



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE  
HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

“IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO  
A EQUIPOS ELÉCTRICOS PARA COMPRESIÓN DE GAS  
NATURAL”

REPORTE DE EXPERIENCIA LABORAL PARA OBTENER EL  
TITULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA  
JOSUÉ DE JESÚS MUÑOZ TRUJILLO

ASESOR  
M.C. MIGUEL ROQUE VASQUEZ HERNANDEZ

MORELIA MICHOACÁN

MARZO DEL 2023



## Agradecimientos

A mis padres queridos por su apoyo incondicional, por ser mis más grandes maestros y estar conmigo en cada momento difícil de mi vida. Por darme su mano cuando me han visto caer y por saber aconsejar a mis oídos distraídos.

Agradecer a mi padre que en paz descansa por su esfuerzo y su arduo trabajo para que pudiera cumplir esta meta, un abrazo hasta donde estés.

Agradecer a mi madre por haber dado su vida por nuestra familia y que hasta la fecha lo sigue haciendo, siendo ella el pilar de nuestro hogar, y la visionaria mujer que logro formar una familia de la cual hoy todos nos sentimos orgullosos.

Quiero agradecer al amor de mi vida Jazmín, por estar apoyándome en todo desde el primer día juntos, y por ser esa mujer incondicional que se ha quedado en los momentos más difíciles, por su paciencia hacia mi persona y solo dios sabe cuanta paciencia le ha de dar, gracias por ser el pilar de mi vida y mi motivación más grande, gracias por darme tu mano al verme caer y llevarme hasta lograr el éxito.

Gracias a mi hermana por estar apoyándome en cada momento y permitirme ser su consejero y amigo.

A mis abuelos Jesús Muñoz, Octavio Trujillo y Ma. Santos Rangel por haberme apoyado con sus consejos y poder dejarme compartir tantas vivencias junto a ellos.

Quiero agradecer a mis maestros que más que eso han sabido ser amigos.

Gracias:

Dr. Ing. Víctor L. Santoyo

Ing. Armando Muñoz

Ing. Ricardo Robles

L.C.P. Lourdes Larios

L.C.P. María Guadalupe Corona Zúñiga

M.C. Ricardo Jacobo Tinoco

Sra. Gloria Trujillo

M.C. Miguel Roque Vázquez

M.C. Alberto Gutiérrez Martínez

M.C. Héctor Rodríguez

Dr. José Alberto Avalos (R.I.P.)

Gracias por haberme dado la oportunidad de aprender de ustedes y poder colaborar en los distintos proyectos que hemos desarrollado.

A mis amigos Juan Cortes, Gibrán Cortes y David Ramírez por su apoyo incondicional.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Octavio Trujillo Rangel por haber sido uno de mis más grandes maestros y quien me mostro el gusto por la ingeniería eléctrica

## **Abstract**

This paper describes the experience of implementing a maintenance program for electrical equipment in the natural gas compression workplace, specifically electric motors, electrical installations, and motor control centers. Highlighting the skills and aptitudes that are required and are developed with practice, in addition to the challenges faced by the personnel in charge of the compression maintenance area and the applicable regulations for this type of system. In the development of said document, it is sought to expose a practical problem that requires theoretical knowledge to substantiate the results that were needed from an analysis of the state of the machinery, likewise apply that knowledge to the proposed solution to guarantee the continuity of the compression service. of gas and avoid unscheduled stoppages and reduce the man-hours applied to the machine, in addition to giving an introduction to the types of maintenance and is to explain what each one of them is about, in addition to the advantages of applying them in a timely manner , also adding experiences of extra activities that are required for the profile of an electrical engineer in the field to be able to perform a more complete job and thus venture into other areas.

## **Resumen**

El presente trabajo describe la experiencia de implantar un programa de mantenimiento a equipos eléctricos en el área laboral de compresión de gas natural, específicamente a motores eléctricos, instalaciones eléctricas y centros de control de motores. Resaltando las habilidades y aptitudes que se requieren y se van desarrollando con la práctica, además de los retos a los cuales se enfrenta el personal encargado del área de mantenimiento de compresión y las normativas aplicables para este tipo de sistemas. En el desarrollo de dicho documento se busca exponer un problema práctico que requiere de conocimientos teóricos para fundamentar los resultados que se obtuvieron de un análisis de estado de la maquinaria, así mismo esos conocimientos aplicarlos a la solución propuesta para garantizar la continuidad del servicio de compresión de gas y evitar paros no programados y reducir el tiempo de horas hombre aplicadas a la máquina, además de dar una introducción a los tipos de mantenimientos y es explicar de qué va cada uno de ellos, además de las ventajas de aplicarlos en tiempo y forma, agregando también experiencias de actividades extras que

requieren para el perfil de un ingeniero eléctrico en el campo para poder desempeñar un trabajo más completo y así incursionar en otras áreas.

### **Palabras clave**

- Estación madre.
- Ducto.
- Arrancador suave.
- Controlador Lógico Programable.
- Transductores electrónicos.

## **Dedicatoria**

Este reporte es dedicado a todos aquellos estudiantes que cursan su proceso para ser ingenieros.

A mis maestros que durante mi estancia en la facultad me ayudaron y apoyaron para tener una sólida formación académica.

Les quiero compartir que se arriesguen a buscar o realizar trabajos que les puedan dejar experiencias que les favorecerán y les servirá más adelante.

Además de tener bases sólidas de teoría que les ayudaran a fundamentar sus trabajos futuros y así poder ser mejores profesionistas.

Hoy en día el mercado laboral tiene demanda de ingenieros con más de una disciplina, así que en este reporte les comparto

## Contenido

Agradecimientos.....	2
Abstract.....	4
Resumen .....	4
Palabras clave .....	5
Dedicatoria.....	6
Tabla de figuras .....	9
Capítulo 1 .....	10
Introducción.....	10
Capítulo 2 .....	11
2.1 Gas Natural de Uruapan.....	12
2.2 Giro de la empresa. ....	13
2.3 Estructura de una estación de compresión. ....	14
2.4 Proceso de compresión. ....	15
Capítulo 3 .....	17
Diagnóstico integral de la maquinaria. ....	17
3.1 Recopilación de información por equipo. ....	17
3.2 Toma de parámetros y Operación del equipo. ....	21
3.2.1 Criterios de selección de parámetros.....	21
3.3 Análisis de mediciones. ....	22
3.4 Resultado del análisis de la máquina. ....	23
Capítulo 4 .....	24
Plan de mantenimiento.....	24
4.1 Indicadores clave mecánicos del motor. ....	24
4.2 indicadores clave eléctricos del motor. ....	25
4.3 Indicadores clave de desempeño del compresor. ....	25
4.4 Tipos de mantenimiento.....	26
CAPITULO 5 .....	28
Actividades adicionales. ....	28
CAPITULO 6 .....	31
6.1 Conclusiones generales.....	31

6.2 Conclusiones como técnico en mantenimiento.....	32
Bibliografía y fuentes de consulta. ....	33
Anexos.....	34

## Tabla de figuras

Figura 2.1 Estación madre ubicada en Perif. Paseo de la República 7875, 14 de Febrero, 58147 Morelia, Mich. ....	13
Figura 2.2 Vista de la estación Madre, en la parte izquierda al fondo se encuentra el cuarto de compresión y el ducto de alimentación.....	13
Figura 2.3 Derivación de gasoducto y city gate. ....	14
Figura 2.4 Distribución de compresores.....	15
Figura 2.5 HMI del compresor, muestra las presiones de trabajo .....	15
Figura 2.6 Diagrama de proceso de compresión. ....	16
Figura 3.1 Recomendaciones generales de mantenimiento de un motor. ....	17
Figura 3.2 Tabla de cantidad de grasa e intervalos de lubricación.....	18
Figura 3.3 Tabla de severidad de vibración de acuerdo a la norma ISO 10816-3.....	18
Figura 3.4 (1) Conexión directa, (2) Dentro de una conexión en delta. ....	19
Figura 3.5 Diagrama esquemático de conexión del motor, y tomas parámetros de corriente y voltaje. ....	20
Figura 3.5 Toma de puntos de vibración y temperatura de los cojinete del motor. ....	21
Figura 3.6 Toma de puntos de temperatura en los devanados.....	22
Figura 4.1 Tipos de mantenimiento.....	27
Figura 5.1 Tarjeta de control. ....	28
Figura 5.2 Tarjeta de potencia. ....	28
Figura 5.3 Tarjeta de potencia con daños. ....	29
Figura 5.4 Paro de emergencia dañado.....	30
Figura 5.5 Válvula de control electro neumático. ....	30

# Capítulo 1

## Introducción.

La realidad de un alumno que ingresa a estudiar cualquier carrera es que nunca sabe cuál será el área en la que se especializará ya que muchas veces la razón por la cual ingresamos a prestar nuestro servicio profesional es muy variada, puede ser por que encontramos gusto en esa área, por necesidad de trabajar, o por coincidencias de la vida. En mi caso fue una coincidencia llegar al equipo de consultores de Servicios de Innovación Gestión y Manufactura (SIGEMA), ya que en mi gusto por la innovación en el año 2016 se ganó un concurso por parte de la facultad de ingeniería eléctrica en uno de sus aniversarios y uno de los jueces fue el Ing. H. Rodríguez jefe de mantenimiento de redes de baja y media tensión de Comisión Federal de Electricidad (CFE), haciendo buenas relaciones publicas me invita a visitar las oficinas para ver si había oportunidad de realizar mis practicas o servicio en oficinas divisionales, lugar en el cual conocí al Dr. Ing. Víctor L. Santoyo director de SIGEMA y de igual manera al coincidir en varios trabajos para CFE me invita a formar parte del equipo de consultores siendo yo el encargado de realizar las tareas relacionadas con la parte eléctrica, electrónica y de control, logrando realizar varios trabajos y así mismo aprendiendo técnicas para implementar mantenimientos y gestionar mejoras para equipos y maquinaria de nuestra cartera de clientes.

