoluciones de los motores Wartsila Vasa 32.
- Establecer las principales variables de control a ser evaluadas del regulador de velocidad.
- Diseñar una herramienta portátil para reguladores de velocidad de motores Wartsila, definiendo técnica y económicamente la factibilidad de implementarlo en la empresa OCP Ecuador S.A. después de este estudio.
- Analizar los elementos que se requieren para la herramienta portátil y establecer la compatibilidad entre estos.

## Capítulo II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1.Introducción

En el siglo XIX empieza el desarrollo de los motores de combustión interna, parte desde el motor Lenoir, en el año de 1860 en Francia; en el año de 1867 en Alemania el motor Otto y E. Langen; en 1876 el motor de cuatro tiempos N.Otto, construido según el ciclo de Beauc de Rochas. A fines del siglo XIX, los motores que mayor difusión tuvieron eran los motores de combustión interna, ya que, gracias a la refinación industrial del petróleo, aparecieron aquellos que funcionaban con combustible líquido como gasolina, kerosene de encendido por chispa o ignición por compresión. (Rafael & Hernández, 2014).

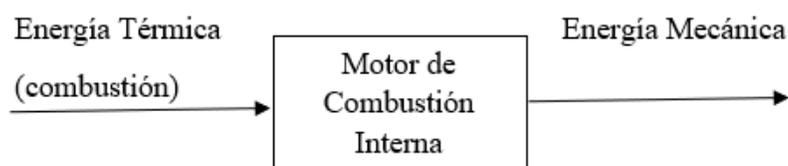
#### 2.2.Motores de Combustión Interna

Un motor es un conjunto de mecanismo que producen energía mecánica a partir de otra forma de energía como: calorífica (motores térmicos), hidráulica (motores hidráulicos), eléctrica (motores eléctricos), etc. (Sánchez & Sánchez, 2015).

Una de las energías que se obtiene a partir de la quema de combustibles de la naturaleza orgánica tales como los hidrocarburos, es la térmica. Los motores de combustión interna transforman la energía térmica en trabajo, y son capaces de consumir el 80% de la energía derivada de los hidrocarburos a nivel mundial. Estos motores generan trabajo útil a través de la transforman la energía térmica del combustible (Rafael & Hernández, 2014).

La energía química transformada es proveniente de una combustión que se lleva a cabo en el interior del motor, la cual es producida por el fluido activo, o bien, la mezcla de combustibles, ya sean gaseosos o líquidos, con el comburente o aire (Universidad de las Américas Puebla, 2019).

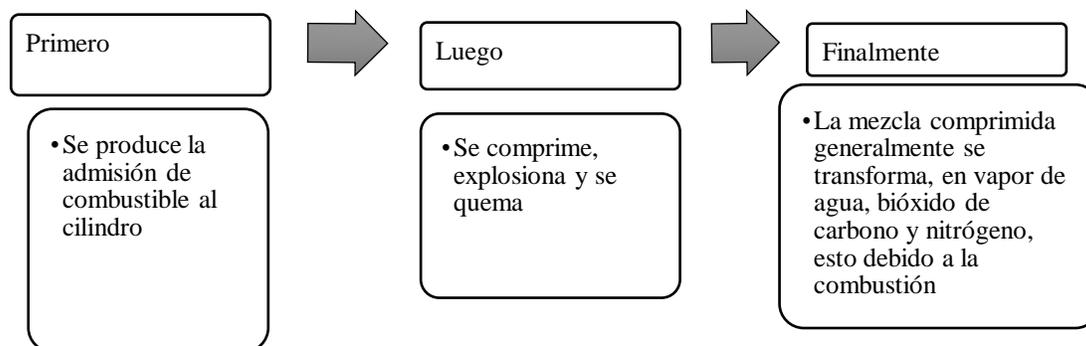
Un motor de combustión interna genera trabajo mecánico a partir de la energía química que se encuentra en un combustible, y que arde dentro de una cámara de combustión, ver Figura 1 (Rafael & Hernández, 2014).



**Figura 1.** Conversión de energía térmica del combustible a energía mecánica

### 2.3. Funcionamiento del motor de Combustión Interna

El funcionamiento de un motor de combustión interna se observa en la Figura 2 y cumple con lo siguiente:



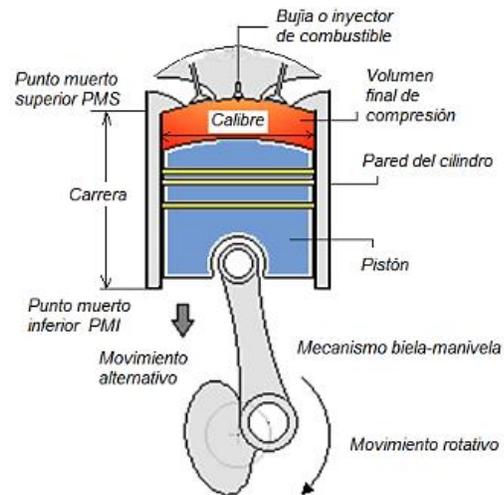
**Figura 2.** Funcionamiento de un motor de combustión interna

El gas inerte contenido en el aire es el nitrógeno, este no forma parte del proceso de la combustión. Debido a esto se produce vapor de agua el cual se mantiene y se comporta como un gas permanente. Como resultado de la combustión aparecen otras partículas de gases tales como: monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrógeno ( $H_2$ ), metano ( $CH_4$ ) y oxígeno ( $O_2$ ), cuando la combustión es incompleta.

En el proceso también surge cierta cantidad de oxígeno que está en razón directa del exceso de aire introducido comparando al que se necesita para la combustión, se produce una transformación de gases que son expulsados al ambiente y se genera una gran cantidad de calor (energía calorífica). La fuerza originada por esta presión es la que se emplea para mover el cigüeñal a través del conjunto biela-pistón, como se observa en la Figura 3 (Rafael & Hernández, 2014).

El arranque de los motores se lleva a cabo en su cámara interna, en donde se forma el fluido activo, y sucede al momento de ser incendiado; la misma cámara interna forma parte de un cilindro dentro del cual se mueve un pistón de forma rectilínea. Dicho pistón forma parte de un mecanismo pistón -biela-cigüeñal, donde el último constituye el eje rotativo (Universidad de las Américas Puebla, 2019)

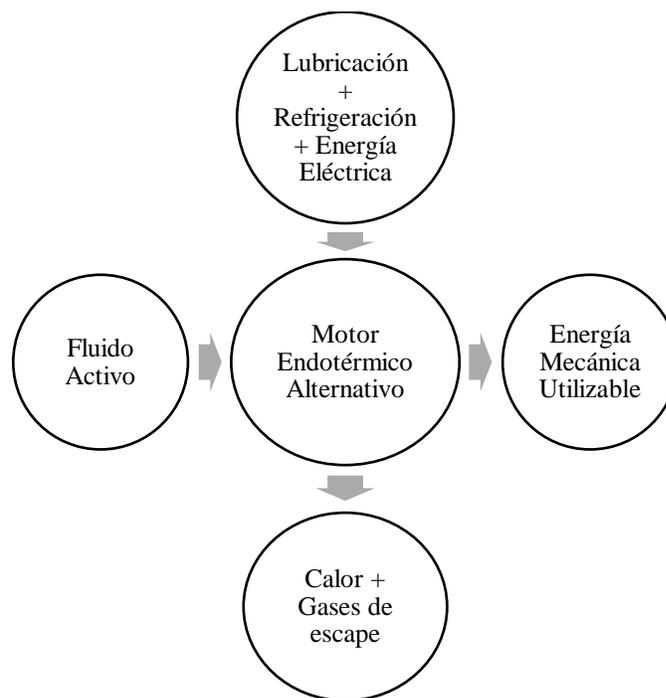
Como producto de la ignición, el pistón recibe tal excitación poniéndose en movimiento y éste, a su vez, transmite el movimiento a la biela, conectada al eje cigüeñal, lo que resulta en el movimiento de la manivela rotativa, como se observa en la Figura 3 (Universidad de las Américas Puebla, 2019).



**Figura 3.** Movimiento del mecanismo biela-manivela

Fuente: (Turmero, 2019)

Para un óptimo y correcto funcionamiento del motor, es esencial la existencia de los sistemas auxiliares, como se observa en la Figura 4, estos consisten en: lubricación, refrigeración y el suministro de energía eléctrica



**Figura 4.** Diagrama de bloques de entradas y salidas en un motor de combustión interna

Lubricación: Se refiere a todo el sistema que mantiene lubricados los mecanismos móviles. Su principal función radica en la aplicación de un manto superficial de aceite que recubre así a los elementos móviles, además permite enfriar a las partes con altas temperaturas mediante una transferencia de calor y ayudar al estancamiento del pistón (Universidad de las Américas Puebla, 2019).

Refrigeración: Se refiere al que mantiene una temperatura constante del motor durante el funcionamiento, esto es a través de la eliminación del exceso de calor que se pudiera generar (Universidad de las Américas Puebla, 2019).

Suministro de energía eléctrica: Es importante debido a que permite el funcionamiento de dispositivos tales como bombas hidráulicas, de agua o refrigerante y de combustible, los cuales hace posible la circulación de fluidos a lo largo de los conductos (Universidad de las Américas Puebla, 2019).

## 2.4. Clasificación de los motores de combustión interna

Los distintos tipos de motores tienen su modo propio de funcionamiento y aplicación práctica industrial, en la Tabla 1 se observa la clasificación.

**Tabla 1**  
*Clasificación de los motores de combustión interna*

Por su:	Descripción
<b>Aplicación</b>	En automóviles, camiones, locomotoras, avión ligero, marino, sistema de potencia portátil y generación de energía
<b>Diseño básico del motor</b>	Motores reciprocantes (subdivididos por el arreglo de los cilindros: En línea, en V, etc.), motores rotatorios (Wankel y otras geometrías)

CONTINÚA 

<b>Ciclos de funcionamiento</b>	Ciclo de cuatro tiempos: Aspirado naturalmente (admite el aire atmosférico), sobrealimentado (admite previamente comprimida la mezcla fresca) y turbocargado (admite la mezcla fresca comprimida en un compresor conducido por una turbina de extractor), ciclo de dos tiempos: Sobrealimentado y turbo cargado
<b>Válvula o diseño del puerto y localización</b>	Válvulas en la cabeza, válvulas debajo de la cabeza, válvulas rotatorias, etc.
<b>Combustible</b>	Gasolina, Diesel, gas natural, gas líquido, alcoholes (metanol, etanol), hidrógeno, combustible dual
<b>Método de preparación de la mezcla</b>	Carburación, inyección del combustible en los puertos, inyección del combustible en el cilindro del motor
<b>Método de encendido</b>	Encendido por chispa, encendido por compresión
<b>Diseño de la cámara de combustión</b>	Cámara abierta, Cámara dividida
<b>Método de control de carga</b>	La estrangulación de la mezcla del flujo del combustible y de aire junto permanece sin cambio, control del flujo del combustible solamente, una combinación de éstos
<b>Método de enfriamiento</b>	Enfriados por agua, enfriados por aire, sin enfriar (por convección y radiación naturales)

Fuente: (Rafael & Hernández, 2014)

En los motores de combustión interna se distinguen tres tipos principales:

1. Motores de cuatro tiempos.
2. Motores de dos tiempos.
3. Turbinas de gas.

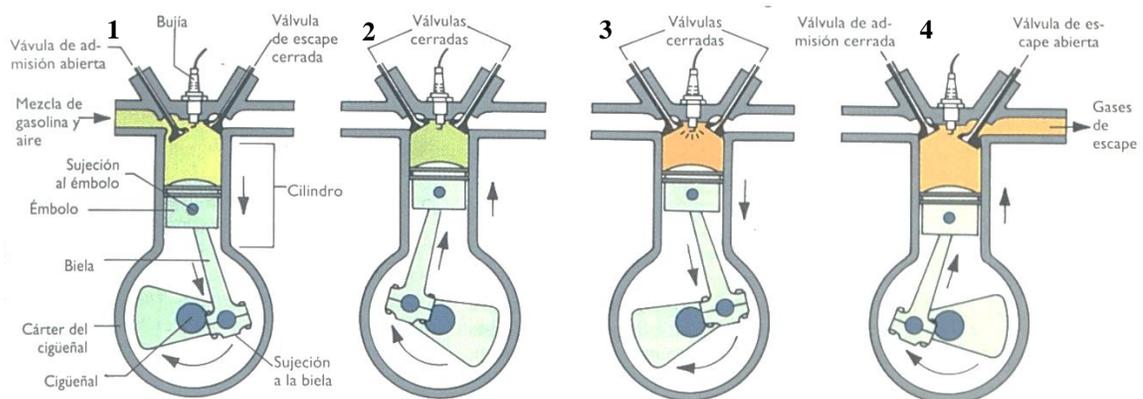
#### 2.4.1. Motor de cuatro tiempos

En ingeniería se ha dado una mayor aplicación a los motores de cuatro tiempos, en la Figura 5 se observa su funcionamiento.

Las carreras (o tiempos) de esos motores son los siguientes:

1. Carrera de admisión. - El aire y el combustible mezclados entran por la válvula de admisión
2. Carrera de compresión. - La mezcla aire/combustible es comprimida y encendida mediante la bujía.
3. Carrera de expansión (de potencia o trabajo). - El combustible se inflama y el pistón es empujado hacia abajo
4. Carrera de escape. - Los gases de escape se conducen hacia fuera a través de la válvula de escape

En cada motor de 4 tiempos una carrera causa que el cigüeñal gire  $180^\circ$ , pues todo el ciclo (4 carreras) causa dos giros  $\left(4 \times 180^\circ = 720^\circ, \frac{720^\circ}{360^\circ} = 2\right)$  del cigüeñal. De las 4 carreras una sirve para el trabajo, y las otras 3 son auxiliares (Pawlak, 1984).



**Figura 5.** Fases de un motor de 4 tiempos

Fuente: (Landin, 2011)

### **2.4.2. Motores de dos tiempos**

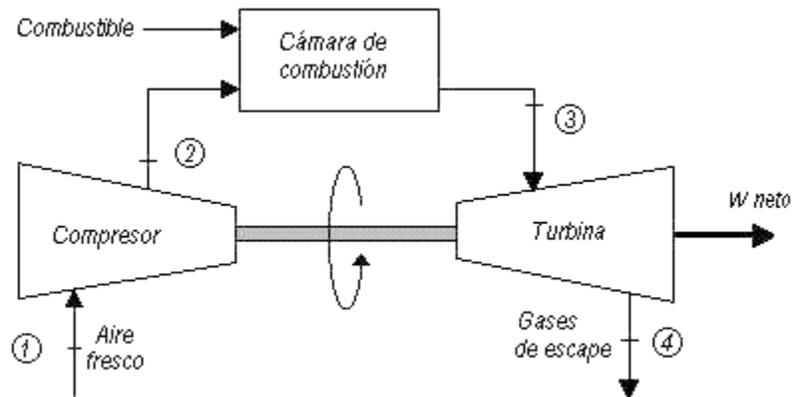
El funcionamiento del motor de 2 tiempos es aquel que realiza las cuatro fases en dos carreras del pistón, es decir completan un ciclo por cada 180° de giro del cigüeñal (Sánchez & Sánchez, 2015).

