

# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



MEMORIAS DE PRÁCTICAS PROFESIONALES

**TEMA: ACTUALIZACIÓN DE CONTROL PARA PERFORADORAS Y  
ACTUALIZACIÓN DEL PLC5 POR CONTROL EN PLATAFORMA  
CONTROL LOGIX AL CONTROL HIDRÁULICO Y VISUALIZACIÓN.**

LUGAR DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO: MEXICANA DE  
COBRE, "MINA LA CARIDAD".

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTA:**

**ALUMNO: JORGE JONATHAN RAZO ENCINAS**

**MAESTRA ASESORA DE MEMORIA DE PRÁCTICAS: DRA. MARÍA  
ELENA ANAYA**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	2
1.2 MISIÓN, VISIÓN Y OBJETIVOS .....	2
1.3 POLITICAS Y REGLAS DE LA EMPRESA .....	2
1.4 ORGANIGRAMA.....	3
1.5 ÁREAS DE TRABAJO DENTRO DE LA MINA LA CARIDAD .....	4
1.6 PROCESO EN MINA.....	4
1.7 PROCESO SECO DE TRITURACIÓN .....	5
1.8 PROCESO HÚMEDO CONCENTRADORA .....	5
1.9 PROCESO PLANTA ESDE (EXTRACCIÓN POR SOLVENTES Y DEPOSITACIÓN ELECTROLITICO HIDROMETALURGIA).....	6
1.10 PROCESO DE LIXIVIACIÓN .....	6
1.11 PROCESO DE EXTRACCIÓN.....	6
1.12 PROCESO DE ELECTRODEPOSICION.....	7
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO DE LA INSTITUCIÓN EN QUE SE DESARROLLA LA PRÁCTICA</b> .....	<b>7</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>7</b>
<b>4. OBEJTIVO Y ALCANCE DEL PROGRAMA</b> .....	<b>8</b>
<b>5. PROBLEMAS PLANTEADOS</b> .....	<b>8</b>
5.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
5.2 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	10
<b>6. ALCANCES Y LIMITACIONES EN LA SOLUCIÓN DEL EQUIPO</b> .....	<b>12</b>
6.1 VARIADOR DE VELOCIDAD MARCA SIEMENS .....	12
<b>7. FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
7.1 VARIADOR DE VELOCIDAD .....	13
7.2 MOTOR DC.....	19
7.2.1 FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ (fem).....	20
7.2.2 EL ESTATOR .....	22
7.2.3 EL ROTOR .....	23
7.2.4 ACCELERACIÓN DE UN MOTOR.....	25
7.2.5 POTENCIA Y PAR O MOMENTO DE TORSION MECÁNICOS.....	26
7.2.6 VELOCIDAD DE ROTACIÓN .....	28
7.2.7 CONTROL DE VELOCIDAD POR MEDIO DE REOSTATO.....	29

7.2.8 CONTROL DE VELOCIDAD POR MEDIO DEL CAMPO.....	30
7.2.9 MOTOR EN DERIVACIÓN (SHUNT) BAJO CARGA.....	32
7.2.10 MOTOR EN SERIE.....	32
7.2.11 CONTROL DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR EN SERIE .....	34
7.2.12 MOTOR COMPUESTO .....	34
7.2.13 INVERSIÓN DE LA DIRECCIÓN DE ROTACIÓN .....	36
7.2.14 ARRANQUE DE UN MOTOR EN DERIVACIÓN .....	36
7.3 PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER) .....	37
7.3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE UN PLC Y SU FUNCIONAMIENTO .....	40
7.3.2 COMPONENTES DE HARDWARE (PLC).....	43
7.3.3 TIPOS DE PLC.....	44
7.3.4 PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	46
7.4 PERFORADORA 39 HR BUCYRUS .....	47
<b>8. PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS .....</b>	<b>56</b>
8.1 ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA PERFORADORA 66 .....	56
8.2 METODO EMPLEADO EN LA DETECCIÓN DE FALLAS DE LA PERFORADORA 66.....	58
8.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (ANÁLISIS DE CÁMARA TERMOGRAFÍA).....	64
8.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (ANÁLISIS DE VIBRACIONES).....	69
8.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (SUBESTACION PRINCIPAL).....	74
<b>9. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>77</b>
9.1 COMPARATIVO SIEMENS Y ALLEN BRADLEY.....	77
9.2 MEJORAS EN LA ACTUALIZACIÓN DEL EQUIPO.....	77
9.3 PROGRAMA DE ACTIVIDADES EN LA INSTALACION DE VARIADORES .....	78
9.4 IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS NUEVOS Y MEJORAS.....	79
9.5 IMPLEMENTACIÓN DE LOS NUEVOS GABINETES DE LA MARCA ALLEN BRADLEY: .....	80
9.6 VISUALIZACIÓN DEL PANEL Y LA PANTALLA ANTIGUA EN EL CONTROL DE LA PERFORADORA 66 .....	81
9.8 PROGRAMACIÓN LADDER .....	83
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>11. RETROALIMENTACIÓN.....</b>	<b>88</b>
<b>12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

El distrito minero de Nacojarí, que cubre una área de aproximadamente 200km<sup>2</sup> está localizado al noreste del estado de Sonora, 185 km. Al sureste de Cananea, se ubica a 256 km al noroeste de la ciudad de Hermosillo (capital del estado) y a 125 km al sur de Agua Prieta, Agua Prieta es ciudad fronteriza del mismo estado que colinda con la ciudad norteamericana de Douglas, Arizona.

Estos centros de población se encuentran intercomunicados por una carretera pavimentada, y una vía de ferrocarril. Como medio de comunicación, se cuenta también con una pista de aterrizaje pavimentada de 2500 metros de longitud propiedad de Mexicana de Cobre.

Las actividades mineras en la región, se remontan hasta el año 1886, en el cual la empresa norteamericana Moctezuma Copper Company, inició la explotación de la mina de cobre "Los Pilares", promoviendo la economía de la región hasta el año 1949 cuando la incosteabilidad de las operaciones, por bajos precios en los metales produjo el ocaso de esta región minera. En 1964, el consejo Recursos Naturales No Renovables utilizado los recursos de la Organización de las Naciones Unidas, inició una exploración sistemática del distrito de Nacojarí de García, resultando la localización del yacimiento denominado "La Caridad". Lo anterior dio origen a un convenio en 1968 entre el gobierno mexicano y la empresa Asarco Mexicana en la cual esta última se comprometía a un programa de exploración intenso y detallado, iniciando una serie de eventos importantes que han venido desarrollándose.

El florecimiento de la empresa corresponde al sueño y gran reto de un hombre visionario, hombre de trabajo y comprometido con el país fue Don Jorge Larrea Ortega, fundador de lo que hoy es Grupo México.

En el transcurso de los años la empresa se ha venido constituyendo como una de las fuentes más importantes de empleo y derrama económica dentro el sector minero de nuestro país. La compañía se ha distinguido por adaptarse a las distintas condiciones y al ritmo de desarrollo impuesto por los avances tecnológicos, paralelamente a esto ha tenido un compromiso firme que ha contribuido al

mejoramiento de la calidad de vida de su personal y las personas que forman parte de la comunidad de donde están localizadas las propiedades.

La compañía desarrolla sus actividades integrales en sus "propiedades" como son minas y plantas ubicadas a lo largo del territorio nacional, además de sus oficinas administrativas. La empresa en Minera México pertenece a la división minera de Grupo México, es la compañía minera más grande del país, produce cobre, zinc, plata, oro, molibdeno, plomo, entre otros productos y subproductos.

### 1.1 ASPECTOS GENERALES

Esta información de la empresa es importante conocer, nos ayuda a conocer la razón social, su giro, su ubicación y el teléfono donde podemos contactar para aclaraciones o dudas al respecto. A continuación se presenta los datos:

- Razón Social: Operadoras de Minas Nacozari SA DE CV.
- Giro: Minería.
- Dirección: Km 19 Carretera Nacozari – Villa Hidalgo, SN, Nacozari de García.
- Teléfono: 01 634 342 9200.

### 1.2 MISIÓN, VISIÓN Y OBJETIVOS

Misión: Extraer recursos minerales para transformarlos y comercializarlos, satisfaciendo así las necesidades del mercado cumpliendo así con su responsabilidad social, ambiental y maximizando así el valor de los accionistas.

Visión: Ser la empresa minera–metalúrgica con reconocido liderazgo a nivel mundial en rentabilidad, producción, reservas y responsabilidad social y óptimos resultados a nivel seguridad, medio ambiente , servicios y calidad.

Objetivo: La obtención de los metales respetando la normatividad vigente realizando los trabajos con la seguridad para el personal trabajando con una operación responsable en el contexto del medio minero.

### 1.3 POLITICAS Y REGLAS DE LA EMPRESA

La dirección de recursos humanos de minera México, definirá acciones estratégicas mayores en materia de recursos humanos que impacten en el desempeño del

personal y los resultados de la empresa, así como las que incidan en las comunidades y regiones donde se ubican las propiedades.

La subdirección de la planeación y desarrollo de recursos humanos de Minera México definirá los objetivos, metas, indicadores y parámetros de las acciones estratégicas de común acuerdo con las direcciones y gerencias de cada propiedad o área corporativa así como la estrategia para su evaluación y seguimiento e informara a la dirección de recursos humanos de Minera México de lo acordado.