El giro principal de la empresa es realizar consultoría y desarrollo de prototipos para empresas, a mí me gusto el enfoque en la especialización de mejora continua para lo cual el Dr. Víctor me capacito en la metodología desarrollada por el en su tesis doctoral para conocer el proceso de implementación de un sistema de calidad y competitividad con enfoque a mantenimiento. Teniendo más conocimiento y práctica se dio la oportunidad de realizar trabajos enfocados a la parte eléctrica, por relaciones laborales en común con el jefe de comprensión de Gas Natural de Uruapan (GNU), se me dio la oportunidad de prestar mis servicios para complementarles su plan de mantenimiento en la parte eléctrica, con un proyecto de una duración de poco más de un año comenzando el 1 de noviembre de 2021 y culminando el mismo, el 23 de noviembre del 2022.

## Capítulo 2

Las normativas son reglas que se piden como mínimo en las instalaciones, procesos y equipo de protección para garantizar la seguridad del personal, si en el ingreso a una empresa no se tiene conocimiento de las mismas es de vital importancia pedir manuales de seguridad o investigar por cuenta propia las normativas relacionadas con las áreas en que se tendrá contacto. Algo que la experiencia me ha enseñado es que el área de mantenimiento siempre se debe involucrar en el proceso, ya que para establecer el plan de mantenimiento se debe conocer a los alcances y demandas de la maquinaria durante su parte de operación en el proceso, así mismo el ritmo de trabajo y la forma de operar del personal a cargo, En vista de ser una área nueva y con poco conocimiento por mi parte, la principal actividad que realice fue identificar los procesos de la empresa y las normativas que la regulan, principalmente por seguridad personal y así poder determinar si el equipo de seguridad que se me dio fue el indicado, y si la herramienta era la indicada. En este caso se trabajó con gas natural un combustible que requiere de medidas de seguridad anti estáticas, protecciones auditivas, protecciones térmicas y contra golpes. Las principales normas que regulan las áreas donde yo me desempeñaba son las que se indicaron en los anexos.

A mi llegada a la empresa el primer contacto fue con un compresor de la marca FORNOVO GAS, el cual estaba fuera de servicio y se le estaba dando atención a la parte mecánica, ya que el equipo presentaba daño en los internos de los cilindros de segunda y tercera etapa de compresión, así mismo se aprovechaba el paro y se revisaban las válvulas de todo el compresor y así darles servicio a las que se encontraran en la necesidad del mismo.

A todo lo anterior mencionado se tiene una serie de fallas recurrentes en sus equipos eléctricos las cuales eran las siguientes:

- Exceso de errores indicados por los arrancadores suaves.
- Fusibles quemados de manera continua.
- Intermittencia en el servicio eléctrico por disparos de protecciones termomagnéticas.
- Paros de emergencia enviados por fallas detectadas en el PLC.
- Activación de relés OL.

- Calentamiento en maquinaria.
- Calentamiento en conductores.

Una vez que el personal de mantenimiento con más tiempo me explicó esta lista de fallas le solicite su programa de mantenimiento y su historial de datos, para lo cual solo contaban con una bitácora que llenaban de manera manual, registrando únicamente los detalles mecánicos y cambios de fusibles, dejando de lado los restablecimientos de protecciones y los errores indicados por los sistemas de control. Una vez que me doy cuenta de la situación que estaba pasando lo primero que pensé fue en aplicar un plan de implantación de un control de calidad en el mantenimiento eléctrico.

## **2.1 Gas Natural de Uruapan.**

Gas Natural de Uruapan (GNU) es una empresa que se dedica a la venta y distribución de Gas Natural Comprimido (GNC) para industria y Gas Natural Vehicular (GNV), esta empresa cuenta con una estación madre. Considerando que hoy en día es muy común el uso de energías alternativas que ayuden a reducir la contaminación y económicamente sean más rentables, las industrias alimenticias, las siderúrgicas, de transporte público principalmente han optado por recurrir a un combustible alternativo que es el gas natural, esta empresa ofrece servicio 24 horas al día 7 días a la semana trabajando todo el año, por lo cual requieren tener en operación sus equipos de manera continua y sin pausas, ya que de lo contrario el servicio se ve interrumpido generando considerables atrasos en la logística y por consecuencia pérdidas monetarias.

La empresa se encuentra en la ciudad de Morelia, cerca de la salida a Quiroga sobre el Periférico Paseo de la Republica, la estación tienen unos distintivos colores verdes, azul y blanco que la hacen resaltar y ubicarla fácilmente, la Figura 2.1 nos muestra una imagen satelital de la ubicación de dicha empresa, y la Figura 2.2 nos muestra la imagen de la fachada de la estación.



**Figura 2.1** Estación madre ubicada en Perif. Paseo de la República 7875, 14 de Febrero, 58147 Morelia, Mich.



**Figura 2.2** Vista de la estación Madre, en la parte izquierda al fondo se encuentra el cuarto de compresión y el ducto de alimentación.

## 2.2 Giro de la empresa.

La empresa en ese momento contaba con 5 compresores encargados de mantener el flujo de la estación, y así poder mantener en operación los 6 dispensarios de gas vehicular y al mismo tiempo el poste de carga de gas industrial; ya que en ciertas horas del día la demanda es tan elevada que se requiere del flujo que cada uno puede aportar a las cargas conectadas, todo esto de manera ideal ya que solo se tenía 3 compresores operando.

Si durante ese momento un equipo de los 3 operativos se encuentra fuera provoca un fuerte retraso en los tiempos de carga vehicular, ya que por lo regular son vehículos Nissan urban, que cuentan con hasta 3 tanques de 100lts y la mayoría llega con el nivel del indicador más bajo, provocando que el flujo de m<sup>3</sup>/hr sea muy elevado llegando a un nivel de 3000 m<sup>3</sup>/hr o mayor, esto considerando que en esa hora puede coincidir con la llegada de un ducto sobre

ruedas, causando así una demanda en conjunto mucho mayor, siendo en ocasiones el nivel de succión insuficiente para cubrir la demanda.

### 2.3 Estructura de una estación de compresión.

Para este caso en particular lo primero fue conocer desde donde se obtiene el y hasta donde es el punto final de este, algo que debo hacer énfasis es que al tratarse de un material altamente inflamable se debe de conocer primero las normativas de seguridad implicadas en cada área donde está presente el gas, que se observa en la Figura 3.1 que son las 3 primeras partes que forman el proceso de tratamiento del gas natural, es decir el gasoducto, la derivación y una área denominada city gate.

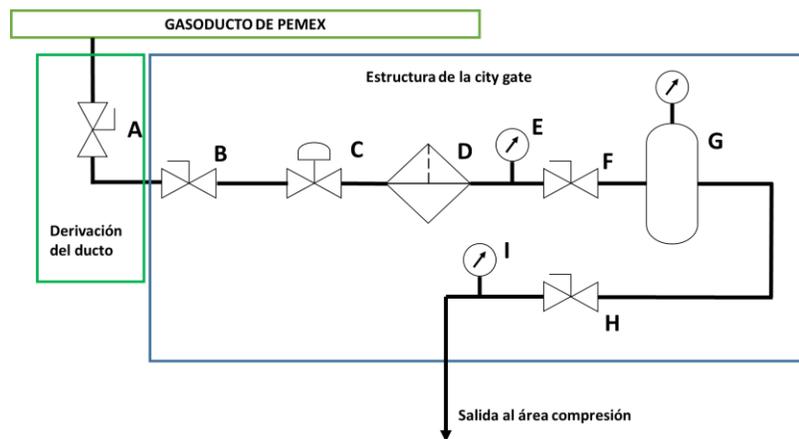


Figura 2.3 Derivación de gasoducto y city gate.

- (A) Válvula de derivación principal.
- (B,F,H) Válvula de bola.
- (C) Electro válvula principal.
- (D) Sistema de filtro coalescente.
- (E,I) Manómetros diferenciales.
- (G) Sistema de odorización.
- Salida al área de compresión.

En la Figura 2.4 se muestra la estructura del área de compresión la cual se forma de 5 compresores del tipo recíprocos, todos trabajan bajo el mismo esquema de 3 etapas de compresión, la diferencia radica en los rangos de presiones de entrada y flujos que pueden

aportar. En la imagen se muestra la marca de cada equipo y los metros cúbicos que pueden aportar por hora aproximadamente.