Son dos los tiempos de este tipo motores:

1. Admisión. Compresión. - Es el propio pistón el que, abre la admisión de la mezcla con su movimiento, a la altura del cárter, y el escape de los gases quemados, a la altura de la cámara de combustión. Las dos acciones la de admisión y compresión se realizan al mismo tiempo.
2. Combustión- Escape. – Cuando el pistón que se encuentra en el punto muerto superior, hace que se comprima al máximo la mezcla de gasolina, aire y aceite, el segundo tiempo comienza, y el choque de las moléculas se produce con mayor rapidez, lo que hace que aumente la temperatura de la mezcla, y es ahí donde se provoca la combustión, ya que la bujía genera una chispa que incendia la mezcla (MotoyCasco, 2014).

### **2.4.3. Turbinas de Gas**

La turbina de gas de combustión continua es una de las formas más antiguas entre los motores de combustión en general, en la Figura 6 se observa su funcionamiento.



**Figura 6.** Motor de Turbina de gas de ciclo abierto  
Fuente: (Rivera, 2019)

El aire es comprimido por el compresor centrífugo y pasado, en parte, a la cámara de combustión. Los gases a alta temperatura que produce la cámara de combustión se mezclan con el volumen principal - de aire que fluye alrededor de ella. Estos gases calientes cuyo volumen ha sido aumentado considerablemente son dirigidos a la tobera en forma de anillo donde disminuye la presión y consecuentemente aumenta la velocidad. El gas a alta velocidad es dirigido contra la rueda de la turbina, siendo utilizada la energía cinética del gas en hacer girar la flecha motriz, que a su vez mueve al compresor de aire (Pawlak, 1984).

En los motores de cuatro y dos tiempos se distingue:

1. Motores encendidos por chispa producida por bujía, reciben el nombre "Motores de Otto".
2. Motores encendidos por compresión o por autoencendido del combustible son conocidos como " Motores Diesel ".

#### **2.4.4. Motor Otto**

Los motores Otto o también denominados MEP (Motores de encendido provocado) se caracterizan porque requieren de un aporte de energía externo al ciclo termodinámico, con lo cual permite iniciar la combustión, en los motores modernos esta energía se proporciona mediante una chispa producida entre dos electrodos de una bujía. El momento de la producción de esta chispa debe ser adecuado para obtener la máxima eficiencia posible (García Soutullo, 2015).

La mezcla de aire-combustible se realiza fuera del cilindro y se introduce por el conducto de admisión, en algunos casos se puede inyectar el combustible directamente durante la compresión formándose una mezcla heterogénea (García Soutullo, 2015).

#### **2.4.5. Motor Diesel**

Los motores MEC (Motores de encendido por compresión) inician la combustión mediante un proceso de autoencendido de la mezcla aire-combustible al conseguir temperaturas finales suficientemente altas en la cámara de combustión en la etapa de compresión (García Soutullo, 2015).

En estos motores solamente entra aire por el conducto de admisión y el combustible se inyecta hacia el final de la carrera de compresión, cuando el aire alcanza niveles de temperaturas altos para producir el autoencendido (García Soutullo, 2015).

En este tipo de motores se obtiene mejores rendimientos en comparación con aquellos del ciclo Otto; esto se debe a la alta compresión a la que están sometidos, y así, son capaces de aprovechar su combustible a un mayor grado. Los motores Otto y los motores Diesel tienen los mismos

elementos principales, a excepción de la existencia de las bujías y el carburador (Universidad de las Américas Puebla, 2019).

## 2.5.Principales componentes de un motor de combustión interna

En un motor de combustión interna es necesario diferenciar 3 zonas básicas, en la Tabla 2 se describe cada una de ellas:

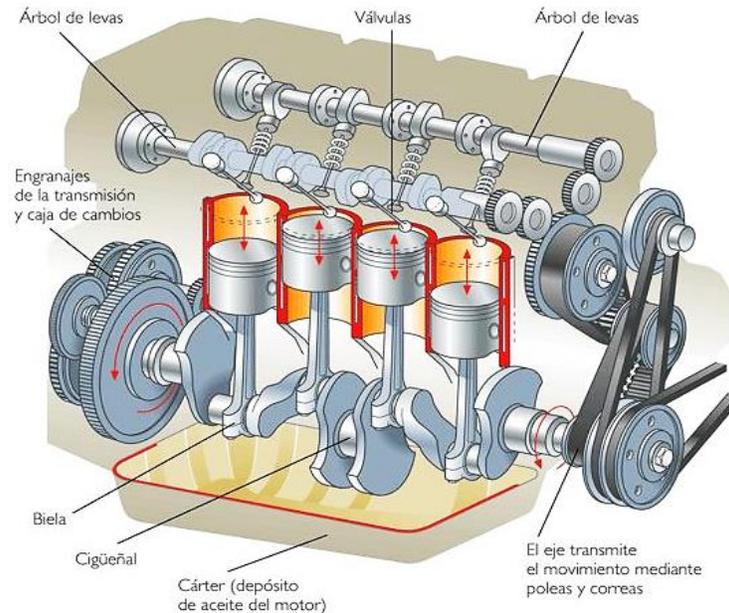
**Tabla 2**

*Principales componentes de un motor de combustión interna*

<b>Partes</b>	<b>Descripción</b>	<b>Componentes</b>
<b>Culata</b>	Es la zona superior del motor, por la cual entra el aire filtrado y el combustible al mismo, a través de una serie de mecanismos instalados en esa zona	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara de combustión</li> <li>• Válvulas</li> <li>• Árbol de levas</li> <li>• Guías y asientos de válvulas</li> <li>• Bujías</li> </ul>
<b>Bloque</b>	Es la zona intermedia del motor, que contiene los cilindros dentro de los cuales se deslizan los pistones, que son los elementos que convierten la fuerza de los gases en rotación del cigüeñal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junta de culata</li> <li>• Cilindros</li> <li>• Pistones</li> <li>• Anillos</li> <li>• Bulones</li> <li>• Bielas</li> </ul>
<b>Cárter</b>	Es la zona inferior del motor que contiene un depósito de aceite para lubricación de todos los elementos del motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cigüeñal</li> <li>• Cojinetes</li> <li>• Volante motor</li> </ul>

Fuente: (Zapata)

En la Figura 7, se muestra los nombres de cada componente



**Figura 7.** Elementos principales

Fuente: (Base Lógica, s.f.)

## 2.6.Motor Vasa 32

Es un motor diesel turboalimentado de 4 tiempos intercooler (radiador aire-aire o aire-agua que se encarga de enfriar el aire comprimido) con inyección directa de combustible. Este motor está disponible con 6 a 16 cilindros y una potencia de salida que varía entre 3 y 9.3 MW a 720 y 750 RPM. Tiene la mejor densidad de potencia y economía de combustible en un amplio rango de operación, con una fiabilidad probada y un bajo consumo de consumibles (Wartsila, 2016).

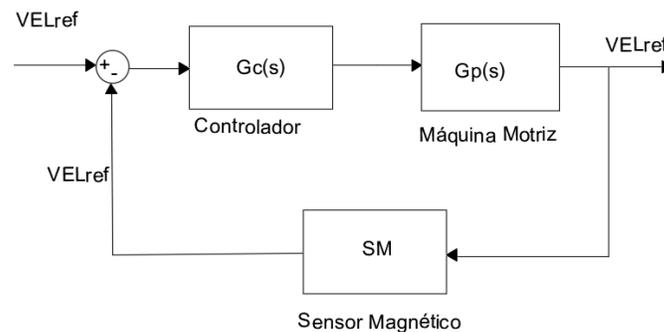
Entre algunas de sus características están:

- Probado en servicio
- Alta confiabilidad
- Densidad de alta potencia
- Bajo consumo de combustible en un amplio rango de carga.
- Funciona con HFO, MDO y biocombustibles líquidos.

- Compatible con la red de servicios global de Wartsila.

## 2.7.Sistema de Control de velocidad

Un sistema de control de velocidad también se denomina control de potencia activa, debido a que este controla una entrada de energía para una unidad motriz a fin de obtener una determinada potencia, en la Figura 8 se observa el diagrama de bloques de un sistema de control de velocidad (Asipuela & Paredes, 2013).



**Figura 8.** Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad

Fuente: (Asipuela & Paredes, 2013).

Donde:

VE<sub>Lref</sub>: valor de referencia

G<sub>c</sub>(s): controlador aplicado

G<sub>p</sub>(s): máquina motriz

SM: sensor magnético de velocidad

## 2.8.Regulador de Velocidad

El regulador de velocidad es un mecanismo que permite que las revoluciones del motor se mantengan constantes dentro de un rango requerido y en relación con el punto de funcionamiento que se desee transmitir (Tirado, 2018).

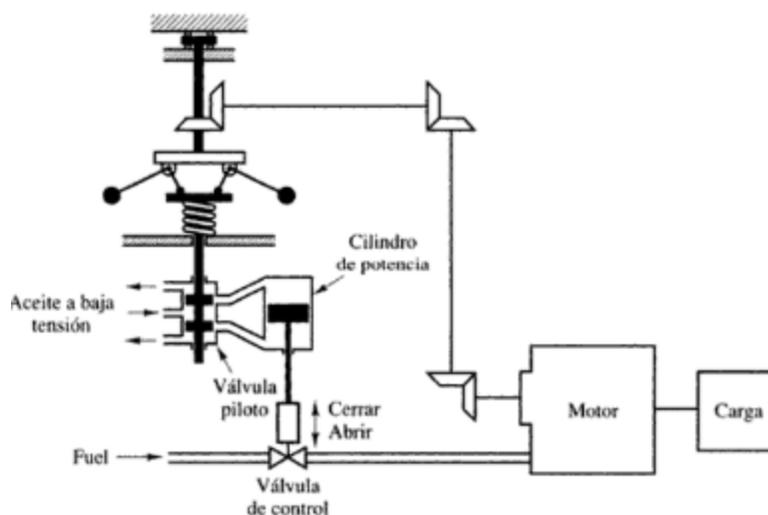
El regulador de un motor es un mecanismo sensible al régimen de este que corrige o limita automáticamente las revoluciones del motor ajustando la cantidad de combustible que él mismo recibe, Tabla 3. Los reguladores del tipo más habitual ajustan el caudal de combustible de forma que el motor se mantenga girando a régimen constante cualquiera que sea el valor de la carga, ver Figura 9 (Gil, 2015).

**Tabla 3**

*Etapas del regulador de velocidad*

Todo regulador ejecuta su función en dos etapas	Medida de velocidad
	Actuación sobre el mando de combustible

El funcionamiento de los reguladores se basa en el hecho de que toda variación de la carga produce inmediatamente una variación en las revoluciones del motor



**Figura 9.** Sistema de control de velocidad

Fuente: (Ogata)

## 2.9. Equipos Woodward PGA

El gobernador marino PGA (ajuste de velocidad de aire compensado por presión) está compuesto por una larga columna, consta de un gobernador hidráulico PG básico para la regulación automática de la velocidad del motor primario y del mecanismo neumático de cambio de velocidad para el control remoto de la velocidad. Hay disponibles dos tipos de cilindros de potencia, uno de simple efecto con retorno por resorte, o de doble acción de cilindro de potencia de tipo pistón diferencial con vástago (Woodward Governor Company).

### 2.9.1. Componentes del Gobernador PGA

Todos los gobernadores marinos PGA tienen los mismos componentes básicos independientemente de lo simple o complejo que pueda ser el control completo. Los componentes se encuentran descritos en la Tabla 4, y son suficientes para permitir que el gobernador mantenga una velocidad constante del motor siempre que la carga no exceda la capacidad del motor (Woodward Governor Company):

**Tabla 4**

*Componentes del gobernador*

Componentes	Acción
Un acumulador de aceite de bomba y una válvula de alivio	Mantienen una presión de aceite uniforme.
Un conjunto de válvula de cabeza y piloto de peso mosca centrífuga	Controla el flujo de aceite hacia y desde el conjunto del cilindro de potencia del gobernador.
Un conjunto de cilindro de potencia, a veces denominado servomotor	Posiciona las rejillas de combustible.
Válvula de combustible, o válvula de vapor del motor primario	
Un sistema de compensación	Estabiliza el sistema de gobernador.

CONTINÚA 

Un mecanismo de ajuste neumático de la velocidad	Se utiliza para ajustar el ajuste de la velocidad del regulador de forma remota.
--	--

Fuente: (Woodward Governor Company)

### 2.9.2. Descripción Woodward PGA 58

El gobernador controla la velocidad del motor o la turbina regulando la cantidad de combustible o vapor suministrado al motor primario. El control de velocidad puede ser isócrono, es decir, el gobernador mantiene una velocidad constante en estado estacionario, dentro de la capacidad de la unidad, independientemente de la carga, o con la caída, la velocidad disminuye a medida que aumenta la carga (Woodward Governor Company).

Una señal de presión de aire de un transmisor o controlador neumático de aire suministra aire al mecanismo de ajuste de velocidad del gobernador. El regulador controla el motor a una velocidad definida para cada presión de aire, en la Tabla 5 se muestra los valores.

**Tabla 5**  
*Rangos de los parámetros principales*

Parámetros	Valor
Rango de presión de aire	7 a 71 psi
Presión de aire de control	Mínima 3 psi      Máxima 100 psi
Velocidad recomendada de funcionamiento	250 a 1000 rpm.
Temperatura del aceite	140 a 200 ° F (60 a 93 ° C).

