

**Actualización del procedimiento de mantenimiento preventivo a la instrumentación y control de compresores recíprocos WAUKESHA en el CPF de Floreña**

Oscar Mauricio Osorio Díaz

Jhon Eduwar Ascencio Cruz

Asesora

Adriana del Pilar Noguera Torres

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2023

## Resumen

El CPF de Floreña es una instalación central de procesamiento, en sus siglas en inglés, (Central Process Facility), dentro de este CPF se procesan los líquidos y gases obtenidos de pozos petroleros en las cercanías del municipio de Yopal extrayendo crudo de excelente calidad y una gran cantidad de gas que es vendido para su distribución por Colombia. Como instalaciones de procesamiento de grandes cantidades de materia prima es indispensable que sea seguro y fácil de operar, esto representa un reto para la ingeniería electrónica y de control, estos procesos automatizados son diseñados para que sean confiables en demanda, con instrumentación y procesadores de calidad que garantizan pocas fallas; Parte de esos equipos es un compresor de gas manejado por un motor Waukesha L7044 GSI; Estos motores tipo otto a cuatro tiempos con combustible gas natural tienen una vida útil corta si no se hace mantenimiento, para alargar su vida útil hasta 8 veces se creó un programa de mantenimiento que es el que sugiere el fabricante, el problema que se tiene es que el fabricante no se enfoca en la parte electrónica ni de control, para esto es necesario crear un procedimiento especializado para garantizar el mínimo de fallas durante el funcionamiento de estos equipos que al ser automatizados dependen integralmente del correcto funcionamiento de los instrumentos y el control en demanda. En el procedimiento a entregar se encuentra detallada la manera, el tiempo y las herramientas a usar en los componentes electrónicos y de control de la unidad. Se muestra igualmente todos los componentes en detalle, con sus fichas técnicas, la secuencia en la que se debe desarrollar y la explicación de su función dentro del proceso, denotando su clasificación y si pertenecen a un sistema SIS o de control.

**Palabras clave:** Procedimiento, Instrumentación, control, unidad paquete, compresor reciprocante, motor reciprocante.

## Abstract

Floreña's CPF is a Central Process Facility (CPF) where liquids and gases obtained from nearby oil wells are processed, extracting high-quality crude oil and a significant amount of gas that is sold for distribution throughout Colombia. As a facility processing large quantities of raw materials, it is essential to be safe and easy to operate. This poses a challenge for electronic and control engineering. These automated processes are designed to be reliable on-demand, with quality instrumentation and processors that ensure few failures. One of the key pieces of equipment is a gas compressor powered by a Waukesha L7044 GSI engine. These four-stroke Otto-type engines, running on natural gas, have a short lifespan without maintenance. To extend their lifespan up to 8 times, a maintenance program recommended by the manufacturer was developed. The issue is that the manufacturer does not focus on the electronic or control components. Therefore, it is necessary to create a specialized procedure to ensure minimal failures during the operation of these automated systems, which are entirely dependent on the correct functioning of instruments and control systems. The procedure to be provided details the method, time, and tools to be used on the electronic and control components of the unit. It also includes a comprehensive breakdown of all components with their technical specifications, the sequence in which they should be carried out, and an explanation of their role in the process, indicating their classification and whether they belong to an SIS or control system.

**Keywords:** Procedure, Instrumentation, control, package unit, reciprocating compressor, reciprocating engine.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	10
Planteamiento del Problema.....	11
Justificación .....	13
Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco Teórico.....	16
Unidades Paquete .....	18
<i>Motor Waukesha</i> .....	18
<i>Compresor Superior</i> .....	19
<i>Conjunto de Elemento Auxiliares</i> .....	19
Equipos de Instrumentación.....	20
<i>Elementos de presión</i> .....	20
<i>Elementos de Temperaturas</i> .....	20
<i>Elementos de Nivel</i> .....	20
<i>Elementos de Vibración</i> .....	21
<i>PLC</i> .....	21
Metodología .....	22
Desarrollo del Proyecto.....	23
Etapa 1.....	23
Etapa 2.....	25

<i>Mantenimiento Preventivo a la Instrumentación del MOTOR</i> .....	25
<i>Mantenimiento Preventivo Sistema Control BDVs Y SDVs</i> .....	58
<i>Mantenimiento Preventivo a Visores de nivel</i> .....	60
<i>Mantenimiento Preventivo a Trasmisores de Nivel</i> .....	60
<i>Mantenimiento Preventivo a Válvula de Control de Nivel</i> .....	61
<i>Mantenimiento Preventivo a Solenoide</i> .....	65
<i>Mantenimiento Preventivo a Válvula de Control de Presión</i> .....	65
<i>Mantenimiento Preventivo Indicadores de Presión y Temperatura</i> .....	66
<i>Mantenimiento Instrumentación del Compresor</i> .....	67
<i>Mantenimiento Instrumentación del Panel de Control</i> .....	70
<i>Pruebas de Puesta a Punto</i> .....	72
Etapa 3.....	72
Etapa 4.....	73
Análisis de las Gráficas.....	76
Conclusiones .....	77
Referencias.....	78

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Identificación de los Instrumentos</i> .....	16
<b>Tabla 2</b> <i>Sistema de Ignición</i> .....	31
<b>Tabla 3</b> <i>Módulo de Ignición y Control</i> .....	32
<b>Tabla 4</b> <i>Governador y Pick-Up</i> .....	37
<b>Tabla 5</b> <i>Electroválvulas del Motor</i> .....	43
<b>Tabla 6.</b> <i>Válvula Reguladora de Gas Combustible, Carburador, Waste Gate y Pick-Up</i> .....	50
<b>Tabla 7</b> <i>Switch Tanque Agua Auxiliar y Principal, Controlador de Nivel de Aceite, Transmisor de Vibración Cooler y Motor</i> .....	54
<b>Tabla 8</b> <i>Reguladores de Aire</i> .....	55
<b>Tabla 9</b> <i>SDVS y BDVS</i> .....	60
<b>Tabla 10</b> <i>LGS – Vidrio de Niveles</i> .....	60
<b>Tabla 11</b> <i>Transmisor de Nivel</i> .....	61
<b>Tabla 12</b> <i>Válvulas de Control de Nivel</i> .....	65
<b>Tabla 13</b> <i>Solenoides Controlador de Nivel</i> .....	65
<b>Tabla 14</b> <i>PCV Reciclo</i> .....	66
<b>Tabla 15</b> <i>Indicadores de Presión y Temperatura</i> .....	67
<b>Tabla 16</b> <i>Switch No Flujo</i> .....	68
<b>Tabla 17</b> <i>Panel Principal</i> .....	71

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de Bloques del Control por ESM</i> .....	26
<b>Figura 2</b> <i>Sistema Bujía-Extensión-Bobina</i> .....	28
<b>Figura 3</b> <i>Diagrama de Conexionado</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Conexión Mecánica del Gobernador</i> .....	33
<b>Figura 5</b> <i>Ángulos de las Levas del Gobernador</i> .....	34
<b>Figura 6</b> <i>Válvula Mariposa y Ejes</i> .....	35
<b>Figura 7</b> <i>Pantalla Configuración de Gobernador</i> .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Pickup Magnético</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Sensor de Oxígeno</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Bloque Seco</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Bomba Presión Marca FLUKE</i> .....	40
<b>Figura 12</b> <i>Electroválvulas de Crank y Prelubricación</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Electroválvulas de Combustible</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Plano General del Sistema de Combustible</i> .....	42
<b>Figura 15</b> <i>Regulador BIG JOE</i> .....	44
<b>Figura 16</b> <i>Despiece del Regulador de Gas FISHER 99H</i> .....	46
<b>Figura 17</b> <i>Stepper Motor</i> .....	47
<b>Figura 18</b> <i>Válvula Choke</i> .....	48
<b>Figura 19</b> <i>Válvula Waste Gate</i> .....	49
<b>Figura 20</b> <i>Interruptor de Vibración</i> .....	51
<b>Figura 21</b> <i>Interruptor y Controlador de Aceite</i> .....	53
<b>Figura 22</b> <i>Interruptor de Nivel</i> .....	54

<b>Figura 23</b> <i>Regulador de Aire</i> .....	55
<b>Figura 24</b> <i>Transductor de Presión</i> .....	57
<b>Figura 25</b> <i>Indicador de Posición</i> .....	59
<b>Figura 26</b> <i>Válvula Control Nivel</i> .....	64
<b>Figura 27</b> <i>Partes del DFNT (Digital No Flow-Timer)</i> .....	68
<b>Figura 28</b> <i>Partes del DFNT (Digital No Flow-Timer)</i> .....	70
<b>Figura 29</b> <i>Reporte con Antiguo Procedimiento</i> .....	73
<b>Figura 30</b> <i>Reporte con Procedimeinto Actualizado</i> .....	74
<b>Figura 31</b> <i>Captura de Pantalla del Sistema SAP</i> .....	75
<b>Figura 32</b> <i>Últimos Doce Meses de Mantenimientos no Programados en la Unidad FL23C101D</i> .....	75



## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Procedimiento Actualizado</i> .....	80
<b>Apéndice B</b> <i>Formatos en Blanco</i> .....	81
<b>Apéndice C</b> <i>Formatos Diligenciados</i> .....	82
<b>Apéndice D</b> <i>Informe General de Mantenimiento</i> .....	83

## **Introducción**

En este trabajo de grado se encuentra la descripción de cómo hacer de forma objetiva, segura y completa el mantenimiento a la instrumentación y el control de un compresor recíprocante impulsado mecánicamente por un motor de 1600 caballos de poder (iwk-119054-vhp-17044gsi-s5), ésta es una actualización del procedimiento en donde se toma como referencia los manuales de fábrica, se compara con el procedimiento antiguo y se corrige los pasos que no son coherentes con las instrucciones de mantenimiento en los manuales, se puso a prueba esta actualización y se realizó un análisis basado en la información obtenida en el software de gestión empresarial SAP, en donde se evidencia que la ejecución de las actividades de mantenimiento utilizando la actualización del procedimiento produjo una disminución de retrabajos.

## Planteamiento del Problema

En el CPF de Floreña existen varias marcas como Waukesha, Caterpillar, Superior, Cummins, Ingersoll Rand, Solar, General Electric, Rosemount, Magnetrol, Endress+Hauser, Dettronic, Fisher, Rockwell, etc. Dentro del proceso de producción de gases e hidrocarburos se encuentran los compresores recíprocos que por sus características de diseño son muy importantes para la estabilidad del sistema, contribuyendo en el manejo del 60% de los gases que pasan a través de todo el proceso en el CPF. Los motores Waukesha son fabricados en Estados Unidos y al igual que otras marcas fabricantes de equipos industriales no venden la información de cómo hacer el mantenimiento de manera detallada y especificando todo lo necesario ya que un modelo de negocios para ellos es vender el mantenimiento con profesionales entrenados y suministrados por ellos, estos son costosos y tienen un tiempo de atención largo por movilidad hacia el lugar en donde está ubicado el equipo. Como empresa de mantenimiento y operación no es rentable adquirir estos servicios con profesionales especializados por cada marca. Para poder hacer el mantenimiento de todos estos equipos se ha desarrollado un plan en donde se especifica una ruta; dentro de esta, se establece el uso de un procedimiento paso a paso, con el objetivo de garantizar el funcionamiento óptimo de estos equipos.

Para el mantenimiento de estos motores Waukesha se utilizan procedimientos genéricos, en los cuales no se especifican funciones dedicadas de componentes, no se especifican pruebas necesarias para garantizar el funcionamiento en demanda, no se especifican las herramientas ni el modo de emplearlas. Esto genera un problema cuando termina el mantenimiento y se comienza con el proceso de arranque puesto que se realizan retrabajos por la falla en demanda de varios componentes, generando retraso (incluso de días) en estos equipos, generando pérdidas económicas por indisponibilidad del equipo o daños colaterales en componentes costosos, etc.

Cuando estos equipos son adquiridos nuevos, vienen en un paquete dentro de un skid, que es el conjunto de todos los equipos y accesorios dentro de una plataforma metálica delimitada que cabe generalmente en una cama-baja. El problema es que no existe un procedimiento específico de este conjunto de equipos funcionando en armonía para entregar un servicio, al usar procedimientos genéricos quedan sin mantenimiento y prueba muchos elementos claves para el buen funcionamiento del paquete.

## **Justificación**

El mantenimiento es el pilar más fuerte para la conservación de los equipos de trabajo, una falla en el sistema de instrumentación y control puede generar una parada no planeada del equipo y la causa más común es deficiencia en mantenimiento. En la realización de este proyecto se establece la necesidad de especificar los alcances del mantenimiento a la instrumentación y control en las unidades reciprocantes porque en general no hacerlo lleva a tener pérdidas de producción, tiempo, buen nombre del cliente y del contratista, daños al medio ambiente por emisiones de gas no procesado en quemas, afectación a las comunidades por contaminación visual, sonora y ambiental, finalmente el dinero que deja de ganar el cliente por no existir acuerdos de falta de cuota a clientes como Cusiana gas, Perenco, Comunidades entre otros.

Para evitar este efecto en cadena de costos extraordinarios se debe prevenir las fallas, por medio de este procedimiento específico es posible identificar factores que generan las fallas debido a que está construido por medio de los diferentes manuales y textos generados por los fabricantes que han identificado sus debilidades y han generado boletines en donde las describen y cómo solucionarlas. También por medio de experiencias a través de años en donde han tenido fallas y han identificado como evitarlas después de investigaciones en donde los hallazgos son escritos en las actualizaciones de los manuales, un ejemplo sería el tipo de lubricante a usar en las conexiones electrónicas: de lubricantes seco a líquido dieléctrico (loctite 8801).