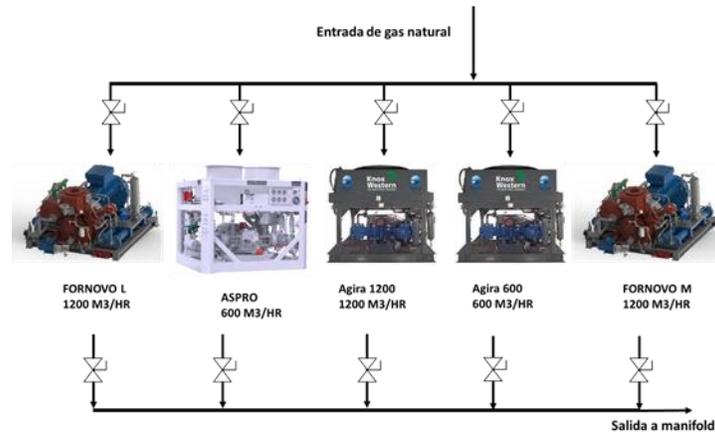


Figura 2.4 Distribución de compresores

## 2.4 Proceso de compresión.

El proceso de compresión de un equipo de este tipo, se basa en elevar la presión de un gas en 3 pasos o 3 etapas, el proceso se inicia en la tubería de succión que viene desde la city gate, en este punto el gas se encuentra a una presión de 16 Bar aproximadamente, en la primera etapa se incrementa la presión al doble después este pasa a un intercambiador de calor piro tubular después pasa a la segunda etapa donde se incrementa el triple es decir a 90 bar aproximados y de igual forma para por el intercambiador de calor y llega a la tercera etapa a donde se lleva hasta la presión nominal de 250Bar después para por un intercambiador de calor y de ahí sale a los tanques de almacenamiento.

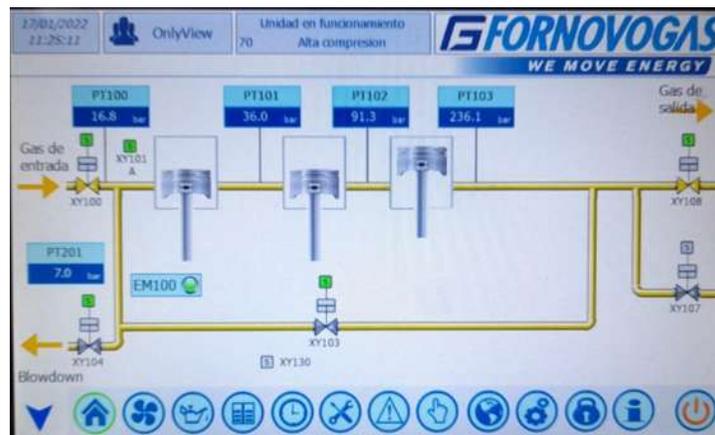
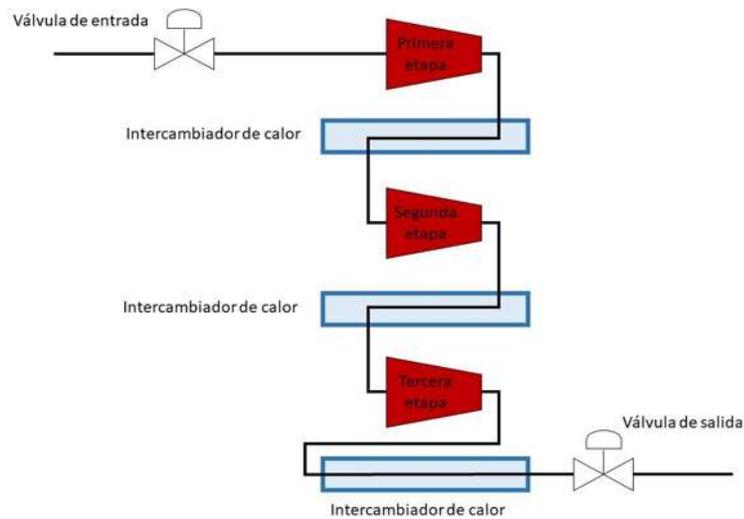


Figura 2.5 HMI del compresor, muestra las presiones de trabajo

La Figura 2.5 muestra en las etiquetas PT100, PT101, PT102, PT103 las mediciones de presión en cada etapa, esta medición es censada por transductores de señal 4 a 20.



**Figura 2.6** Diagrama de proceso de compresión.

La Figura 2.6 muestra de manera gráfica el proceso de compresión de arriba hacia abajo, las etapas son representadas en color rojo y el proceso de intercambiador en color azul, las válvulas de entrada y salida son controladas por el PLC, ya que este en su lógica de control hace un escaneo de valores que forman las condiciones de arranque, operación y parada del equipo.

## Capítulo 3

### Diagnóstico integral de la maquinaria.

El método para realizar diagnóstico comienza estableciendo los puntos de mayor importancia para la operación del equipo, sirve de guía verificar en manuales las recomendaciones del fabricante y en planos de modificaciones extras al equipo, así también en historiales de mantenimiento y bitácoras.

#### 3.1 Recopilación de información por equipo.

La recopilación de información comienza tomando los datos de placa de cada equipo y se revisa en los manuales las especificaciones de mantenimiento, estas pueden ir desde tiempos de revisión, métodos de mantenimiento, condiciones de operación, etc...

En la Figura 3.1 se muestran las recomendaciones generales que vienen en el manual del fabricante.

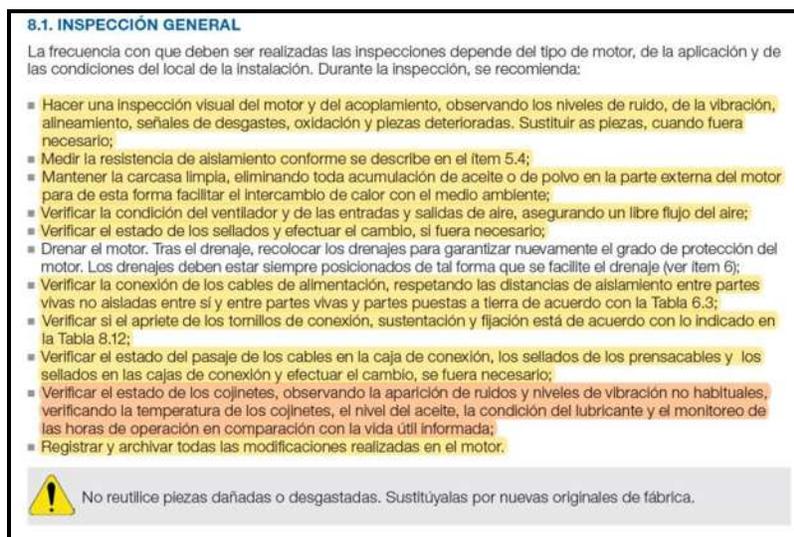


Figura 3.1 Recomendaciones generales de mantenimiento de un motor.

Para el tema de lubricación del motor se investigó el tipo de rodamiento instalado en el motor tomando como base la información de la placa de datos, En el manual del fabricante se especifica La cantidad de grasa, el tipo y el periodo de lubricación en horas de trabajo, la tabla se muestra en la Figura 3.2.

Carcasa		Polos	Rodamiento	Cantidad de grasa (g)	Intervalos de relubricación (horas)					
IEC	NEMA				ODP (Carcasa abierta)		W21 (Carcasa cerrada)		W22 (Carcasa cerrada)	
					50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
		2	6314	27	18000	14400	4500	3600	5000	4000
		4			20000	20000	11600	9700	14000	12000
		6					16400	14200	20000	17000
		8					19700	17300	24000	20000
225	364/5	2	6316	34	14000	*Mediante consulta	3500	*Mediante consulta	4000	*Mediante consulta
250	404/5	4			20000	20000	10400	8500	13000	10000
280	444/5	6					14900	12800	18000	16000
315	445/7	8					18700	15900	20000	20000
355	L447/9	2	6319	45	*Mediante consulta					
	504/5	4					9000	7000	11000	8000
	5008	6					13000	11000	16000	13000
	5010/11	8					17400	14000	20000	17000
	586/7	4	6322	60	20000	20000	7200	5100	9000	6000
	588/9	6					10800	9200	13000	11000
		8					15100	11800	19000	14000

Figura 3.2 Tabla de cantidad de grasa e intervalos de lubricación.

Debido a que el tipo de carcasa era una IEC 315 la temperatura a revoluciones nominales del motor es de 80°C, y el tipo de grasa recomendada es Mobil Polyrex EM o una con características similares y por cada 15°C de incremento en la temperatura de los cojinete el periodo de relubricación deberá de ser reducido a la mitad.

Para la parte de vibraciones del motor, y debido a que la tabla de límites de vibración que tiene el manual solo sirve para motor desacoplado de la carga, se utilizó las normativas para poder definir los parámetros de niveles de vibración que son definidos por la norma **ISO10816-3**, Para definir los rangos de vibración del motor lo primero que se hizo fue verificar de cuantos kilowatts es, en este caso es un motor de 165kW, el diagrama de la Figura 3.3 nos indica la tabla de severidad de vibración. Dicha tabla nos sirve para orientarnos en los niveles de vibración que debe presentar un motor, este se clasificara en el grupo 2 y deberá de estar en un rango definido por la letra B, y además esta tabla es aplicable para partes no rotatorias, es decir maquinaria montada en rodamientos.