El área de recursos humanos de cada propiedad o área corporativa, será responsable de:

- a) Coordinar el diagnóstico para identificar por áreas los puestos clave que inciden prioritariamente en los resultados operativos y administrativos de la propiedad.
- b) Recopilar objetivos, metas, indicadores y parámetros por área.
- c) Integra las acciones de capacitación, desarrollo y educación a corto mediano y largo plazo.
- d) Concretar con los responsables de área de los planes elaborados.
- e) Cuantificar requerimientos y montos para llevar a cabo las acciones.
- f) Solicitar la aprobación de la gerencia o dirección de la propiedad o área corporativa.
- g) Distribuir el plan de capacitación, desarrollo y educación.

#### 1.4 ORGANIGRAMA

La empresa Grupo México que se encuentra en Nacozari , se conforma de un director de operaciones que es el ingeniero Víctor Manuel Morales Medina y cuatro gerencias operativas que son la planta ESDE, Mina, Mantenimiento y Planeación y Recursos Humanos y superintendencia de seguridad industrial. Cada gerente tiene a su mando superintendentes que son los encargados de coordinar y aplicar las estrategias elaboradas por el gerente para la obtención de resultados. Los superintendentes coordinan a los jefes de departamento para tomar acciones en las áreas correspondientes, los jefes de departamento dirigen y administran el personal (supervisores y sindicalizados). Este organigrama forma el equipo de trabajo de

mina "La Caridad" y el proyecto corresponde al área de la gerencia de mantenimiento y planeación, mi asesor por parte de la empresa es el superintendente de planeación donde se lleva a cabo mejoras continuas en áreas de toda la mina, ver Figura 1.

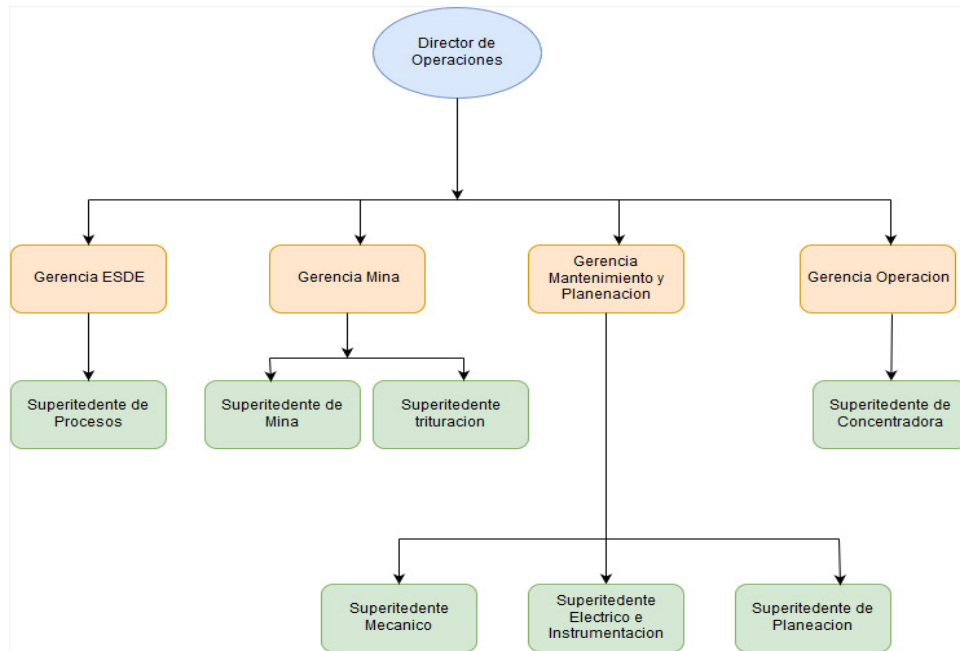


Figura 1. Organigrama de la mina La Caridad

### 1.5 ÁREAS DE TRABAJO DENTRO DE LA MINA LA CARIDAD

La Mina "La Caridad" se divide en varias áreas desde la mina hasta que el mineral llega a concentradora para luego separar los minerales por medio de procesos químicos en este caso el cobre este metal es separado por una celdas por un método de flotación donde el reactivo hace que las partículas de cobre floten y sean enviadas por una canaleta para luego procesar el cobre en placas o alambón. se describiera las áreas más importante para llevar este proceso.

### 1.6 PROCESO EN MINA

La explotación a cielo abierto se desarrolla en un área de aproximadamente de 2.6 km<sup>2</sup> , a una altura de 1365 y 1680 M.S.N.M , el yacimiento se mina por el sistema de tajo, con bancos de 15 m de altura, los que se forman al remover , con equipo mecánico, el mineral previamente aflojado con explosivos. El movimiento de los materiales se planea a corto, mediano y largo plazo, mediante la aplicación del



sistema Dispatch, que incluye sistemas computarizados y GPS alimentados por levantamientos topográficos con taquímetro electrónico, logrando una optimización en el tiempo para la programación diaria de movimiento de materiales aproximada de 320 000 toneladas diarias.

Todo el material obtenido se clasifica de acuerdo a los valores que contiene de cobre:

- a) Material con ley de cobre superior al 0.32% se envía a la planta concentradora de 90 000 a 120 000 toneladas.
- b) Material con ley de cobre entre 0.15% a 0.32% se envía a planta hidrometalurgia de 60 000 y 80 000 toneladas.
- c) Material inferior 0.15% de cobre es enviado a terrenos de tepetate.

#### 1.7 PROCESO SECO DE TRITURACIÓN

Esta planta opera únicamente material con ley de cobre igual o superior al 0.32%. Este proceso inicia con el vaciado de los camiones que transportan el material a la quebradora primaria, después se envía a la sección de trituración y cribado, donde se reduce el tamaño de la roca de 60" a -1/2". Mediante bandas transportadoras, este material es trasladado a la sección o almacén de mineral fino.

#### 1.8 PROCESO HÚMEDO CONCENTRADORA

En esta parte del proceso se realiza la molienda donde es molido y enviado a las celdas de flotación para añadirle reactivos, agitación e inyección de aire para separar el material estéril de las partículas con cobre y molibdeno que flotan en la superficie.

El material estéril que se conoce como jales, se pasa a los espesadores para recuperar agua y se envían finalmente por gravedad a la pera de jales para su almacenamiento. Las partículas flotantes que contienen cobre y molibdeno pasan a otro proceso de flotación en la planta de molibdeno, donde se separan, produciendo concentrados de molibdeno. Esta planta tiene una producción de 1000 toneladas mensuales de molibdeno, los valores del cobre se envían a un espesado de donde salen los concentrados con un 30% de cobre, los cuales se filtran y se secan hasta

obtener un material con 9% de humedad. De esta manera están listos para enviarse a la planta fundición, la producción diaria de concentrados de cobre es alrededor de 1 300 toneladas, con la instalación de sistemas computarizados de control experto, en las secciones de trituración molienda y flotación, la unidad Mina La Caridad controla las principales operaciones del proceso con tecnología muy avanzada de primer orden a nivel mundial. La iniciativa y esfuerzo del personal que labora en la empresa se manifiesta en los resultados que se han logrado en aspectos como producción, recuperación, estabilidad de las operaciones, mantenimiento, etc. Existe un continuo estudio del proceso con el objeto de mejorar las operaciones y sistemas mediante experimentaciones, análisis, revisiones, con lo que se han cumplido importantes logros que han significado ahorros económicos muy importantes.

#### 1.9 PROCESO PLANTA ESDE (EXTRACCIÓN POR SOLVENTES Y DEPOSITACIÓN ELECTROLITICO HIDROMETALURGIA)

La planta de hidrometalurgia procesa el mineral de baja ley que se encuentra en el yacimiento, ya que este no puede ser tratado por el proceso de concentración por su incoasteabilidad. Cabe destacar que en mayo de 1997 este proceso fue certificado bajo las normas de calidad ISO 9000.

La planta tiene la capacidad de producción de 70 toneladas con una pureza del 99.999999%.

#### 1.10 PROCESO DE LIXIVIACIÓN

Es el proceso de separación de ion de cobre en el mineral mediante la adición de una solución ácida ferro cuprífera con el fin de obtener una solución acuosa con el metal de interés. Agente lixiviar: ácido sulfúrico 10 -12 g/l.

#### 1.11 PROCESO DE EXTRACCIÓN

El propósito de extracción por solventes es concretar y purificar la solución acuosa alimentada de cobre para producir una solución electrolítica de alimentación a electrodeposición.

## 1.12 PROCESO DE ELECTRODEPOSICION

La planta de extracción por solventes está compuesta por trenes conformados por dos etapas de extracción y dos de despojamiento en serie.

El propósito de la depositario electrolítica (ew) es producir un cátodo electrón de cobre de grado comercial para su venta. Consiste básicamente en hacer pasar corriente eléctrica a través de las 94 celdas electrolíticas conectadas en serie para depositar el ion de cobre contenido en la solución de sulfato de cobre en una placa de acero inoxidable denominadas catado por un tiempo promedio de seis días promedio.

## 2. DESCRIPCION DEL AREA DE TRABAJO DE LA INSTITUCION EN QUE SE DESARROLLA LA PRACTICA

En la empresa "Mexicana de cobre, Mina La Caridad" tiene muchas áreas de trabajo en las cuales uno puede desarrollar actualizaciones y mejoras muy interesantes, el proyecto donde se llevará acabo la actualización corresponde al área de mantenimiento y planeación (mina), este departamento realiza mantenimientos predictivos, preventivos entre otros, para optimizar y actualizar diferentes plataformas en caso de ser requerido (programación, mejoras de mecanismos, comunicación, etc.) a los equipos que se encargan de obtener los metales del tajo minero como son yucles , palas , perforadas entre otras.