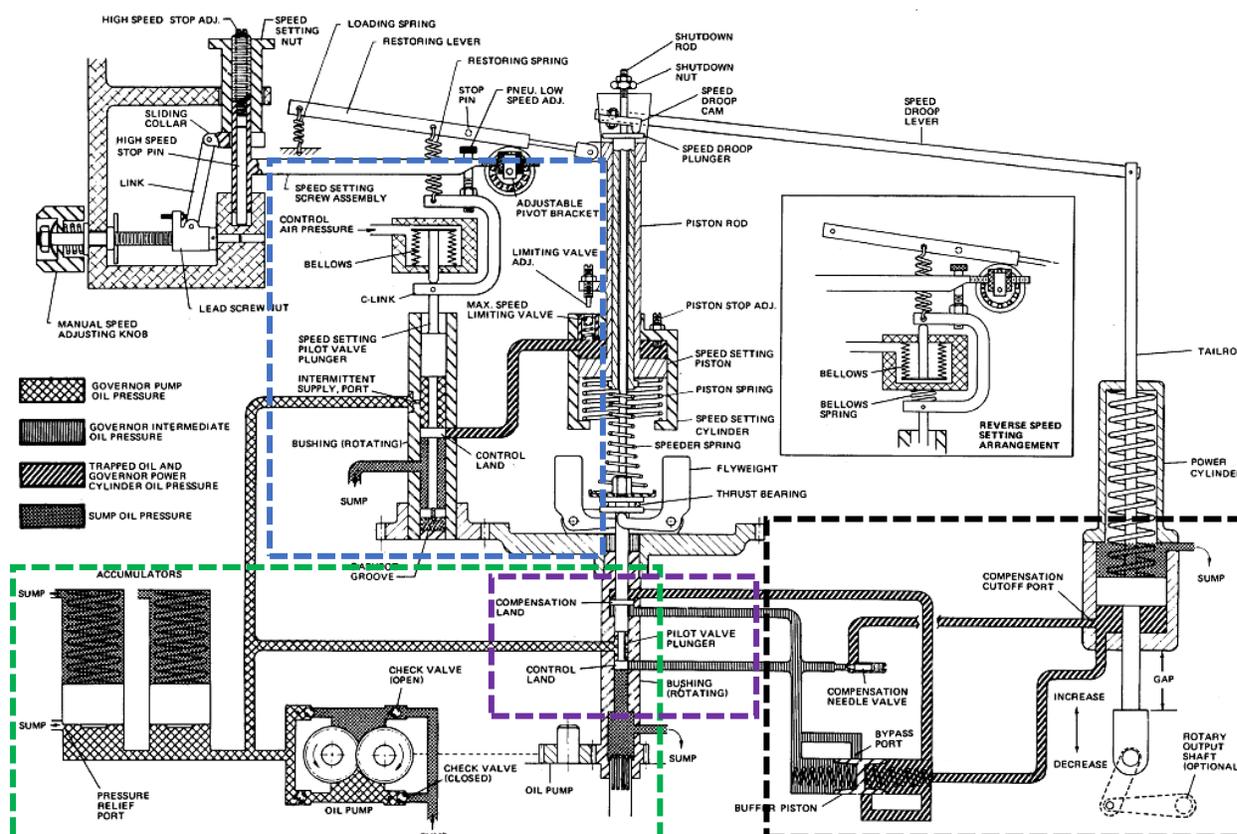
Fuente: (Woodward Governor Company)

El mecanismo de ajuste de velocidad neumático es un mecanismo de tipo fuelle, este es un dispositivo mecánico que tiene como función contener el aire para expelerlo a cierta presión y en cierta dirección. El ajuste de velocidad de los fuelles permite la división de carga de las unidades en paralelo, y también proporciona una relación definida, precisa entre velocidad y señal de

velocidad. El mecanismo de ajuste de velocidad está disponible para su uso con señales de entrada de aire de diferente alcance y magnitud. Dependiendo de la configuración exacta instalada en el gobernador, las velocidades pueden ajustarse en un rango de 5 a 1, que está definida por el fabricante (Woodward Governor Company).

## 2.10. Principios de control de velocidad de motores de combustión interna.

Para los propósitos de descripción, el gobernador PGA consta de tres secciones principales; una sección básica gobernador, una sección de ajuste de velocidad, y una articulación de caída de velocidad, en la Figura 10 se muestra un diagrama esquemático que permite entender el funcionamiento del gobernador (Woodward Governor Company).

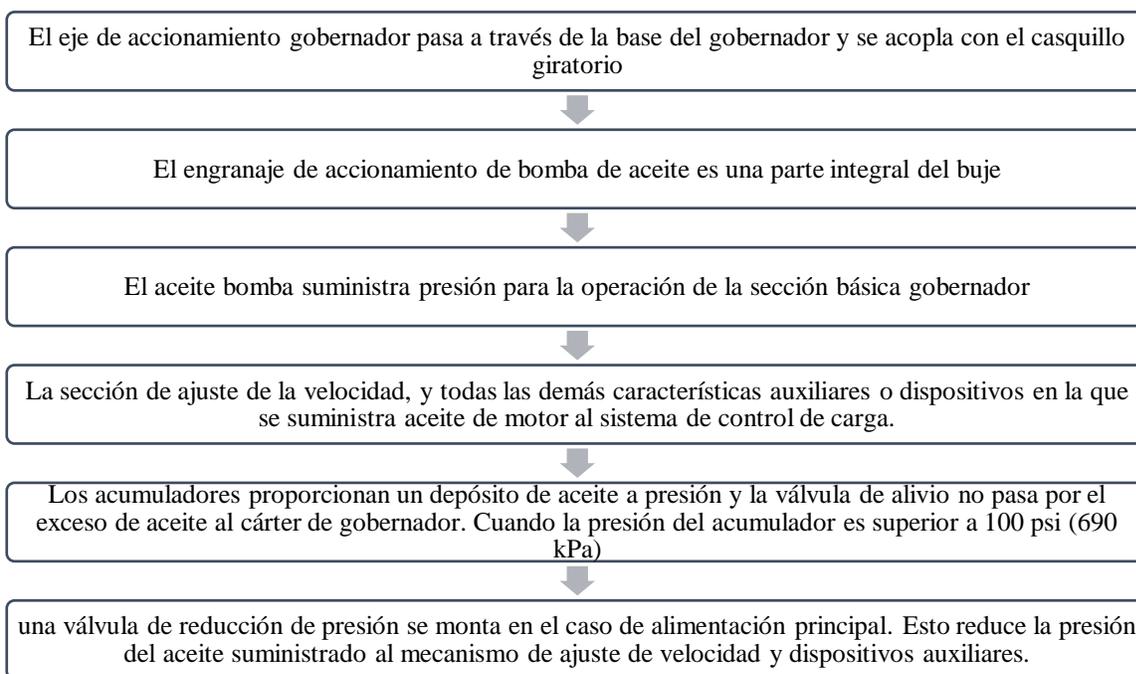


**Figura 10.** Diagrama esquemático de PGA

Fuente: (Woodward Governor Company)

### 2.10.1.1. Sección básica Gobernador

El gobernador básico consiste en una bomba de aceite, dos acumuladores, un muelle reductor de velocidad (mecanismo motriz que transmite directamente la fuerza creada en los contrapesos), un conjunto de cabezal de peso mosca, un cojinete de empuje, un émbolo de la válvula piloto, un casquillo giratorio, un sistema de compensación de amortiguación, y un cilindro de potencia, ver Figura 10 cuadro verde, además en la Figura 11 se describe cada una de las partes que componen el gobernador (Woodward Governor Company).



**Figura 11.** Descripción de las partes del gobernador

- **Cabeza de bola y cojinete (Ball Head and Bushing)**

El extremo superior del casquillo de rotación se acopla con el conjunto de cabeza de mosca y proporciona un accionamiento directo de la máquina motriz a los contrapesos. El cojinete de empuje se traduce el movimiento de entrada y salida de los contrapesos para un movimiento hacia

arriba-abajo del émbolo de la válvula piloto, mientras permite que el émbolo permanezca estacionario con respecto a los contrapesos giratorios. El movimiento relativo entre el casquillo y el émbolo también minimiza la fricción estática (Woodward Governor Company).

Un conjunto de cabezal de aceite amortiguado accionado por resorte se utiliza para atenuar los niveles objetables de vibraciones de torsión que se puede impartir al gobernador de la máquina motriz, ver Figura 10 cuadro azul. Estas vibraciones pueden proceder de una fuente distinta de la unidad en sí, sino llegar al gobernador a través de la conexión de accionamiento. A menos que se minimiza o se elimina, estas vibraciones son detectadas como cambios de velocidad y el gobernador ajusta continuamente el control de combustible en un intento de mantener una velocidad constante (Woodward Governor Company).

- **Émbolo de la válvula piloto (Pilot valve plunger)**

La fuerza centrífuga del peso mosca tiende a levantar el émbolo mientras la fuerza del muelle reduce de velocidad tiende a bajar el pistón. La mayor de dos fuerzas opuestas se mueve el émbolo de la válvula piloto hacia arriba o abajo, ver Figura 10, cuadro morado. Cuando el motor primario está en velocidad en cualquier ajuste de velocidad, estas fuerzas son iguales y los contrapesos asumen una posición vertical. En esta posición, la tierra de control en el émbolo de la válvula piloto está centrado sobre el orificio de regulación en el casquillo giratorio (Woodward Governor Company).

- **Sistema de Compensación Buffer (Buffer Compensation System)**

El pistón de amortiguación, resortes, y la válvula de aguja en los circuitos hidráulicos entre el émbolo de la válvula piloto y cilindro de potencia conforman el sistema de compensación de buffer. Este sistema se estabiliza la acción de gobierno, al minimizar o subestimar después de un cambio en la configuración de la velocidad del gobernador, o un cambio en la carga en el motor primario. Se establece una señal temporal retroalimentación negativa (caída temporal) en forma de un diferencial de presión que se aplica a través de la tierra de compensación del émbolo de la válvula piloto, ver Figura 10 cuadro negro. El flujo de aceite dentro o fuera del sistema de amortiguación desplaza el pistón de amortiguación en la dirección del flujo. Este movimiento incrementa la carga en un resorte mientras que la disminución del otro y crea una ligera diferencia en las presiones a ambos lados del pistón con la presión más alta en el lado opuesto el resorte se comprime.

#### **2.10.1.2. Ajuste de la velocidad al incrementar carga**

Aumentar el ajuste de velocidad o aumenta la carga en el motor primario a un ajuste de velocidad dado tiene un efecto idéntico. En cualquiera de los casos, los pesos de vuelo se mueven hacia adentro (baja velocidad) debido al aumento en la fuerza del resorte del acelerador o a la disminución de la fuerza centrífuga causada por la disminución en la velocidad del motor primario a medida que se agrega la carga. El movimiento de los contrapesos se traduce en un movimiento hacia abajo del émbolo de la válvula piloto. Esto dirige la presión del aceite al sistema de amortiguación, haciendo que el pistón de amortiguación se mueva hacia el cilindro de potencia. El aceite desplazado por el movimiento del pistón de tope obliga al pistón de potencia a moverse hacia arriba en la dirección de aumento.

### **2.10.1.3. Ajuste de la velocidad al disminuir la carga**

La disminución del ajuste de velocidad o la disminución de la carga en el motor primario a un ajuste de velocidad dado también tienen un efecto idéntico y provocan una acción inversa a la descrita anteriormente. Los contrapesos se mueven hacia afuera (exceso de velocidad), levantando el émbolo de la válvula piloto y permitiendo que el aceite drene del sistema de compensación de amortiguación. El buffer del pistón se aleja del cilindro de potencia, lo que permite que el aceite se drene del área debajo del pistón de potencia, que luego se mueve hacia abajo en la dirección de disminución.

Las presiones diferenciales que actúan sobre el terreno de compensación producen una fuerza neta descendente que tiende a ayudar al resorte del acelerador a volver a centrar el émbolo de la válvula piloto ligeramente antes de que el motor primario haya desacelerado por completo. El movimiento del pistón de potencia se detiene cuando ha alcanzado un punto correspondiente a la cantidad de combustible o vapor requerida para la operación en estado estable a la nueva velocidad o carga. La disipación de la fuerza de compensación se produce de la misma manera que se describió anteriormente y, en este caso, minimiza la falta de velocidad (Woodward Governor Company).

### **2.10.1.4. Sección Ajuste de la velocidad**

El ajuste de velocidad del regulador es directamente proporcional para controlar la presión de aire (ajuste de velocidad aumenta a medida que aumenta la presión del aire). Un aumento en la presión de aire de control hace que el fuelle se contraiga y mover el émbolo de la válvula piloto hacia abajo (aumentar la velocidad).

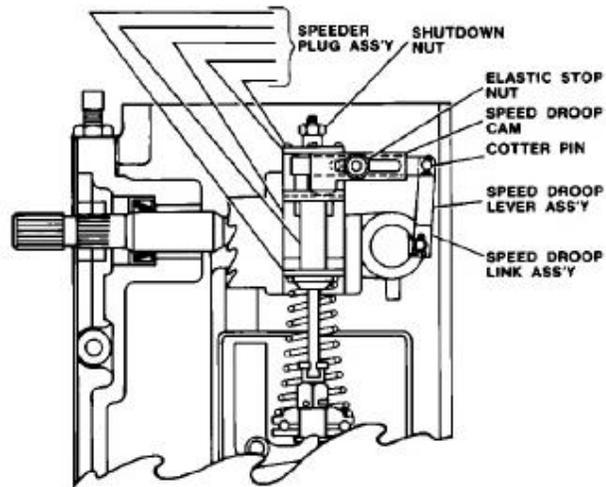
La velocidad se determina por la fuerza ejercida sobre los contrapesos por el muelle reductor de velocidad en la sección básica gobernador. La fuerza del resorte del acelerador está determinada por la posición del pistón en el cilindro de ajuste de velocidad. La posición del pistón, a su vez, está determinada por el volumen de aceite atrapado en el área sobre el pistón. La dirección y la velocidad del flujo de aceite hacia dentro o fuera de esta área se controla mediante el émbolo de la válvula piloto de ajuste de velocidad que está mecánicamente vinculado al fuelle. Si el émbolo se mueve hacia abajo, descubriendo el borde superior de un puerto de medición en el buje, se permite que la presión del aceite fluya hacia el cilindro de ajuste de velocidad. Esto desplaza el pistón hacia abajo, lo que aumenta aún más la tensión del resorte del acelerador y aumenta el ajuste de velocidad. Si el émbolo se mueve hacia arriba, destapando el borde inferior del puerto de medición, se permite que el aceite drene del cilindro. Esto permite que el resorte del pistón levante el pistón, disminuyendo la fuerza del resorte del reductor y disminuyendo el ajuste de velocidad (Woodward Governor Company).

#### **2.10.1.5. Enlace de caída de velocidad**

La caída de velocidad es una característica del gobernador que permite que el motor primario funcione a una velocidad proporcionalmente más baja a medida que aumenta la carga, mientras que al mismo tiempo aumenta el combustible, compensando la carga adicional. La caída de velocidad aumenta la estabilidad inicial del gobernador y permite la división y el equilibrio de cargas entre los motores primarios operados en conjunto para impulsar un eje común (Woodward Governor Company).

La caída de velocidad se define como la disminución proporcional de la velocidad que se produce cuando el pistón de potencia del gobernador se mueve desde la posición mínima a la

máxima de combustible o vapor. Normalmente se expresa como la diferencia en revolución por minuto de sin carga a carga completa como un porcentaje de la velocidad nominal máxima.



*Figura 12.* Conjunto de caída de velocidad

#### 2.10.1.6. Operación

El enlace cambia automáticamente la configuración de velocidad del gobernador reduciendo velocidad del resorte del acelerador una pequeña cantidad en función del recorrido del pistón de potencia en la dirección de aumento, en la Figura 12 se observa el conjunto de caída de velocidad. A la inversa, aumenta la fuerza del resorte del acelerador a medida que el pistón se mueve en la dirección de disminución.

Consiste en un bloque de apoyo unido al extremo superior del vástago del pistón de ajuste de la velocidad, una palanca y un conjunto de pasador del fulcro conectados entre el bloque de apoyo y el vástago del pistón de potencia, una leva ajustable unida al perno de punto de apoyo, y un émbolo móvil alojado dentro del vástago del pistón de ajuste de velocidad. El movimiento del pistón de potencia, transmitido a través del conjunto de la palanca provoca un movimiento giratorio de la

leva que hace contacto con la parte superior del émbolo. Esto, a su vez, provoca un movimiento hacia arriba (o hacia abajo) del émbolo que descansa sobre el resorte del acelerador.