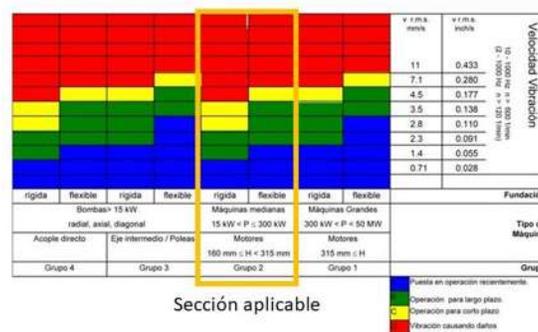
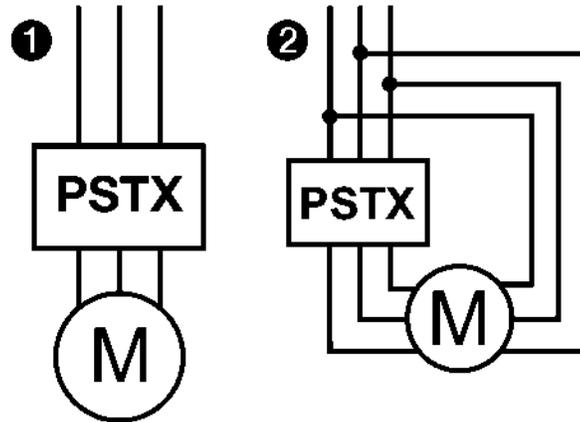


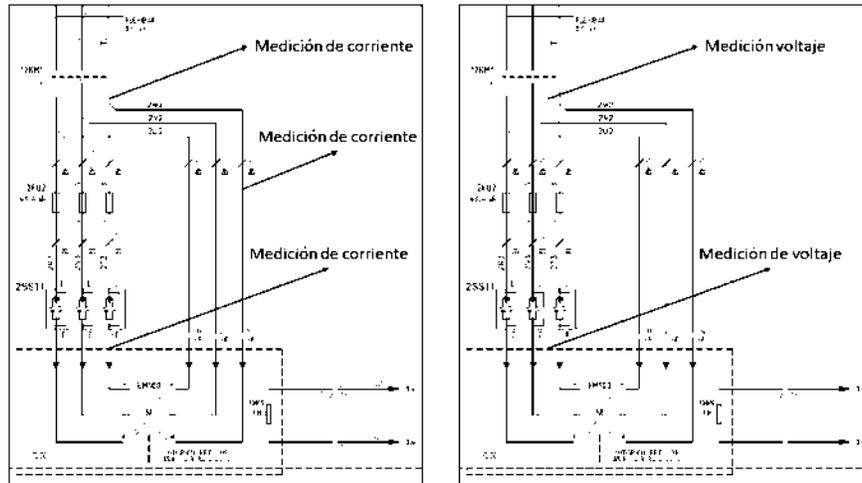
Figura 3.3 Tabla de severidad de vibración de acuerdo a la norma ISO 10816-3.

Para verificar la operación del arrancador suave se tienen que verificar la conexión del arrancador, este tipo de arrancadores existen 2 conexiones básicas, las cuales dependen de la conexión del motor, es decir para un motor en estrella se recomienda el uso de la Figura 3.4 el diagrama numerado con la figura 1, para una conexión delta la figura 2.



**Figura 3.4** (1) Conexión directa, (2) Dentro de una conexión en delta.

La Figura 3.5 muestra el esquema de conexión más a detalle del compresor en el cual se puede observar una parte del funcionamiento interno y construcción del arrancador por medio de SRC, los cuales se encargan de hacer el arranque suave y después del tiempo de arranque entra un contactor que saca de operación los SCR. Para acceder a los datos del arrancador suave ingresamos por medio del HMI que se encuentra instalado en la parte frontal del gabinete, esto para acceder a parámetros de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia revoluciones por minuto. También se puede acceder a 3 parámetros primordiales que son rampa de arranque, tiempo de para y niveles de tensión inicial y final, ya que el manipular estos nos ayudara a un mejor desempeño de nuestro equipo así como reducir consumo eléctrico y prolongar la vida de la instalación, el mantenimiento general de equipos eléctricos o electrónicos de este tipo por lo regular se limita a verificar su operación, apriete de terminales, medición de voltajes y corrientes de entrada y salida. En la filosofía de control se encontró las limitaciones de arranque del motor las cuales son que el tiempo máximo para llegar a valor de tensión nominal sea de hasta 300S.



**Figura 3.5** Diagrama esquemático de conexión del motor, y tomas parámetros de corriente y voltaje.

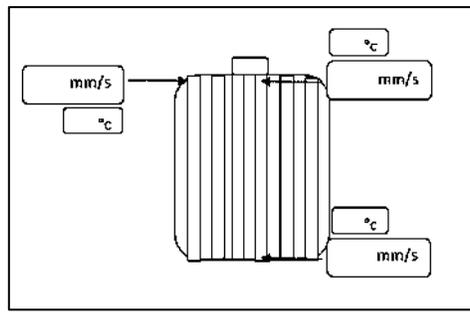
## 3.2 Toma de parámetros y Operación del equipo.

Para definir los puntos de toma de parámetros considere estos 5 criterios para selección de puntos de vibración o de cualquier parámetro.

### 3.2.1 Criterios de selección de parámetros.

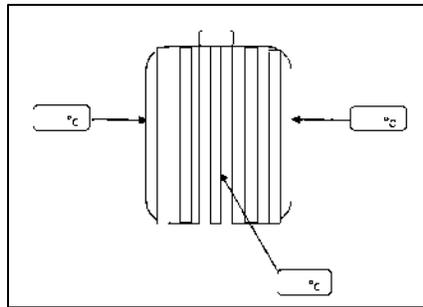
- Se debe ubicar lo más cercano al elemento a medir dígase, eje, rodamientos, cable, etc...
- Debe ser accesible fácilmente.
- Debe de garantizar la seguridad del personal.
- Debe de ser una superficie apta para la medición.
- Debe ser fácilmente identificable y se debe etiquetar o numerar.

En este caso los puntos más recomendados en es la parte superior y lateral de la carcasa del motor, así mismo este punto nos servirá como referencia para tomar nuestro parámetro de temperatura del cojinete como se muestra en la Figura 3.5.



**Figura 3.5** Toma de puntos de vibración y temperatura de los cojinete del motor.

El paso siguiente fue medir la temperatura en la carcasa del motor para conocer el estado de los devanados durante su operación, estos puntos de medición es el los costados y en la parte superior del equipo, cabe mencionar que se deben hacer una serie de mediciones a lo largo de varios ciclos de trabajo de la máquina, ya que de lo contrario los datos puntuales no eran suficientes para disparar acciones respecto al mantenimiento. La Figura 3.6 muestra los puntos de toma de temperaturas de los devanados, por la posición del motor no se tenía acceso a la parte inferior de modo que se descartó esa parte.



**Figura 3.6** Toma de puntos de temperatura en los devanados.

Para la medición de voltajes y corrientes se ha considerado los puntos mostrados por la Figura 3.5, la cual indica una medición de corriente a la entrada de alimentación de la conexión en delta y una medición de voltaje, y otra medición es en las ramas internas de la delta y medición de voltaje a la salida del arrancador suave. Estos últimos se utilizarán para realizar comparaciones con las mediciones realizadas por el arrancador suave.

Ya se tienen los parámetros básicos para poder verificar el funcionamiento de la máquina y realizar un diagnóstico de los componentes más críticos de la parte eléctrica, ahora se debe poner en operación el equipo y comenzar a realizar la toma de datos mecánicos y eléctricos, en este caso el análisis de vibraciones se toma en conjunto con el compresor ya que se quiere estudiar el nivel de vibración del equipo. La toma de parámetros debe ser de 10 valores por medición en el lapso de 2 ciclos cortos o cada 5 minutos en caso de ciclos largos con duración mayor a 1 hora para generar suficientes datos para analizar.

### **3.3 Análisis de mediciones.**

El análisis de datos consiste en verificar el comportamiento del motor y los demás componentes eléctricos a los que se conecta, para realizar el proceso de compresión, esto para validar si existen variaciones significativas en los valores de vibración, de temperatura en los cojinetes, temperatura en devanados y consumo eléctricos, para esta toma de datos se desarrolló un formato para registrar los parámetros antes mencionados. Este análisis nos describe cual es el estado actual de la maquinaria y sistema de control.

### **3.4 Resultado del análisis de la máquina.**

El resultado del análisis fue que existía un exceso de temperatura en los cojinetes lo cual estaba generando que no se llegara a las rpm que requiere el proceso, esto se debe a que no se está utilizando el tipo de grasa que se requiere, en términos de vibraciones el motor se encontraba dentro de los parámetros permitidos, la prueba de aislamiento de los devanados se descartó debido a las medidas de seguridad ya que esta prueba podría producir chispa. además de un desbalance de 10 amperes de diferencia de una fase respecto a las otras 2, esto es ocasionado por mal acomodo de los conductores a lo largo de la tubería de CONDUIT es decir que se están uniendo 2 fases iguales en un punto de la trayectoria, el arrancador suave presentaba una ligera diferencia de mediciones respecto al instrumento calibrado pero dentro de los rangos permitidos de 5%, solo se modificó el parámetro de la rampa de arranque con un voltaje de inicio de 40% , el arrancador y componentes de control no presentan calentamiento, solo la fase con la diferencia de corriente esta disparando el fusible y calentando la tubería, esta fase está presentando calentamiento en el devanado del motor.

## **Capítulo 4**

### **Plan de mantenimiento.**

Después de saber el estado de la maquina lo que siguió fue definir las metas del plan de mantenimiento, es decir que objetivos son los que se quieren lograr implantando esta metodología, para eso empezaremos por la parte mecánica.

#### **4.1 Indicadores clave mecánicos del motor.**

Lo primero es controlar la temperatura de los cojinetes para esto se debe de seleccionar el tipo de grasa adecuada para el motor, después se debe seleccionar la herramienta adecuada para realizar la lubricación del motor, para esto se recomienda el uso de una pistola de engrasar y para saber la cantidad de grasa que esta puede proveer, se debe de colocar en una báscula la grasa que provee un solo disparo de la herramienta, esto para tener la certeza de cuanta grasa se está colocando y así mismo llevar en los registros cuanto consumo de grasa al mes se lleva el motor y poder definir esto como indicador de desempeño del equipo.

Después lo que se debe hacer es monitorear el nivel de vibraciones del motor para saber que lo rodamientos siguen en buenas condiciones para esto se debe preparar un estudio que abarque desde el compresor hasta el motor para poder realizar un control de vibraciones integral.