## 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La razón por la cual se tomó el reto de realizar esta actualización en el área de mina es porque la perforadora 66 se encontraba en un estado crítico , en este caso la empresa pensaba utilizar esta máquina como refacciones para otros equipos (perforadoras), La perforadora 66 es una máquina la cual se encarga de realizar barrenaciones en el tajo de la mina y se extrae el mineral para calcular su ley de cobre y analizar si es costeable explotar la zona donde se llevaron a cabo las barrenaciones para obtener este mineral, mandarlo al área del trituración mediante yucles. Se realizó un análisis profundo con ayuda de equipos de medición para determinar las actualizaciones que se le harían al equipo para dejarlo funcional y listo para ubicarlo en el tajo para realizar las barrenaciones correspondientes.

#### **4. OBEJTIVO Y ALCANCE DEL PROGRAMA**

Desarrollar habilidades de programación y comunicación en el PLC5 (familia de PLC de la marca ALLEN BRAYLEY) y lo que representa actualizar la versión control logix con aplicaciones en la hidráulica que tiene esta maquinaria para realizar las perforaciones y obtención de conocimiento en las otras áreas de trabajo, manejo y trato del personal.

#### **5. PROBLEMAS PLANTEADOS**

En la mina “la Caridad” para realizar los trabajos de exploración y obtención de metales cuenta con equipo pesado que lo conforman 6 palas mecánicas, 6 cargadores frontales, 6 perforadoras y 31 camiones todos de marcas y capacidades diferentes, es importante contar con el equipo pesado siempre disponible para este proceso (mina). La perforadora #66 que es el lugar donde se realizará la actualización tiene 24 años trabajando ,sin realizársele modificaciones, para dicha actualización se contempla la instalación dos nuevos variadores de velocidad de características diferentes sustituyendo a los variadores de tecnología antigua, uno de los principales problemas que presenta la perforadora es el calentamiento de los polos en los motores de corriente directa y la acción correctiva a tomar es el evitar el daño permanente o calentamiento continuo de los polos en los motores , los cuales se encargan de taladrar y el levante o corrimiento de la cremallera, la idea es mejorar la disponibilidad del equipo y adecuar una visualización a través de un panel view, el cual tenga las fallas del equipo así como un seguimiento histórico y graficado de los parámetros que deben realizarse para garantizar la disponibilidad deseada que permita cumplir con los programas de producción.

A continuación se anexa una foto del área de trabajo donde se realiza el proyecto ver Figura 2:



Figura 2. Este es el equipo donde se llevara a cabo la actualización.

La perforadora es utilizada todos los días en un promedio de barrenación diario de 600 metros aproximadamente 300 metros por turno de 12 horas, el trabajo desarrollado dependerá de la dureza del mineral o tipo de terreno en el cual este trabajando. Se anexa a continuación las características con la que cuenta el equipo en forma de Tabla 1:

Capacidades de la perforadora BUCYRUS #66.

Marca	Motor	RPM	Volts	Amp. Nominal
Levante GE	130	1125	475 DC	225
Rotación GE	195	1075	475 DC	330
Compresor SIEMENS	600	1777	4000/6000 AC	76.5/44.4
Medidas del equipo				
Diámetro del barreno			12 ¼"	311 mm
Profundidad del Barreno			65.5´	20 mts
Altura total del mástil			66´	20 mts
Ancho total de la maquina			23´ 9"	7.24 mts
Longitud total de las orugas			24´	7.54 mts
Longitud total de la máquina			48´ 4"	14.73 mts

Tabla 1. Capacidades de la perforadora BUCYRUS #66

## 5.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la idea de evitar daños continuos en los campos de los motores de corriente directa se busca la forma de mejorar el rendimiento y protección de los motores de corriente directa y evitar cambios continuos de los campos de motores, los cuales han ocasionado un incremento en los costos de reparación y mantenimiento llegando a afectar la disponibilidad del equipo, se ha realizado un análisis de las condiciones en las que se encuentra el equipo y llego a la conclusión de realizar una actualización de variadores de velocidad de corriente directa se espera que esta estrategia ayude a disminuir los costos y aumentar la disponibilidad del equipo. Se presentara una tabla en donde se aprecia el consumo de los campos de motor de rotación y levante, ver Tabla 2:

ROTACION		LEVANTE	
AÑO	CONSUMO CAMPOS DE MOTOR (PIEZAS)	AÑO	CONSUMO CAMPOS DE MOTOR (PIEZAS)
2013	3	2013	4
2014	3	2014	3
2015	4	2015	17
2016	8	2016	15
TOTAL	18	TOTAL	39
\$ DLLS CAMPOS(PZA)	\$3,934	\$ DLLS CAMPOS(PZA)	\$3,338
TOTAL \$ (DLLS)	\$70,812	TOTAL \$ (DLLS)	\$130,182

Tabla 2. Consumo de los campos de motor de levante y rotación (Piezas), un campo de motor de rotación cuesta \$ 3,934 y un campo de motor de levante \$3,338 dólares

## 5.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es actualizar un equipo que se encuentra inoperante y mal estado , con disponibilidad nula, el cual fue traído de la mina de Cananea, para que esté en condiciones operativas similares a las otras 5 perforadoras para llevar a cabo dicho objetivo se planea realizar unas inversiones e instalación de variadores de velocidad de tecnología actualizada y mejorar la visualización a través de panel y comunicación con los variadores , el PLC 5 de Allen Bradley existente, utilizando los recursos disponibles y pertinentes para lograr las mejoras deseadas. Instalar una red de continuación con un PLC control logix para manipular y tener las bases de datos del PLC 5 el cual está limitado por los cambios tecnológicos y es necesario accederlo por la red existente DH+ se instalara comunicación de red Ethernet para el panel y acceso directo a los variadores de

velocidad, en el siguiente esquema se presenta una explicación para llevar dicha opción se puede apreciar en la Figura 3:

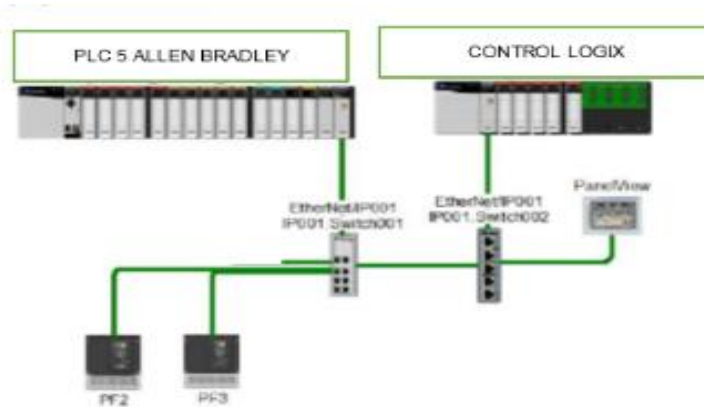


Figura 3. Arquitectura de la comunicación red Ethernet de PLC 5 a control logix

### 5.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cambio de los variadores de velocidad y la red de comunicación ayudara a mejorar y disminuir entre otras cosas:

- a) Los daños en los campos de los motores de corriente directa.
- b) Se mejorara los diagnósticos para la identificación de fallas en la perforadora, debido a la instalación del panel y control de alarmas e históricos de las variables.
- c) Se mejorara la disponibilidad del equipo al evitar los paros de reparación de motores.
- d) Se contempla que tendrá con este cambio de variadores de velocidad por lo menos un 50% en la disminución de daños a los campos de los motores lo cual sería en lugar de 23 piezas (campos cambiados en el año 2016 en total) que sea 11 o 12 piezas a un costo promedio de \$ 3,636 usd según lo comentado en la Tabla # 2. Se tendría que para un período de 18 meses con esta consideración de 18 campos dañados acumularía un ahorro de \$ 58,544 usd muy cercano a los costos analizados en la tabla donde se realiza la comparativa del costo de las dos marcas.

Es conveniente señalar que afecta más al proceso de producción el tener el equipo fuera de servicio que lo que representa el costo de las reparaciones, con esta propuesta se pretende disminuir en un 75% la afectación de la disponibilidad del equipo.

## 6. ALCANCES Y LIMITACIONES EN LA SOLUCION DEL EQUIPO

Tomando en cuenta las condiciones de los años de servicio y lo obsoletos de los variadores y algunos accesorios, se comenzó a revisar las opciones en el mercado para la sustitución de los equipos, se destaca como las opciones la misma marca de los variadores de velocidad instalados SIEMENS, así como Allen Bradley con el variador POWER FLEX las razones son por ser un cambio transparente en el caso de la marca instalada y la otra por la facilidad de integración al sistema de control del PLC 5 Allen Bradley instalado. Se tomó la decisión de revisar y analizar las opciones con las marcas de los equipos instalados en el sistema de fuerza la marca SIEMENS y en el sistema de control la marca Allen Bradley. Se realiza un comparativa tomando en cuenta los factores de equipo, inversión, implementación de tecnología y operadores y se empieza a tomar decisiones de lo que va a implementarse en la perforadora #66.

### 6.1 VARIADOR DE VELOCIDAD MARCA SIEMENS

La tecnología de los variadores de SIEMENS se observar la Figura 4, se contempla un mejor modelo para control de torque y tecnología de comunicación aceptable se analizó el costo unitario y la adaptación de la tecnología presenta un costo del 300%.