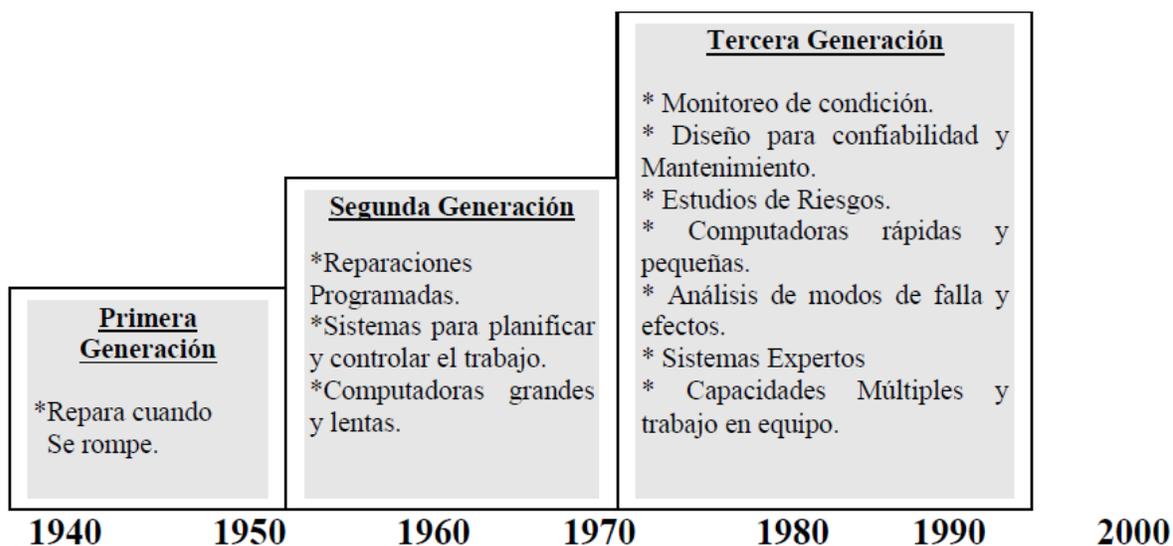
## **2.11. Mantenimiento**

Desde 1930, la evolución del mantenimiento se puede simplificar en de tres generaciones, en la Figura 13 se observa el acelerado crecimiento en cada una de las generaciones enumerando las técnicas cambiantes de mantenimiento. El RCM (Mantenimiento Centrado en la garantía de Funcionamiento) se está convirtiendo en el cimiento de la tercera generación. Y desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico: ser mantenido y cada tanto ser modificado, libro Mantenimiento Centrado en la confiabilidad de (Moubray)

El mantenimiento en los últimos años incluye el señalar el alto grado en el que las fallas en equipos afectan la seguridad y el medioambiente, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto, y una presión cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de las plantas y controlar los costos (Moubray).

El mantenimiento se define como causa de continuidad o el hecho de conservar en el estado actual. Con lo que mantener significa preservar algo y que cumpla una o más funciones para el cual se lo utiliza (Moubray).

Mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento (RCM): Es un proceso que permite determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como los usuarios lo desean dentro del contexto operativo (Moubray).



**Figura 13.** Técnicas cambiantes de Mantenimiento.

Fuente: (Moubray)

Dentro de los nuevos proyectos que se incluyen para mantenimiento están:

- Herramientas de toma de decisiones: Como ser los estudios de riesgos, tipos de fallas y análisis de los efectos y sistemas especializados.
- Nuevas técnicas de mantenimiento, se puede describir el monitoreo del estado
- El diseño de equipos poniendo gran énfasis en la confiabilidad y mantenibilidad.
- Cambio mayor en el pensamiento organizacional, a través de la participación, trabajo en equipo y flexibilidad.

## 2.12. Fallas

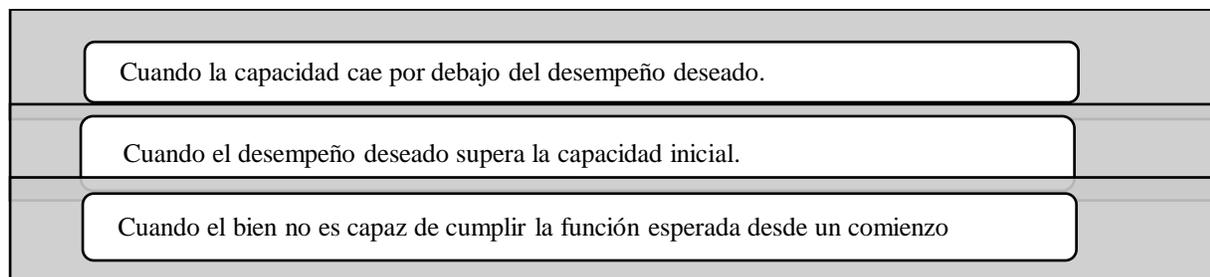
En los modernos procesos industriales se evidencia una mayor automatización, lo que significa que cada vez las fallas afectan en mayor cantidad la capacidad de mantener los estándares elevados de calidad. Esto se aplica tanto a los servicios como a la calidad del producto. Un ejemplo de falla

en equipos puede afectar la climatización imprescindible en edificios, y la puntualidad de las redes de transportes puede ser clave en el cumplimiento de fechas específicas de fabricación (Moubray).

Las fallas pueden tener consecuencias del tipo medioambientales y de seguridad, en una época cuando los estándares en estos aspectos son cada vez más elevados. En algunos sectores del mundo se está enfocando a que una organización tiene que garantizar la seguridad de la sociedad y el medioambiente, de lo contrario debe dejar de operar. Por esto la importancia en la integridad de los bienes físicos, lo que hace que vaya más allá de los costos, y se convierta simplemente en una cuestión de supervivencia organizacional.

Una falla se puede definir como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera realice, dentro de este contexto un modo de falla puede ser especificado como cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar. Cuando ha sido identificado un modo de falla se considera que sucede cuando este se presenta, para así evaluar sus consecuencias y decidir qué acciones tomar para anticiparlo, prevenirlo, detectarlo, corregirlo o hasta para rediseñarlo (Moubray).

Los modos de falla pueden ser clasificados en uno de tres grupos, Figura 14:



**Figura 14.** Modos de Falla

En general, las fallas afectan las operaciones de cuatro maneras, en la Tabla 6 se describe cada

uno:

### **Tabla 6**

#### *Fallas que afectan las operaciones*

Afectan el rendimiento total	Ocurre cuando un equipo se detiene totalmente, o cuando comienza a trabajar con lentitud.
	Esto resulta ya sea en costos de producción incrementados, si la planta tiene que trabajar horas extras para recuperar tiempo, o pérdida de ventas si la planta ya esta cargada a su capacidad máxima.
Afectan la calidad del producto	Si la maquina no puede superar las tolerancias de manufactura, o si las fallas causan el deterioro del material, el resultado probable, es deshecho, o demanda una reelaboración costosa. En un sentido más general, "calidad"
	También abarca conceptos como la precisión en sistemas de navegación, la exactitud de los sistemas de objetivos, y así sucesivamente.
Afectan el servicio al cliente	Las fallas afectan el servicio al cliente de diversas maneras, partiendo desde la entrega tardía de órdenes, hasta la partida demorada de vuelos. Las demoras frecuentes o de seriedad, traen aparejadas multas importantes, además problemas de servicio crónicos eventualmente provocan la perdida de confianza del cliente, lo que hace que se retiren y busquen otro negocio.
Costos operativos mayores, sumados a los costos directos de reparación	Por ejemplo la falla puede llevar a un consumo mayor de energía, o puede traer aparejado el cambio a un proceso alternativo más costoso.
	En las compañías sin fines de lucro, tales como las organizaciones militares, ciertas fallas pueden afectar la capacidad de la empresa para cumplir sus funciones principales, algunas veces con resultados devastantes.

Fuente: (Moubray)

### **2.13. Causas que producen desgaste en los componentes**

Las 5 causas principales de una capacidad reducida se describen en la Figura 15 :

#### Deterioro

- El deterioro cubre todas las formas de uso y desgaste (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación del aislamiento, etc.)

#### Fallas de lubricación

- La lubricación esta asociada con dos tipos de modos de fallas. El primero se refiere a falta de lubricante, la falla del lubricante en si mismo.

#### Suciedad

- La suciedad o el polvo son causas muy comunes de fallas. Interfieren directamente en las maquinas causando bloqueos, atascamientos o adhesiones.
- La suciedad también puede causar problemas en la calidad del producto ya sea introduciéndose en el mecanismo de abrazaderas de herramientas y causando desalineamientos

#### Desmontaje

- Si los componentes de una maquina se desprenden, el montaje se desarma y todas las maquinas quedan a la deriva. Estas son generalmente fallas en soldaduras de uniones o remaches, debidas a fatiga o corrosión, o que simplemente no están terminadas.

#### Errores Humanos

- Como el nombre implica, estos son errores que reducen la capacidad del proceso hasta un punto en que es incapaz de funcionar al nivel requerido.
- Los ejemplos incluyen válvulas operadas manualmente que no se abrieron, impidiendo que el proceso comience, partes colocadas incorrectamente por los ensambladores de mantenimiento, o sensores programados de modo tal que se disparan aun cuando nada esta funcionando mal.

**Figura 15.** Principales causas de desgaste

Fuente: (Moubray)

## 2.14. Variables de medida

Dentro de los procesos industriales existe una gran variedad de variables que intervienen estas pueden ser: temperatura, presión, humedad y señales eléctricas; estas variables forman parte de los procesos de control y usan instrumentos analógicos y digitales, que presentan una lectura momentánea o registradores que se deben ajustar y realizar calibración para registrar las variables de un proceso. Esta actividad resulta cotidiana dentro de la industria y son de utilidad, por lo cual los instrumentos de medición son parte primordial en los procesos industriales.

Para evaluar y afectar el control de una variable en un proceso, se debe tener información sobre la variable misma. En general una medición refiere a la conversión de la variable en alguna correspondiente análoga de esta, como una presión neumática, un voltaje o corriente eléctrica. La

medición es una transformación de la variable en alguna información que sea útil para otros elementos en el control de algún proceso (Enríquez, 2012).

## Capítulo III

### 3. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS E INTERFAZ PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

#### 3.1.Introducción

En los procesos de control para el diseño de un sistema se considera de importancia el identificar las principales variables que intervienen en las acciones a tomar, evaluar que mediciones se pueden realizar, lo que permitirá determinar los sensores que se seleccionarán.

#### 3.2.Proceso que se debe seguir para realizar la calibración y mantenimiento de los reguladores.

Para que el regulador de velocidad sea enviado a mantenimiento debe transcurrir 20000 horas de operación, la calibración es realizada por el servicio técnico de la empresa Warstila, para lo cual el equipo debe ser desmontado.

El proceso que sigue es el siguiente:

- En primera instancia verifican que el drive shaft (Eje de accionamiento) gire con normalidad.
- Luego proceden a instalar en el banco de pruebas (Figura 16) para comprobar sus parámetros de calibración, antes de realizar la revisión, y dependiendo de los valores encontrados, proceden a su calibración.



**Figura 16.** Pruebas iniciales antes de overhaul  
Fuente: (Wartsila, 2018)

- Evalúan las condiciones y determinan si el gobernador tiene o no un control adecuado para su correcto funcionamiento en el motor.
- Proceden al desarmado de gobernador
  - Retiran la tapa superior del gobernador y visualizan el nivel de contaminación en el interior del aparato, ver Figura 17.



**Figura 17.** Contaminación en el Gobernador  
Fuente: (Wartsila, 2018)

- En algunos casos se puede presentar un desgaste en la base del gobernador por rozamiento de la bomba, ver Figura 18.



**Figura 18.** Desgaste en base de bomba de aceite  
Fuente: (Wartsila, 2018)

- Evaluación de Componentes
  - Proceden a la limpieza de los componentes y evalúan las condiciones de estos, ver Figura 19.



**Figura 19.** Evaluación de componentes del gobernador  
Fuente: (Wartsila, 2018)

- Evalúan las piezas y si se encuentran en condiciones aceptables las mantienen, caso contrario las cambian.

- Armado y calibración del gobernador
  - Luego de la evaluación de los componentes, arman el gobernador ya con las piezas que requieran ser cambiadas, ver Figura 20.



**Figura 20.** Repuestos utilizados en el overhaul  
Fuente: (Wartsila, 2018)

- Realizan una prueba completa de funcionamiento del gobernador, en el que incluyen pruebas de fugas, presiones y temperatura adecuadas de funcionamiento
- Proceden a la calibración de acuerdo con los parámetros recomendados por el fabricante, ver Figura 21.



**Figura 21.** Calibración de gobernador después de overhaul  
Fuente: (Wartsila, 2018)

- Finalmente instalan un seguro en la tapa del gobernador para evitar manipulación, ver Figura 22.



**Figura 22.** Seguro en tapa del gobernador  
Fuente: (Wartsila, 2018)

### 3.3. Variables de medida

Para establecer y seleccionar las variables que permitan determinar los sensores que se emplearán para el monitoreo del funcionamiento del gobernador, se procede a desarrollar una tabla en la que se reconoce y evalúa las fallas potenciales, las causas y efectos.

**Tabla 7**  
*Efectos y Causas de fallas del gobernador*

<b>Función</b>	<b>Falla</b>	<b>Efectos</b>	<b>Causas</b>
Regular y mantener la velocidad del motor de combustión interna a la carga requerida por medio del control de combustible	No regula a la velocidad requerida, más lento.	Trabaja en condición subestándar	Desajuste mecanismo de accionamiento.
	No regula a la velocidad requerida, va más rápido	Trabaja en condición subestándar	Desgaste componentes internos sistema hidráulico
	No mantiene la velocidad requerida en el tiempo	Afecta a la operación del oleoducto	Aire en el sistema
	No llega a la velocidad requerida en el tiempo esperado	Afecta a la operación del oleoducto	Obstrucción del sistema de aire
	No regula la misma cantidad de combustible a los dos bancos	Desbalance de temperatura entre bancos	

CONTINÚA 

El funcionamiento del regulador de velocidad puede estar limitado debido a diversas fallas (Tabla 7) que se puedan presentar, entre las cuales se encuentra que no regula a la velocidad requerida pudiendo ir más lento o rápido de lo establecido; otra falla es que no mantiene la velocidad dentro de un determinado tiempo. Estos inconvenientes pueden afectar la operación normal del oleoducto, por lo tanto, conocer el estado de la presión de aire, la posición de las cremalleras que inyecta el combustible y la velocidad del motor a través de las revoluciones por minuto, brindan una información importante sobre el funcionamiento del gobernador. Mediante la medición de determinadas variables se puede identificar ciertas fallas y sus posibles causas.