Previo a realizar un estudio de vibraciones se debe de elegir la herramienta adecuada en este caso la empresa contaba con un vibrometro de tipo lápiz este resulta peligroso para realizar las mediciones ya que en algunos puntos el debido a la compresión existen temperaturas de más de 100°C las cuales pueden causar severas quemaduras al operador, por eso se recomendó adquirir uno de tipo sonda con base magnética ya que la medición se debía realizar con el equipo operando y en esos puntos además de los excesos de temperatura se tenía muy cerca tuberías del alta presión. Los parámetros de vibraciones serán los indicadores de desempeño directo de los rodamientos del motor.

## 4.2 indicadores clave eléctricos del motor.

Ahora se tiene la parte eléctrica como se mencionó antes, el equipo contaba con un desbalance de 10Amperes más que las otras 2 fases, esto porque a 3 metros de conductor antes de la llegada al gabinete no se agruparon las fases y se dejaron sueltas lo cual ocasionó un desbalance porque su juntaron 2 fases iguales, esto estaba provocando calentamiento en uno de los costados del motor en el cual se conecta esa fase, la siguiente meta es reducir ese desbalance por medio del agrupamiento de las fases para esto se requiere sacar los alimentadores y agruparlos de manera que el sistema es dividido en dos grupos formados por fases diferentes. El indicador clave de desempeño en este caso será reflejado en el consumo total y también en el historial de potencia real del equipo para esto se debe realizar un estudio con un analizador de red que nos almacene los datos de voltaje, potencia y corriente del motor y estos registrarlos durante un periodo de prueba, para esto podemos fiarnos de las mediciones que realiza el arrancador suave y los datos de esta enviarlos por protocolo Modbus a un equipo que se encargue de realizar el registro.

## 4.3 Indicadores clave de desempeño del compresor.

Ya definidas las metas principales del plan, se debe de definir el parámetro que nos indique los paros más frecuentes del equipo y así mismo los más graves, para esto existen 3 indicadores que serán fundamentales para calcular la disponibilidad de los equipos, los cuales son:

- **Tiempo Medio Entre Fallos:** este es un parámetro que describe cuanto es el tiempo que ha pasado entre el último paro por falla, independiente mente del tipo de falla y así generar un control de las fallas que detienen al equipo, así mismo sirve para generar un historial de cuál es la falla más frecuente en el proceso o del equipo.
- **Tiempo Medio Hasta la Reparación:** este parámetro nos describe cuanto tiempo se lleva en reparar dicha falla, y así mismo esto nos indica la gravedad de la falla.

Después se definió la disponibilidad del equipo el cual se calcula con la siguiente formula:

$$\% \text{ de disponibilidad} = \frac{\textit{T tiempo de compresión real}}{\textit{T tiempo de compresión estimado}} * 100\%$$

El tiempo de compresión es la cantidad de horas trabajas por el equipo de manera semanal las cuales son medidas con el horometro, el tiempo de compresión estimado es el tiempo de horas que se espera que trabaje el equipo de manera semanal. En este caso el equipo solo se mantenía activo en un periodo de 8 horas por día y trabajando un promedio de 4.5 horas por día dando un total de 31.5 horas por semana y el tiempo esperado el cual sería de 10 horas promedio por día dando un total de 70 horas a la semana, el índice de disponibilidad que tenía el equipo era del 45%, es decir el equipo no se estaba aprovechando.

Después se definió la eficiencia total del compresor la cual se define por la siguiente formula.

$$\% \text{ de Eficiencia} = \frac{\text{Flujo } \left(\frac{m^3}{hr}\right)}{\text{Potencia } \left(\frac{kW}{hr}\right)} * 100$$

La meta siguiente fue que el equipo llegará a un índice de disponibilidad del 90% y una eficiencia mayor al 92%, esto fue definido por la empresa.

#### **4.4 Tipos de mantenimiento.**

Lo siguiente es definir el tipo de plan de mantenimiento que se debe de aplicar, a continuación se explicaran los 3 tipos de mantenimientos básicos.

- **Mantenimiento Correctivo.**

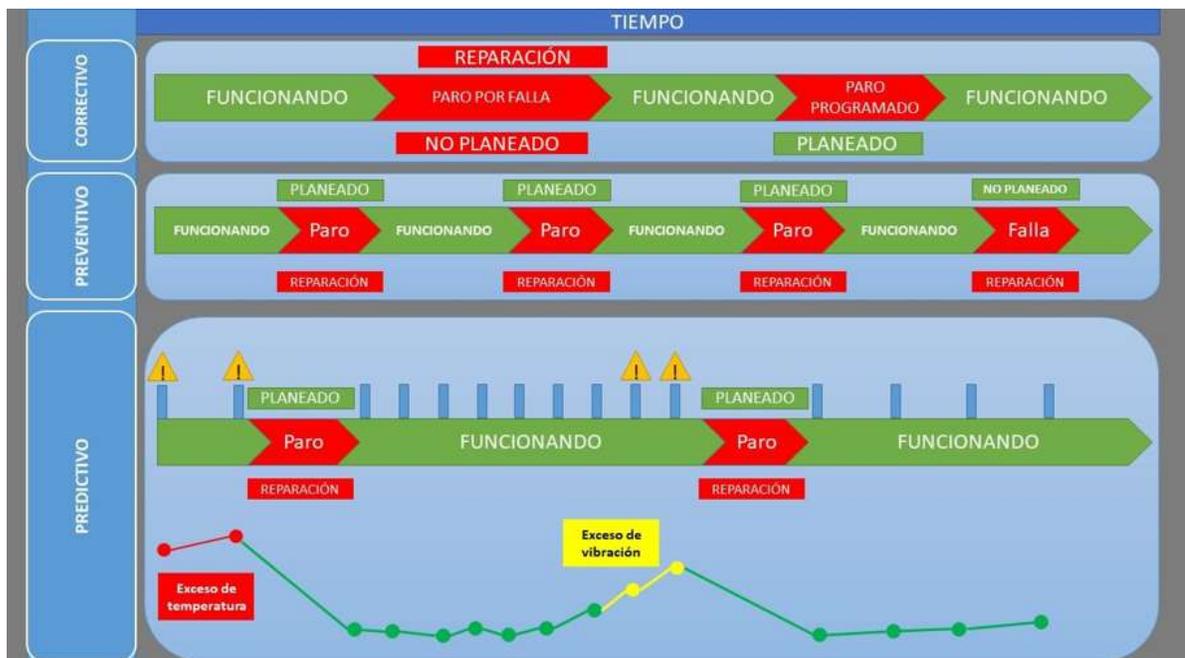
Trabajar bajo este tipo de mantenimientos es costoso e ineficiente, ya que se trabaja hasta el punto donde la maquina presenta falla, esto puede ser en cualquier momento de la operación, las fallas comienzan a volverse más severas y pueden provocar inutilización de los equipos.

- **Mantenimiento Predictivo.**

Trabajar bajo mantenimientos predictivos reduce la recurrencia de las fallas, incrementando la vida útil de las maquinas, y esta metodología se basa en paros programados para reemplazo de piezas y verificar el estado de la maquina.

- **Mantenimiento Preventivo.**

Este tipo de mantenimiento establece un protocolo para monitorear los indicadores clave de cada máquina teniendo una serie de datos que sirven para analizar el comportamiento de alguna parte en específico o el comportamiento general de la máquina, con el estudio de las tendencias de cada indicador se puede decidir el tipo de reparación que esta por requerir la máquina, y este se programa para el siguiente paro programado.



**Figura 4.1** Tipos de mantenimiento.

## CAPITULO 5

### Actividades adicionales.

Durante mi estancia en la empresa también realice actividades de mantenimiento y reparación electrónica a los sistemas de dispensarios de gas natural vehicular. Estos se forman de tarjetas electrónicas para análisis de información y para control de electroválvulas.



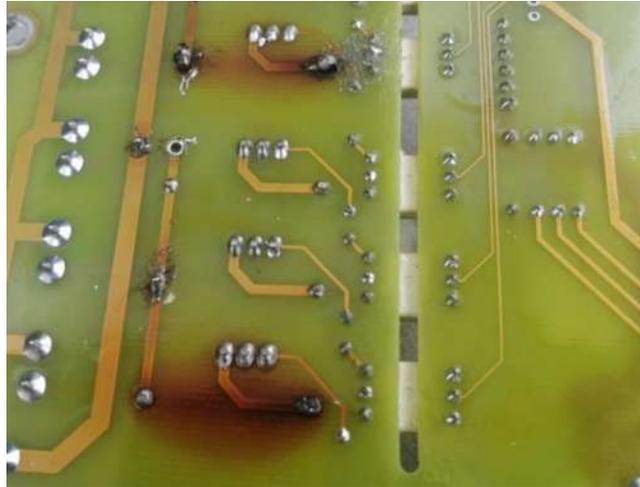
**Figura 5.1** Tarjeta de control.

Uno de los problemas más frecuentes de este tipo de tarjetas era la falla en la activación del solenoide, el cual no se activaba debido a daños en el triac, fallas en el MOC y presentaba un calentamiento en la resistencia de potencia.



**Figura 5.2** Tarjeta de potencia.

Las fallas por calentamiento se debían al efecto joule, el cual se provoca en la resistencia por la disipación de la energía en forma de calor, esto produce fallos en la activación de la solenoide debido a que se incrementa la corriente en la resistencia y no se tiene el voltaje adecuado para activar dicha solenoide, la forma de solucionar este detalle fue colocar una resistencia de mayor potencia, ya que el espacio era muy limitado para instalar un disipador de calor.