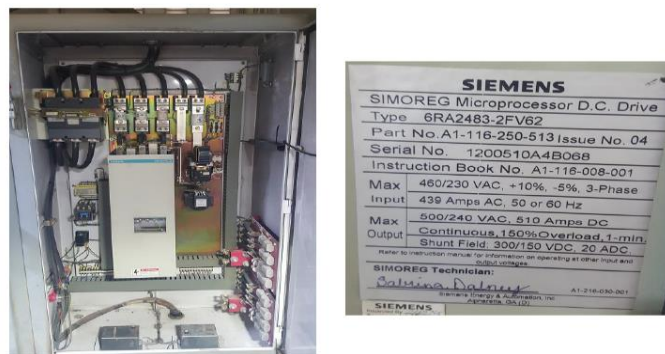


Figura 4. EL Variador de velocidad y tabla de características marca SIEMENS



Se realizó una tabla comparativa de en cuanto a los costos que representaba la instalación de dichos equipos y con el resultado de dicha comparación se tomó la mejor opción para concretar este proyecto, enseguida se presenta la comparativa:

Costos en dólares de la implementación de la tecnología		
VARIADOR DE VELOCIDAD	SIEMENS	ALLEN BRADLEY
Levante	\$ 45,000	\$ 21,000
Giro	\$ 45,000	\$ 18,500
Ingeniería y accesorios	\$ 56,000	\$ 18,000
Gran Total	\$ 146,000	\$ 57,500

El equipo de la marca Allen Bradley y la integración presentan un costo unitario menor y la tecnología es más amigable con el personal del mantenimiento debido a que hay equipos diversos de la marca en la planta, por estas razones se toma la decisión de instalar la plataforma de fuerza y control e integración de la marca Allen Bradley.

## 7. FUNDAMENTO TEÓRICO

El proyecto se compone de variador de velocidad, PLC, motores corriente directa y la perforadora, antes de empezar a realizar el proyecto es importante investigar como opera, funcionamiento, partes etc. de los equipos que se usarán en la actualización. La información obtenida mediante la elaboración del marco teórico ayudó a comprender el alcance de la actualización a realizar y de los problemas que se presentarían en el proyecto, después de leer mucha información de libros de máquinas eléctricas, variadores de frecuencia entre otras fuentes se presenta a continuación la información requerida dar inicio al proyecto.

### 7.1 VARIADOR DE VELOCIDAD

Es un accionamiento de velocidad variable que está constituido por un motor y algún tipo de controlador, observar la Figura 5, es un ejemplo de ellos como los puedes encontrar en los equipos industriales. Los primeros accionamientos electrónicos consistían en combinaciones de motores corriente alterna y corriente directa que

eran utilizados como controladores rotatorios. A su vez, los primeros controladores electrónicos empleaban rectificadores (SCR) para controlar el voltaje y por consiguiente, la velocidad de los motores DC.



Figura 5. El Drive para motor DC

Esta clase de accionamiento de velocidad variable de corriente directa tiene un extenso uso, sin embargo, el motor de DC es costoso, de gran tamaño y su sistema de alimentación eléctrico (escobillas) requiere de mantenimiento periódico.

Los primeros en variar la velocidad fueron los inversores (ADF, drivers de frecuencia ajustable) en los sesentas (años) en esos días los inversores consistían de 4 componentes principales que se pueden ver en Figura 6 [1]:

- Un rectificador de 3 fases que convierte el voltaje de entrada VCA en voltaje de corriente directa pulsante, hay dos tipos básicos de rectificadores los controlados y no controlados [1].
- El circuito intermedio, hay tres tipos de circuitos intermedios, uno convierte el voltaje rectificador en corriente DC, el otro tipo estabiliza el voltaje pulsante y lo manda al inversor. El tercer tipo convierte voltaje de un valor constante rectificado en un valor variable [1].
- El inversor controla la frecuencia del voltaje de motor un tipo de inversor también convierte el voltaje de corriente directa constante en un voltaje de corriente alterna variable [1].

El circuito electrónico de control también puede transmitir señales a los dos rectificadores al circuito intermedio y al inversor. Las partes a ser controladas están determinadas por el diseño del inversor, la característica común de los drivers es

que el circuito de control es que manda señales a los semiconductores del inversor para swichear en enciende y apaga. Este switcheo está determinado por el diseño propio del inversor. El driver puede ser agrupado por el modelo de switcheo controlado el poder del motor [1].

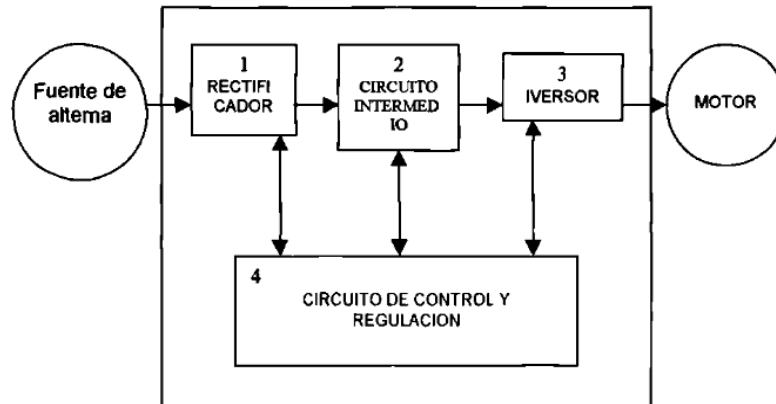


Figura 6. El diagrama simplificado convertidor de frecuencia, imagen tomada de la tesis del ing. Javier Aguirre Contreras, UANL

Todo esto nos lleva a poder controlar la frecuencia y el voltaje del motor simplemente con la conversión del voltaje de alimentación de 1 a 3 fases de 60 Hz fijos y el voltaje de corriente alterna se transforma en voltaje de corriente directa y este a su vez alimenta el circuito intermedio que cambia en voltaje de alterna pero con características diferentes de magnitud y frecuencia, ahora bien, si podemos controlar la frecuencia y el voltaje podemos controlar también el par de arranque por ejemplo. O mantener el par constante a través del proceso. En la actualidad los inversores se han mantenido en el mercado ya que han incorporado los sistemas más sofisticados de comunicación y software que ha permitido darles más versatilidad en el campo. Sin duda una de entre las características más importantes es que podemos controlar el par ya sea este variable o constante para lo que el inversor puede llegar a controlar hasta el 150% del par variable. Otro no menos importante es el frenado dinámico que hace que el motor se detenga en un tiempo controlado por lo que nos ayuda a controlar más el proceso. Al igual que estas dos características el inversor ver la Figura 7, también desarrollo un sofisticado sistema

de comunicación ya que en la actualidad cuenta con diferentes sistemas tales como, RS-485, sistema profibus entre otros [1].

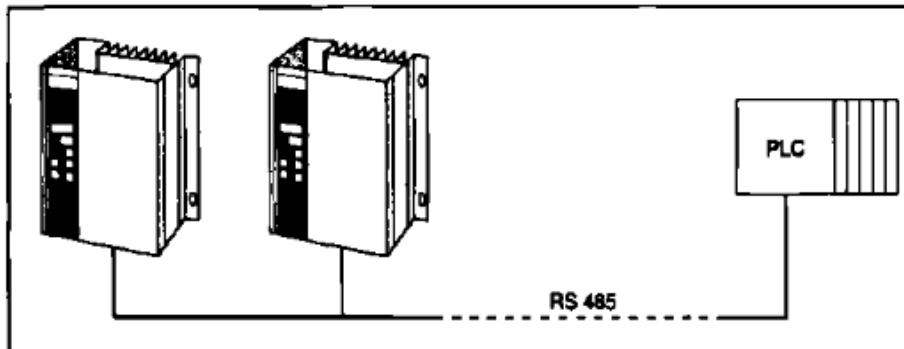


Figura 7. Inversores en comunicación por bus, Imagen tomada de la tesis del ing. Javier Aguirre Contreras, UANL.

Para evitar todo este tipo de inversiones en costos de mantenimiento y daño al motor DC nace la idea de un controlador electrónico llamado variador de velocidad [2].

Los equipos de variadores de velocidad controlan prácticamente todos los parámetros importantes del motor, permitiendo su uso en todo tipo de aplicaciones industriales. Dichas aplicaciones van desde el control de velocidad del motor hasta el control de su posición (servo-variadores), los variadores de velocidad (drivers) son dispositivos que permiten variar la velocidad en un motor controlando electrónicamente el voltaje y la frecuencia entregada al motor, manteniendo el torque constantemente (hasta la velocidad nominal) [2].

Los componentes básicos de un drive se puede ver Figura 8 son:

1. Circuito Rectificador: Recibe la tensión alterna y la convierte en continua por medio de un puente rectificador de diodos o tiristores [2].
2. Circuito intermedio: Consiste en un circuito LC cuya función es suavizar el rizado de la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos hacia la red [2].
3. Inversor: convierte el voltaje continuo del circuito intermedio en uno de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Los

variadores modernos emplean IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) para generar pulsos de voltaje de manera controlable [2].

Circuito de control: Enciende y apaga los IGBT para generar pulsos de tensión y frecuencia variable. Además, realiza las funciones de supervisión de funcionamiento monitoreando el voltaje, la corriente, temperatura, etc. Con teclados e interfaces amigables para los operadores.