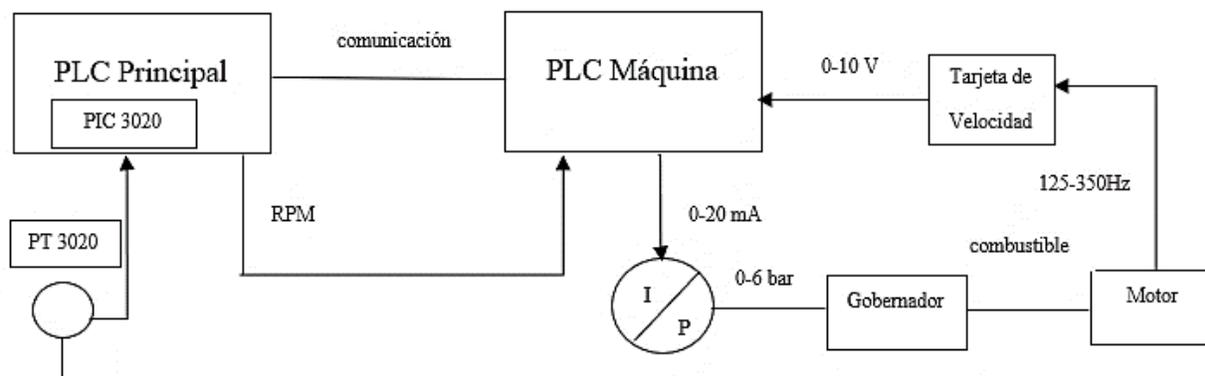
Para la selección de las variables, resultó de importancia definir el funcionamiento general del gobernador, el cual, a través de presión de aire, permite controlar la cantidad de combustible que ingresa al motor, dependiendo de la carga y mantiene constante el número de revoluciones por minuto, ver Figura 23.

El proceso de regulación de velocidad parte desde un controlador lógico programable (PLC), el cual controla el ingreso de aire, este está monitorizado por una instrumentación de presión. El PLC Principal es el que envía la señal del proceso, indica la velocidad que debe tener el motor en revoluciones por minuto (RPM), es decir que va a ajustar la presión en función de las RPM.

Luego existe comunicación entre PLC's, en donde la señal de las RPM es enviada al PLC de la máquina principal, y este genera una señal de salida de tipo eléctrica, la cual es convertida a presión

a través de un conversor I/P (corriente-presión); el rango de presión es de 0 a 6 bares, esta señal es la que alimenta el gobernador.

Finalmente, en el motor está conectado un sensor de velocidad, el cual envía a una tarjeta de velocidad una frecuencia en el rango de 125 a 350 Hz, la tarjeta abarca desde los 300 a 1000 RPM, sin embargo, el rango de trabajo de la máquina esta desde los 500 a 750 RPM, esta tarjeta retroalimenta al PLC con una salida de 0 a 10 V, y compara la velocidad requerida con la generada por el motor.



**Figura 23.** Diagrama de bloques del funcionamiento del gobernador

De acuerdo con el funcionamiento se pueden determinar algunas variables para el monitoreo entre las que se describen: presión, caudal, temperatura, posición, vibración, sin embargo, algunas de estas señales no se considerarán por su complejidad de instalación en el interior del gobernador ya que este es un equipo que cuenta con una carcasa que protege todos los mecanismos.

Las variables seleccionadas para monitorear son:

- Presión: Fuerza perpendicular por unidad de superficie.
- Posición: Magnitud del lugar geométrico- espacial que tiene el cuerpo en un instante dado.

- Velocidad: Posición que cambia con el tiempo.

### **3.3.1. Presión**

Esta variable resulta de importancia, considerando que compone el sistema principal para el funcionamiento del gobernador; la presión de aire ingresa al equipo regulador y pasa a través de los mecanismos que lo conforman, el rango de operación de esta presión va desde los 7 a 71 psi (6 Bar).

### **3.3.2. Posición**

La principal función del gobernador es regular la velocidad del motor, permitiendo la regulación de combustible a través de la cremallera ya que la cantidad de combustible a inyectar en los cilindros depende de la posición que ocupe la cremallera en la bomba de inyección, esta posición está en un rango de 0 a 60mm.

### **3.3.3. Velocidad**

El gobernador es el que regula la velocidad del motor que bombea el crudo que transporta el oleoducto, la velocidad debe ser constante para variadas cargas, por lo cual visualizar las RPM, nos permite tener un enfoque de lo que está sucediendo con el gobernador y su normal operación, el rango de funcionamiento es de 500 a 750 RPM.

## **3.4. Selección de dispositivos**

Una vez definidas las variables a considerar en el diseño, se procede a buscar los equipos que se podrían utilizar para el diseño:

### ➤ Sensor de Presión

El sensor de presión se lo escogió por el rango de operación ya que abarca de 0 a 160 psi, que se encuentra dentro de los requerimientos de funcionamiento del gobernador, además cuenta con una salida de tensión de 0 a 10 V.

**Tabla 8**  
*Características Técnicas sensor de presión*

Sensor de Presión	Descripción
<b>Marca</b>	Wika
<b>Modelo</b>	A-10
<b>Rango de Medida</b>	0 a 160 psi (11 Bar)
<b>Alimentación</b>	8 a 30 VDC
<b>Salida</b>	4 a 20 mA
<b>Salida de Voltaje</b>	0 a 10 V
<b>Conexión</b>	Roscada de ¼ NPT



**Tabla 9**  
*Características Técnicas del sensor de presión*

Sensor electrónico de presión	Descripción
<b>Marca</b>	IFM
<b>Modelo</b>	PT-016-SEG14-A-ZVG/US/ /W
<b>Rango de medición</b>	0 a 16 bar
<b>Alimentación</b>	8,5 a 36 VDC
<b>Salida de Corriente</b>	4 a 20 mA
<b>Conexión</b>	G ¼ A (según DIN EN ISO 1179-2)



CONTINÚA →

<b>Precisión</b>	$< \pm 0,5$
------------------	-------------

### ➤ Sensor de Posición

Para la selección del sensor de posición se consideró el rango de medición, para el caso del gobernador el rango es de 0 a 60 mm de desplazamiento, en este caso el sensor tiene un rango de 0 a 80 mm que se encuentra dentro de los requerimientos, además la salida es de 0 a 10 V

**Tabla 10**  
*Características de sensor de posición*

Sensor inductivo de posición	Descripción
<b>Marca</b>	PEPPERL + FUCHS
<b>Modelo</b>	PMI80-F90-IU-V1
<b>Rango de medición</b>	0 a 80 mm
<b>Alimentación</b>	18 a 30 VDC
<b>Salida de Corriente</b>	4 a 20 mA
<b>Salida de Voltaje</b>	0 a 10 V
<b>Conexión</b>	Conector M12-4P   IP67
<b>Resolución</b>	125 $\mu$ m
<b>Precisión</b>	$\pm 0,1$ mm



**Tabla 11**  
*Características de sensor de posición*

Sensor inductivo de posición	Descripción
<b>Marca</b>	TURCK

CONTINÚA 

<b>Modelo</b>	Li100P0-Q25LM0-ELIU5X3-H1151
<b>Rango de medición</b>	0 a 100 mm
<b>Alimentación</b>	15 a 30 VDC
<b>Salida de Corriente</b>	4 a 20 mA
<b>Salida de Voltaje</b>	0 a 10 V
<b>Conexión</b>	Conector M12-1P   IP67
<b>Resolución</b>	16 bit
<b>Precisión de repetición</b>	0.02 del valor final



### ➤ Sensor de Velocidad

Para el caso del sensor de velocidad se consideró que puede ser instalado sin que afecte la operación normal del motor, y el rango se ajusta al requerido, además en cuanto a la alimentación se puede disponer de un rango de 10 a 30 VDC.

**Tabla 12**  
*Características de sensor de velocidad*

Sensor inductivo de velocidad	Descripción
<b>Marca</b>	SICK
<b>Modelo</b>	IMC30-10BPDZC0SA05
<b>Rango de velocidad, ajustable a través de dos umbrales</b>	6 - 12,000 pulsos / min
<b>Alimentación</b>	10 - 30 V DC
<b>Salida de Conmutación</b>	PNP
<b>Conexión</b>	Conector macho M12, 4 pines



CONTINÚA →

<b>Rango de aceleración, ajustable</b>	0.1- 2 pulsos / s
<b>Tiempo de retardo, ajustable</b>	Modo 0: sin retraso de arranque Modo 1: 0 ... 254 s, configurable Modo 2: al alcanzar el umbral superior

**Tabla 13**  
*Características de sensor de velocidad*

Sensor inductivo de velocidad	Descripción
<b>Marca</b>	IFM
<b>Modelo</b>	DI5020 - DIA3010-ZPKG
<b>Rango de velocidad, ajustable a través de dos umbrales</b>	5 - 3600 pulsos / min
<b>Alimentación</b>	10 - 36 V DC
<b>Salida de Conmutación</b>	PNP
<b>Conexión</b>	Conector macho M30 x 1.5
<b>Rango de detección</b>	10 mm [f]
<b>Tiempo de retardo</b>	15 s



## **Capítulo IV**

### **4. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA HERRAMIENTA**

#### **4.1.Introducción**

Para el diseño de una herramienta se deben tomar en cuenta las características que son requeridas por una empresa, entre las que se detallan: la utilidad que se pretende dar a la herramienta, cuál va a ser su principal función, la consideración de costos, la disponibilidad de equipos en el mercado para su adquisición, la inclusión de nuevas tecnologías y el estar a la vanguardia de la industria mundial.

En el siguiente capítulo se detallará los componentes que se requiere para el desarrollo de la herramienta, presentando la tarjeta de adquisición de datos, la comunicación con el PC, el software necesario para el monitoreo desde un computador y el diseño de la interfaz hombre-máquina (HMI).

#### **4.2.Principios Básicos de adquisición de datos**

La adquisición de datos (DAQ) o señales, es un proceso que consta de la toma de muestras, datos o valores a través de una PC, estas señales se las obtiene de sensores o transmisores; estos sistemas permiten el procesamiento, visualización y análisis de la información Figura 24.



**Figura 24.** Partes de un Sistema DAQ

Fuente: (Corporation, 2019)

#### 4.2.1. Sensor

Un sensor es aquel instrumento que permite convertir un fenómeno físico en una señal eléctrica, para que esta pueda ser medida o visualizada en cierto dispositivo, en algunos casos también se conoce como transductor. En el área industrial, existen un sinnúmero de sensores, entre el tipo de salida eléctrica los que predominan son: tensión, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varíe con el tiempo.

#### 4.2.2. Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)

Una tarjeta de adquisición de datos es el hardware que permite la comunicación entre una PC y las señales provenientes del mundo exterior, que son extraídas por los sensores, ver Figura 25, además permite la digitalización de las señales analógicas medidas, esto con el objetivo de poderlas interpretar por un computador.



**Figura 25.** Partes de la tarjeta de adquisición de datos

Fuente: (Corporation, 2019)

En la Tabla 14 se describe las partes de la tarjeta de adquisición de datos

**Tabla 14**

*Partes de la tarjeta de adquisición de datos*

<u>Acondicionamiento de Señales</u>	Permite ajustar la información proveniente de los sensores, en donde se puede amplificar, disminuir o filtrar, esto con el fin de ser procesadas adecuadamente por el convertidor analógico-digital
<u>Convertor Analógico-Digital (ADC)</u>	Este permite convertir señales analógicas a digitales para que puedan ser procesadas por el computador
<u>Bus</u>	Detecta las señales y las traduce para poder ser visualizada en un ordenador. Además, los dispositivos DAQ se conectan a una PC a través de una ranura o puerto

Dentro de las especificaciones más importantes de un dispositivo DAQ constan:

- Resolución: Es una característica que permite captar la señal más pequeña de variación para que ser detectada por un sistema de adquisición de datos.
- Frecuencia de Muestreo: Expresa la velocidad a la que un sistema de adquisición de datos recoge datos.

#### **4.2.3. PC en un Sistema DAQ**

La principal función de una PC que posea software programable es que permite controlar la operación del dispositivo DAQ, y se utiliza para procesar, visualizar y almacenar datos de medida.

### 4.3. Selección de la tarjeta de adquisición de datos

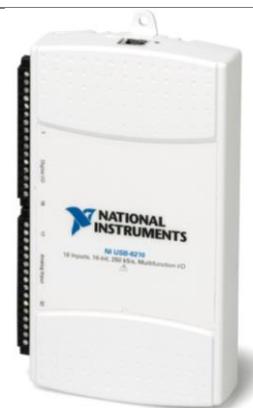
Para la selección de la tarjeta de adquisición, se consideró en primera instancia las señales que se requieren monitorear, que son: presión, posición y velocidad; luego determinar las señales de salidas de cada uno de los sensores, se tienen 2 salidas análogas de 0 a 10 V y una salida de conmutación del tipo PNP, de acuerdo con estos requerimientos, se seleccionó la DAQ USB-6210, en la Tabla 15, se enumeran las principales características.

Este dispositivo es apto para aplicaciones de prueba, control y diseño. El USB-6210 está protegida por una cubierta mecánica que es ligera y se energiza por bus para ofrecer fácil portabilidad, entre las principales características se encuentran: registro de datos portátil, monitoreo de campo, adquisición de datos y aplicación académica (Instrument, 2019).

**Tabla 15**

*Características Técnicas de la tarjeta de adquisición de datos USB-6210*

Característica	Descripción
Marca	National Instrument
Modelo	USB-6210
Conector de Bus	USB 2.0
Máximo Número de Canales de Entrada Analógica de una sola terminal	16
Máximo Número de Canales de Entrada Analógica Diferencial	8
Máxima Velocidad de Muestreo	250 kS/s
Resolución de Entrada Analógica	16 bits
Exactitud Absoluta de Entrada Analógica	2960 $\mu$ V
Número de Contadores/ Temporizados	2
Tipo de Conexión Frontal	Terminal de Tornillo



CONTINÚA 

Señal Eléctrica Medida	Voltaje
Rango de Entrada	$\pm 0.2$ V, $\pm 1$ V, $\pm 5$ V, $\pm 10$ V
Entrada de Potencia Soportada	Energizado por Bus
Tamaño del Búfer FIFO de Entrada Analógica	4095 muestras

#### 4.4. Descripción interfaz de comunicación

La interfaz de comunicación es el medio físico que permite la transmisión de datos, y la interacción entre el DAQ y el PC, en este caso se utilizará un cable USB (Universal Serial Bus).

#### 4.5. Software de adquisición de datos

Para el diseño de la herramienta, la interfaz que se pretende utilizar es LabVIEW, esta cuenta con un lenguaje de programación visual gráfico adecuado para sistemas de hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, esta plataforma es ideal para el desarrollo y diseño de sistemas, en la Tabla 16 se describen las principales características.