**Figura 5.3** Tarjeta de potencia con daños.

Para la detección de este tipo de falla fue fundamental el uso del multímetro ya que además saber cómo probar cada componente se debe de saber utilizar para medir corrientes y voltajes, y así saber si se encuentra dentro del margen permitido o de lo contrario nos indica si el sistema tiene falla y así mismo poder deducir el origen de la falla.

Otra falla muy común en los surtidores son los interruptores de activación ya que estos se encargan de activar el acceso a carga y así apertura la electro válvula, este tipo de fallas son indetectables cuando tienen falso ya que el fallo se ve reflejado como un error en la tarjeta, esto provocaba que los primeros errores de este tipo se retirara la tarjeta y se revisaran las fuentes de voltaje ya que dicho error lo marcaba de esa forma el sistema. Para el diagnostico de esta falla se programó el cambio en los interruptores de todos los equipos y así se detectaron contactos que ya no mantenían la continuidad al cerrarse.

También se realizaba el diagnóstico de los paros de emergencia instalados en los surtidores los cuales se encargaban de abrir la electroválvula principal y cortar el flujo de gas en toda la planta, además de realizar un paro en cada compresor encendido.



**Figura 5.4** Paro de emergencia dañado.

También apoyaba en la parte de mantenimiento a sistemas electro neumáticos como válvulas de control de actuadores neumáticos los cuales son los encargados de realizar la apertura y cierre de válvulas de bola para purga del gas residual, este tipo de válvula presenta una fuga de aire la cual indica que se debe de realizar mantenimiento correctivo, el cual se basa en el cambio de sellos internos y la limpieza de vías de control.



**Figura 5.5** Válvula de control electro neumático.

## **CAPITULO 6**

### **6.1 Conclusiones generales.**

El campo de desarrollo de un ingeniero electricista es muy amplio ya que además de instalaciones eléctricas este se puede desarrollar en la parte de mantenimiento, y en algunas ocasiones se requiere de innovaciones, en mi experiencia puedo compartir que el área de mantenimiento es un área que requiere de ingenieros preparados en más de una sola área ya que la maquinaria de la industria de hoy en día se forma de sistemas complejos que combinan sistemas eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos, ya que cada uno de estos esta para realizar una tarea diferente mejorando el proceso

Los campos de desarrollo más significativos en los que he trabajado son diseño e implementación de instalaciones eléctricas, los cuales me han servido para conocer la aplicación de la normativa oficial mexicana, y como llevar una auditoria de una unidad de verificación.

En el desarrollo de mantenimiento las áreas más significativas han sido las partes de control por medio de PLC y sistemas eléctricos de control como lo son variadores de velocidad y arrancadores suaves.

Además la experiencia laboral me ha ayudado a conocer normativas de seguridad y métodos que trabajo los cuales son de vital importancia ya que son la calve de la seguridad del personal que operamos o trabajamos con maquinaria.

Toda estas experiencias se van acumulando y en un futuro me ayudara para poder ser un profesionista más apto y poco a poco ir especializándome en un área de interés, que en lo personal es el mantenimiento y los sistemas de control.

## **6.2 Conclusiones como técnico en mantenimiento.**

Soy técnico en mecatrónica, lo cual me ha servido en este tipo de trabajos para poder tener un rango de operación más amplio, es decir para poder efectuar diagnóstico de sistemas mecatrónicos que se forman de partes neumáticas, hidráulicas, eléctricas, electrónicas y de control, además de que considero importante que se debe de enrolar en el proceso para conocer el origen de la falla es decir en ocasiones la falla puede ser la consecuencia de una falla de origen distinto al diagnosticado.

A modo de ejemplo, los solenoides se estaban quemando, debido a que el voltaje de alimentación estaba por debajo del límite, esto se debía a que la válvula no subía el vástago por lo tanto el circuito magnético de la solenoide se veía alterado y la corriente en este se incrementaba debido a la histéresis.

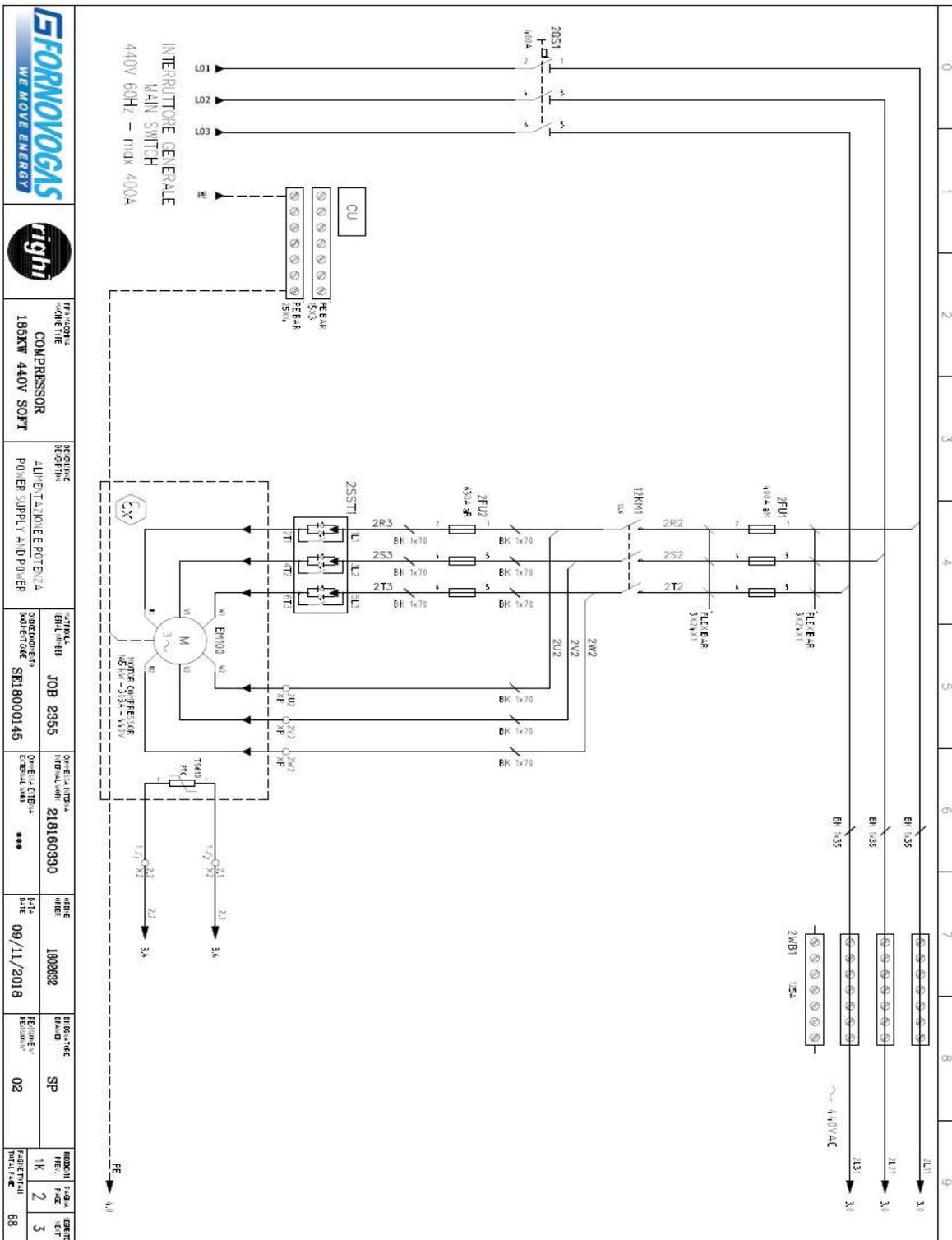
Otro aspecto importante a conocer de otras áreas es dar solución en ese momento sin tener que esperar apoyo de la otra área, es decir al saber de neumática podía dar servicio a los actuadores y válvulas en cuanto les detectaba en mal estado, o si el plan de mantenimiento lo requería.

En este trabajo en específico me sirvió tener conocimientos de neumática, electrónica y programación, ya que podía incursionar en todas estas aéreas y mi perfil como ingeniero se volvió más completo y así abriendo más oportunidades de desarrollo laboral.