Durante muchos años en el CPF de Floreña se ha realizado mantenimiento por varias empresas, algunas más especializadas que otras por cerca de 20 años. Es necesario tener en cuenta que los componentes a los que se les puede hacer mantenimiento se pueden clasificar de la siguiente manera: Mecánico, eléctrico, instrumentación y control. Los procedimientos que se han usado desde el comienzo de estos mantenimientos eran inexistentes al principio; debido a

fallas e investigaciones de estas fallas se determinó que se debía trabajar con procedimientos escritos del paso a paso del trabajo, esto se aplica muy bien en los componentes mecánicos y eléctricos, hoy en día eso sigue funcionando de esta manera pero en la parte de instrumentación y control es muy diferente debido a que a la instrumentación y control se han ido actualizando, hace 20 años eran componentes neumáticos e hidráulicos pero debido al avance tecnológico en electrónica se han cambiado casi todos estos componentes a nuevas tecnologías incluyendo el mismo sistema de control del motor. Estos cambios han generado que los procedimientos sean obsoletos a través de las actualizaciones y que por lo mismo se necesiten cambios completos, eliminación o creación de nuevos procedimientos.

En general la construcción de este procedimiento generará resultados exitosos debido a que se hace con los planos y los dosieres específicos de estas máquinas reciprocantes, se va a realizar con las unidades de fase 2 debido a que son las que han pasado por un proceso de actualización de su ingeniería reciente.

Con la realización de este procedimiento se beneficiarán la empresa de mantenimiento, el cliente, los técnicos ejecutantes, la comunidad aledaña al CPF y el medio ambiente en general.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Actualizar procedimiento para el mantenimiento a la instrumentación y control de las unidades reciprocantes compresoras Waukesha de Fase 2.

### **Objetivos Específicos**

Determinar los requerimientos técnicos de los instrumentos y controladores de las unidades reciprocantes que hacen parte de su funcionamiento.

Establecer un procedimiento para el mantenimiento a la instrumentalización y control en los procesos de puesta a punto de la unidad compresora.

Analizar la trazabilidad del mantenimiento con base en las pruebas realizadas.

## Marco Teórico

Para la identificación de los instrumentos se va a utilizar la norma ANSI/ISA 5.1 (ISA, 2009) representada en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Identificación de los instrumentos.*

	<b>First letters (1) Primeras letras</b>		<b>Succeeding letters (15) Letras secuenciales</b>		
	<b>Column 1 columna 1</b>	<b>Column 2 columna 2</b>	<b>Column 3 columna 3</b>	<b>Column 4 columna 4</b>	<b>Column 5 columna 5</b>
	<b>Measured/Initiating Variable variable inicial medida</b>	<b>Variable Modifier (10) modificador de variable</b>	<b>Readout/Passive Function funcion pasiva/lectura</b>	<b>Output/Active Function funcion activa/ salida</b>	<b>Function Modifier modificador de la funcion</b>
<b>A</b>	Analysis(2)(3)(4) Analisis		Alarm Alarm		
<b>B</b>	Burner, Combustion (2) Quemador, combustion		User's Choice (5) Eleccion del usuario	User's Choice (5) Eleccion del usuario	User's Choice (5) Eleccion del usuario
<b>C</b>	User's Choice (3a)(5) Eleccion del usuario			Control (23a)(23e) Control	Close (27b) Cerrado
<b>D</b>	User's Choice (3a)(5) Eleccion del usuario	Difference, Differential,(11a)(1 2a) Diferencia, diferencial			Deviation (28) Desviacion
<b>E</b>	Voltage (2) Voltaje		Sensor, Primary Element Sensor, elemento primario		
<b>F</b>	Flow, Flow Rate (2) Flujo, Rata de flujo	Ratio (12b) Radio			
<b>G</b>	User's Choice Eleccion del usuario		Glass, Gauge, Viewing Device (16) Vidrio, manometro,		



---

			dispositivo de vision	
<b>H</b>	Hand (2) uso con la mano			High (27a)( 28a)(29) Alto
<b>I</b>	Current (2) Corriente elctrica		Indicate (17) Indicacion	
<b>J</b>	Power (2) Poder		Scan (18) Escaner	
<b>K</b>	Time, Schedule (2) Tiempo, agenda	Time Rate of Change (12c)(13) Cambio de rata de tiempo		Control Station (24) Estacion de control
<b>L</b>	Level (2) Nivel		Light (19) Luz	Low (27b)( 28)(29) Bajo
<b>M</b>	User's Choice (3a)(5) Eleccion del usuario			Middle, Intermediate(27c)( 28) (29) Medio, intermedio
<b>N</b>	User's Choice (5) Eleccion del usuario		User's Choice (5) Eleccion del usuario	User's Choice (5) Eleccion del usuario
<b>O</b>	User's Choice (5) Eleccion del usuario		Orifice, Restriction Orificio, restriccion	Open (27a) Abierto
<b>P</b>	Pressure (2) Presion		Point (Test Connection) Punto(Conexi3n de prueba)	
<b>Q</b>	Quantity (2) Cantidad	Integrate, Totalize (11b) Integrado, totalizado	Integrate, Totalize Integrado, totalizado	
<b>R</b>	Radiation (2) Radiacion		Record (20) Grabacion	Run Corrido
<b>S</b>	Speed, Frequency (2) Velocidad, frecuencia	Safety(14) Seguridad		Stop Parado
<b>T</b>	Temperature (2) Temperatura			Transmit Transmisor
<b>U</b>	Multivariable (2)(6) Multivariable		Multifunction (21) Multifuncion	Multifunction (21) Multifuncion

---

<b>V</b>	Vibration, Mechanical Analysis (2)(4)(7) Vibracion, analisis mecanico			Valve, Damper, Louver(23c)(2 3e) Valvula, amortiguador, persiana	
<b>W</b>	Weight, Force (2) Peso, fuerza		Well, Probe Pozo, sonda		
<b>X</b>	Unclassified (8) Sin clasificar	X-axis (11c) Eje-X	Accessory Devices (22), Unclassified (8) accesorios de dispositivos, sin clasificar	Unclassified (8) Sin clasificar	Unclassified (8) Sin clasificar
<b>Y</b>	Event, State, Presence (2)(9) Evento, estado, presencia	Y-axis (11c) Eje-Y		Auxiliary Devices (23d)( 25)( 26) Dispositivos auxiliares	
<b>Z</b>	Position, Dimension (2) Posicion, dimension	Z-axis (11c), Safety Instrumented System (30) Eje-Z, sistema instrumentado de seguridad		Driver, Actuator, Unclassified final control element Controlador, actuador, elemento final de control no clasificado	

*Nota.* Adaptado de *Instrumentation Symbols and Identification (ANSI/ISA-5.1-2009)*, ISA, 2009.

## Unidades Paquete

Se llama unidades paquete al conjunto de elementos que sumados ofrecen el servicio al que fueron diseñados, se encuentran dentro de un skid y son ensamblados por una misma empresa. para este caso llamamos unidades paquete al conjunto de elementos tales como:

### *Motor Waukesha*

Su función dentro de la unidad paquete es otorgar fuerza al sistema por medio de la transformación de la energía potencial de la mezcla de gas combustible y aire turbo alimentado a

un eje (cigüeñal). En este elemento se encuentra el sistema de ignición, que se compone de bujías, bobinas, sensores de posición, sensores de presión, sensores de temperatura, actuadores neumáticos, electroválvulas, etc (Waukesha, 2019).

### ***Compresor Superior***

Su función dentro de la unidad paquete es comprimir el gas de proceso, que viene a una presión promedio de 550 psi en succión, elevando esa presión a 5500 psi en descarga. El compresor está compuesto de 4 cilindros y pistones reciprocantes de convierten la fuerza rotativa del eje central (cigüeñal) en movimiento axial, creando un aumento de presión y temperatura dentro de los cilindros y reduciendo el volumen del gas, de los cuatro cilindros el primero se llama de primera etapa, este cilindro tiene las dimensiones calculadas para aumentar la presión del gas de proceso de 550 psi a 1200 psi; el segundo cilindro incrementa la presión de 1150 psi a 2500 psi, el tercer y cuarto cilindro incrementa la presión de 2450 psi a 5500 psi cumpliendo así su función. Este compresor tiene sensores de posición, sensores de presión, sensores de temperatura, actuadores neumáticos, electroválvulas, etc. (Ecopetrol, 2020)

### ***Conjunto de Elemento Auxiliares***

El último elemento del sistema son el conjunto de elementos auxiliares de proceso dentro del skid que suplen las necesidades sobrantes del proceso general de comprimir gas, dentro de este conjunto de elementos se encuentran:

El intercambiador de calor que por medio de un ventilador reduce la temperatura de los líquidos y gases del motor y proceso manteniéndolos dentro de valores nominales de diseño.

Los scrubbers son separadores verticales con forma cilíndrica diseñados para capturar líquidos que se crean en el proceso de enfriar el gas después de ser compreso, estos scrubber tienen instrumentación para el control de este nivel.

Las válvulas de seguridad automáticas cumplen la función de pasar o permanecer en un estado seguro para evitar un evento de seguridad de procesos.

### **Equipos de Instrumentación**

Como equipos de instrumentación podemos enfatizar en los siguientes:

#### ***Elementos de Presión***

Que se encuentran en las máquinas son PIT's transmisores de presión los cuales toman la señal neumática y envían una señal de corriente por medio cableado a un PLC controlador lógico programable que se encuentran en los paneles de las máquinas, estos elementos de presión según el fabricante se debe hacer un mantenimiento preventivo y revisión periódica de su calibración, en estas máquinas están instalados PIT's de marca: Rosemount, FoxBoro, Yokogawa, etc.

#### ***Elementos de Temperaturas***

Son las encargadas de dar la señal en tiempo real de temperatura que se encuentra en un proceso específico, en estas máquinas existen procesos que se requiere saber la temperatura para que la máquina funcione correctamente; temperatura de aceite motor y compresor, temperatura de los cilindros motrices, temperatura de refrigerante, temperatura de gas comprimido en las inter-etapas, existen dos clases termocuplas que funcionan por medio de voltaje y RDT que funcionan por medio de impedancia, estas se comunican con el PLC por medio cableado, según fabricantes se requiere un mantenimiento preventivo para evitar fallas inesperadas.

#### ***Elementos de Nivel***

En estas máquinas se necesitan controladores de nivel, debido a la temperatura del ambiente influye en las tuberías que transportan en gas para comprimir, esto genera que gas se condense, se requiere instrumentos de nivel que indiquen cuando evacuar el líquido de las vasijas y scrubbers, existen los transmisores de nivel marca Rosemount y Magnetrol, existen switch

marca Magnetrol, estos protegen el proceso y las máquinas. También se tiene switch de nivel en los tanques de refrigerante y de aceite. Esos controladores de nivel se requiere un mantenimiento preventivo y calibración periódico según fabricante (Rosemount Inc., 2012).

### ***Elementos de Vibración***

Estos instrumentos convierten una señal de vibración y la envían al PLC por medio cableado en señal digital, también se tiene en las máquinas transmisores de vibración que envían señal análoga a una tarjeta del sistema v-guard, esos instrumentos requieren mantenimiento preventivo y calibración de la sensibilidad de los mismo por recomendación del fabricante.

### ***PLC***

Controlador lógico programable son los encargados de recibir todos los datos de los instrumentos y según se requiere el proceso tomar acciones, existen dos tipos de lazo uno de control el cual se controla los procesos ya sean de temperatura, presión, nivel y vibración mediante actuadores neumáticos o hidráulicos y el otro tipo de lazo que se maneja en las máquinas son los del sistema SIS, estos lazos reciben señal de los instrumentos de parada de la máquina los cuales tiene una configuración de señal de disparo de seguridad, cuando llegan a este envían señal al PLC y de inmediato paran la unidad para evitar posibles daños y accidentes, también se requiere un mantenimiento para realizar estas pruebas de control y seguridad (Gruhn, 2005).

## **Metodología**

Para el desarrollo de la actualización del procedimiento de mantenimiento preventivo a la instrumentación y control de compresores recíprocos WAUKESHA en el CPF de Floreña, se han propuesto las siguientes etapas conforme los objetivos planteados:

Etapas 1: Los requerimientos técnicos se obtendrán de buscar los modelos en el catálogo del fabricante para descargar el data-sheet por internet.

Etapas 2: Se diseñará el procedimiento para el mantenimiento a la instrumentación y control en los procesos de puesta a punto de la unidad compresora, diferenciando el procedimiento anterior y los nuevos pasos añadidos en la mejora del procedimiento.

Etapas 3: Se realizarán las pruebas para garantizar el procedimiento establecido en la etapa 2 y se crearán formatos de documentación para la trazabilidad del mantenimiento.

Etapas 4: Se establecerán los resultados del proyecto analizando los datos obtenidos a través del desarrollo de este.

## Desarrollo del Proyecto

### Etapa 1

Los datos técnicos de la instrumentación asociada a la unidad motriz se obtienen de los manuales asociados:

#### *Motor Waukesha*

Manual 2M\_Led\_Lit, Data sheet DNFT

Manual 57-657.4, SIL Certified Safety Manual for Eclipse Model 706-512X-XXX

Manual ANSI/ISA-5.1-2009, Instrumentation Symbols and Identification

Manual 1769-in088, Installation Instructions módulos 1769-IQ16

Manual 2711P, PanelView Plus Terminals

Manual 6284\_4\_10, Ignition System Maintenance

Manual 6295\_4, Engine System Manager Operation & Maintenance

Manual 6296\_5\_10, Ignition System

Manual 61207, V-Guard II

Manual 74887, Controller-OF-KLC-Install

Manual D103042X0ES, Conjunto de válvula de control Fisher D4

Manual 603 Series Low Cost ICP Accelerometers

Manual INS-GEN-1 (Rev-A), General Installation and Maintenance of Versa Valves

Manual 139262, Guía de instalación FISHER 99

Manual VHP Series Five L7044GSI S5

Manual 6302-2, VHP Series Four 12 cylinder with ESM parts catalog

Manual 00-02-0671, Liquid Level Switches Series LS200, LS200N and LS200NDVOR

Manual MPU 8-22, Magnetic Pickup (MPU)

Manual A6096MAN, Industrial Vibration Sensor A6096 General Operation Manual

Formulario 1243, Reguladores y Válvulas de Alivio Tipo 630

Manual 250-2924. Rev. A 7/12, K1, K2, K8 Pressure Transducer Instruction Sheet

Plano 23880-115, P&ID Fuel y Start Gas

Manual TECH-552-ENrA, 2200 Series Atex And Iec Ex Certified Installation And  
Operating Instructions

Manual 00-02-0185, Shock/Vibration Control Switches Models: VS2, VS2C, VS2EX,  
VS2EXR, VS2EXRB and VS94



## **Etapa 2**

En esta segunda etapa se determina el procedimiento a realizar para el mantenimiento a la instrumentación y control de compresores recíprocos WAUKESHA. Los pasos procedimentales nuevos se titularán como desactualizados.