**Tabla 16**

*Características del Software LabVIEW*

<b>Lenguaje de programación</b>	G e integración con código fuente basado en texto (C/C++, Python y más)
<b>Características del editor</b>	Integración y descubrimiento de hardware, UI de clic y arrastre, análisis de datos, implementación, depuración interactiva, temporización y paralelismo inherente

##### 4.5.1. Requerimientos del Sistema para LabVIEW

En la Tabla 17 se muestra los requerimientos para el funcionamiento del software LabVIEW

**Tabla 17**  
*Requerimientos del Sistema para LabVIEW*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Procesador	Pentium 4M (o equivalente) o posterior (32 bits)
	Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits)
Sistema Operativo	Windows 10 (versión 1809) / 8.1 Update 1/ 7 SP1
	Windows Server 2016 (versión 1607) / 2012 R2 / 2008 R2 SP1
RAM	1 GB
Espacio en Disco	5 GB
Resolución de pantalla	1,024 x 768 píxeles (NI recomienda 1,366 x 768 y mayor)

#### **4.6.Especificación del Sistema**

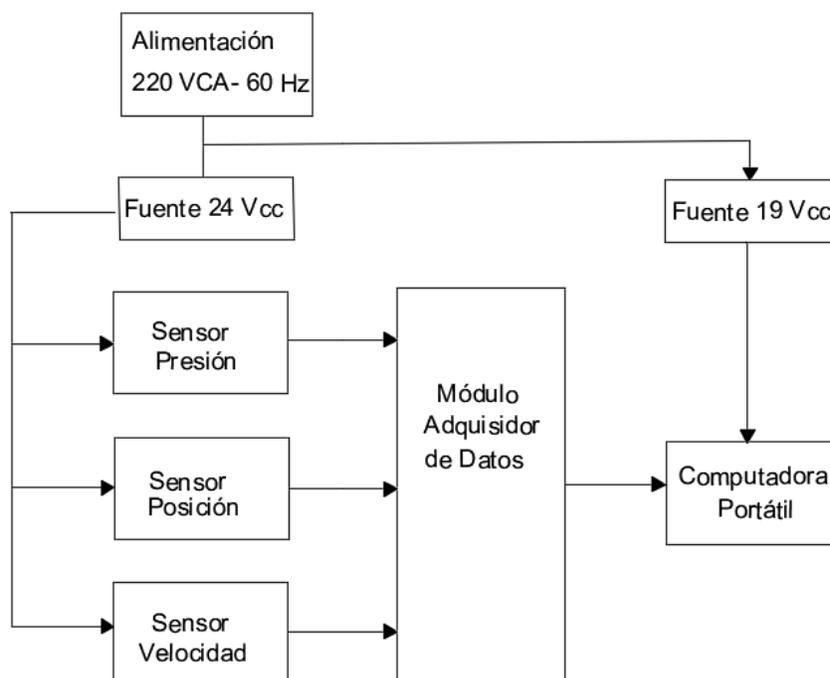
En la Tabla 18 se muestra las especificaciones del sistema

**Tabla 18**  
*Especificaciones del Sistema*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tensión de Alimentación	220 V
Cantidad de entradas analógicas (sensor presión y posición)	2
Tensión de alimentación sensores	24 V
Cantidad de Contadores	1
Tipo de entrada analógica	0 – 10 V
Salida de Conmutación (sensor velocidad)	PNP

#### 4.7. Diagrama de bloques de la herramienta

En la Figura 26 se observa el diagrama de bloque de la herramienta de monitoreo. Esta cuenta con 3 sensores, el primer sensor es el de presión modelo A-10 marca Wika, el segundo sensor es el de posición modelo PMI80-F90-IU-V1, para determinar la posición de la cremallera y el último sensor de velocidad (IMC30-10BPDZC0SA05) para establecer las RPM del motor. La tarjeta de adquisición de datos es el módulo NI- USB 6210 de National Instruments, además las variables son registradas a través de una conexión USB desde la tarjeta hacia la computadora portátil.



**Figura 26.** Diagrama de Bloques herramienta de monitoreo

#### 4.8. Relación de las variables

El funcionamiento del gobernador se evalúa con respecto a 4 niveles de la operación del motor, estas son: Min stop (parada mínima), Low speed (baja velocidad), High Speed (alta velocidad) y

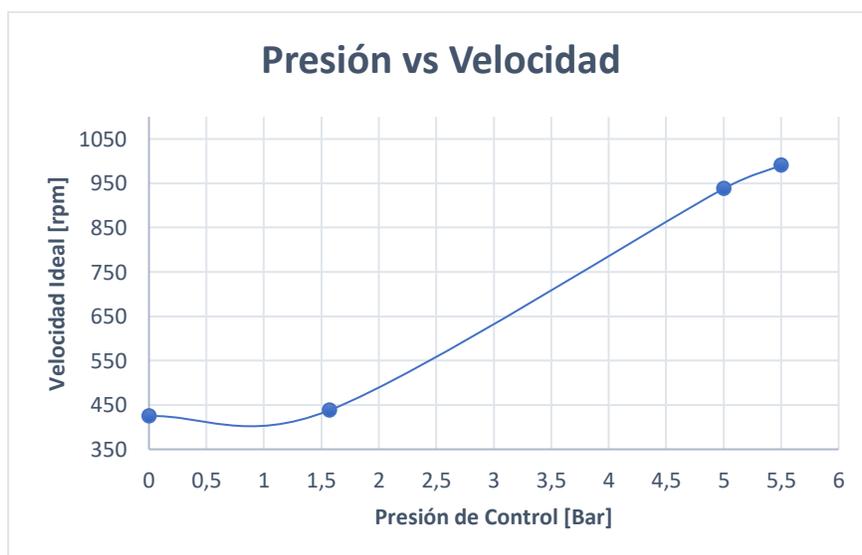
Max stop (parada máxima), dependiendo de estas condiciones se controla la presión, que permite mover el Rack Governor (cremallera gobernador) y suministrar el combustible para que el motor opere; en la Tabla 19 se muestra los valores luego del overhaul (revisión).

**Tabla 19**

*Datos de calibración después del overhaul*

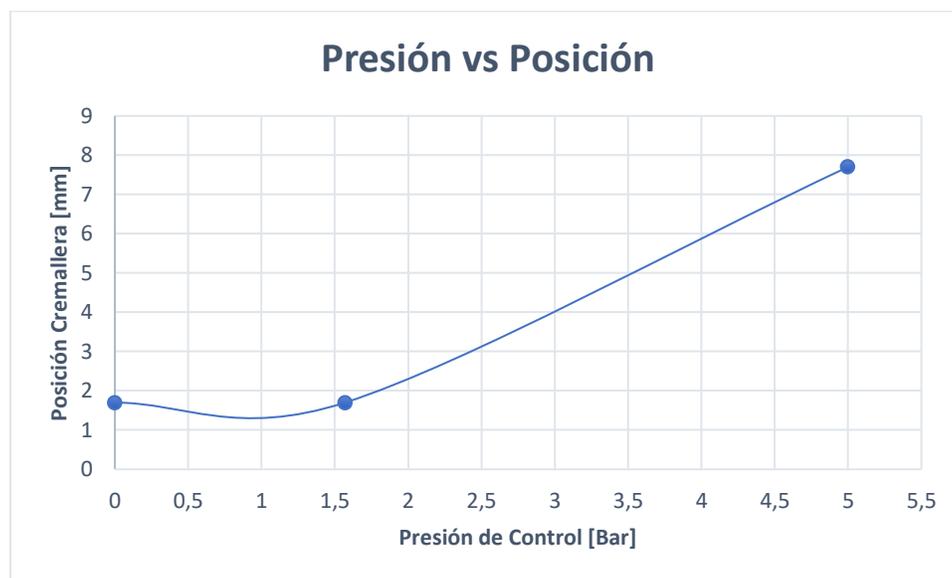
	Rack Governor	Presión de Control (Bar)	RPM Ideal Governor
<b>Min Stop</b>	1,7	0	425
<b>Low Speed</b>	1,7	1,57	438
<b>High Speed</b>	7,7	5	938
<b>Max stop</b>	1,7	5,5	990

En la Figura 27, se observa la curva de velocidad ideal en relación con la presión, estos valores son después de haber realizado la calibración en el banco de pruebas, se aprecia que a mayor velocidad se requiere mayor presión. En la figura se observa que, si se requiere mayor velocidad en el motor, el gobernador aumentará la presión de esta manera se tiene una tendencia de linealidad



**Figura 27.** Curva Presión vs Velocidad

En la Figura 28, se muestra la curva de la posición de la cremallera con respecto a la presión, con valores obtenidos luego del mantenimiento. En esta figura se determina que, si la presión aumenta, la posición de las cremalleras se abrirá y permitirán una mayor dosificación de combustible al motor, también se tiene una tendencia de linealidad directamente proporcional.



**Figura 28.** Curva Presión vs Posición

#### **4.9. Diseño de la interfaz hombre-máquina**

Para establecer la comunicación entre un operario y un proceso automatizado, se requiere de una Interfaz Hombre Máquina (HMI); dentro del diseño de la herramienta para el monitoreo del gobernador, se realizó un modelo de HMI en LabVIEW, en el que constan las principales ventanas y funciones para la visualización de cada una de las variables a considerar.

Para la estructura de cada ventana se considera el diseño sugerido en la guía Gedis, en la Figura 29 se observa cómo está distribuida.



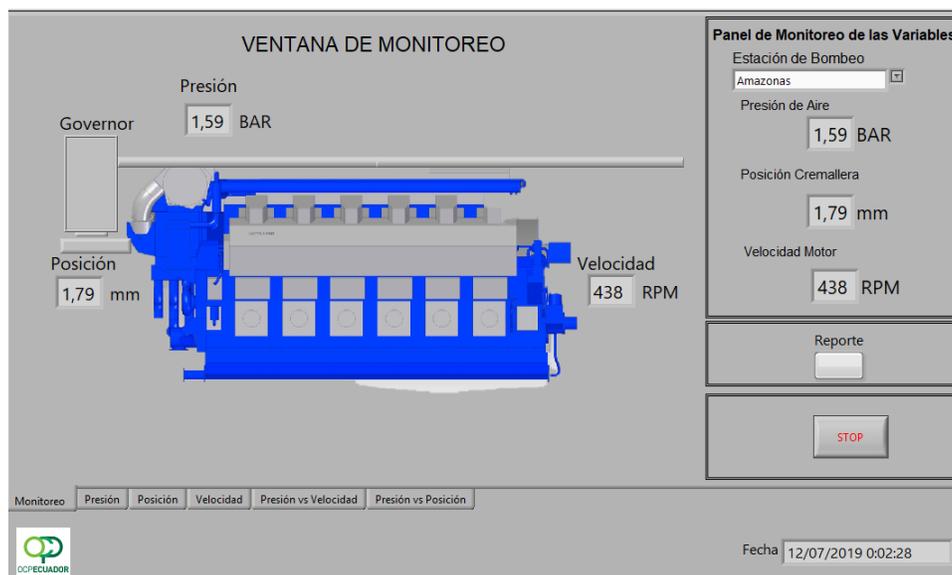
**Figura 29.** Distribución de ventana Guía Gedís

A continuación, en la Figura 30 se presenta la ventana principal del monitoreo, en la que constan un control de acceso, que permita ingresar el usuario y contraseña, esto como método de seguridad para que únicamente personal autorizado, tenga acceso al proceso.

**Figura 30.** Ventana Principal Monitoreo

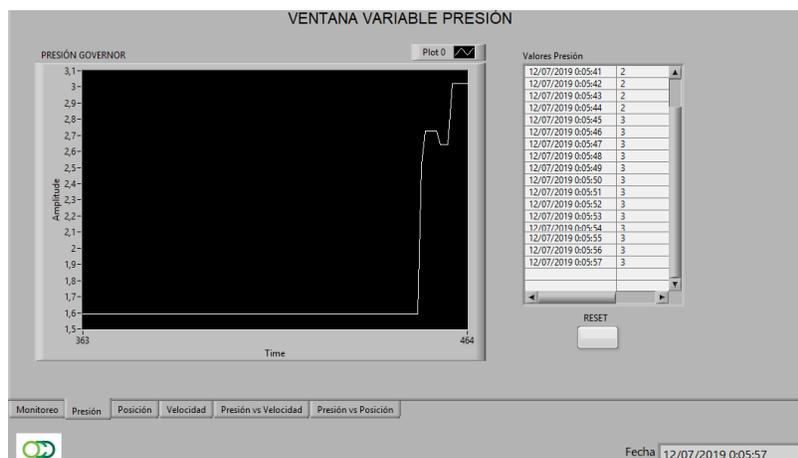
Una vez ingresada la información correcta en los campos de usuario y contraseña, se procederá a dar clic en el botón *Ingreso*, el cual nos mostrará la ventana que se presenta en la Figura 31, en la que se detalla, un panel de monitoreo de las variables donde constan: presión de aire, posición

de la cremallera y velocidad del motor, también contiene el botón *Reporte*, el cual generará un archivo en Excel, en el que se almacenan los datos de cada una de las variables monitoreadas.

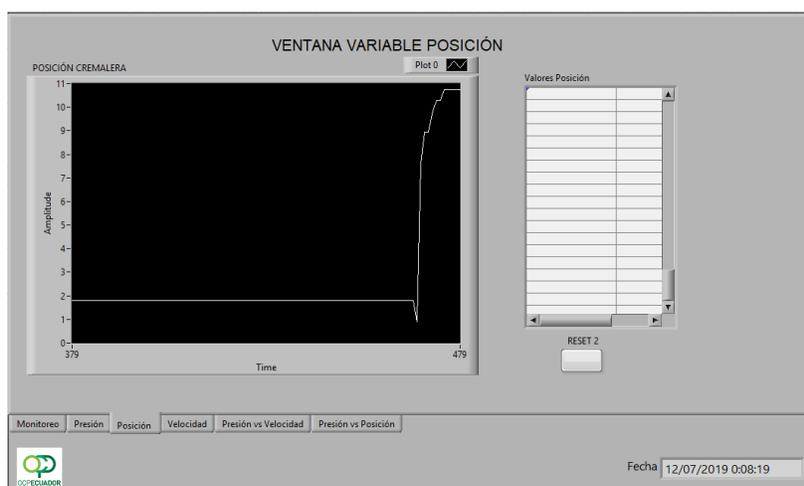


**Figura 31.** Ventana de Monitoreo

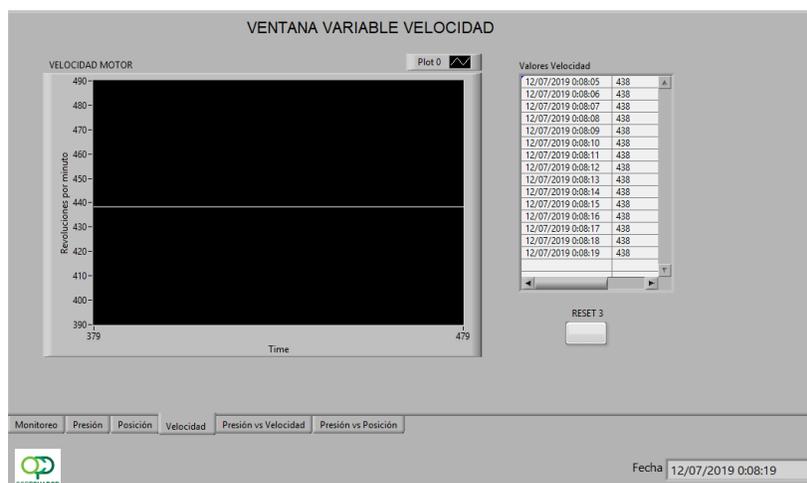
Este diseño también cuenta con 3 ventanas de supervisión Figura 32, Figura 33 y Figura 34, para cada una de las variables, en las que consta una tabla en donde se muestra los valores medidos por cada sensor y una gráfica en la que se visualiza estos valores en función del tiempo.