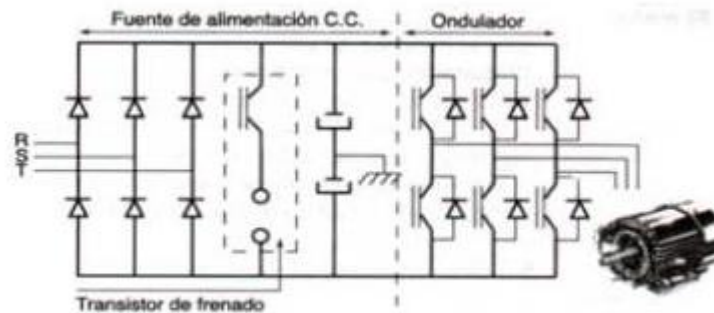


Figura 8. Circuito electrónico drive conectado a un motor trifásico.

En la figura 8, muestra a una red alterna de tres fases que alimenta la entrada la cual es rectificadora a CC y filtrada por un filtro L-C. Este “Bus de CC” alimenta un puente inversor de tres fases, donde es convertida nuevamente a una forma de onda de CA de tres fases, pero a la tensión y frecuencia necesarias para que el motor funcione a la velocidad deseada. [2]

El control de velocidad que ofrecen los drivers es una velocidad programada, se puede observar la relación en la Figura 9, la velocidad se puede controlar a pasos con tan solo comprimir un botón (uno o varios según sea la necesidad) seleccionas la velocidad que requieras previamente, también se puede programar una velocidad tope o límite máximo ya que en algunos procesos es necesario para su seguridad que la velocidad no exceda ciertos valores. [1]



Figura 9. Relación de velocidad y tiempo de los drivers, imagen tomada de la tesis del ing. Javier Aguirre Contreras, UANL.

La instalación de los drivers en una industria nace de dos motivos principales [3]:

- El mejoramiento en el proceso operativo.
- El ahorro de energía eléctrica.

Considerar el tipo de características que uno necesita para la instalación de un variador de velocidad o drive se debe de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones [3]:

- Verificar el rango de la corriente tanto del variador como del motor.
- Checar que se haya seleccionado el voltaje de operación correcto (mono o trifásico).
- Confirmar el rango de velocidad requerido. La operación sobre la frecuencia nominal (60Hz) solamente es posible con el descenso del torque del motor. La operación de baja frecuencia y el alto torque puede ocasionar el sobrecalentamiento del motor debido a la falta de ventilación.
- Verificar el desempeño de la aplicación con sobrecarga. El drive limitara muy rápidamente la corriente a 150% de corriente nominal al motor.
- En caso de que se requiera, se debe considerar el uso de un resistor de frenado para absorber y disipar la energía o el empleo de variadores de velocidad con capacidad regenerativa o recuperación de energía.
- Revisar las distancias de instalación entre el motor y el variador. Distancias superiores a 100 metros de cable estándar o mayor de 50 metros de cable apantallado puede requerir la aplicación de factores de corrección o la instalación de un reactor de salida para reducir la carga del convertidor debido a las corrientes transitorias capacitivas del cable.

Tomar muy en cuenta las condiciones ambientales tales como la temperatura ambiente y la altura sobre el nivel del mar. A temperaturas mayores a 50 grados centígrados o alturas superiores a los 1000 m.s.n.m, el equipo deberá considerarse variadores de velocidad de mayor potencia para cubrir /compensar el derrateo. [3]

## 7.2 MOTOR DC

Con el descubrimiento de la ley de la inducción electromagnética por Faraday, empieza la historia de las máquinas eléctricas y hasta mediados de la octava década del siglo XX, representa en esencia la historia del desarrollo de la máquina de corriente continua. Es importante destacar también la importancia de las máquinas de corriente continua:

- En el mundo del transporte ya que tienen facilidad de mantener constante la velocidad de rotación.
- En la fabricación de micro-motores utilizados en la electrónica.

Los motores de corriente directa como se muestran en la Figura 10, convierten la energía eléctrica en energía mecánica. Estos dispositivos pueden tener una característica de par o momento de torsión-velocidad muy definida (como una bomba o un ventilador) o una extremadamente variable (como un malacate o un automóvil). [4]



Figura 10. Motor DC

La característica de par o de momento de torsión-velocidad del motor debe ser adaptada al tipo de carga que tiene que impulsar, y este requerimiento ha dado lugar a tres tipos básicos de motores [4]:

1. Motores en derivación (o shunt)
2. Motores en serie
3. Motores compuestos

Los motores de corriente directa rara vez se utilizan en aplicaciones industriales ordinarias ya que todos los sistemas eléctricos suministran corriente alterna. Sin embargo, en aplicaciones especiales, como fábricas de acero, minas y trenes

eléctricos, en ocasiones es conveniente transformar la corriente alterna en corriente directa para utilizar motores de cd [4].

### 7.2.1 FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ (fem)

Los motores de corriente directa se construyen del mismo modo que los generadores; por consiguiente, una máquina de cd puede operar como motor o como generador. Para ilustrar lo anterior, considere un generador de cd en el que la armadura, inicialmente en reposo, está conectada a una fuente de cd. Es por medio de un interruptor se muestra en la Figura 11. La armadura tiene una resistencia  $R$  y el campo magnético es creado por un juego de imanes permanentes [4].

En cuanto se cierra el interruptor, una gran corriente fluye en la armadura porque su resistencia es muy baja. Los conductores individuales de la armadura de inmediato se someten a una fuerza porque están inmersos en el campo magnético creado por los imanes permanentes. Estas fuerzas se suman para producir un poderoso par o momento de torsión que hace girar la armadura [4].

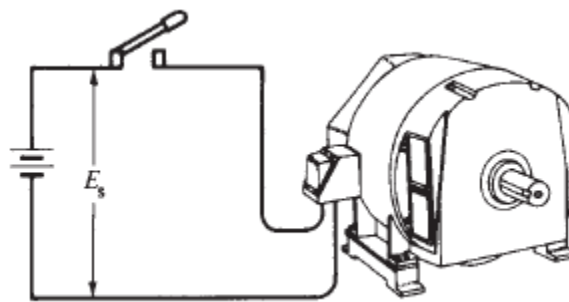


Figura 11. Arranque de un motor DC a través de la línea.

Por otra parte, en cuanto la armadura comienza a girar, ocurre un segundo fenómeno: el efecto de generador. Sabemos que un voltaje  $E_o$  es inducido en los conductores de la armadura en cuantos éstos atraviesan un campo magnético se aprecia en la Figura 12. Esto siempre es cierto, sin importar qué provoque la rotación. El valor y la polaridad del voltaje inducido son los mismos que los obtenidos cuando la máquina opera como generador. Por lo tanto, el voltaje inducido  $E_o$  es



proporcional a la velocidad de rotación  $n$  del motor y al flujo  $F$  por polo, como vimos en la ecuación [4]:

$$E_o = Zn\phi/60$$

Como en el caso de un generador,  $Z$  es una constante que depende del número de vueltas en la armadura y del tipo de devanado. En el caso de devanados imbricados o de lazo,  $Z$  es igual al número de conductores de la armadura.

En el caso de un motor, el voltaje inducido  $E_o$  se conoce como fuerza contra electromotriz (fcem) porque su polaridad siempre actúa contra el voltaje de la fuente  $E_s$ . Actúa contra el voltaje en el sentido de que el voltaje neto que actúa en el circuito en serie de la figura 12 es igual a  $(E_s - E_o)$  volts y no a  $(E_s + E_o)$  volts [4].

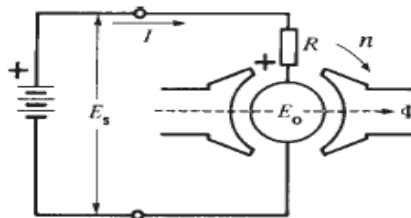


Figura 12. Fuerza contra electromotriz (fcem) en un motor de DC

Las principales partes que conforman la máquina de corriente continua son las siguientes:

- El estator
- El rotor

A continuación se explicara las partes que compone cada una de estas partes que conforman un motor de corriente directa.

## 7.2.2 EL ESTATOR



Figura 13. Estator de un motor DC

Se puede ver en la Figura 13 un ejemplo de los componentes físicos del estator de un motor DC, el estator se compone de polos, bobinas, interpolos, arrollamientos de compensación, yugo y escobillas, observar la Figura 13 donde se muestra como es un estator, a continuación se describe los componentes del estator [5]:

- a) Los polos: los cuales están hechos de acero silicio laminado.
- b) Las bobinas de campo: Las bobinas están arrolladas sobre los polos.
- c) Bobina shunt: compuestas de muchas espiras de alambre delgado.
- d) La bobina serie: compuestas de pocas espiras de alambre grueso
- e) Los Interpolos: Están hechos de láminas de acero silicio y llevan un arrollamiento de alambre grueso.
- f) Los arrollamientos de Compensación: Están conformados por los conductores que se colocan en los polos con el objeto de neutralizar la reacción de armadura. Solamente los llevan las máquinas de gran potencia ya que su costo es bastante elevado.
- g) El Yugo: El yugo del estator es necesario para cerrar el circuito magnético de la máquina.
- h) Las Escobillas y las Porta escobillas: Toda máquina de corriente continua requiere de por lo menos dos escobillas. Están hechas de carbón o de cobre grafito y van alojadas en las porta escobillas que están sujetas a un anillo que va entornillado al yugo. Un resorte presiona firmemente las escobillas sobre el conmutador para obtener un buen contacto eléctrico.