### ***Mantenimiento Preventivo a la Instrumentación del Motor***

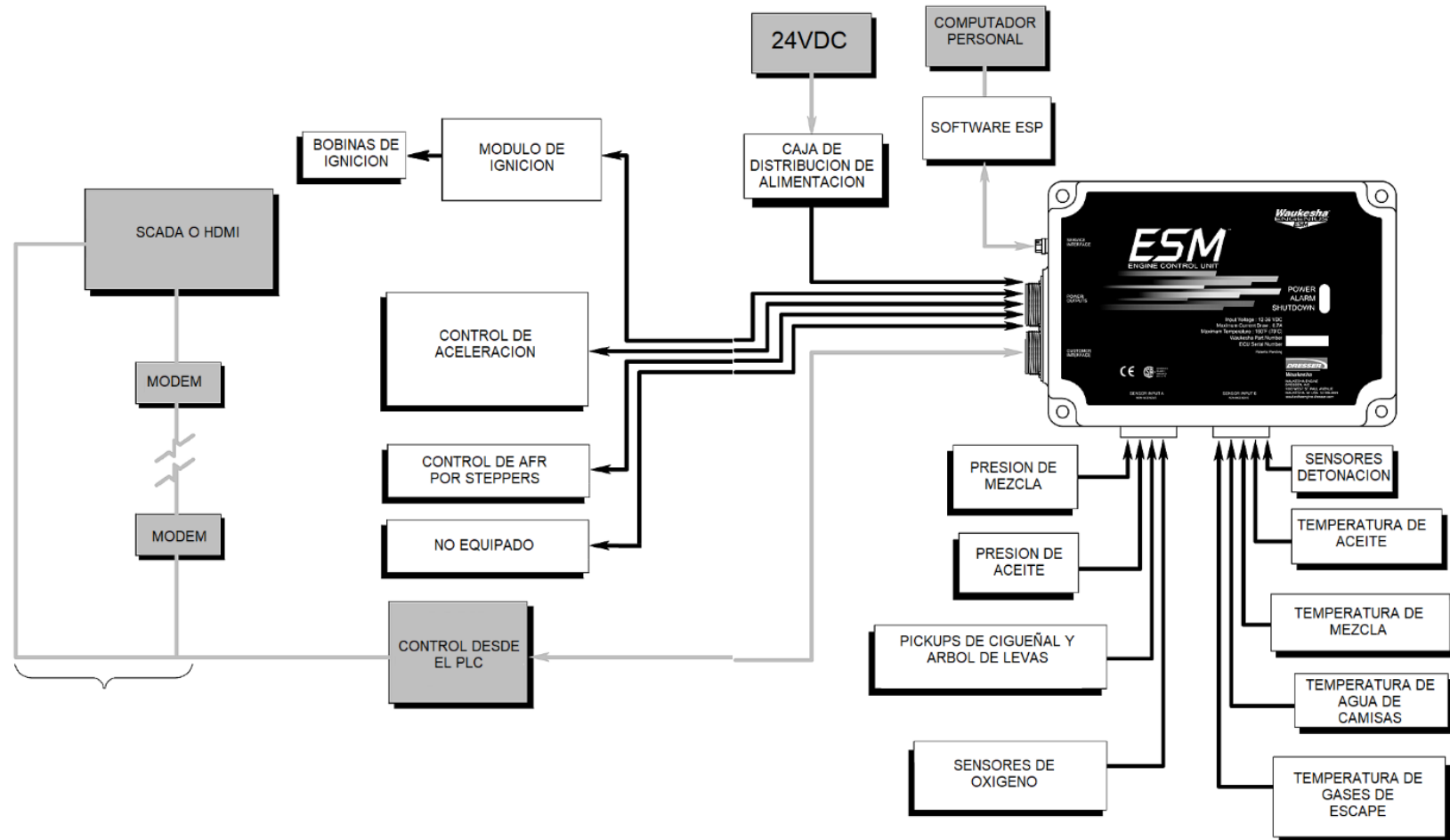
Esta instrumentación está conectada directamente al computador del motor (ESM) por medio de un arnés; el ESM se comunica con el PLC por medio de comunicación digital, señales analógicas y digitales cableadas como se observa en la figura 1.

Existen algunos instrumentos que por seguridad de procesos tienen redundancia como es presión de aceite motor, temperatura de aceite motor, presión de agua de camisas, presión de mezcla por bancos, etc. Estos instrumentos están conectados directamente al PLC y son independientes del ESM.

A continuación, se lista el procedimiento para los instrumentos del ESM.

Figura 1

Diagrama de bloques del control por ESM



Nota. Tomado de Form 6295, Section 1.10: Description of Operation (p. 2-3), Waukesha Engine Dresser Inc., 2007.

**Mantenimiento Sistema de Ignición.** Se puede observar en la tabla 2 y está actualizado en su totalidad según manual 6296 (Waukesha, sf).

1. **Bujías.** Si la bujía tiene más de 5000 h de uso replácela por una nueva.

Desinstalar las bujías retirando el cable de baja de la bobina con la mano.

Con una llave de  $1/2''$  suelte las tuercas que están en la bobina y retírela de la tapa de la culata.

Con la pinza extractora de extensiones retire la extensión de la bobina.

Proceda a retirar la bujía con la copa larga de  $7/8''$ .

Verifique el gap de la bujía en  $0.012\text{ in} \mp 0.01$  (Waukesha, sf), (p. 3)).

Para la instalación de la bujía el torque es de 38 lb-ft (Waukesha, sf), (p. 4)).

2. **Extensiones/Cables de Alta.** Examine el recubrimiento ya que no deben presentar fisuras donde pueda fugarse la corriente. Los anillos y capuchones plásticos deben tener flexibilidad, en caso contrario reemplazar.

Verifique continuidad entre la entrada de bobina y la salida hacia la bujía.

3. **Bobinas.** Realizar la medición entre pines A y B, tenga 0.250 ohm.

Realizar medición de bobina secundaria entre tierra y conexión hacia la bujía, debe estar entre 4.4k – 6.9k ohm.

Con un Megger realice la prueba de aislamiento a 700 V, ente pin A y C, luego entre B y C.

Realice verificación del O-ring de sello con tapa de culata, lubríquelo, de encontrarse en mal estado cámbielo (manual 6296-sect 5.10, (p. 5)).

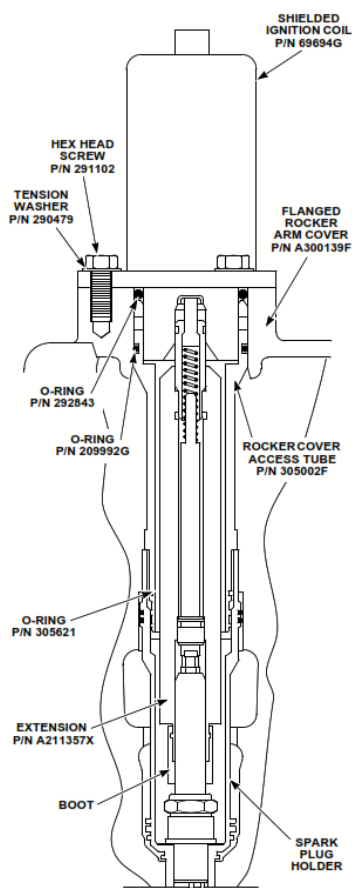
Instale la bobina y aplique torque a las tuercas de 13 lb-ft. (p. 5).

**4. Cables de Baja.** Verificar aislamiento del plug en los puntos A y B con respecto a tierra, el conductor A primario debe estar aislado y el conductor B debe dar continuidad.

Verifique el estado de desgaste de la rosca y de la silicona en el plug. Cambie de ser necesario.

## Figura 2

### Sistema bujía-extensión-bobina



*Nota.* Tomado de Form 6284, Section 4.10: Ignition System Maintenance (p. 4)

## 5. Arnés Botones Parada Emergencia. guía de referencia Figura 3.

Verificar aislamiento del arnés desconectándolo en todos sus puntos y timbrando todos los cables con respecto a ground del arnés, ningún punto debe dar continuidad.

**6. Botones de Parada de Emergencia.** Verifique continuidad en los puntos 1 y 2, realice conmutación del botón y verifique apertura del circuito. En los puntos 3 y 4 realice medición con el botón presionado verificando continuidad, normalice el botón y debe quedar circuito abierto.

**7. Arnés de ECU.** Verificar aislamiento del plug conector con respecto a tierra, el conductor primario debe estar aislado.

Timbre todos los puntos de conexión entre ellos, no debe existir continuidad.

**8. Módulo de Ignición.** actualizado del manual 6295-sect 4.05, (p. 13)

Verifique que los puntos de conexión estén en buen estado, no deben existir pines abollados.

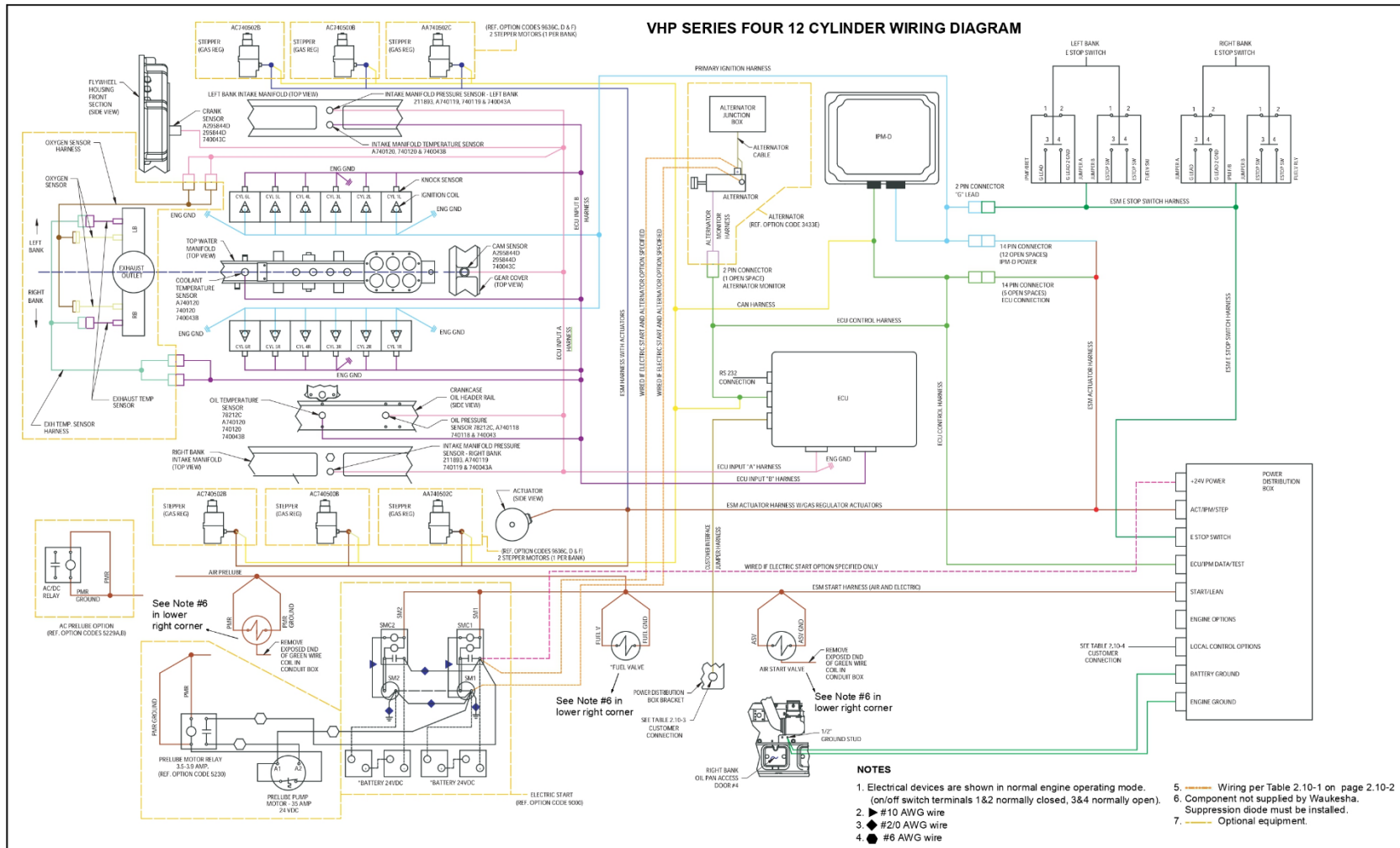
**9. Módulo (ESM).** Verificar con PC el correcto estado del módulo, actualizado del manual 6295-sect 4.05, (p. 13).

Verifique que los puntos de conexión estén en buen estado, no deben existir pines abollados.

En la caja de paso asociada al conexionado del ESM se debe verificar todas las conexiones, ajustando borneras e inspeccionado cableado, realizando limpieza y verificando sello de hermeticidad de la caja.

Figura 3

Diagrama de conexionado



Nota. Tomado de Form 6295, Waukesha® VHP™ Series Four® 12 Cylinder Parts Catalog (p. 72), Waukesha Engine Dresser Inc., 2001.

**Tabla 2***Sistema de ignición.*

<b>Sistema de Ignición</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
SYS IG		Sistema de ignición
HRIGN ON/OFF		Botones parada emergencia
HRIGN	Motor	Arnés del sistema de ignición
HRIGN-ECU		Arnés conexión a las bobinas
HRDET		Arnés de detonación

*Nota.* Propiedad de los autores.

**10. Sensores de Detonación.** actualizado del manual *Form 6295, Section 4.05: ESM System Maintenance (p. 9)*, en la tabla 3 se referencia el sensor.

Desinstale el sensor y aplique limpia contactos electrónicos, seque con aire seco y vuelva a conectar.

Verifique torque a 20 N.M seco.