## **Bibliografía y fuentes de consulta.**

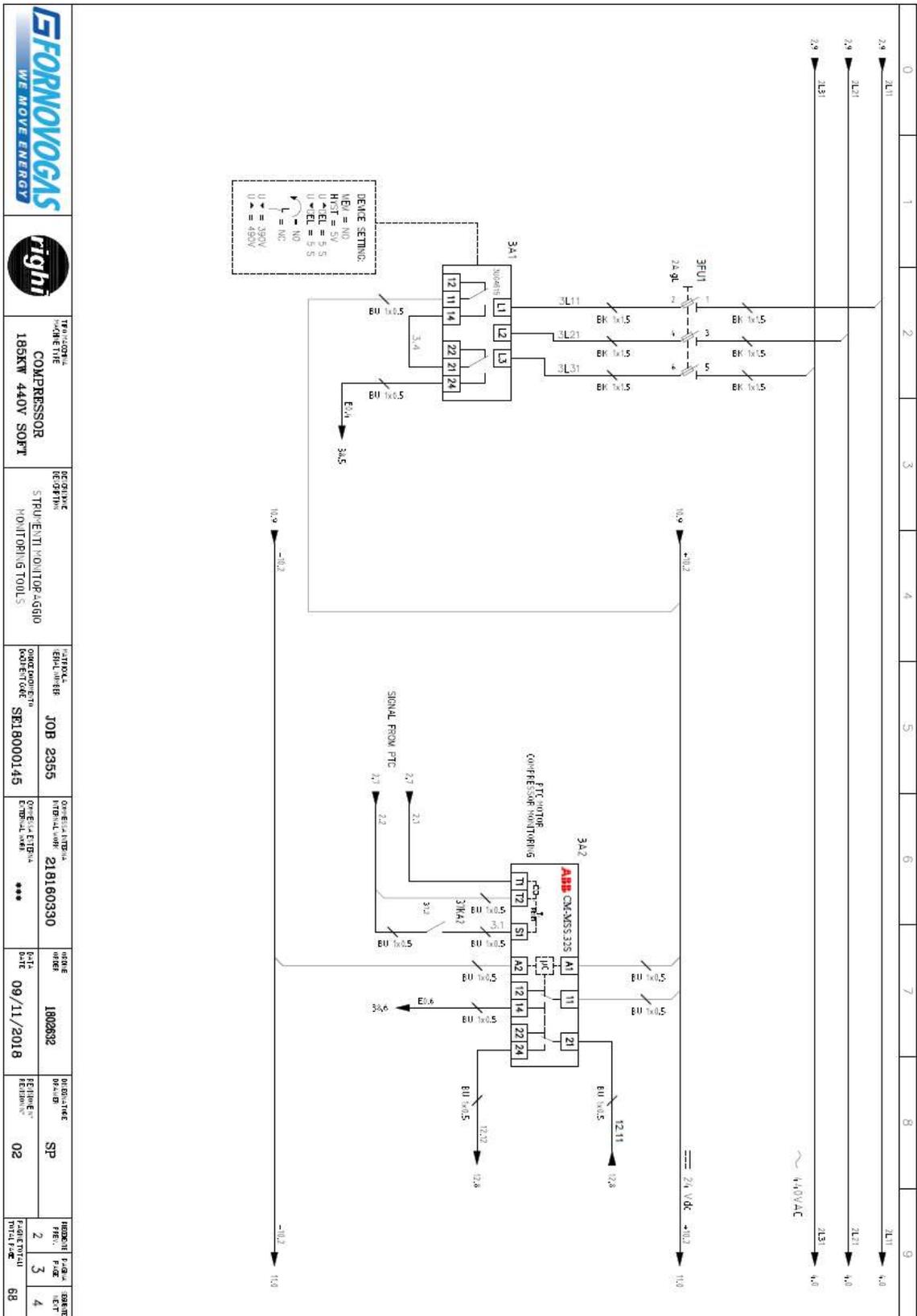
- FORNOVOGAS.(2019).Manual De Instrucciones Para El Uso Y Mantenimiento - Patín.<https://www.fornovogas.it/es/>.
- FORNOVOGAS, RIGHI ELETTRSERVIZI.(2018).Instrucciones Fg\_Operator Ita – Fornovogas Rev\_1.<https://www.fornovogas.it/es/>.
- WEG.(2023).Manual General De Instalación, Operación Y Mantenimiento De Motores Eléctricos.<https://www.weg.net/institutional/ES/es/>.
- ABB.(2016).Arrancador Suave Tipo Pstx30...Pstx1250, Manual De Instalación Y Puesta En Servicio.<https://new.abb.com/mx>.
- RIGHI ELETTRSERVIZI.(2018).Documentazione Tecnica Elettrica.<https://www.fornovogas.it/es/>.
- FORNOVO.(2016).Compressor Skid Vibration Measurements Specification.<https://www.fornovogas.it/es/>.

# Anexos



<b>EFORNNOVOGAS</b> WE MOVE ENERGY	<b>righti</b>	TRUCCO MODELLO <b>COMPRESSOR</b> 185KW 440V SOFT	DE QUANT DESCRIZIONE POTER SUPPLY AND POWER	MODELLO EQUIPAGGIO JOB 2355	OPERAZIONE EQUIPAGGIO SEI8000145	OPERAZIONE EQUIPAGGIO 218160330	DATA 09/11/2018	OPERAZIONE EQUIPAGGIO SP	OPERAZIONE EQUIPAGGIO 180282	OPERAZIONE EQUIPAGGIO 1K	OPERAZIONE EQUIPAGGIO 2	OPERAZIONE EQUIPAGGIO 3	OPERAZIONE EQUIPAGGIO 68
---------------------------------------	---------------	---	---	-----------------------------------	--	---------------------------------------	--------------------	--------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

Figura A1 Diagrama esquemático de conexión del motor y arrancador suave.



<b>EFORNOVOGAS</b> WE MOVE ENERGY	<b>right</b>	TRU-ACOM REF: ETYPE <b>COMPRESSOR</b> 183KW 440V SOFT	DE GRUYTER REF: ETYPE STRUCTURE MONITORING TOOLS	CONTROL EQUIPMENT JOB 2955 SOFTWARE SPL8000145	OPERATIONAL MANUAL 218180330 ***	DATE 09/11/2016	REVISION 1802832	EQUIPMENT REVISION SP 02	REVISION FABRICA 2 3 4 68
--------------------------------------	--------------	--	--	--	---	--------------------	---------------------	-----------------------------------	--

Figura A2. Diagrama esquemático de conexión del arrancador suave.

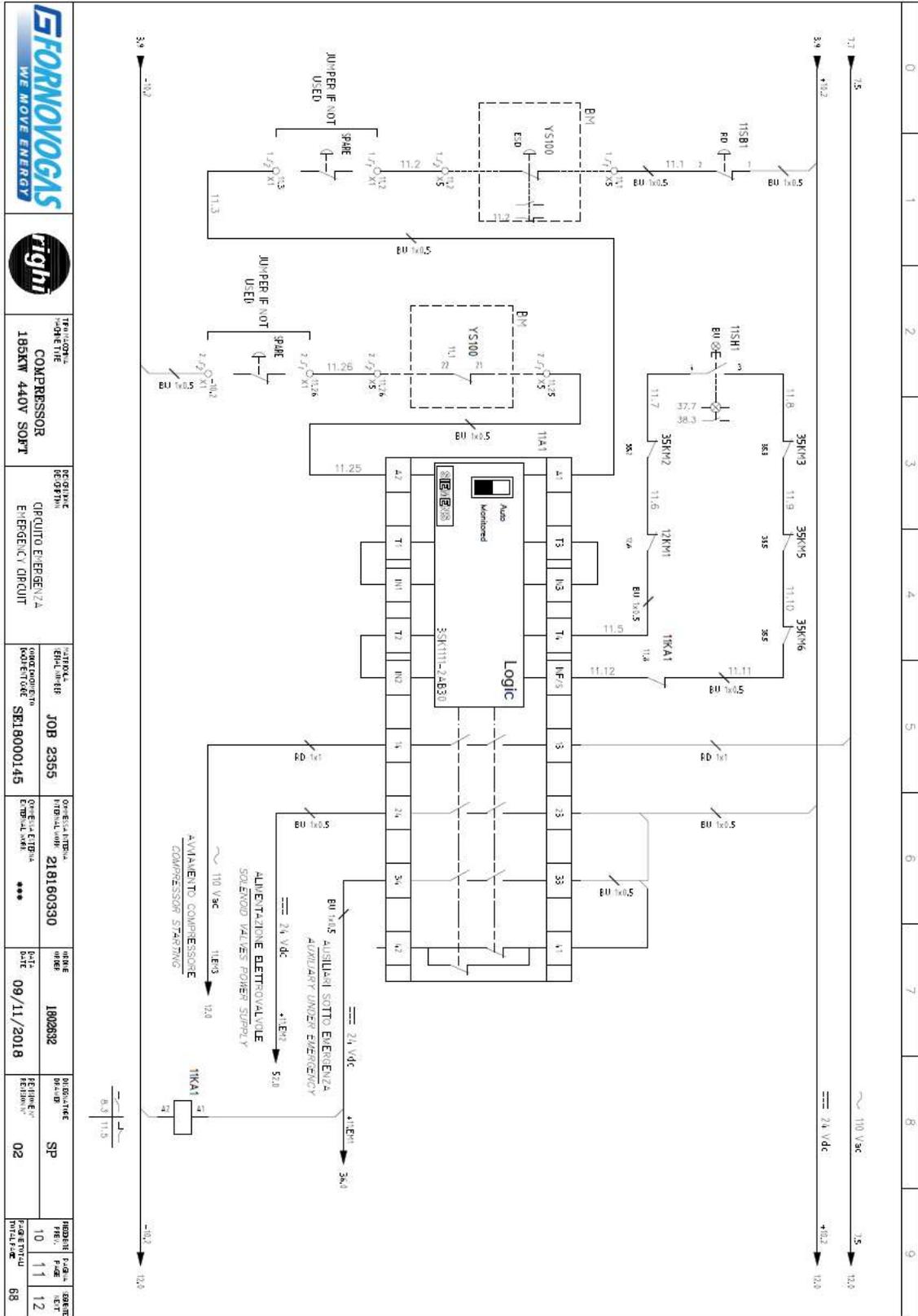


Figura A3. Diagrama esquemático de conexión del PLC.