### 7.2.3 EL ROTOR



Figura 14. Rotor de un motor DC

Lo conforman los siguientes componentes [5]:

- a) El Núcleo de la Armadura: Está constituido por láminas de acero silicio de sección circular. La circunferencia es ranurada para que puedan alojarse los conductores del arrollamiento de armadura.
- b) El Conmutador: Está hecho por un gran número de segmentos de cobre o delgadas, aislados entre sí.
- c) El Arrollamiento de Armadura: Existen dos tipos de arrollamiento de armadura: el imbricado y el ondulado.
- d) El motor DC tiene básicamente dos arrollamientos, uno ubicado en el estator cuya función es crear un campo magnético por lo que se le denomina inductor. El otro arrollamiento está ubicado en el rotor y se denomina inducido o armadura.

Un motor DC elemental como se puede apreciar en la Figura 15, en el que el Inducido está representado por los dos conductores a y a' que conforman la espira aa' los terminales de la espira van conectados al conmutador que en este caso muy simple está conformado solamente por dos segmentos o delgadas de cobre aislados entre sí. El conmutador gira junto con el rotor por lo que la conexión al circuito exterior se realiza a través de las escobillas. Cuando el rotor gira sus conductores cortan las líneas de fuerza producidas por el inductor y se engendra en ellos una f.cem, esta f.e.m. es rectificadas por el conmutador apareciendo en los bornes de la máquina una tensión E prácticamente constante. El campo magnético es producido por la corriente continua de excitación que recorre las bobinas de campo de los

polos del estator. Siendo el entre hierro constante, la distribución espacial de la densidad de flujo  $B_e$  en el entrehierro es prácticamente uniforme [5].

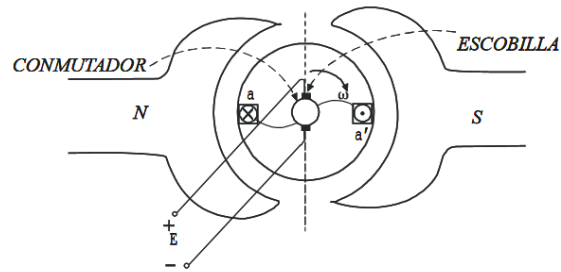


Figura 15. Motor DC inducido

La densidad del flujo ( $B_e$ ) entre el hierro y el metal es radial ver Figura 16 y su valor puede determinarse por la siguiente expresión [5]:

$$B_e = \frac{p\phi d}{2\pi r L}$$

$\phi d$  = flujo producido por un polo.

$r$  = radio del rotor.

$L$  = longitud útil del rotor.

$P$  = número de polos.

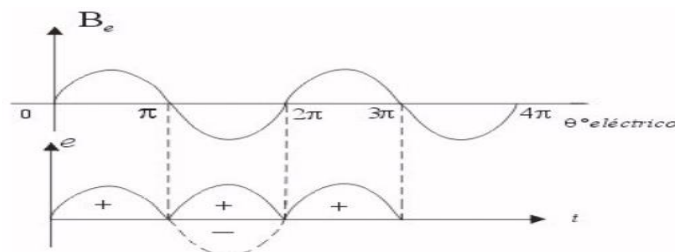


Figura 16. Densidad del flujo ( $B_e$ ) entre el hierro y metal es radial.

Cuando el rotor del generador indicado gira con una velocidad " $\omega$ " en cada uno de los conductores se genera una f.e.m., para comprender el funcionamiento del conmutador hay que tener presente que la polaridad de la f.e.m. generada depende de la dirección del campo magnético. Por consiguiente cuando un conductor pasa

de una posición A frente a un polo a otra posición B frente al otro polo, cambia la polaridad y por lo tanto debe también invertirse simultáneamente su conexión a las escobillas. Esto lo realiza el conmutador cada vez que el conductor pasa por el plano neutro que separa los polos N y S. Es importante observar que en el instante que los conductores a y a 'se encuentran en el plano neutro, las escobillas cortocircuitan los segmentos del conmutador y ponen en cortocircuito la espira. Esto es posible por el hecho de que en esa posición la f.e.m. inducida en la bobina es prácticamente nula por no existir flujo perpendicular al movimiento. [5]

#### 7.2.4 ACELERACION DE UN MOTOR

El voltaje neto que actúa en el circuito de la armadura se puede ver Figura 12 es  $(E_s - E_o)$  volts. La corriente resultante  $I$  en la armadura está limitada sólo por la resistencia  $R$  de ésta, por lo que [4]:

$$I = (E_s - E_o)/R$$

Cuando el motor está en reposo, el voltaje inducido  $E_o = 0$ , por lo que la corriente de arranque es [4]:

$$I = E_s/R$$

La corriente de arranque puede ser 20 o 30 veces mayor que la corriente a plena carga nominal del motor. En la práctica, esto haría que los fusibles se quemaran o que los cortacircuitos o sistemas de protección se activaran. Sin embargo, si están ausentes, las grandes fuerzas que actúan en los conductores de la armadura producen un poderoso par o momento de torsión de arranque y, en consecuencia, una rápida aceleración de la armadura.

Conforme se incrementa la velocidad, la f.cem  $E_o$  también se incrementa, lo que provoca que el valor de  $(E_s - E_o)$  disminuya. Deducimos que la corriente  $I$  en la armadura disminuye progresivamente a medida que se incrementa la velocidad. Aun cuando la corriente en la armadura disminuye, el motor continúa acelerándose hasta que alcanza una velocidad máxima definida. Sin carga, esta velocidad produce una f.cem  $E_o$  un poco menor que el voltaje de la fuente  $E_s$ . De hecho, si  $E_o$

fuera igual a  $E_s$ , el voltaje neto ( $E_s - E_o$ ) sería cero, por lo que la corriente  $I$  también sería cero. Las fuerzas impulsoras dejarían de actuar en los conductores de la armadura y la resistencia mecánica impuesta por el ventilador y los cojinetes harían que el motor se desacelerara de inmediato. A medida que disminuye la velocidad, el voltaje neto ( $E_s - E_o$ ) aumenta y también la corriente  $I$  [4].

La velocidad dejará de disminuir en cuanto el par o momento de torsión desarrollado por la corriente en la armadura sea igual al par o momento de torsión de la carga. De este modo, cuando un motor funciona sin carga, la  $f_{cem}$  debe ser un poco menor que  $E_s$ , como para permitir que fluya una pequeña corriente, suficiente para producir el par o momento de torsión requerido.

#### 7.2.5 POTENCIA Y PAR O MOMENTO DE TORSION MECANICOS

La potencia y el par o momento de torsión de un motor de cd son dos de sus propiedades más importantes. A continuación derivaremos dos ecuaciones simples que nos permitirán calcularlas.

La  $f_{cem}$  inducida en una armadura de devanado imbricado o de lazo es [4]:

$$E_o = Zn\phi/60$$

Se ve que la potencia eléctrica  $P_a$  (ver Figura 11) suministrada a la armadura es igual al voltaje de suministro  $E_s$  multiplicado por la corriente  $I$  en la armadura [4]:

$$P_a = E_s I$$

Sin embargo,  $E_s$  igual a la suma de  $E_o$  más la caída  $IR$  en la armadura [4]:

$$E_s = E_o + IR$$

Deducimos que [4]:

$$P_a = E_s I$$

$$= (E_o + IR)I$$

$$= E_oI + I^2R$$

El término  $I^2R$  representa el calor disipado en la armadura, pero el muy importante término  $E_oI$  es la potencia eléctrica que es convertida en potencia mecánica. Por lo tanto, la potencia mecánica del motor es exactamente igual al producto de la  $f_{cem}$  multiplicada por la corriente en la armadura [4].

$$P = E_oI$$

Donde:

P = potencia mecánica desarrollada por el motor [W]

$E_o$  = voltaje inducido en la armadura ( $f_{cem}$ ) [V]

I = corriente total suministrada a la armadura [A]

Volviendo la atención al par o momento de torsión T, sabemos que la potencia mecánica P está dada por la expresión [4]:

$$P = nT/9.55$$

Donde n es la velocidad de rotación.

Para calcular el par o momento de torsión desarrollado por un motor con devanado imbricado está dado por:

$$T = Z\phi I/6.28$$

Donde

T = par o momento de torsión [N·m]

Z = número de conductores en la armadura.

$\phi$  = flujo efectivo por polo [Wb]

I = corriente en la armadura [A.]

6.28= constante, para ajustar.

### 7.2.6 VELOCIDAD DE ROTACION

Cuando un motor de DC impulsa una carga entre las condiciones sin carga y plena carga, la caída IR provocada por la resistencia de la armadura siempre es pequeña comparada con el voltaje de suministro  $E_s$ . Esto indica que la fem  $E_o$  es casi igual a  $E_s$ . Por otra parte, ya vimos que  $E_o$  puede ser expresada con la ecuación [4]:

$$E_o = Zn\phi/60$$

Reemplazando  $E_o$  por  $E_s$ , obtenemos:

$$E_s = Zn\phi/60$$

Es decir,

$$n = \frac{60E_s}{Z\phi}$$

Donde

$n$ =velocidad de rotación [r/min]

$E_s$  =voltaje de la armadura [V]

$Z$ =número total de conductores en la armadura.