**Tabla 3***Módulo de ignición y control.*

<b>Módulo ignición y ESM</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>IPM-D</b>		Módulo de Ignición
<b>ESM-ECU</b>	Motor	ENGINE SYSTEM MANAGER, módulo de control de la Máquina

*Nota.* Propiedad de los autores.

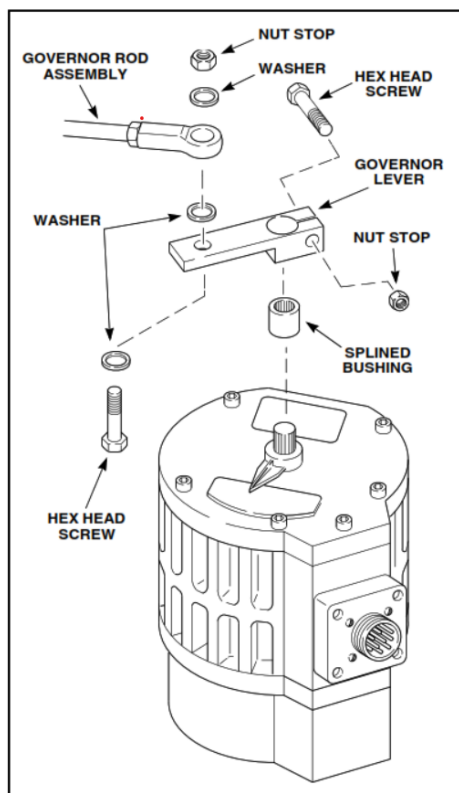
**Mantenimiento Sistema de Control de Velocidad.** El mantenimiento se realizará con los siguientes pasos:

1. **Governador.** actualizado en su totalidad del manual 6295-sect 4.05, (p. 2).

Los siguientes pasos describen el procedimiento para colocar la varilla de conexión del gobernador y las palancas en el actuador y el eje del acelerador.

Instale la palanca del gobernador según Figura 4 en el eje terminal del gobernador al ángulo que se muestra en la figura 5. El eje terminal debe estar en la posición SIN COMBUSTIBLE.

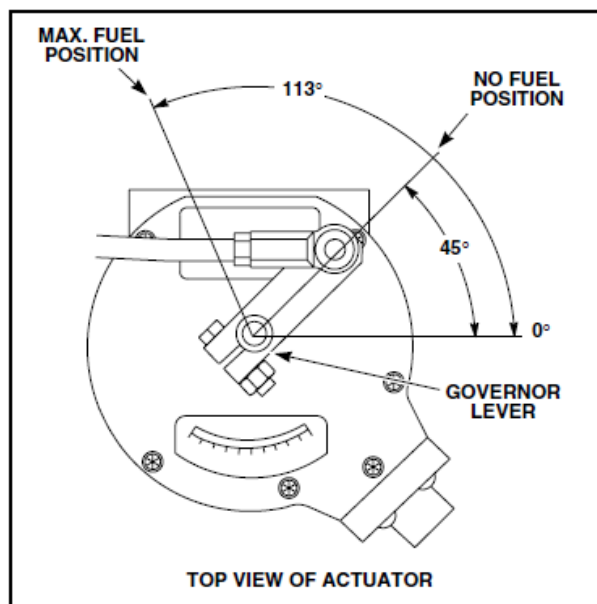


**Figura 4***Conexión mecánica del gobernador*

*Nota.* Tomado de Form 6295, Section 4.05: *ESM System Maintenance* (p. 2), Waukesha Engine Dresser Inc., 2007.

**Figura 5**

*Ángulos de las levas del gobernador*



*Nota.* Tomado de Form 6295, Section 4.05: *ESM System Maintenance* (p. 3), Waukesha Engine Dresser Inc., 2007.

Instale la palanca del acelerador en el eje transversal de regulación al ángulo que se muestra la Figura 14. La válvula de mariposa debe estar en la posición CERRADO.

Fije la varilla del gobernador a la palanca de la válvula mariposa.

Con el eje terminal del gobernador en la posición de SIN COMBUSTIBLE y con la válvula de mariposa CERRADA, ajuste la longitud de la varilla del gobernador de modo que el extremo de la varilla y el agujero en la palanca del regulador queden alineados.

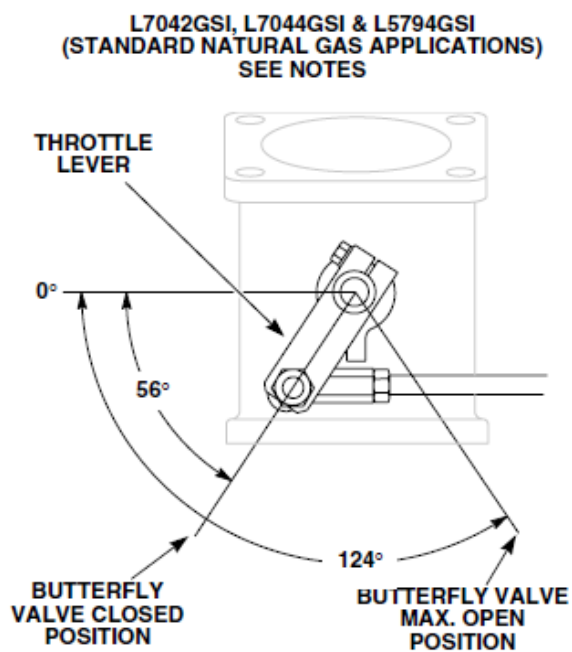
Fije la varilla a la palanca del gobernador.

Verifique que el acelerador y el gobernador viajen a los ángulos especificado en la Figura 4 y 5.

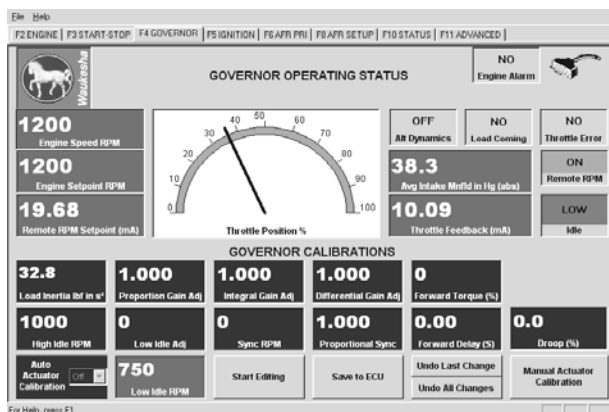
Realice una calibración manual del actuador utilizando ESP, en la Figura 6 en la parte inferior derecha se encuentra el botón de auto calibración.

### Figura 6

*Válvula mariposa y ejes*



*Nota.* Tomado de Form 6295, Section 4.05: *ESM System Maintenance* (p. 5), Waukesha Engine Dresser Inc., 2007.

**Figura 7***Pantalla configuración de gobernador*

*Nota.* Tomado de *Form 6291* (p. 104), Waukesha Engine Dresser Inc., 2001.

1. ***Pick Up RPM y de Tiempo de Encendido.*** Figura 8, tabla 4. Actualizado manual MPU (Altronic, 2022).

Desinstale el pick up del motor, desconectándolo del arnés y soltando la contra tuerca.

Realice limpieza del sensor y la rosca.

Mida la impedancia en los pines A y B, debe ser  $1.5k \pm 0.2$  ohm (MPU, p. 1).

Verifique estado del imán y la rosca de ajuste.

En la instalación verifique que el diente del volante quede enfrentado en donde va a instalar en pickup, inserte totalmente roscando el pickup y cuando llegue a tope devuélvalo  $\frac{3}{4}$  de vuelta y ajuste la contratuerca, esto es para alcanzar el GAP de 0.015 pulgadas. ohm (Altronic, 2022), p. 2).

**Figura 8***Pickup magnético*

*Nota.* Altronic Magnetic Pickup 691 118-3 [imagen]. Recuperado de <https://www.ebay.com/itm/293332489652>

**Tabla 4***Governador y Pick-Up.*

<b>Governador</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>GOV</b>	Motor	Governador
<b>PKUP-RPM</b> <b>PKUP-TIMING</b>		Sensor de velocidad y sensor de tiempo

*Nota.* Propiedad de los autores.

**2. Sensores de Oxígeno.** Figura 9, actualizado manual 6295-sect 4.05, (p. 3).

Verifique horas de uso mediante trazabilidad documentada, si tienen más de 2000h de uso o reemplácelos por unos nuevos.

Desconecte el sensor del arnés.

Desinstale el sensor de la tubería.

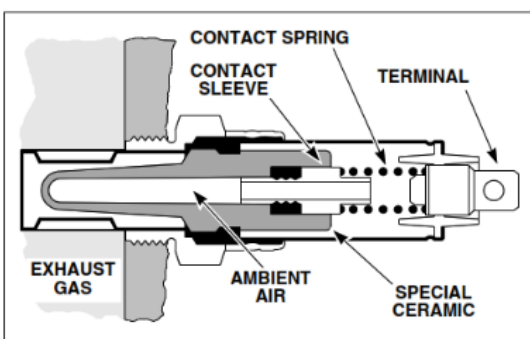
Limpie el área de instalación en la tubería y aplique lubricante antisize.

Instale el sensor nuevo con un toque de 34 ft-lb.

Conecte el sensor al arnés.

### Figura 9

#### *Sensor de oxígeno*



*Nota.* Tomado de *Form 6291* (p. 37), Waukesha Engine Dresser Inc., 2001.

### 3. *Sensor Temperatura Salida del Turbo, Aceite, Agua Camisas, Bancos (Mezcla)*

**L Y R.** Realice inspección de la integridad del instrumento, si observa desviaciones como mal estado de la coraza protectora del cable, realice cambio del instrumento, de lo contrario conecte el instrumento a su respectivo arnés para prueba funcional.

Instale la termocupla en el bloque seco, Figura 10, realice calibración. Si encuentra una desviación en exactitud o histéresis realice el cambio del instrumento.

**Figura 10***Bloque seco*

*Nota.* Ametek JOFRA RTC-187 -45 to 180 C Temperature Calibrator [imagen]. Recuperado de <https://www.instrumentation2000.com/ametek-jofra-rtc-187-temperature-calibrator.html>

#### **4. Sensor Presión Aceite, Agua Camisas, Banco de Entrada (Mezcla) Lado L Y R.**

Realice inspección de la integridad del instrumento, si observa desviaciones como mal estado de la coraza protectora del cable, realice cambio del instrumento, de lo contrario conecte el instrumento al su respectivo arnés para prueba funcional.

Conecte el instrumento a la bomba de presión, Figura 11, y realice calibración. Si encuentra una desviación en exactitud o histéresis realice el cambio del instrumento.

**Figura 2**

*Bomba presión marca Fluke*



*Nota.* Calibrador de presión Fluke 717[imagen]. Recuperado de <https://www.fluke.com/es-sv/producto/herramientas-de-calibracion/calibradores-de-presion/fluke-717>

**Mantenimiento Electroválvulas Motor de Arranque, Pre/Pos-Lubricación y Sistema de Gas Combustible.** Determinado por la siguiente serie de pasos:

**Figura 3**

*Electroválvulas de crank y prelubricación*



*Nota.* Crank a la derecha y prelubricación a la izquierda. Las imágenes son propiedad de los autores.



1. **Electroválvulas.** figura 12, tabla 5, actualizado manual *INS-GEN-1* (Versa Valves, sf) (p. 2).

Inspeccionar conexiones eléctricas, verificar que el cableado no tenga laceraciones ni cables expuestos, los empalmes deben estar bien protegidos y aislados. El estado general de las válvulas debe observarse como en la figura 12 y 13.

La configuración del flujo e instalación de equipos debe encontrarse como en la figura 14.

Des-ensamble de internos, lubricación plug y vástago, limpieza de resorte; Arme nuevamente.

Medir impedancia solenoide, debe estar en un valor de  $60 \pm 6$  ohm, si el valor del solenoide esta fuera de parámetros se debe reemplazar por una nueva.

Revisar o cambiar componentes neumáticos. Revisar fugas externas. Realizar prueba funcional de apertura y cierre. Tomar registro de medición de impedancia y estado de las Electroválvulas.

#### **Figura 4**

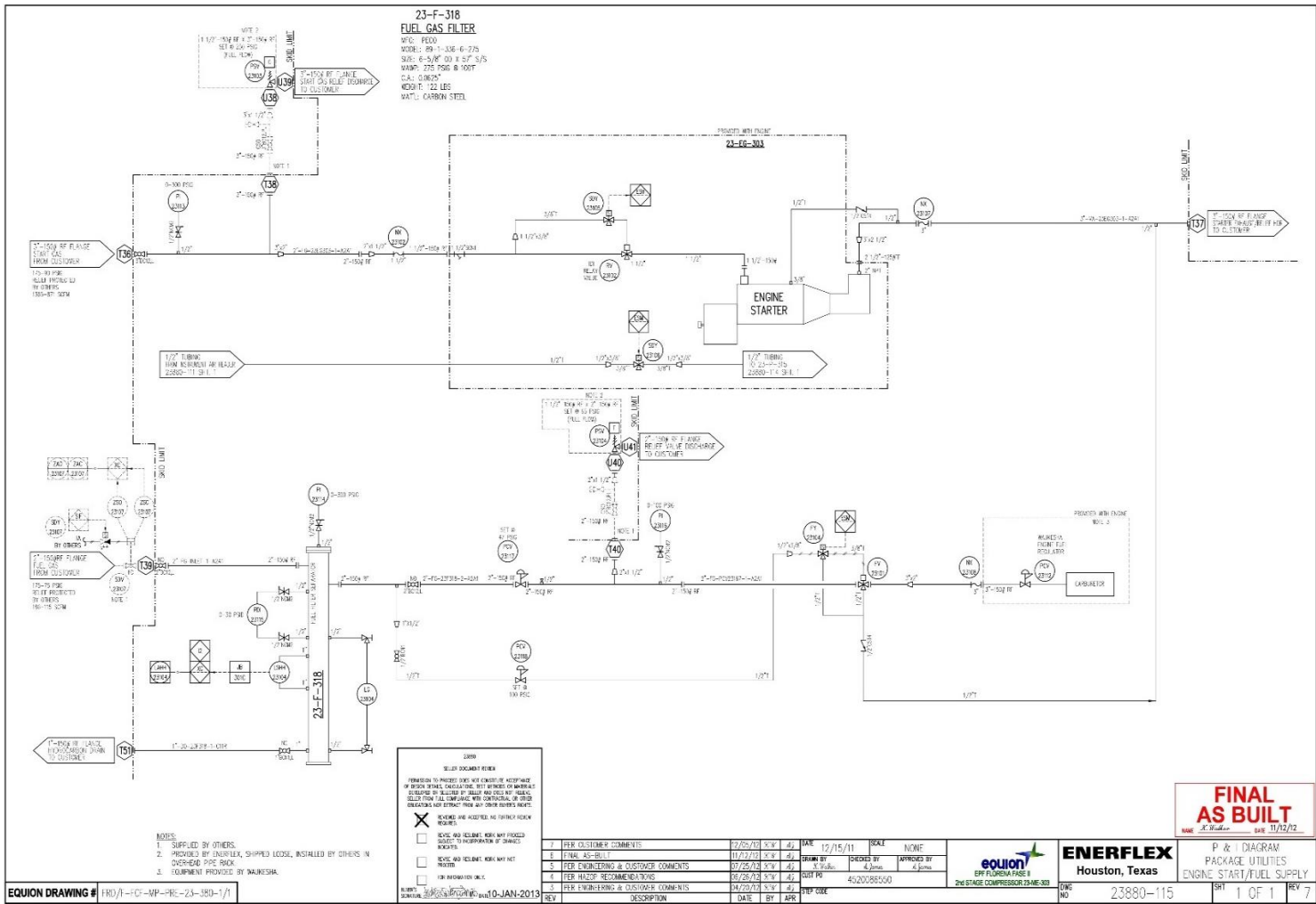
*Electroválvula de combustible*



*Nota.* Las imágenes son propiedad de los autor

Figura 5

Plano general del sistema de combustible



Nota. Tomado de P&I Diagram Package Utilities Engine Start/Fuel Supply, Enerflex, 2012.