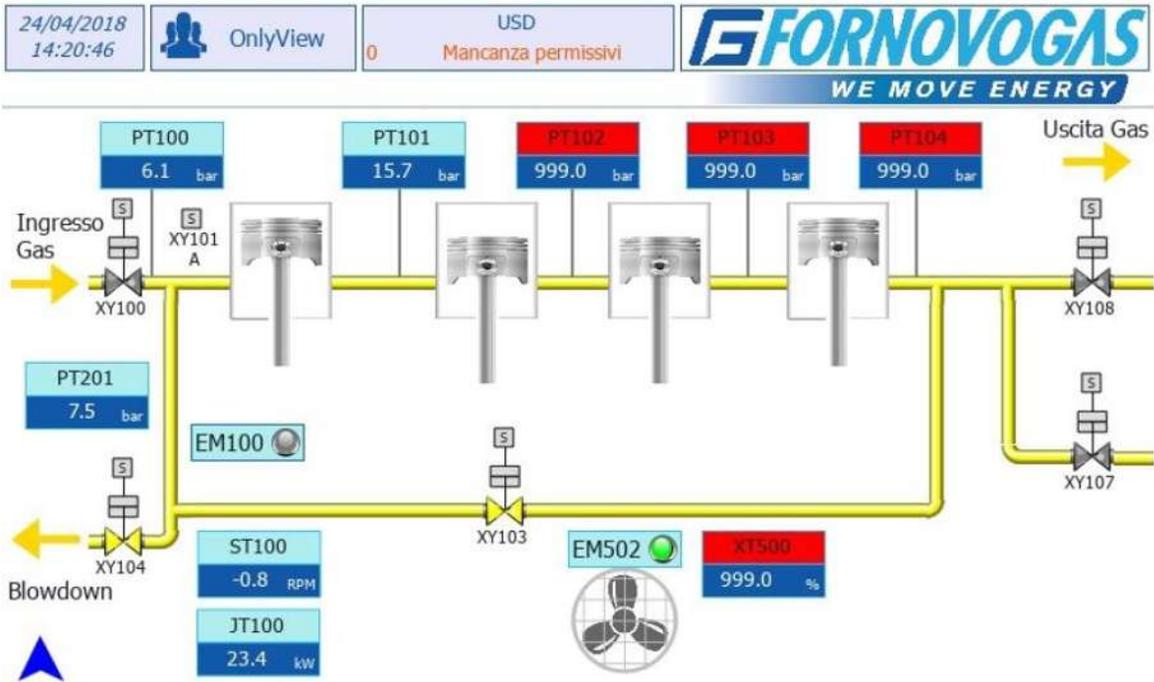


Figura A5.Ventana principal del HMI del gabinete.

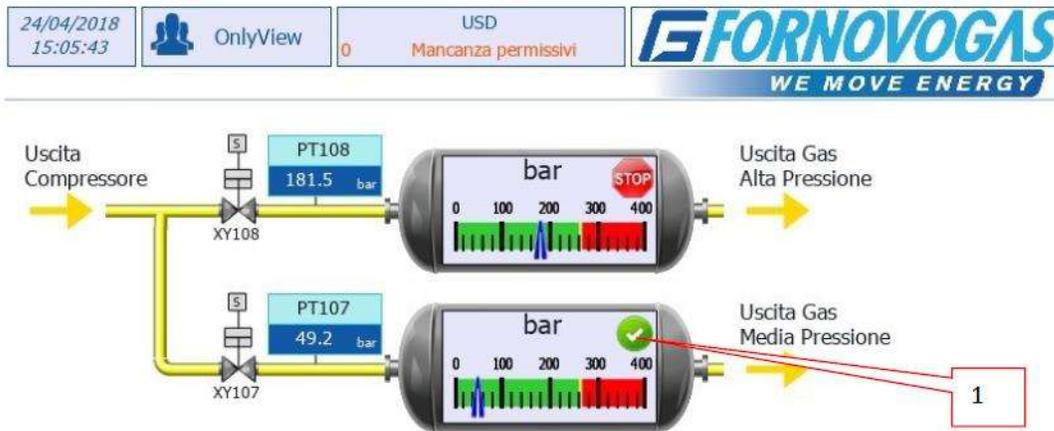


Figura A6.Ventana de tanques de almacenamiento del HMI

Configuración	Cantidad de cables	Tipo de conexión	Diagrama de conexión
Velocidad Única	3	-	
	6	$\Delta$ - Y	
	9	YY - Y	
		$\Delta\Delta$ - $\Delta$	
		$\Delta\Delta$ - YY - $\Delta$ - Y	
	12	$\Delta$ - PWS Partida Devanado parcial	

Figura A7 Diagrama de conexiones más usuales para motor trifásico.

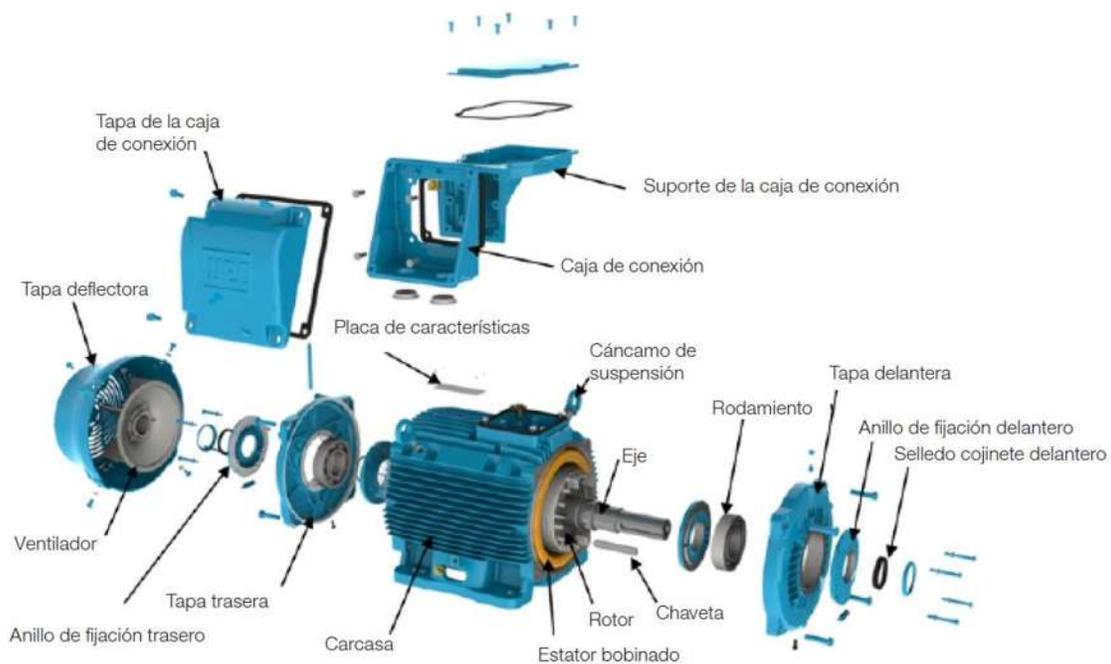


Figura A8. Vista en despiece de un motor eléctrico marca WEG.

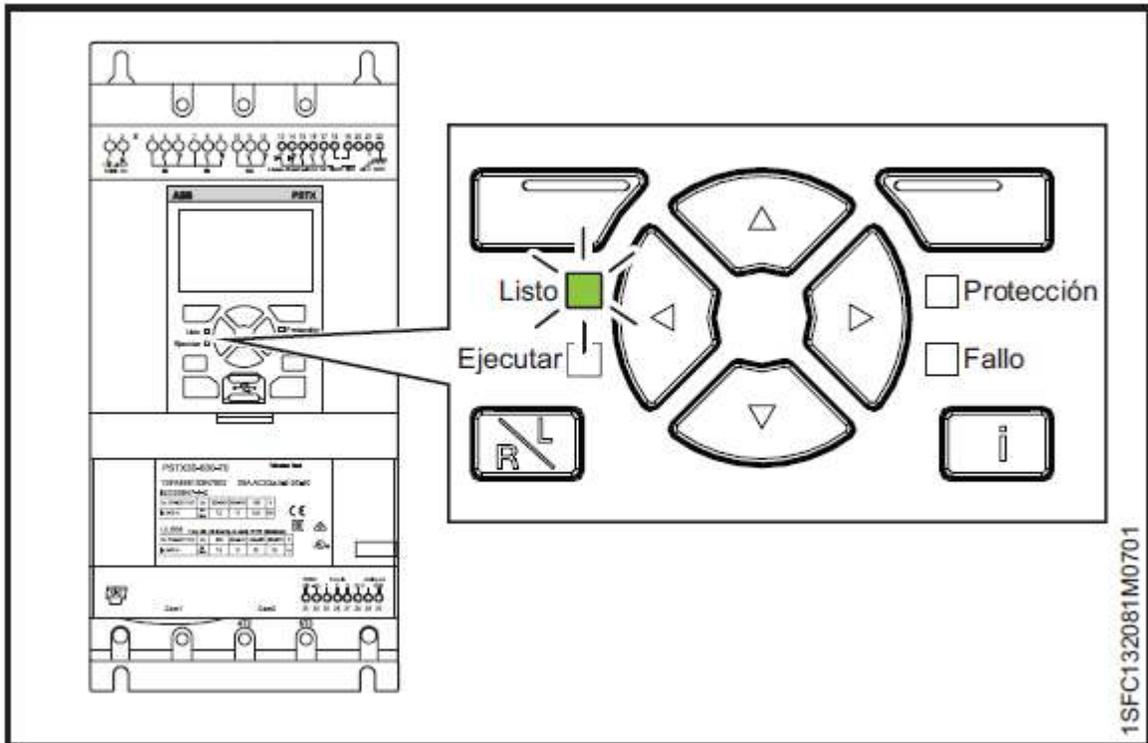


Figura A9 Vista del HMI del arrancador suave marca ABB.



Figura A10 Compresor FORNOVO a la izquierda y Compresor ASPRO a la derecha.