Esta importante ecuación ya que muestra que la velocidad del motor es directamente proporcional al voltaje suministrado a la armadura e inversamente proporcional al flujo por polo. Si el flujo por polo  $\phi$  se mantiene constante (campo de imán permanente o campo con excitación fija), la velocidad depende sólo del voltaje de la armadura  $E_s$ . Aumentando o disminuyendo  $E_s$ , la velocidad del motor aumentará o disminuirá proporcionalmente [4].

Podemos variar  $E_s$  conectando la armadura del motor M a un generador de cd G de voltaje variable con excitación independiente (ver Figura 17). La excitación en el



campo se mantiene constante, pero la excitación en el generador  $I_x$  puede variar desde cero hasta un valor máximo e incluso se puede invertir. Por lo tanto, el voltaje de salida del generador  $E_s$  puede variar desde cero hasta un valor máximo, con polaridad positiva o negativa. Por consiguiente, la velocidad del motor puede variar desde cero hasta un valor máximo en una u otra dirección [5].

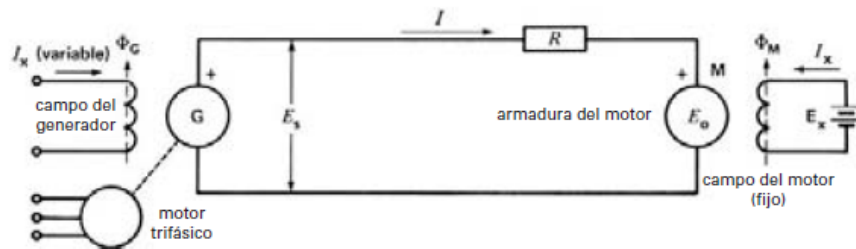


Figura 17. Sistema de control de velocidad de Ward-Leonard

Obsérvese que el generador es impulsado por un motor de CA conectado a una línea trifásica. Este método de control de velocidad es conocido como sistema de Ward-Leonard es más que una simple manera de aplicar un voltaje de DC variable a la armadura de un motor de DC. En realidad, es capaz de hacer que el motor desarrolle el par o momento de torsión y la velocidad requeridos por la carga.

### 7.2.7 CONTROL DE VELOCIDAD POR MEDIO DE REOSTATO

Otra forma de controlar la velocidad de un motor de cd es colocar un reóstato en serie con la armadura se puede ver en la Figura 18. La corriente en el reóstato provoca una caída de voltaje que se sustrae del voltaje fijo de la fuente  $E_s$ , dando como resultado un voltaje de suministro menor a través de la armadura. Este método permite reducir la velocidad por debajo de la velocidad nominal. Sólo se recomienda para motores pequeños porque se desperdicia mucha potencia y calor en el reóstato, y la eficiencia total es baja. Además, la regulación de la velocidad es deficiente, incluso con un ajuste fijo del reóstato. De hecho, la caída  $IR$  a través del reóstato se incrementa conforme se incrementa la corriente en la armadura. Esto produce una caída sustancial de la velocidad con la carga mecánica creciente. [5]

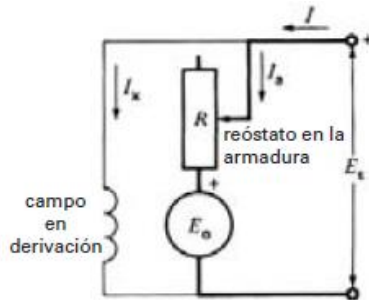


Figura 18. Control de velocidad de la armadura por medio de reóstato.

### 7.2.8 CONTROL DE VELOCIDAD POR MEDIO DEL CAMPO

De acuerdo a la siguiente ecuación [4]:

$$n = \frac{60E_s}{Z\phi}$$

También podemos variar la velocidad de un motor de cd variando el flujo en el campo  $\phi$ . Ahora mantengamos constante el voltaje  $E_s$  en la armadura, para que el numerador en la ecuación anterior (mencionada en la parte de arriba) sea constante. De esta manera, la velocidad del motor cambia en proporción inversa al flujo  $\phi$ : si incrementamos el flujo, la velocidad disminuirá, y viceversa. Este método de controlar la velocidad se utiliza frecuentemente cuando el motor tiene que funcionar por encima de su velocidad nominal, llamada velocidad base. Para controlar el flujo (y por consiguiente, la velocidad), conectamos un reóstato  $R_f$  en serie con el campo. Para entender este método de control de velocidad, suponga que el motor de la Figura 19, está funcionando inicialmente a una velocidad constante. La  $f_{cem}$   $E_o$  es un poco menor que el voltaje de suministro en la armadura

Es, debido a la caída  $IR$  en la armadura. Si incrementamos súbitamente la resistencia del reóstato, tanto la corriente de excitación  $I_x$  como el flujo  $\phi$  disminuirán. Esto reduce de inmediato la  $f_{cem}$   $E_o$ , causando así que la corriente  $I$  en la armadura tenga un valor mucho más alto. La corriente cambia dramáticamente porque su valor depende de la pequeñísima diferencia entre  $E_s$  y  $E_o$ . [4]

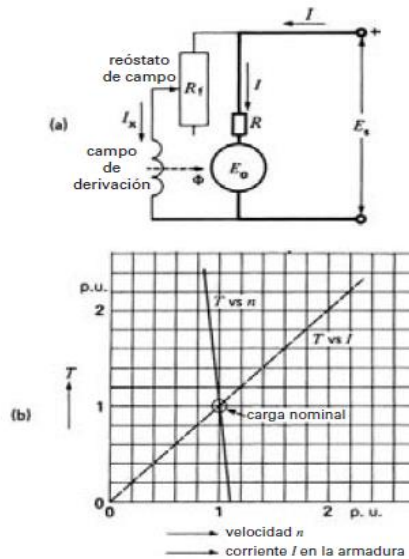


Figura 19. Diagrama esquemático de un motor en derivado incluyendo reóstato de campo y característica de par o momento de torsión-velocidad y par o momento de torsión corriente de un motor en derivación.

A pesar del campo más débil, el motor desarrolla un par o momento de torsión mayor que antes. Acelerará hasta que  $E_o$  sea de nuevo casi igual que  $E_s$ . Obviamente, para desarrollar el mismo  $E_o$  con un flujo más débil, el motor debe girar más rápido. Por ello, podemos aumentar la velocidad del motor sobre su valor nominal introduciendo una resistencia en serie con el campo. Los intervalos de velocidad más amplios tienden a producir inestabilidad y una conmutación deficiente. En ciertas condiciones anormales, el flujo puede caer a valores peligrosamente bajos. Por ejemplo, si la corriente de excitación de un motor en derivación se interrumpe por accidente, el único flujo restante es el provocado por el magnetismo remanente en los polos. Este flujo es tan pequeño que el motor tiene que girar a una velocidad peligrosamente alta para inducir la  $f_{cem}$  requerida. Para evitar tales condiciones de embalamiento o aceleración brusca, se introducen dispositivos de seguridad. [4]

### 7.2.9 MOTOR EN DERIVACIÓN (SHUNT) BAJO CARGA

Considere un motor de DC que funciona sin carga. Si se aplica repentinamente una carga mecánica al eje, la pequeña corriente sin carga no produce un par o momento de torsión suficiente para soportar la carga y el motor comienza a desacelerarse. Esto hace que la  $f_{cem}$  disminuya y el resultado es una corriente más alta y un par o momento de torsión correspondientemente más alto. Cuando el par o momento de torsión desarrollado por el motor es exactamente igual al par o momento de torsión impuesto por la carga mecánica, entonces, y sólo entonces, la velocidad permanecerá constante. En resumen, conforme la carga mecánica se incrementa, la corriente en la armadura aumenta y la velocidad disminuye. La velocidad de un motor en derivación permanece relativamente constante al funcionar sin carga y pasar a plena carga. En motores pequeños, sólo disminuye de 10 a 15 por ciento cuando se aplica la carga completa. En máquinas grandes, la disminución es incluso menor, debido en parte a la bajísima resistencia de la armadura. Ajustando el reóstato de campo, se puede mantener la velocidad absolutamente constante a medida que cambia la carga [4]. En la Figura 19, se muestran las características típicas de par o momento de torsión-velocidad y momento de torsión-corriente de un motor en derivación. La velocidad, el par o momento de torsión y la corriente se dan en valores por unidad. El par o momento de torsión es directamente proporcional a la corriente en la armadura. Además, la velocidad cambia sólo de 1.1 a 0.9 pu a medida que el par o momento de torsión se incrementa de 0 a 2 pu (valor por unidad) [4].

### 7.2.10 MOTOR EN SERIE

Un motor en serie se construye de la misma manera que un motor en derivación, excepto por lo referente al campo. El campo está conectado en serie a la armadura, por lo que debe transportar toda la corriente de la armadura ver Figura 20. Este campo en serie se compone de unas cuantas vueltas de alambre que tiene una sección transversal suficientemente grande para transportar la corriente. Aunque la construcción es similar, las propiedades de un motor en serie son completamente

diferentes a las de un motor en derivación. En un motor en derivación el flujo  $F$  por polo es constante para todas las cargas porque el campo en derivación está conectado a la línea. Pero en un motor en serie el flujo por polo depende de la corriente en la armadura y, por consiguiente, de la carga. Cuando la corriente es grande, el flujo es grande y viceversa. A pesar de estas diferencias, los mismos principios y ecuaciones básicos aplican a ambas máquinas [5].