**Tabla 5***Electroválvulas del motor*

<b>Nro</b>	<b>Electroválvulas motor</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Gas arranque	Accionada para dar crank.
<b>2</b>	Pre/Pos-lubricadora	Accionada para pre/pos-lubricar
<b>3</b>	Gas combustible	Accionada para dar paso a combustible

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Sistema de Combustión – Mezcla.** Este mantenimiento sigue los pasos:

**1. *Mantenimiento Regulador de Gas de Alta Presión Big Joe.*** Verificar claves en la Figura 15, tabla 6, actualizado completo manual de instrucciones *Formulario 1243* (Fisher, 2008).

Desconectar la tubería del adaptador de entrada (clave 18). Quitar los cuatro tornillos de cabeza (clave 17) y el adaptador.

Quitar el orificio (clave 20) y las empaquetaduras (clave 19).

Destornillar los dos tornillos de cabeza (clave 31) que fijan el adaptador del diafragma (clave 13) al cuerpo (clave 23); quitar el adaptador del diafragma y la caja del resorte acoplado (clave 3).

Si es necesario cambiar la palanca (clave 14), extraer el pasador (clave 15) y deslizar la palanca hacia fuera del adaptador del diafragma. Al cambiar la palanca, asegurarse de que la ranura se acople al conjunto del conector (clave 12) y cambiar el pasador.

Quitar el conjunto de transportador de la válvula (clave 22) del cuerpo.

Para cambiar la superficie de asiento usar una llave de tubo de 19,1 mm / 3/4 pulgadas. para quitar y volver a instalar el disco de la válvula y el conjunto de soporte (clave 21).

Usar empaquetaduras de orificio nuevas (clave 19) y empaquetadura del cuerpo (clave 16) al volver a realizar el montaje. Insertar el conjunto de transportador de la válvula (clave 22) en el cuerpo antes de volver a instalar el adaptador del diafragma.

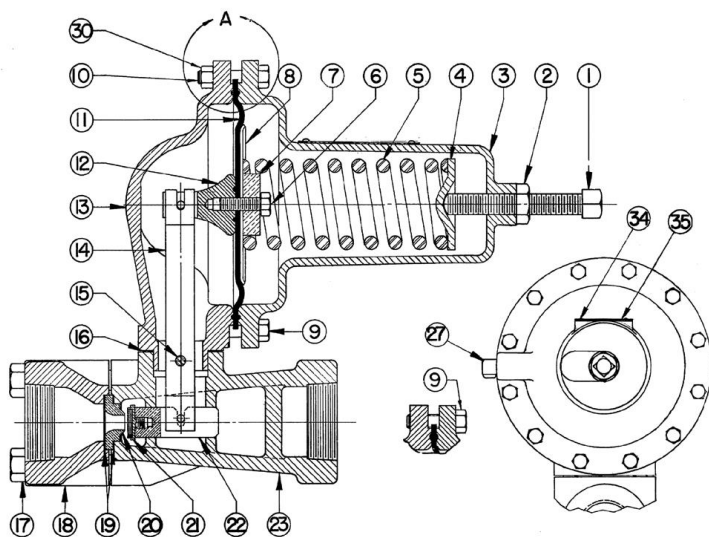
Asegurarse de que la palanca (clave 14) acople el transportador de la válvula.

Fijar el adaptador del diafragma (clave 13) al cuerpo (clave 23). Poner el adaptador de entrada (clave 18) en el cuerpo e instalar y apretar los cuatro tornillos de cabeza (clave 17).

Nota aclaratoria = No se cuenta con banco de pruebas para este tipo de reguladores en el CPF de floreña, por lo tanto, la prueba de funcionamiento se realiza después de instalado en la unidad.

## Figura 6

### Regulador Big Joe



Nota. Tomado de Formulario 1243, Reguladores y Válvulas de Alivio Tipo 630 (p. 6), Emerson Process Management, 2008.

**2. *Mantenimiento a Reguladores de Gas Lado R, L.*** Desensamblar los reguladores de gas Fisher 99h y reemplazar kit de reparación. En la Figura 7 se denota las partes de la válvula y en donde se debe aplicar compuesto anti-agarrotamiento, sellador para enroscado y lubricante.

Asegure que el diafragma tenga contacto pleno con las caras de sello del regulador.

Reemplazar el kit de regulación y balance.

Calibrar en banco de pruebas con cabeza presión igual a 25 psi con caída de presión de 5 “H<sub>2</sub>O.

Figura 7

## Despiece del regulador de gas Fisher 99h

## Lista de piezas de la válvula principal

Clave Descripción	Clave Descripción	Clave Descripción	Clave Descripción
1 Caja de resortes	9 Palanca	17 Carcasa de válvula	28 Anillo de retención
2 Asiento de resorte principal	10 Placa de diafragma	18 Sujetador	29 Caja inferior
3 Resorte principal	11 Diafragma	19 Disco	56 Caja superior
4 Varilla de diafragma	12 Tornillo de tapa	20 Orificio	57 Junta de caja de resortes
5 Conjunto de guía de varilla	13 Tuerca hexagonal	21 Retenedor	58 Tornillo de tapa
6 Collar	14 Tuerca de unión	22 Tornillo de tapa	77 Bonete
7 Junta de poste del impulsor	15 Anillo de resorte de carcasa	25 Pasador	133 Codo de tubería
8 Conjunto de poste del impulsor	16 Junta de carcasa	26 Portador de válvula	134 Boquilla de tubería
		27 Pasador de palanca	152 Tornillo de accionamiento

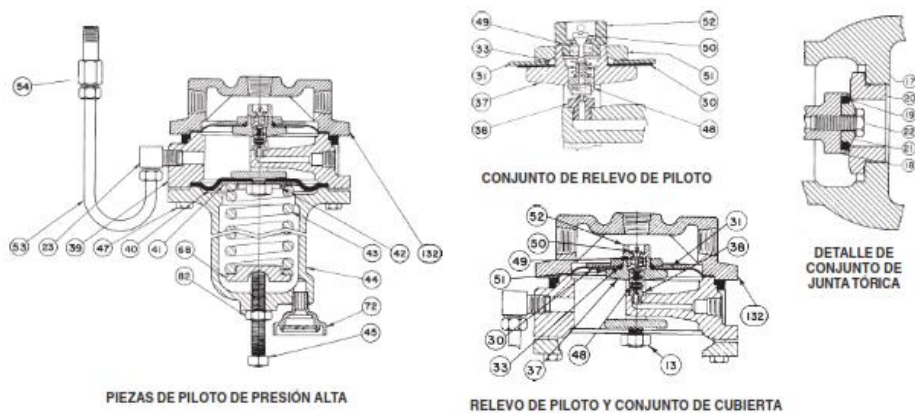
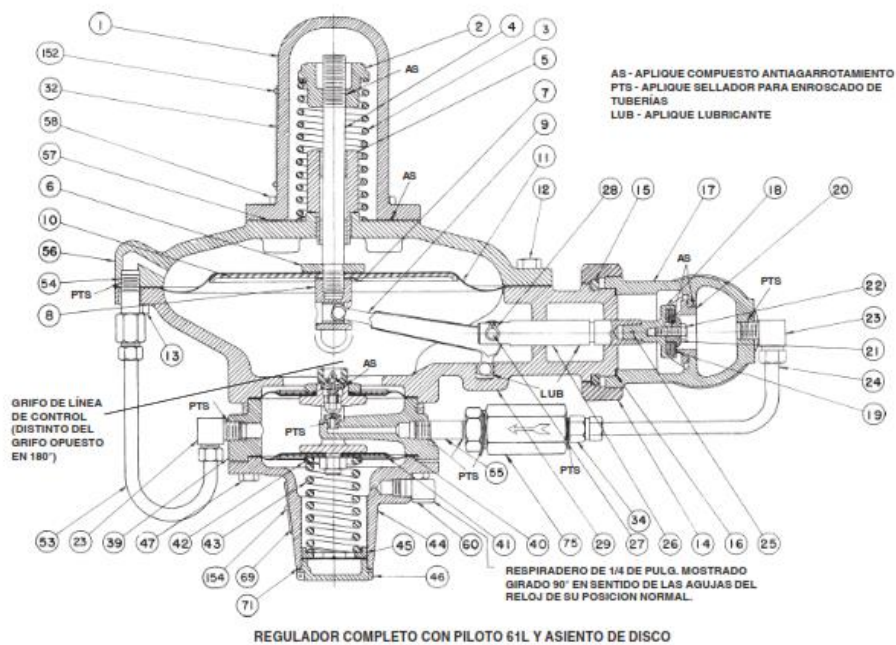


Figura 2. Regulador Tipo 99 con conjunto de piloto 61L (presión baja) o 61H (presión alta)

Nota. Tomado de Guía de instalación del tipo 99 (p. 3), Fisher Controls International Inc., 2002.

**3. *Stepper Motor.*** Mantenimiento anual, figura 17, tabla 6, actualizado completo manual 6295, *Section 4.05: ESM System Maintenance (p. 11)*.

Desconecte el stepper del arnés.

Desinstale el stepper y el resorte interno del regulador, figura 7.

Limpie y lubrique el resorte y el eje del stepper.

Con el stepper desconectado del regulador proceda a conectarlo al arnés.

Con el ESM energizado y mediante el software ESP se debe realizar un recorrido de pasos desde 500 hasta 5500, con intervalos de 500 pasos y verificar que el eje del stepper gire y de los avances proporcionalmente. Cambie por uno nuevo si presenta daño o fallas.

Des energice el ESM, desconecte el arnés del stepper, instale el resorte y el stepper en el regulador.

Conecte el arnés al stepper.

### **Figura 8**

*Stepper motor*



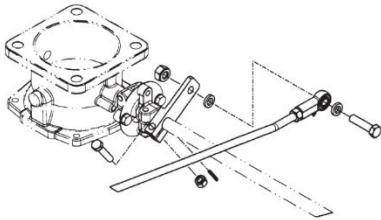
*Nota.* Tomado de *Form 6295, Section 1.10: Description of Operation (p. 16)*, Waukesha Engine Dresser Inc., 2007.

**4. *Mantenimiento Carburador Lado R Y L.*** Desensamblar e instalar kit de reparación. Se debe asegurar que el resorte del cono de mezcla quede bien instalado, ensamblar y ubicar la válvula de compuerta en la mitad del desplazamiento total.

**5. *Mantenimiento Válvula Choke Manual Carburador Lado R Y L.*** Desensamblar y realizar mantenimiento eliminando la suciedad, reemplazar bujes, si presentan daño por desgaste cambie eje y disco lengüeta, figura 18.

### **Figura 9**

*Válvula choke*



*Nota.* Tomado de *Form 6302-2, VHP Series Four 12 cylinder with ESM parts catalog (p. 64), Waukesha gas engines, 2011.*

**6. *Indicador Presión de Vacío.*** Realice calibración y limpieza, si la indicación es errónea Cambiar Indicador de presión de vacío filtros de aire. Instalar nuevos.

**7. *Ajuste del Actuador Waste Gate Lado Derecho(R) e Izquierdo (L).*** Figura 19, tabla 7.

Verificación ajuste de presión de accionamiento conectando una línea de presión de aire regulada con indicador de presión en la entrada del actuador de la waste gate.

Comience a aumentar la presión de aire hasta alcanzar los 9 psig, el vástago no debe moverse, si lo hace ajuste el tornillo del resorte y realice nuevamente el ajuste.

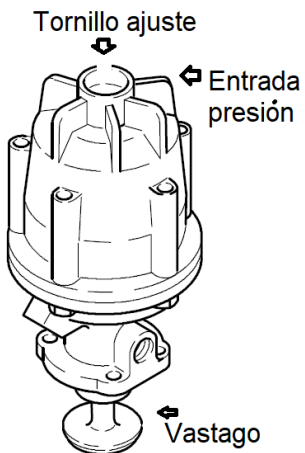


El vástago debe dejar de moverse a los 18 psi, de no ser así realice el ajuste y nuevamente inicie ajuste.

En los puntos de inicio y final de desplazamiento del vástago realice la medición de este, debe estar en 40 mm de carrera. De no ser así se debe cambiar la válvula.

### Figura 10

*Válvula waste gate*



*Nota.* Tomado de *Form 6291* (p. 180), Waukesha Engine Dresser Inc., 2001.