**Figura 32.** Ventana variable Presión

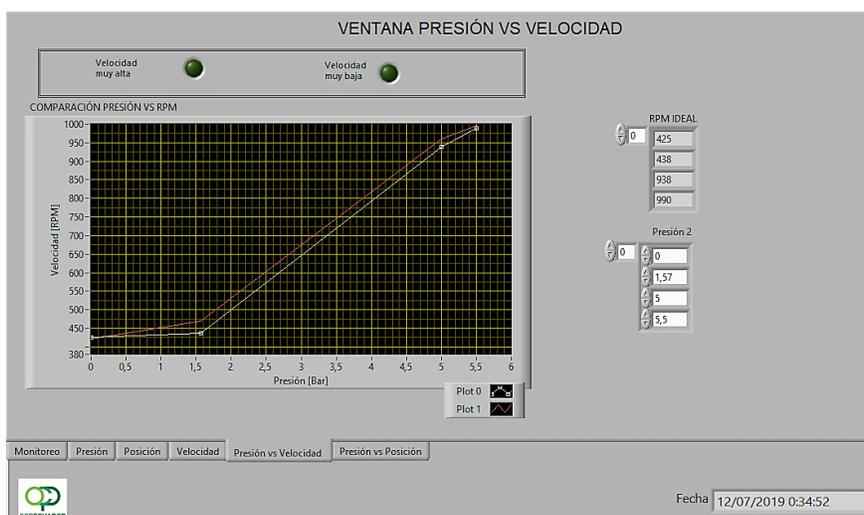


**Figura 33.** Ventana variable posición



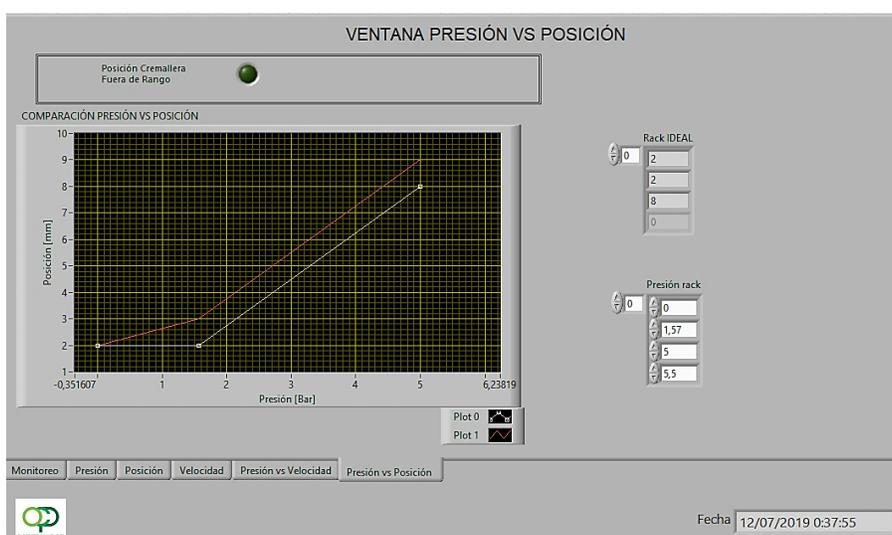
**Figura 34.** Ventana variable velocidad

En la ventana siguiente, Figura 35 se muestra una gráfica en donde se realizará una comparación del valor ideal de las RPM con referencia a la presión de entrada, una vez concluido el proceso de calibración en el banco de pruebas y luego de algunas horas de operación, registrar los valores medidos por los sensores, para evaluar la desviación con respecto a la tendencia de normal funcionamiento, además si existe algún inconveniente se encenderá una alarma visual que indicará el problema.



**Figura 35.** Ventana Presión vs Velocidad

Finalmente, la última ventana Figura 36 en la gráfica se realizará la curva de la posición de la cremallera con respecto a la presión, de la misma manera se definirá la curva luego del proceso de calibración y se la comparará después de varias horas de operación, para establecer la desviación una curva de la otra, también muestra una alarma que indica algún fallo en la posición de la cremallera.



**Figura 36.** Ventana Presión vs Posición

## **Capítulo V**

### **5. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

#### **5.1.Introducción**

Un estudio de factibilidad permite definir los recursos necesarios para cumplir con los objetivos de un proyecto dado. Para una empresa un estudio de factibilidad permitirá definir si el proyecto que se está desarrollando puede ponerse en marcha para así implementarlo y determinar los principales beneficios que dará a la empresa luego de su ejecución.

En este capítulo se establecerá la factibilidad técnica y económica, en la cual se considerarán algunos factores que determinarán si el proyecto es viable para la realización.

#### **5.2.Factibilidad Técnica**

El estudio de factibilidad técnica permite definir los requerimientos necesarios para la ejecución de proyecto, estableciendo detalles como hardware, software y recursos humanos, en este se incluye si existirá alguna mejora del sistema actual y la disponibilidad de tecnología que satisfaga las necesidades.

##### **5.2.1. Requerimientos de hardware**

A continuación, se detallan los requerimientos de equipos necesarios para el proyecto:

###### **5.2.1.1.Sensores**

Este proyecto al tratarse del monitoreo de un actuador, en este caso el regulador de velocidad, que es el encargado de controlar la velocidad requerida por un motor de combustión interna, resultado

de importancia definir las variables que permitirán evaluar las condiciones del equipo y con ello las señales o fenómenos físicos para ser interpretados, por lo cual un sensor es el idóneo para este proceso, ya que permite transformar dichas señales a una del tipo eléctrica para que se pueda medir.

Para este proyecto se estableció que las variables a monitorear son: presión, posición y velocidad, por lo tanto, se requiere un sensor para cada una de las variables, en la Tabla 20 se describe los sensores elegidos.

**Tabla 20**  
*Sensores seleccionados para cada variable*

<b>Variable</b>	<b>Sensor</b>	<b>Características</b>
<b>Presión</b>	WIKA A-10	Rango de Medida: 0 a 160 psi (11 Bar) Salida de Voltaje: 0 a 10 V
<b>Posición</b>	PEPPERL + FUCHS PMI80-F90-IU-V1	Rango de Medida: 0 a 80 mm Salida de Voltaje: 0 a 10 V
<b>Velocidad</b>	SICK IMC30-10BPDZC0SA05	Rango de velocidad: 6 - 12,000 pulsos / min Salida de Conmutación: PNP

### 5.2.1.2. Tarjeta de Adquisición de datos

En el diseño de esta herramienta uno de los principales componentes es la digitalización de las señales analógicas, provenientes de los sensores para que una PC pueda interpretarlas y de esta manera evaluar las condiciones de funcionamiento, en este contexto la selección de la NI-USB 6210 de National Instruments, para captar estas señales resulta la idónea por su funcionalidad y características

**Tabla 21***Características Técnicas de la tarjeta de adquisición de datos USB-6210*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Marca	National Instruments
Modelo	USB-6210
Máxima Velocidad de Muestreo	250 kS/s
Resolución de Entrada Analógica	16 bits
Exactitud Absoluta de Entrada Analógica	2960 $\mu$ V
Rango de Entrada	$\pm 0.2$ V, $\pm 1$ V, $\pm 5$ V, $\pm 10$ V

**5.2.1.3.Computadora**

Para este proyecto se necesita un computador, en el cual se interpreten las señales enviadas desde la DAQ, y permita registrarlas, visualizarlas y posterior analizarlas, de esta manera establecer los rangos aceptados para el funcionamiento del gobernador; el computador debe tener ciertas características para instalar el software necesario para la visualización de la interfaz hombre-máquina, en la Tabla 22 se describe los requerimientos.

**Tabla 22***Requerimientos para el computador*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Procesador	Pentium 4M (o equivalente) o posterior (32 bits), Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits)
Espacio en Disco	5 GB
RAM	1 GB
Resolución de pantalla	1,024 x 768 píxeles (NI recomienda 1,366 x 768 y mayor)

CONTINÚA 

---

Sistema Operativo	Windows 10 (versión 1809) / 8.1 Update 1/ 7 SP1, Windows Server 2016 (versión 1607) / 2012 R2 / 2008 R2 SP1
-------------------	---

---

### **5.2.2. Requerimientos de software**

A continuación, se detallan los requerimientos de software

#### **5.2.2.1. LabVIEW**

El Oleoducto de Crudos Pesados (OCP Ecuador S.A) cuenta con un plan de licencia corporativa, que la utilizan en la gestión de otros procesos, por lo que para este proyecto también se puede disponer de este software para la ejecución de la interfaz hombre-máquina.

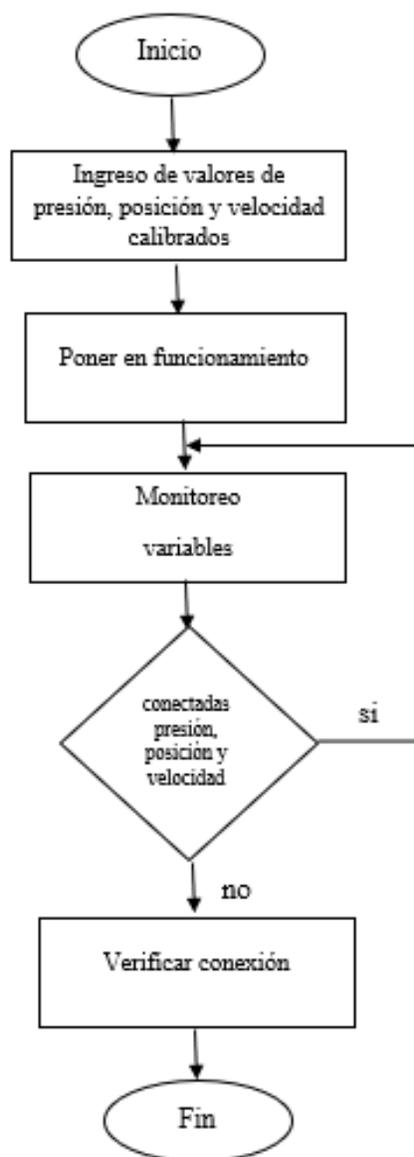
Entre la principal ventaja de esta plataforma es que es versátil en un entorno sea real o simulado, y es ideal para el diseño de sistemas, control y pruebas.

### **5.2.3. Recurso Humano**

Con respecto al recurso humano necesario para el proyecto, se requiere un operario con competencias para el manejo de la HMI, en donde verifique que los 3 sensores se encuentren funcionales y se esté recibiendo la información de cada una de las señales.

### **5.2.4. Protocolo de pruebas**

Establecer las condiciones iniciales en las que el gobernador se encuentra una vez concluido el proceso de calibración en el banco de pruebas, estos datos servirán para la comparación luego de varias horas de operación, de esta manera establecer el correcto funcionamiento o ejecutar alguna acción que permita identificar el problema, ver Figura 37.



*Figura 37.* Protocolo de Pruebas

### 5.3.Factibilidad Económica

El estudio de factibilidad económica permitirá analizar el costo y beneficio con respecto a la ejecución del proyecto. En primera instancia se realizará una estimación económica del costo. Para

definir la factibilidad del proyecto se determinará los índices financieros VAN (valor actual neto) y TIR (Tasa interna de retorno)

El valor actual neto es una técnica que permite establecer si un proyecto cumple con el objetivo básico financiero y también permite evaluar las inversiones a largo plazo, tratando de maximizar los valores iniciales (Revelo, s.f.).

### 5.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros del proyecto, a este valor se le resta la inversión inicial

La fórmula que permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1-k)^t} - I_0$$

En dónde:

$V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo t.

$I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión

$n$  es el número de períodos considerado.

$k$  tipo de interés

Los criterios de decisión del VAN se describen en la Tabla 23:

**Tabla 23**

*Criterios de decisión VAN*

Valor VAN	Descripción
$VAN > 0$	El proyecto puede aceptarse, implica que se produce un rendimiento superior al mínimo requerido y el proyecto producirá ganancias
$VAN = 0$	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, tales como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado, beneficios sociales, u otros factores. El proyecto no producirá ni ganancias ni pérdidas.

---

$VAN < 0$  El proyecto debe rechazarse debido a que éste producirá pérdidas, solo se aceptará un proyecto con VAN menor que cero si éste tiene un alto impacto en la sociedad

---

Fuente: (Rodríguez, 2006).

### 5.3.1.1. Inversión Inicial

En la inversión inicial se especifican los costos de los recursos necesarios, para el proyecto.

**Tabla 24**  
*Costos de Hardware*

Cantidad	Concepto	Costo (USD)
1	Sensor Inductivo de posición PMI80-F90-IU-V1	425
1	Transmisor de presión marca WIKA, modelo A-10, rango de presión de 0 a 160 psi (11 bar)	244,6
1	Sensor de velocidad IMC18-07BPSZC0SS01	321,75
1	Dispositivo USB de E/S Digital Multifunción, USB-6210	790
1	Cable conexión angular hembra M12-4PIN 5m	30,47
1	Conector hembra V1-G-2M-PVC, Conector hembra, M12, 4 polos, cable PVC	50
1	Conector hembra, M12, 4 polos, acodado, 5M Con codificación A, YG2A14-050VB3XLEAX	45
1	Fuente de alimentación industrial-24VDC	75
1	Válvula seguridad sensor presión	200
1	T para la conexión	70
<b>Subtotal</b>		2251,82
<b>IVA 12%</b>		270,2184
<b>Total</b>		2522,0384

CONTINÚA 

En la Tabla 25, se define el costo por el recurso humano que se requiere para la implementación. Se consideró el valor descrito de acuerdo con la tabla sectorial del año 2019 en donde constan los salarios mínimos, dependiendo de la rama de actividad económica.

**Tabla 25**  
*Costos de Recurso Humano*

<b>Cantidad</b>	<b>Concepto</b>	<b>Costo (USD)</b>
1	Servicio por implementación del Sistema	600

La inversión inicial se describe en la Tabla 26, en la que se incluye costos de hardware y el recurso humano necesario.

**Tabla 26**  
*Inversión Inicial*

<b>Concepto</b>	<b>Costo (USD)</b>
Costo Recurso Humano	600
Costo Hardware	2522,0384
Total	3194,04

$$I_0 = 3194,04$$

### 5.3.1.2. Valor de Mantenimiento

El equipo gobernador PGA- 58 es llevado a banco de pruebas, después de transcurridas 20000 horas de operación, en donde se realiza la calibración y reemplazo de piezas, el costo de este mantenimiento se divide en 2 partes: la primera es el costo de las piezas reemplazadas y la segunda son los servicios, en donde se incluye el transporte, en la Tabla 27 se muestran los valores.

**Tabla 27**  
*Costo Mantenimiento*

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
<b>Partes</b>		
1	Kit overhaul Governor PGA -58	487
1	Drive shaft	274,78
2	Check valve assembly	87,52
2	Check valve assy	90,86
1	Washer, soft copper	3,21
1	Receiver cup gasket	3,21
1	Preformed packing 1-1/2 OD	8,39
1	Pilot valve plunger	471,54
2	Oil seal	76,28
<b>Servicios</b>		
	Mantenimiento de Governor PGA58	2369
	Transporte	248,98
	Total	4120,77

Fuente: Departamento Mantenimiento OCP (2019)

Estos valores corresponden al último mantenimiento realizado, por lo que se puede estimar que el valor promedio de mantenimiento abarca el rango de \$4000 a \$5000, con este valor referencial, el costo de mantenimiento por cada hora de operación está en \$0,25.