**Tabla 6**

*Válvula reguladora de Gas Combustible, Carburador, Waste gate y Pick-Up.*

<b>Instrumentos</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>BIG JOE</b>		Regulador de gas BIG JOE
<b>V/V Reguladora de gas</b>		Reguladora de gas y Stepper Motor.
<b>CARB-R</b>		Carburador lado R
<b>CARB-R</b>		Carburador lado L
<b>VCHOK-R</b>	Motor	Válvula de choke manual carburador lado R
<b>VCHOK-L</b>		Válvula de choke manual carburador lado L
<b>VALW (A)</b> <b>VALW (B)</b>		Actuador Waste Gate Motores Waukesha R y L

*Nota.* Propiedad de los autores.

Nota aclaratoria = En este punto se finaliza la instrumentación que está directamente relacionada con el ESM y nativa del motor.

**Mantenimiento a Sistemas de Protección PSD (Protection Shut Down).** Esta instrumentación es controlada por el sistema SIS y BPCS del PLC cliente. Es decir que ya no es nativa de Waukesha.

**1. *Mantenimiento Interruptor de Vibración Motor y Cooler.*** Figura 20, tabla 7, actualizado del manual (Murphy, 2017).

Realice prueba de vibración arrancando el equipo asociado, si el VSH no se dispara detenga la unidad, ajuste la sensibilidad  $\frac{1}{4}$  en contra de las manecillas del reloj y repita el arranque de la máquina. Repita este procedimiento hasta que el VSH se dispare en el arranque de la unidad.

Con la unidad parada y el VSH activo, normalice el instrumento y ajuste la sensibilidad  $\frac{1}{4}$  con las manecillas del reloj.

Con el multímetro conectado al micro-switch verifique conmutación desde 0.1 ohm hasta circuito abierto.

Verifique en el panel de control en la tarjeta de entradas digitales que el canal asociado a esta señal conmute y normalice según el estado del instrumento.

## Figura 20

### *Interruptor de vibración*



*Nota.* Tomado de *Installation Instructions Shock/Vibration Control Switches (p. 1), Murphy, 2017*

**2. Interruptor y Controlador de Nivel Aceite Motor.** Figura 21, tabla 7, actualizado del manual (Kenco Engineering Company, 2013).

Realice prueba del control de nivel soltando la toma de baja del Kenco y drene el aceite, el flotador del Kenco debe bajar y dar paso a nuevo aceite, cierre el drenaje y el Kenco tiene que

reponer el aceite hasta la mitad de la mirilla, si el control no está operando con este estándar realice cambio de componentes, flotador y válvula de sellado.

Realice prueba bajo nivel, drene el Kenco y con el multímetro conectado al micro-switch verifique conmutación desde 0.1 omh hasta circuito abierto.

Para el cambio de componentes.

Inspeccione el kit de flotador para asegurar que es el correcto, hay tres tipos, estándar, para presión de 0.76 a 9.5 psig y un diámetro interior de 7/32"; HPA, para una presión de 10 a 35 psig y un diámetro interior de 3/32" y HPB, para una presión de 36 a 70 psig y un diámetro interior de 1/16". El que se utiliza en estas unidades compresoras es el "estándar".

Retira la tapa superior del controlador incluyendo la placa de identificación.

Retire el pasador y el flotador del mecanismo de bisagra.

Retire los tornillos de soporte de la bisagra y el soporte de la bisagra.

Retire el asiento de la válvula evitando daño en la superficie de sellado.

Limpie las superficies de sello.

Instale el asiento nuevo aplicando traba-roscas, aplique torque de 6 lb-ft.

Instale el flotador nuevo e instale todos los soportes retirados anteriormente.

Instale la tapa superior del kenco y realice pruebas de funcionamiento en el controlador e interruptor.

## Figura 11

*Interruptor y controlador de aceite*



*Nota.* Controlador de nivel kenco klce-27-FS-N50 [imagen]. Recuperado de

<https://www.seyber.com/kenco>

**3. Switch de Nivel Agua Principal y Auxiliar.** Figura 22, tabla 8, actualizado del manual *Liquid Level Switches* (FW Murphy, 2021).

Realice prueba funcional drenando el tanque de agua.

Verifique el canal de control asociado a la señal.

Medir impedancia micro switch NC-C en 0.1 ohm retirando la tapa del switch, Revisión acometida eléctrica. Ajuste de borneras.

Para cambio del instrumento.

Asegure que el flotador este ajustado con el eje.

Antes de instalar el interruptor de nivel aplique teflón y después instale el instrumento.

Ajuste el instrumento hasta que la conexión eléctrica quede hacia abajo.

Realice las pruebas iniciales para asegurar la instalación correcta.

**Figura 12***Interruptor de nivel*

*Nota.* Tomado de *Installation and Operations Manual Liquid Level Switches*, FW Murphy, 2021.

**Tabla 7**

*Switch tanque agua auxiliar y principal, Controlador de nivel de aceite, Transmisor de vibración Cooler y motor.*

Switch	Ubicación	Descripción
SV-COL		SWITCH DE VIBRACIÓN COOLER
SL-OM	Auxiliares	SWITCH DE NIVEL ACEITE MOTOR KENCO
SL-H		SWITCH DE NIVEL TANQUE AGUA CAMISAS
SL-H-A		SWITCH DE NIVEL TANQUE AGUA AUXILIAR

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Válvulas Auto-Reguladas de Aire.** Figura 23, tabla 8, Se debe asegurar que el regulador de aire cumpla las características volumétricas y de presión requeridas para alimentar el sistema en la siguiente tabla:

**Tabla 8**

*Reguladores de aire.*

<b>Servicio</b>	<b>Presión</b>	<b>Volumen</b>
<b>Principal</b>	100 psig	4,350 SCFH
<b>PV de reciclo</b>	60 psig	4,350 SCFH
<b>SDV's y BDV's</b>	80 psig	4,350 SCFH

*Nota.* Propiedad de los autores.

Se debe asegurar que los elementos de regulación tengan instalada la unidad de mantenimiento en el orden de Filtro, regulador y lubricador, verificar que la línea de flujo este en la dirección correcta. Si se requiere regulación suelte la contra tuerca superior y ajuste el tornillo de regulación a la posición en donde el regulador entrega la presión deseada.

**Figura 13**

*Regulador de aire*



*Nota.* Regulador de presión Serie 67C Fisher™ [imagen]. Recuperado de

<https://puffer.com.co/producto/regulador-de-presion-serie-67c-fisher/>

**Mantenimiento a Transductores de Presión.** Mantenimiento a transmisores de Presión K1, figura 24, actualizado del manual 25-2924 (Ashcroft, 2012).

**1. Calibración y/o Ajuste Cero.** Retire la tapa superior del instrumento retirando los cuatro tornillos.

Conecte el instrumento a una fuente de presión y un patrón.

Conecte al lazo de corriente un patrón de corriente.

Cuando esté totalmente a presión atmosférica realice cero al patrón.

Si el instrumento no está en cero proceda a mover el potenciómetro de ajuste hasta lograr 0 psi y 4.000 mA.

Verifique en el panel de control que el instrumento indique 0 psi.

**2. Calibración y/o Ajuste Span.** Aplique presión con la bomba hasta llegar al URV del instrumento referenciando el patrón.

Si el instrumento no está en el mismo valor proceda a ajustarlo con el potenciómetro de SPAM hasta llegar al valor deseado y 20.000mA.

Verifique en el panel de control que el instrumento indique el mismo valor que el instrumento.

**3. Prueba de Lazo.** Conecte el instrumento a una fuente de presión, un patrón de presión y un patrón de corriente.

Con el patrón de presión indicando 0 psi, verifique en el panel de control indique igualmente 0 psi, en el patrón de corriente debe estar en 4.000mA.

Con el patrón de presión indicando 25% del valor de URV, verifique en el panel de control indique igualmente 25% del valor de URV, en el patrón de corriente debe estar en 8.000mA.



Con el patrón de presión indicando 50% del valor de URV, verifique en el panel de control indique igualmente 50% del valor de URV, en el patrón de corriente debe estar en 12.000mA.

Con el patrón de presión indicando 75% del valor de URV, verifique en el panel de control indique igualmente 75% del valor de URV, en el patrón de corriente debe estar en 16.000mA.

Con el patrón de presión indicando valor de URV, verifique en el panel de control indique igualmente el valor de URV, en el patrón de corriente debe estar en 20.000mA.

4. ***Ajuste de Conexiones Eléctricas.*** Realice la verificación del conexionado en la tarjeta de entradas análogas del PLC. Aplique limpia contactos electrónicos y realice limpieza.

5. ***Ajuste Conexiones a Proceso.*** Ajuste las conexiones roscadas tipo tubing.

#### **Figura 14**

*Transductor de presión*



*Nota.* Transmisor de Presión – Modelo K1 [imagen]. Recuperado de

<https://ashcroftsudamericana.com/produtos/instrumentos-de-pessao/transmissores/transmisor-de-presion-modelo-k1/>

**Mantenimiento Preventivo Sistema Control BDVs Y SDVs.** El mantenimiento en estos componentes se divide en tres instrumentos, la electroválvula, el regulador de aire y el posicionador. Los componentes BDVs Y SDVs se muestran en la tabla 9.

**1. Para las Electroválvulas.** Inspeccionar conexiones eléctricas, verificar que el cableado no tenga laceraciones ni cables expuestos, los empalmes deben estar bien protegidos y aislados.

Des-ensamble de internos, lubricación plug y vástago, limpieza de resorte; Arme nuevamente.

Medir impedancia solenoide, debe estar en un valor de  $320 \pm 32$  ohm, si el valor del solenoide esta fuera de parámetros se debe reemplazar por una nueva.

Revisar o cambiar componentes neumáticos. Revisar fugas externas. Realizar prueba funcional de apertura y cierre. Tomar registro de medición de impedancia y estado de las Electroválvulas.

**2. Para el Posicionador.** figura 23, manual TECH 552 (Westlock Controls, sf).

Retire la tapa del indicador de posición, los 4 tornillos superiores, (parte amarilla), en donde se verifica el estado del o-ring. Si presenta cristalización cámbielo por uno nuevo, si se encuentra en buen estado lubríquelo con grasa común.

Retire la tapa superior donde se encuentra los interruptores de posición magnéticos, verifique ausencia de humedad o sulfatación en los componentes, realice medición de los micro switch entre los contactos cerrado y común, debe estar por debajo de 1 ohm.

Realice pruebas de apertura y cierre verificando conmutación de los interruptores e indicación de posición correcta en el panel view.

Realice verificación el estado del o-ring de la tapa y del eje. Si presenta cristalización cámbielo por uno nuevo, si se encuentra en buen estado lubríquelo con grasa común.

Instale nuevamente componentes y realice una última prueba de apertura y cierre corroborando la información en el panel view.

### **Figura 15**

*Indicador de posición*



*Nota.* Rotativo ATEX/IEC – 2200/2600 [imagen]. Recuperado de <https://www.westlockcontrols.com/product/atex-iec-rotary-2200-2600/>

**Tabla 9***SDVs y BDVs*

<b>SDV &amp; BDV</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Instrumentos</b>
SDV (Succión)		Solenoide SDV
SDV (Descarga)		MICROSWITCH posición abierta
BDV (Descarga a TEA)	Auxiliares	
SDV (drenaje de líquidos)		MICROSWITCH posición cerrada

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Preventivo a Visores de Nivel.** Realizar limpieza al visor con desengrasante al visor. Revisar integridad y conexión al proceso. En la tabla 10 se observa el visor de nivel.

**Tabla 10***LGs – Vidrio de niveles*

<b>VISOR (LG)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
LG SUCTION SCRUBBER	Auxiliares	Visor de nivel scrubber

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Preventivo a Trasmisores de Nivel.** En la tabla 11 el transmisor de nivel.

Al no tener partes móviles que pierdan tolerancia la rutina de mantenimiento no es requerida (según (AMETEK Magnetrol, 2022)).

Realizar limpieza al transmisor, en la sonda, la conexión de sonda y en general.

Retire la tapa de conexiones y verifique el o-ring de sello, si presenta cristalización cámbielo, de lo contrario lubríquelo con grasa común.

Ajuste conexiones electrónicas y verifique estado de cableado.

Realice prueba funcional con vasos comunicantes en los puntos 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Verifique la medición con panel view.

Normalice el instrumento.

### Tabla 11

#### *Transmisor de nivel*

<b>Controlador de nivel (LC)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>LC Scrubber</b>	Auxiliares	Trasmisor de nivel

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Preventivo a Válvula de Control de Nivel.** En la figura 26 se observa la descripción de la válvula de control de nivel del *Manual D103042X0ES* (Fisher, 2023) y en la tabla 12 la imagen real del equipo.

**1. Desmontaje.** Quitar el tubo de presión de carga y todos los accesorios que puedan dificultar el desmontaje.

Liberar la tuerca martillo (clave 6) con un martillo. Seguir girando la tuerca martillo con un martillo o una llave ajustable grande enroscada en una oreja de la tuerca martillo. Si el bonete

está atrapado en la válvula, seguir desenroscando la tuerca martillo. La tuerca martillo hará contacto con las patillas del resorte (clave 7) y forzará la salida del bonete de la válvula. Levante con cuidado el actuador, el bonete y el conjunto del obturador de la válvula para retirarlos del cuerpo de la válvula.

Utilice una llave de tubo para aflojar el anillo del asiento (clave 3).

Retire el anillo del asiento (clave 3) y la empaquetadura del anillo del asiento (clave 9) del cuerpo de la válvula.

Inspeccione las piezas para detectar desgaste y daños que pudieran impedir el funcionamiento correcto del cuerpo de la válvula. Limpie con cuidado las superficies de la empaquetadura del anillo del asiento y las roscas del anillo del asiento.

Solo para cierre por resorte: Para quitar el obturador de la válvula (clave 2), expulse la patilla de la ranura (clave 4) y desatornille el obturador de la válvula del vástago (clave 47). Si la patilla de la ranura (clave 4) no está expuesta, verifique que el movimiento descendente del vástago no esté limitado por varillajes de instrumentos unidos al vástago (clave 47). Si el obturador de la válvula no puede desenroscarse fácilmente del vástago, use un punzón para evitar que gire mientras se retira el obturador.

Solo para apertura por resorte: Para retirar el obturador de la válvula (clave 2), remueva primero el conjunto de la carcasa del resorte (clave 27). Quitar la tuerca de rosca de ajuste (clave 44), el asiento del resorte superior (clave 29) y el resorte (clave 30). Empuje el vástago de ajuste (clave 31) completamente hacia abajo hasta que la placa del diafragma (clave 40) entre en contacto con los tornillos cilíndricos (clave 38), para que la patilla de la ranura (clave 4) en el obturador quede expuesta. Si la patilla de la ranura (clave 4) no está expuesta, verifique que el movimiento descendente del vástago no esté limitado por varillajes de instrumentos unidos al

vástago (clave 47). Expulse la patilla de la ranura (clave 4) y desatornille el obturador de la válvula del vástago (clave 47). Si el obturador de la válvula no puede desenroscarse fácilmente del vástago, use un punzón para evitar que gire mientras se retira el obturador.

**2. Montaje.** Debe asegurarse de que la junta O-ring de bonete (clave 8) esté en el bonete y lubricada con grasa de litio (clave 49).

Instale el obturador (clave 2) en el vástago (clave 47) e inserte una nueva patilla en la ranura (clave 4).

Limpie completamente el anillo del asiento y las roscas del bonete en el cuerpo de la válvula (clave 1). Limpie también las superficies de la empaquetadura del anillo en el asiento del cuerpo de la válvula.

Aplique lubricante antiadherente (clave 54) en las roscas del anillo del asiento (clave 3) y en las roscas correspondientes al cuerpo de la válvula.

Aplique lubricante antiadherente (clave 54) en la empaquetadura del anillo del asiento (clave 9) e instálela en el cuerpo de la válvula.

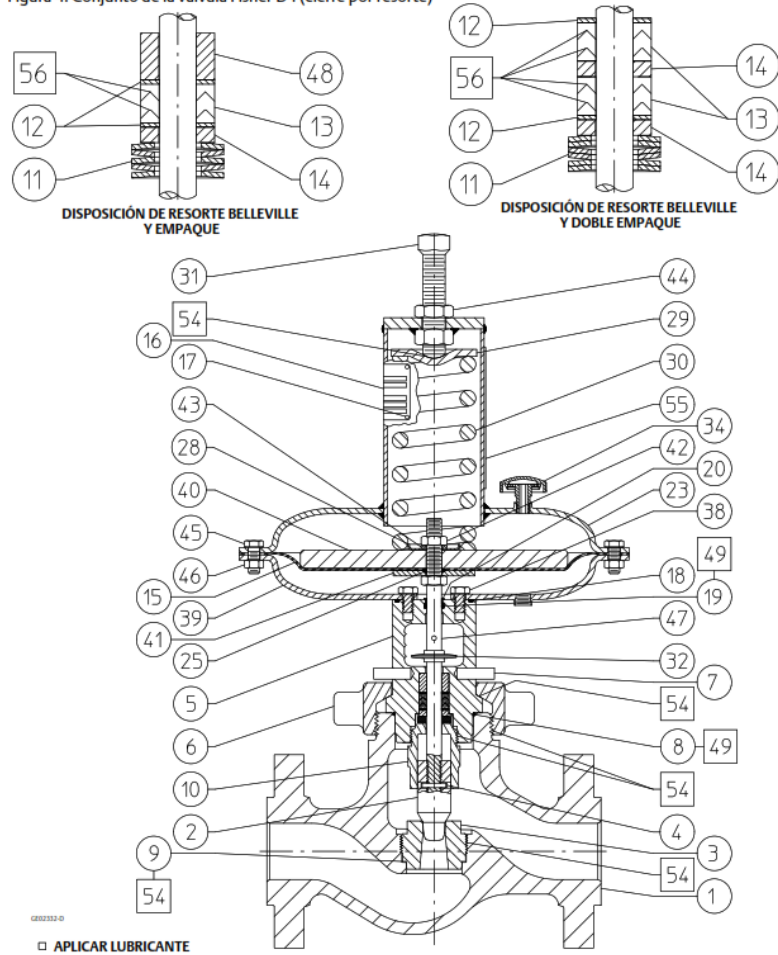
Enrosque el anillo del asiento en el cuerpo de la válvula. Use una llave de tubo para ajustar el anillo del asiento según los valores torque que se muestran en la tabla 8. Quite todo el lubricante que sobra luego del ajuste.

Lubrique (clave 54) las roscas en el cuerpo de la válvula, la tuerca martillo y las superficies en contacto con el bonete y la brida de la tuerca martillo. Instalar en el cuerpo de la válvula el conjunto de bonete y actuador con el obturador de la válvula fijado. Ajustar la tuerca martillo con una llave ajustable hasta que la tuerca deje de girar. Se requerirán algunos golpes de martillo para asegurar que el conjunto esté ajustado.

## Figura 16

### Válvula control nivel

Figura 4. Conjunto de la válvula Fisher D4 (cierre por resorte)



Nota. Tomado de *Manual de instrucciones D103042X0ES, Conjunto de válvula de control Fisher™ D4*

(p. 18), Fisher, 2023.



**Tabla 12***Válvula de control de nivel*

<b>Válvula control (LCV)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>LCV SCRUBBER</b>	Auxiliares	Válvula de control de nivel FISHER D4

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Preventivo a Solenoide.** Inspeccionar conexiones eléctricas, en la tabla 13 se muestra control de válvula.

Medir impedancia solenoide. Debe estar en  $50 \pm 6$  ohm.

Revisar fugas externas.

Realizar prueba funcional de apertura y cierre.

**Tabla 13***Solenoide controlador de nivel*

<b>Solenoide (LY)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>LY Scrubber</b>	Auxiliares	Solenoide control de válvula

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Preventivo a Válvula de Control de Presión.** Esta válvula casi no opera, por lo tanto, en la estrategia de mantenimiento se estableció un trabajo mayor por falla. En la tabla 14 se observa la válvula de control.

Inspeccionar conexiones eléctricas en el posicionador.

Verificar sellos tipo o-ring en el posicionador, lubricar con grasa común.

Verificar recorrido de válvula y del IP.

Revisar fugas externas.

Realizar prueba funcional de apertura y cierre.

**Tabla 14**

*PCV Reciclo*

<b>Válvula de reciclo (PCV)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
<b>PCV Reciclo</b>	Auxiliares	Válvula PCV reciclo

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento Preventivo Indicadores de Presión y Temperatura.** Estos elementos por estrategia de mantenimiento están clasificados en mantenimiento en demanda. En la tabla 15 se muestran los elementos indicadores de presión y temperatura.

Inspeccionar conexiones a proceso.

Realizar calibración de instrumento en banco de prueba, cambio si se requiere.

**Tabla 15***Indicadores de presión y temperatura*

<b>Indicadores de presión y temperatura (TI,PI)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
PI Succ Scrubber		PI succión
PI Desc Scrubber		PI descarga
TI Succ Scrubber TI Desc Scrubber	Auxiliares	TI succión de primera TI descarga primera
TI Reciclo		TI reciclo

---

*Nota.* Propiedad de los autores.

### ***Mantenimiento instrumentación del compresor***

**Mantenimiento de Switch de No Flujo.** En la figura 27 se muestran los partes del DNFT de acuerdo con el manual *2M\_LED LIT* (Whitlock Instrument, 2022) y en la tabla 16 la imagen del equipo. El cambio de batería P/N: 000505 se realizará según los pasos determinados a continuación:

Use un rathe de 3/8” para remover el “pipe plug” de ½” NPT.

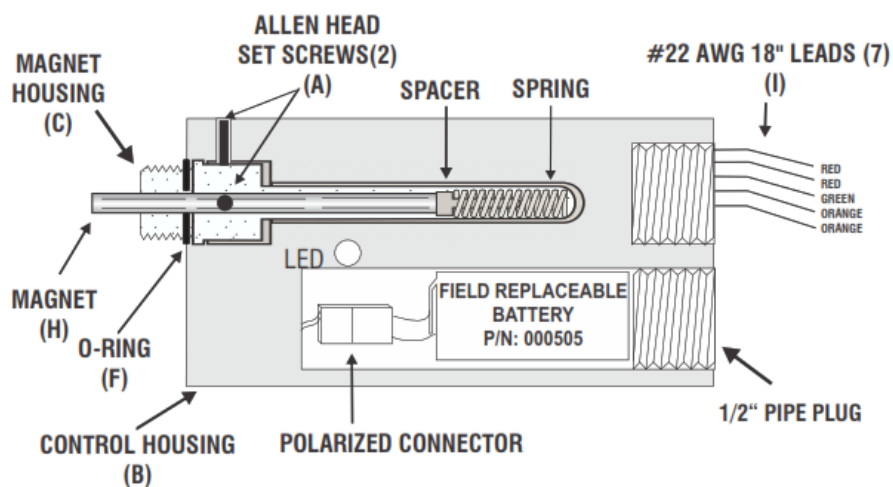
Remueva la batería del DNFT.

Instale la nueva batería conectándola.

Verifique que el DNFT esté funcionando correctamente realizando un movimiento en el magneto y confirmando con el led.

**Figura 17**

*Partes del DFNT (Digital no Flow-timer)*



*Nota.* Tomado de *2M\_LED Literature* (p. 4), *DNFT-LED*, Whitelock Instrument, 2022.

**Tabla 16**

*Switch no flujo*

DNFT	Ubicación	Descripción
Switch No Flow	Compresor	Lubricator No Flow

*Nota.* Propiedad de los autores.

**Mantenimiento del Sistema V-guard.** En los manuales *A6096Man* (Windrock Inc., sf), *603 Series* (IMI Sensors, 2015) y *Manual 61207* (Windrock Inc., sf) asociados a la tarjeta y al acelerómetro no se especifica mantenimiento.

Verifique conexiones en la tarjeta principal, ajustando borneras y midiendo voltajes

Alimentación = 24vdc.

Acelerómetros = 10-11vdc conectados, 20 vdc desconectados.

Alimentación en los contactos secos.

Verifique conexionado en las cajas de conexionado (empalme de cableado) hacia los acelerómetros y el pick up.

Verifique que la conexión en los acelerómetros, ésta en buen estado, aplique limpia-contactos y limpie por suciedad.

Verifique rigidez del soporte de los acelerómetros, no debe presentar ningún movimiento.

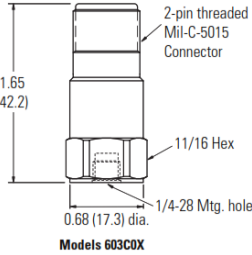
De ser necesario retire el soporte completamente, limpie la superficie completamente, aplique pegante (pegante + catalizador) instale nuevamente el soporte y sosténgalo por 1 minuto hasta que no se mueva, déjelo secar mínimo 2 horas (cura completamente en 24hrs) e instale nuevamente el sensor teniendo cuidado con la dirección del pin roscado (parte hexagonal donde se aplica el torque con la llave allen va hacia afuera del sensor).

Asegure el sensor que está instalado en el canal sea el mismo que este configurado en la tarjeta V-GUARD. (00 10mV/g, 01 100mV/g y 05 50mV/g).

**Figura 18**

Partes del DFNT (Digital no Flow-timer)

603 Series Low Cost ICP® Accelerometers						
Technical Specifications						
	603C00	603C05	603C01	603C11	603C61	603C02
<b>Performance</b>						
Sensitivity	10 mV/g 1.02 mV/(m/s <sup>2</sup> )	50 mV/g 5.1 mV/(m/s <sup>2</sup> )		100 mV/g 10.2 mV/(m/s <sup>2</sup> )		500 mV/g 51.0 mV/(m/s <sup>2</sup> )
Measurement Range	±500 g ±4,905 m/s <sup>2</sup>	±100 g ±981 m/s <sup>2</sup>		±50 g ±490 m/s <sup>2</sup>		±10 g ±98 m/s <sup>2</sup>
Frequency Range (±3 dB)	0.5 to 10,000 Hz	1.2 to 10,000 Hz		0.5 to 10,000 Hz		0.5 to 3,000 Hz
Resonant Frequency			25,000 Hz			
Broadband Resolution	2,000 µg 19,620 µm/s <sup>2</sup>	750 µg 7,358 µm/s <sup>2</sup>		350 µg 3,434 µm/s <sup>2</sup>		300 µg 2,943 µm/s <sup>2</sup>
Non-Linearity			±1%			
Transverse Sensitivity			≤7%			



Nota Tomado de 603 Series Low Cost ICP® Accelerometers IMI Sensors (p. 2).

### Mantenimiento Instrumentación del Panel de Control.

1. **Mantenimiento Panel View.** Manual 2711p (Rockwell Automation Inc., 2020), (p. 222).

Aplicar limpiador de contactos electrónicos, realizar prueba funcional, verificar contraste, verificar puntero pantalla. Verificar sensibilidad al tocar, ajustar conexiones eléctricas. La batería no se cambia, solo se retira al final de su vida útil. En la tabla 17 se muestra el panel principal.

2. **Mantenimiento y limpieza pulsadores.** Limpiar humedad y sulfatación.

Aplicar limpiador de contactos electrónicos.

Realizar cambio de componente por vida útil si requiere.

Realizar prueba funcional, ajustar conexiones eléctricas.

3. **Mantenimiento bombillos, diodos led.** Verificar correcto encendido y apagado.

Verificar ausencia de humedad y sulfatación.

Aplicar limpiador de contactos electrónicos.

**Tabla 17***Panel Principal*

<b>LCP y Panel view</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>
LPC	Auxiliares	Panel Local De Control
PVW-1000		Panel View 1000 Plus, Visualiza Señales De La Máquina

*Nota.* Propiedad de los autores.

4. ***Mantenimiento Módulo Entradas Digitales, Entradas Análogas, Entrada de Frecuencia, Termocuplas, Salidas Digitales, Salidas Análogas, PLC.*** (Rockwell Automation Inc., 2011).

En el manual no hace referencia a mantenimiento, es reservado a fabricante.

Des energizar PLC y tarjetas antes de comenzar.

Retirar tarjetas y limpiar con un cepillo y alcohol isopropílico los puntos de conexión.