La empresa ha definido que el equipo debe ser llevado a banco de pruebas transcurridas 20000 horas de operación, sin embargo, de acuerdo con el funcionamiento y a través del monitoreo se puede evaluar al gobernador en un período anterior a ese número de horas, definiendo a las 16000

un plan de mantenimiento predictivo, en donde se verifique el estado de la máquina y se pueda a futuro evitar el reemplazo de piezas o costos adicionales que esto pueda generar.

El tiempo aproximado para que el equipo sea evaluado y calibrado es de 1 mes, después de 20000 horas, con este equipo en para se podría tener una pérdida económica de \$ 27000000, sin embargo si se realiza el mantenimiento a las 16000 horas, se evaluaría en un tiempo de parada del equipo de unas 2 semanas con una pérdida de \$13500000, con lo que al comparar estos valores se tendría una pérdida menor, si se evalúa el equipo antes del planificado por la empresa.

El oleoducto fue originalmente proyectado para una capacidad de 310 mil barriles por día, a petición del Gobierno ecuatoriano se amplió a 450 mil barriles diarios, es decir que 18750 barriles se transportan cada hora. El costo por barril transportado es de \$ 2 dólares. El presupuesto que se necesita para el proyecto es de \$ 3194.04, para recuperar esta inversión, el gobernador debe trabajar 14,86 horas más de lo habitual, considerando el desgaste de componentes y la línea de tendencia en la que se debe establecer rangos límites.

Interés (k): Valor mínimo aceptable Este valor se va a calcular comparando el gasto que se está presentando actualmente por costo de calibración y el costo del proyecto, la diferencia en porcentaje será la tasa mínima esperada:

$$k = \frac{\text{Costo Propuesto} - \text{Costo Convencional}}{\text{Costo Convencional}} * 100\%$$

$$k = \frac{8194,04 - 5000}{5000} * 100\%$$

$$k = 0,638\%$$

En las 20000 horas de funcionamiento bombea una cantidad de 375 millones de barriles, lo que tiene un costo de \$ 750 millones de dólares, si se incrementarían esas 14,86 horas la cantidad de barriles sería de 375278792,3 y el costo de \$750557585.

$$V_t=5000 + 3194,04 = 8194,04$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1-k)^t} - I_0$$

$$VAN = \frac{8194,04}{(1-0,006)^1} - 3194,04$$

$$VAN = 5052,68$$

El valor es mayor de 1 por lo tanto el proyecto es viable

### 5.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de rendimiento es un indicador de rentabilidades, establece la tasa de actualización o descuento, que hace cero la rentabilidad absoluta neta de la inversión, es decir igual el VAN a cero. Analíticamente el criterio de la TIR se expresa como sigue:

$$TIR = -VAN + \sum_{T=0}^n \frac{V_t}{(1+r)^n} = 0$$

Donde:

$V_t$  es el flujo de caja en el periodo n

$n$  es el número de periodos

$r$  incógnita por resolver

El flujo de caja se considera la suma entre del costo de mantenimiento y el valor de la inversión inicial que da un valor de \$8194,04

$$TIR = -5052,68 + \frac{8194,04}{(1+r)^1} = 0$$

$$-5052,68(1+r)^1 + 8194,04 = 0$$

Se resuelve la ecuación y resulta que  $r$  es:

$$r = 0,62$$

La TIR tiene una rentabilidad del 62%.

#### **5.4.Factibilidad**

Se determina la viabilidad del proyecto, considerando la factibilidad técnica y los recursos que se requieren para su funcionamiento están al alcance; además en cuanto a la factibilidad económica la inversión inicial no es considerable, tomando en cuenta que, si la herramienta permite extender las horas de bombeo de crudo, y evaluar las principales variables para su operación, se tendría monitoreo continuo del gobernador e incrementaría la cantidad de barriles a ser transportados por el oleoducto.

Con respecto a recursos humanos se requiere un operario para el manejo del HMI y que tenga la competencia de que, en caso de no funcionar los sensores, revisarlos para su adecuado monitoreo. Este proceso de monitoreo será la base para la evaluación de posibles fallas en el equipo. En lo referente a licencias, para este proyecto se utilizará LabVIEW, la empresa cuenta con una licencia corporativa por lo que no se requerirá de valores adicionales para el uso de este software. Además esta herramienta representa una mejora tecnológica para el gobernador permitiendo monitoreo electrónico.

## Capítulo VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

En el diseño de la herramienta, resultó de importancia establecer el funcionamiento del regulador de velocidad para motores de combustión interna, ya que en el caso de la empresa Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) Ecuador S.A., utilizan bombas centrífugas que funcionan a través de este tipo de motores; estas bombas centrífugas dan la energía necesaria para que el crudo sea desplazado hasta la siguiente estación de bombeo.

El gobernador es un regulador de velocidad de aire compensado por presión, este actuador está compuesto por una serie de mecanismos regulando la cantidad de combustible suministrado al motor primario, para evaluar este equipo, se consideran 4 niveles de operación, en función de la presión, estableciendo que para una presión de 0 bar se tendrá una velocidad de 425 RPM, esta es parada mínima, para 1.57 bar la velocidad será de 438 RPM esta es baja velocidad, para 5 bar la velocidad será de 938 RPM , esta es alta velocidad y finalmente a 5,5 bar la velocidad será 990 RPM esta es parada máxima.

El funcionamiento del regulador de velocidad puede estar limitado debido a diversas fallas, entre las cuales se encuentra que no regula a la velocidad requerida pudiendo ir más lento o rápido de lo establecido; otra falla es que no mantiene la velocidad dentro de un determinado tiempo. Estos inconvenientes pueden afectar la operación normal del oleoducto, por lo tanto, se evaluó las variables más relevantes, escogiendo así la presión, posición y velocidad.

La variable presión es una de las señales que se consideró porque es la principal componente para el funcionamiento del gobernador; la presión de aire ingresa al equipo regulador y pasa a través de los mecanismos que lo conforman, el rango de operación de esta presión está entre 7 a 71 psi (0,48 a 6 Bar).

La posición, fue otra de las variables que se seleccionó debido a que la función del gobernador es regular la velocidad del motor, permitiendo el paso de aire, regulando la cantidad de combustible a inyectar en los cilindros del motor a través de la cremallera. Esta dosificación depende de la posición que esta ocupe en la bomba de inyección, esta posición está en un rango de 0 a 60mm, para apertura y cierre.

El gobernador actúa sobre el motor que bombea el crudo y la velocidad fue otra de las variables que se seleccionó, ya que está directamente relacionada con el funcionamiento, el rango de operación es de 500 a 750 RPM.

El sistema se compone de 3 sensores que son los que permitirán el monitoreo de las variables seleccionadas, una tarjeta de adquisición de datos y un computador. Además, se incluyen los cables de conexión y la instrumentación necesaria; el sensor de presión es el WIKA A-10, el sensor de posición es el modelo PMI80-F90-IU-V1 de marca PEPPERL + FUCHS, y el de velocidad es marca SICK modelo IMC30-10BPDZC0SA05, la DAQ es una NI-USB 6210 de National Instruments.

De acuerdo con la factibilidad técnica y económica se determinó que el proyecto es viable para su futura implementación, además el cálculo de los valores del VAN y TIR muestran una rentabilidad del 62%. En este análisis se incluyó los recursos humanos y la instrumentación.

## 6.2. Recomendaciones

La herramienta puede incluir otra señal como es la cantidad de caudal que se debe inyectar a los cilindros, siempre y cuando se analice la utilidad de esta variable, y se disponga de datos que permitan establecer comparaciones que evalúen el funcionamiento y de esta manera determinar fallas en el equipo.

Para su correcto funcionamiento esta herramienta debe incluir una base de datos en el que se registren los valores que se obtienen luego de que el equipo haya finalizado el proceso de calibración, para posterior realizar un análisis, que permita determinar rangos máximos en los cuales el equipo pueda sufrir alguna falla.

El HMI puede ser elaborado en otros programas como Matlab, por la facilidad en cuanto a análisis matemáticos entre señales a compararse para este proyecto, sin embargo, se debe considerar la compatibilidad con la DAQ, la facilidad de configuración y el costo en cuanto a licencias para el desarrollo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, N., Huérfano, J., & Oscar, O. (2015). Diseño de un banco de pruebas estático para prueba y caracterización de motores cohete. *VIII Congreso Argentino de Tecnología Espacial*.
- Asipuela, Á., & Paredes, C. (2013). Diseño e implementación de un sistema de control de velocidad y voltaje para la unidad 4 de generación de la central termoeléctrica Guangopolo. *Maskay Electrónica*, 1-6. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7637/1/AC-DEE-ESPE-07571.pdf>
- Base Lógica. (s.f.). *Componentes del motor: Órganos del movimiento alternativo*. Obtenido de <https://www.baselogica.com/componentes-del-motor-organos-del-movimiento-alternativo/>
- Castañeda, J., & Macías, A. (2016). *Guía metodológica para la elaboración de un estudio de factibilidad*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José De Caldas:: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4946/1/Casta%C3%B1edaMart%C3%ADnezJavierMauricio2016.pdf>
- Catalunya, G. d. (s.f.). *Mantenimiento Preventivo*. Obtenido de [http://treball.gencat.cat/web/.content/09\\_-\\_seguretat\\_i\\_salut\\_laboral/publicacions/imatges/qp\\_manteniment\\_preventiu\\_cast.pdf](http://treball.gencat.cat/web/.content/09_-_seguretat_i_salut_laboral/publicacions/imatges/qp_manteniment_preventiu_cast.pdf)
- Corporation, N. I. (2019). *Qué es Adquisición de Datos*. Obtenido de <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Electro Industria. (2014). *Mantenimiento de motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2254>
- Enríquez, G. (2012). *El abc de la instrumentación en el control de procesos industriales*. México: Limusa.
- Escalante, R. (2007). *Metodología de análisis para estudios de factibilidad técnica-económica en sistemas de generación eléctrica costa fuera*. Obtenido de <https://www.ineel.mx/boletin032007/art03.pdf>
- Flores, Á., Zacarías, L., & Zamora, M. (Octubre de 2008). *manual para la elaboración de estudios de pre-factibilidad y factibilidad*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-para-realizar-estudios-de-prefactibilidad-y-factibilidad.pdf>
- García Soutullo, R. (2015). *Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA) (1ª Parte)*. Obtenido de Ingeniero Marino: <https://ingenieromarino.com/motores-de-combustion-interna-alternativos-mcia-1oparte/>

- García, R. (2018). *Reguladores de Velocidad en Motores Marinos*. Obtenido de <https://ingenieromarino.com/reguladores-de-velocidad-en-motores-marinos/>
- Gil, C. (2015). *Motores de Combustión Interna- Regulador de Velocidad*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/285049043/Motores-de-Combustion-Interna-15-Regulador-de-Velocidad>
- Instrument, N. (2019). *USB-6210 Dispositivo de E/S Multifunción*. Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6210.html>
- Landin, P. (2011). *Motor de explosión de cuatro tiempos*. Obtenido de Blog de Tecnología : <http://pelandintecno.blogspot.com/2011/03/motor-de-explosion-de-cuatro-tiempos.html>
- Lara, J. (Marzo de 2006). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para turbocompresores asistido mediante un programa computarizado*. Obtenido de Repositorio Dspace: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/3817>
- López, D., & Antonino, J. (2016). Detection of mechanical faults in induction machines with infrared thermography: field cases. *Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. doi:10.1109/iecon.2016.7793604
- Meza, Á. (Junio de 2005). *Diseño y análisis de un banco de pruebas para el control proporcional neumático con soporte técnico didáctico*. Obtenido de Repositorio Dspace: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/478>
- MotoyCasco. (2014). *Cómo funciona el motor de 2 tiempos*. Obtenido de <https://motoycasco.com/como-funciona-motor-dos-tiempos>
- Moubray, J. (s.f.). *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad*. Industrial Press Inc. Recuperado el 2019
- OCP Ecuador S.A. (2018). *Historia*. Obtenido de <http://ocpecuador.com/es/ocp/historia>
- Ogata, K. (s.f.). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Prentice Hall.
- Paredes, C., Guarnizo, J., Guerrero, V., & Campaña, O. (Marzo de 2016). Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas de Durabilidad para Asientos de Vehículo. *Revista Politécnica*, 37(2). Obtenido de [https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen37/tomo2/Diseno\\_y\\_Construccion\\_de\\_un\\_Banco\\_de\\_Pruebas\\_de\\_Durabilidad\\_para\\_Asientos\\_de\\_Vehiculo.pdf](https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen37/tomo2/Diseno_y_Construccion_de_un_Banco_de_Pruebas_de_Durabilidad_para_Asientos_de_Vehiculo.pdf)
- Pawlak, W. (1984). *Funcionamiento de motores de combustión interna*. México: De la Universidad Autonoma de Nuevo León. Obtenido de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020123334/1020123334.PDF>

- Rafael, M., & Hernández, A. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte:  
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
- Revelo, E. (s.f.). *Van- Tir*. Obtenido de <http://www.estebanrevelo.com/assets/van-y-tir.pdf>
- Rivera, E. (2019). *Turbinas a Gas*. Obtenido de Termodinámica Técnica:  
[http://eribera\\_bo.tripod.com/ciclo\\_brayton.html](http://eribera_bo.tripod.com/ciclo_brayton.html)
- Romero, R., De la Vega, R., Rossi, S., Ferraggine, G., Greco, A., & Matías, G. (2018). Device For Measuring Mechanical Variables For Fault Detection in Cement Production Kilns. *IEEE Explore*. doi:doi:10.23919/aadeca.2018.8577343
- Sampiere, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Sánchez, Y., & Sánchez, S. (2015). *Automatización del banco pruebas plint TE-46 de laboratorio de motores de combustión interna del DECEM. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE:  
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10670>
- Tirado, J. (2018). *Reguladores de Velocidad en Motores Marinos*. Obtenido de Ingeniero Marino:  
<https://ingenieromarino.com/reguladores-de-velocidad-en-motores-marinos/>
- Turmero, P. (2019). *Ciclos de los motores de combustión interna*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos104/ciclos-motores-combustion-interna/ciclos-motores-combustion-interna.shtml>
- Universidad de las Américas Puebla. (2019). *Descripción del motor y su funcionamiento*. Obtenido de Universidad de las Américas Puebla:  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/cleto\\_o\\_ja/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cleto_o_ja/capitulo3.pdf)
- Verucchi, C., & Acosta, G. (2007). Técnicas de Detección y Diagnóstico de Fallos . *IEEE Latin America Transactions*, 41-49.
- Wartsila. (2016). *Wartsila 32*. Obtenido de <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/brochure-o-e-w32.pdf>
- Wartsila. (2018). *Reporte overhaul governor* . Quito.
- Woodward Governor Company. (s.f.). Manual de Operación y Mantenimiento y lista de partes Governor Woodward PGA 58. En *Mecánica y Proceso- Equipo del Grupo de Bombas* (págs. 1-32). Estados Unidos.
- Zapata, E. (s.f.). *Motores de Combustión Interna*. Obtenido de Universidad Nacional Sede de Medellín: <http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/MAQ-CLASE%203.pdf>