Conectar nuevamente y verifica estado de cableado, ajustar conexiones.

Energizar nuevamente y verificar que los leds de estado queden en verde.

Verificar canales simulando las variables de entrada y salida de cada módulo.

Cambiar si presenta deterioro.

5. ***Mantenimiento Borneras y Fusible.*** Inspeccionar estado físico, si presenta deterioro se deba cambiar por uno nuevo.

Medir impedancia, no debe ser mayor a 0.2 ohm.

6. ***Medición Voltaje SCR Relevos de Estado Sólido.*** Aplicar 24vdc y medir contactos NO/C, NC/C. En estado cerrado no debe superar los 0.2 ohm, en estado abierto debe superar los 20 mega ohm.

## **Pruebas de Puesta a Punto**

### ***Pruebas en Vacío***

Visualizar y verificar de datos operativos.

### ***Pruebas con Carga***

Visualizar y verificar de datos operativos.

### ***Recomendaciones CBM***

Visualizar y verificar datos operativos.

### ***Unidad en Línea***

Visualizar y verificar de datos operativos.

## **Etapa 3**

Con la implementación del procedimiento actualizado se realizaron pruebas operativas utilizando los nuevos pasos procedimentales y documentando los resultados, se establecieron diferencias con los anteriores mantenimientos y se crearon formatos para implementar con la trazabilidad necesaria.

Apéndice A, procedimiento actualizado

Apéndice B, formatos en blanco

Apéndice C, formatos diligenciados

Apéndice D, Informe general de mantenimiento.



#### **Etapa 4**

Durante la ejecución de los trabajos de mantenimiento preventivo en donde se utilizaron los dos procedimientos, el antiguo y el actualizado, se pudo determinar las diferencias entre los dos.

Las diferencias son las siguientes.

Menos subjetividad estableciendo parámetros operacionales.

Mayor número de pasos específicos.

Pruebas de funcionamiento más objetivas.

Mayor cantidad y calidad de datos técnicos en los reportes de mantenimiento, figura 29 y 30.

#### **Figura 19**

*Reporte con antiguo procedimiento*

<b>Convención:</b>	Se realiza instalación del sistema de ignición de la unidad, instalando 12 bujías, 12 bobinas y
<b>Trabajo Realizado:</b>	12 cables de altas nuevas, se verifica la calibración de las bujías y se encuentran en parametros normales.
<b>130</b>	

*Nota* Las imágenes son propiedad de los autores.

## Figura 30

### *Reporte con procedimiento actualizado*

Convención:	Trabajo Realizado:
130	Se realiza mantenimiento a sistema de ignicion
	se desinstala del motor las 12 bobinas,
	se desinstala del motor las 12 extensiones de bobinas,
	se desinstala del motor las 12 bujias.
	bujias= se realiza limpieza de las 12 bujias en taller, calibrando GAP de 0.012in
	extensiones bobina= se examina recubrimiento de las extensiones y no presentan fisuras, los anillos y capuchones tienen flexibilidad.
	se verifica continuidad entre la entrada de la bobina y la salida hacia la bujia satisfactoriamente, se realiza limpieza.
	bobinas= se realiza limpieza con limpiacontactos electronicos, se realiza medicion de la bobina secundaria entre tierra y conexion hacia bujia encontrandose con un promedio de 4.7k ohms. Se realiza prueba de aislamiento a 700 V entre pines a-c y b-c. en buen estado.
	se lubrica o-ring en buen estado.
	se realiza instalacion de las 12 bujias a un torque de 38lbs.
	se realiza instalacion de las extensiones de bobina.
	se realiza instalacion de las 12 bobinas a un torque de 13lbs.
	Sistema de ignicion queda normalizado, unidad queda disponible para operacion.

*Nota.* Las imágenes son propiedad de los autores.

En el CPF de Floreña opera Ecopetrol, esta empresa tiene un sistema de gestión administrativo llamado SAP, en este sistema se encuentra la trazabilidad de los trabajos, aunque SAP no es un sistema nuevo y también se utilizaba con la anterior operadora si ha cambiado mucho en su interface, los activos asociados y las autorizaciones de navegación, esto ha generado un nuevo aprendizaje en su utilización que como consecuencia no se guardó información en muchos casos de mantenimientos no programados. Con los pocos datos que si se guardaron se realiza un análisis de los últimos doce meses.

Figura 20

Captura de pantalla del sistema SAP

S	Aviso	Orden	Fa.inic.extrema	Fa.fin.extrema	Texto breve	Ubicación técnica	Pto.tbjo.responsable	Clase actividad PM	Campo clasificación	Equipo	Fecha creación
	200189881	20582001	06.09.2021	20.09.2021	23-C-101D, línea de Impluso	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	05.11.2020
	200189994	20582086	06.09.2021	20.09.2021	23C101D baja temperatura CL6L motor	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-SE-112100	11259035	05.11.2020
	200196868	20593701	06.09.2021	20.09.2021	Cambio termocouplas de Main Bearing 101D	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-EG-101D	11250630	04.12.2020
	200228030	20688566	13.08.2021		23C01D Revisar baja presión aceite y fram	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-PT-11210	11259049	14.08.2021
	400251309	20693242	16.03.2022	29.03.2022	EF-FLO-043 emisión regulador 23-C-101D	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	24.08.2021
	400251370	20693243	10.05.2022	10.05.2022	EF-FLO-045 emisión perilla sello reguladr	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	24.08.2021
	200229814	20696151	28.10.2021	10.11.2021	23C101D Revisar CL4 motriz baja temp	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D-LCP	11259024	01.09.2021
	200233928	20711482	06.10.2021		23-C-101D, Presenta alta vibración cil 3	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	06.10.2021
	200236807	20722298	08.11.2021	01.11.2022	23-C-101D Falla activación sist V-guard	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	09.11.2021
	200260962	20814338	20.05.2022		23-C-101D LG roto TK agua auxiliar	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	31.05.2022
	200271000	20864049	03.08.2022		23-EG-101D baja temperatura cil No 5L	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	22.08.2022
	200274846	20868967	29.08.2022		problemas en control de velocidad	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	29.08.2022
	200281258	20893473	07.10.2022		Corregir fuga agua tubing 3/8 refrigerac	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	07.10.2022
	200285756	20910271	04.11.2022		23-EG-101D fallas sistea V-guard Cil 7	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-EG-101D	11250630	06.11.2022
	200291795	20935970	10.01.2023	23.01.2023	SDV-10901(Succión) presenta falla cierre	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	22.12.2022
	200291793	20942375	28.02.2023	13.03.2023	EF-FLO-045 Correccion Emisión 23-F-101D	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	05.01.2023
	200300650	20968646	27.02.2023		ODM para cubrir correct. en FL-23-C-101D	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	21.02.2023
	200302542	20977279	05.03.2023		23-C-101D Revisión /calibración KENKO K	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	07.03.2023
	200305962	20994741	12.05.2023	23.05.2023	Revisión al kemko del compresor 23C101D	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-C-101D	11250618	04.04.2023
	200318985	21032286	05.06.2023		Revisión de LSHH-1128	FYP-PCPF-SPGA-FL23-FL23C101D	DINSEFLO	C01	FL-23-LSHH-11228	11259069	08.06.2023

Nota. Últimos 3 años de mantenimientos correctivos, disciplina instrumentación, unidad compresora FL23C101D. Las imágenes son propiedad de los autores.

Figura 21

Últimos doce meses de mantenimientos no programados en la unidad FL23C101D



Nota. Las imágenes son propiedad de los autores.

## **Análisis de las Gráficas**

En la figura 32 se puede observar que en un periodo de 9 meses se realizó un promedio de 0.785 mantenimiento correctivo por mes, 0.8 antes del mantenimiento en donde se aplicó el procedimiento actualizado y 0.75 después de que se aplicó el procedimiento actualizado.

Las fallas que se presentaron después del mantenimiento preventivo en donde se utilizó el procedimiento actualizado son las siguientes:

1. ODM para cubrir correctivos en la FL-23-C-101D.
2. 23-C-101D Revisión /calibración KENKO K.
3. Revisión al kenco del compresor 23C101D.
4. Revisión de LSHH-11128.

La primera es despreciable ya que se crea para un imprevisto, no se crea por que exista una falla real.

La segunda y tercera falla son para el mismo equipo, Kenco compresor, esta falla ocurre por varios motivos entre ellos trabajo en conjunto con mecánica, es decir que es necesario añadir más pasos al procedimiento en donde se tenga en cuenta el trabajo simultáneo.

La cuarta es en interruptor de nivel, en el cual interviene igualmente la parte eléctrica al realizar la medición de cortos, aterrizamientos o aperturas de cableado. Es necesario que se incluya en el procedimiento este trabajo simultáneo.

## Conclusiones

Con la implementación de este nuevo procedimiento actualizado se evidenció que existían fallas debido al uso del procedimiento desactualizado, estas fallas están relacionadas con el no conocimiento de componentes técnicos que ahora están descritos en el nuevo procedimiento actualizado, los nuevos formatos garantizan una mejor calidad por su contenido claro y valores de magnitudes estandarizados sin dejar nada a la subjetividad de la persona que ejecuta el trabajo. Finalmente es evidente que para realizar de manera perfecta el mantenimiento es necesario implementar nuevas herramientas de diagnóstico y capacitación al personal ejecutante.

En el análisis de fallas después de aplicar el procedimiento actualizado no se evidencia que las fallas disminuyan significativamente, esto es debido a que el sistema de trazabilidad de fallas no está implementado correctamente, las fallas que ocurrieron están asociadas a instrumentos que tuvieron mantenimiento, pero la falla es en el sistema asociado al instrumento en donde otras disciplinas están involucradas, el procedimiento mecánico y el eléctrico. Se puede concluir que es necesario ampliar el procedimiento con elementos de trabajos simultáneos interdisciplinarios.

La diferencia que se encontró en la resolución de fallas antes y después del procedimiento actualizado es que la información obtenida para el diagnóstico permitió que se invirtiera menos tiempo y recursos, esto impacta significativamente en varios escenarios como la reputación de la empresa, la disponibilidad de los compresores, los recursos que ahora no se usan en diagnóstico y reparación se pueden invertir en otros trabajos.

### Referencias Bibliográficas

- Altronic. (2022). *Manual MPU 8-22 Magnetic Pickup (MPU)*. USA.
- AMETEK Magnetrol. (2022). *Manual 57-657.4 SIL Certified Safety Manual for Eclipse® Model 706-512X-XXX*. USA.
- Ashcroft. (2012). *Manual 250-2924. Rev. A 7/12 K1, K2, K8 Pressure Transducer Instruction Sheet*. USA.
- Ecopetrol. (2020). *Gas Injection Compressor PKG. D*.
- Enerflex. (2012). *Plano 23880-115 P&ID Fuel y Start Gas*. USA.
- Fisher. (2002). *Manual 139262 Guía de instalación Fisher 99*. USA.
- Fisher. (2008). *Formulario 1243 Reguladores y Válvulas de Alivio Tipo 630*. USA.
- Fisher. (2023). *Manual D103042X0ES Conjunto de válvula de control Fisher™ D4*.
- FW Murphy. (2021). *Manual 00-02-0671 Liquid Level Switches Series LS200, LS200N and LS200NDVOR*. USA.
- Gruhn, P. &. (2005). *Safety Instrumented Systems: Design, Analysis, And Justification* (2.a ed. ed.). ISA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- IMI Sensors. (2015). *Manual 603 Series Low Cost ICP® Accelerometers*. New York.
- ISA. (2009). *Manual ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification*. North Carolina: ISA.
- Kenco Engineering Company. (2013). *Manual 74887 Controller-OF-KLC-Install*.
- Murphy. (2017). *Manual 00-02-0185 Shock/Vibration Control Switches Models: VS2, VS2C, VS2EX, VS2EXR, VS2EXRB and VS94*. USA.

- Rockwell Automation Inc. (2011). *Manual 1769-in088 Installation Instructions moduls 1769-IQ16*. USA.
- Rockwell Automation Inc. (2020). *Manual 2711P PanelView Plus Terminals*. USA.
- Rosemount Inc. (2012, Noviembre). *Reference Manual, Transmisor de presión Rosemount 3051*. Retrieved from <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3051-transmisor-de-presi%F3n-con-protocolo-hart-es-es-78704.pdf>
- Versa Valves. (sf). *Manual INS-GEN-1 (Rev-A) General Installation and Maintenance of Versa Valves*. New Jersey.
- Waukesha. (2007). *Form 6295 Engine System Manager Operation & Maintenance*.
- Waukesha. (2011). *Manual 6302-2 VHP Series Four 12 cylinder with ESM parts catalog*. USA.
- Waukesha. (2019). *Manual VHP serie Five L7044GSI S5*. Retrieved from Waukesha VHP serie Five L7044GSI S5: <https://www.innio.com/es/noticias-y-medios-de-comunicacion/centro-de-medios-de-comunicacion/fichas-tecnicas/waukesha-vhp-serie-five-l7044gsi-s5>
- Waukesha. (sf). Section 4.10 Ignition System Maintenance. In Waukesha, *Form 6284* (pp. 1-14).
- Waukesha. (sf). Section 5.10 Ignition System. In Waukesha, *Form 6296* (pp. 1-36).
- Westlock Controls. (sf). *Manual TECH-552-Enra 2200 Series Atex And Iec Ex Certified Installation And Operating Instructions*. USA.
- Whitlock Instrument. (2022). *2M\_LED LIT Data sheet DNFT*. Odessa, Tx.
- Windrock Inc. (sf). *Manual 61207 V-Guard II*. Knoxville, TN.
- Windrock Inc. (sf). *Manual A6096MAN Industrial Vibration Sensor General Operation Manual*. USA.

## Apéndices

### Apéndice A

*Procedimiento Actualizado*

[Procedimiento actualizado FORMATO STORK.pdf](#)



**Apéndice B**

*Formatos en blanco*

[FORMATOS BASE](#)

## **Apéndice C**

*Formatos diligenciados*

[FORMATOS DILIGENCIADOS](#)

**Apéndice D**

*Informe general de mantenimiento*

[Informe Mantenimiento Instrumentación asociada en MOH - FL-23C-101D.pdf](#)