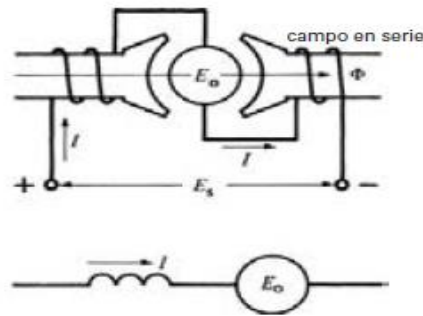


Figura 20. Diagrama de conexión de un motor en serie junto con diagrama esquemático de motor en serie.

Cuando un motor en serie opera a plena carga, el flujo por polo es igual que el de un motor en derivación de potencia y velocidad idénticas. Sin embargo, cuando el motor en serie arranca, la corriente en la armadura es más alta que la normal, lo que da como resultado que el flujo por polo también sea mayor que el normal. Se deduce que el par o momento de torsión de arranque de un motor en serie es considerablemente mayor que el de un motor en derivación. Por otra parte, si el motor opera con una carga menor que la plena, la corriente en la armadura y el flujo por polo son menores que los normales. El campo más débil eleva la velocidad del mismo modo que lo haría en un motor en derivación con un campo en derivación débil. Por ejemplo, si la corriente de carga de un motor en serie cae a la mitad de su valor normal, el flujo disminuye a la mitad, por lo que la velocidad se duplica. Obviamente, si la carga es pequeña, la velocidad puede elevarse a valores peligrosamente altos. Por esta razón, nunca se permite que un motor en serie opere sin carga. Tiende a embalarse y las fuerzas centrífugas resultantes podrían arrancar los devanados de la armadura y destruir la máquina [5].

### 7.2.11 CONTROL DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR EN SERIE

Cuando un motor en serie soporta una carga, se tiene que ajustar un poco su velocidad. Así pues, la velocidad puede incrementarse colocando una resistencia pequeña en paralelo con el campo en serie. La corriente en el campo es entonces menor que antes, lo cual produce una disminución del flujo y un aumento de la velocidad. Por el contrario, se puede reducir la velocidad conectando un resistor externo en serie a la armadura y al campo. La caída  $IR$  total a través del resistor y el campo reduce el voltaje suministrado a la armadura, por lo que la velocidad debe reducirse [5].

En la Figura 21 se muestran las características típicas de par o momento de torsión-velocidad y par o momento de torsión-corriente. Son bastante diferentes a las características del motor en derivación dadas en Figura 19.

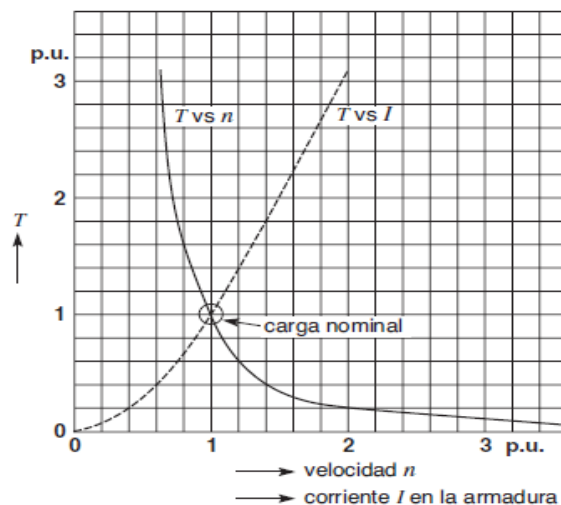


Figura 21. Curvas características típicas de par-velocidad y par corriente de un motor en serie.

### 7.2.12 MOTOR COMPUESTO

Un motor de DC compuesto tiene tanto un campo en serie como uno en derivación. En un motor compuesto acumulativo, la fmm de los dos campos se suma. El campo en derivación siempre es más fuerte que el campo en serie. La Figura 22 muestra la conexión y los diagramas esquemáticos de un motor compuesto. Cuando el motor funciona sin carga, la corriente  $I$  en el devanado en serie de la armadura es baja y

la fmm del campo en serie es mínima. Sin embargo, el campo en derivación es excitado completamente por la corriente  $I_x$ , por lo que el motor se comporta como una máquina en derivación: no tiende a embalsarse sin carga. Cuando la carga se incrementa, la fmm del campo en serie también se incrementa, pero la del campo en derivación permanece constante. Por lo tanto, la fmm total (y el flujo por polo resultante) es mayor con carga que sin carga. La velocidad del motor disminuye con la carga en aumento y la reducción de la velocidad al estar sin carga y pasar a plena carga en general es de 10 a 30 por ciento [5].

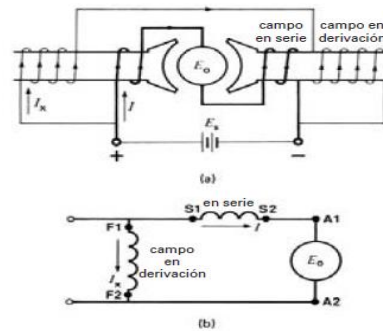


Figura 22. a) diagrama de conexión de un motor compuesto. b) diagrama esquemático del motor.

Si conectamos el campo en serie de modo que se oponga al campo en derivación, obtenemos un motor compuesto diferencial. La velocidad aumenta a medida que se incrementa la carga, y esto puede causar inestabilidad. La Figura 23 muestra las curvas típicas de par o momento de torsión-velocidad de motores en derivación, compuestos y en serie, basadas en valores por unidad. [5]

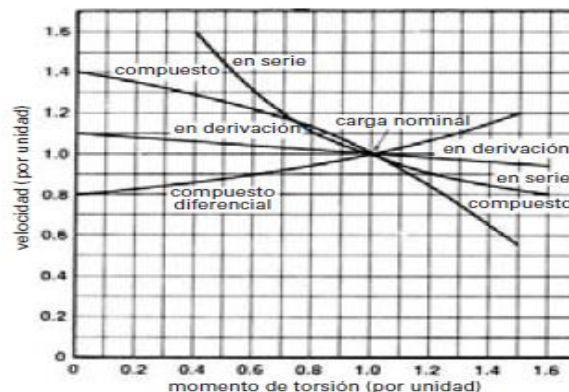


Figura 23. Características típicas de velocidad frente a un momento de torsión de varios motores DC.

### 7.2.13 INVERSIÓN DE LA DIRECCIÓN DE ROTACIÓN

Para invertir la dirección de rotación de un motor de cd, debemos invertir (1) las conexiones de la armadura o (2) tanto las conexiones del campo en serie como las del campo en derivación. Se considera que los Interpolos forman parte de la armadura. El cambio de las conexiones se muestra en la Figura 24. [5]

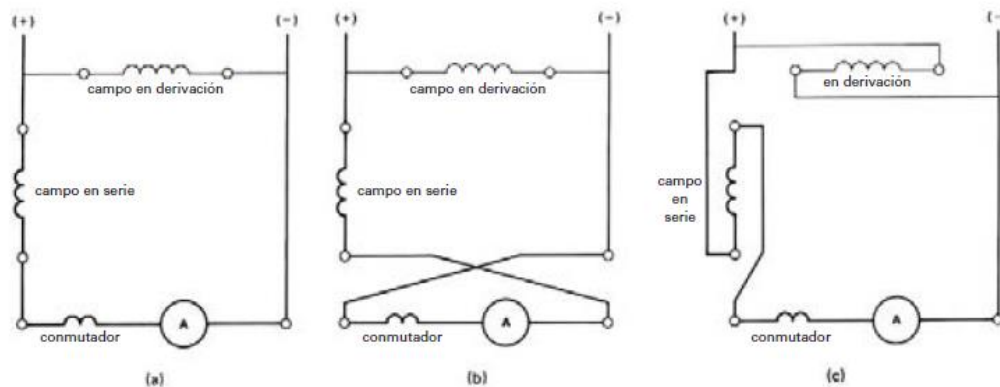


Figura 24. a) conexiones originales de un motor compuesto, b) inversión de las conexiones de la armadura para invertir la dirección de rotación, c) inversión de las conexiones del campo para invertir la dirección de rotación de un motor.

### 7.2.14 ARRANQUE DE UN MOTOR EN DERIVACIÓN

Si aplicamos un voltaje completo a un motor en derivación estacionario, la corriente de arranque en la armadura será muy alta y corremos el riesgo de:

- Quemar la armadura.
- Dañar el conmutador y las escobillas, a causa de la intensa producción de chispas.
- Sobre cargar el alimentador.
- Romper el eje a causa de un choque mecánico.
- Dañar el equipo impulsado por causa del repentino golpe mecánico.

Por lo tanto, todos los motores de cd deben tener una forma de limitar la corriente de arranque a valores razonables, por lo general entre 1.5 y dos veces la corriente



a plena carga. Una solución es conectar un reóstato en serie a la armadura. La resistencia se reduce gradualmente a medida que el motor se acelera, y desaparece por completo cuando la máquina alcanza su velocidad tope. Hoy en día, con frecuencia se utilizan métodos electrónicos para limitar la corriente de arranque y para controlar la velocidad.

### 7.3 PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER)

Desde el comienzo de la industrialización, el hombre ha buscado cómo hacer que los trabajos se realizasen de la forma más ágil y menos tediosa para el operador en cuestión. Los PLCs han sido un mecanismo clave en este proceso puesto que permiten, entre otras cosas, que ciertas tareas se realicen de forma más rápida y que el hombre evite su aparición en trabajos peligrosos tanto como para él, como para su entorno más próximo. De este modo, hoy en día estamos rodeados de estos mecanismos que, rebasando la frontera de lo industrial, pueden encontrarse en semáforos; gestión de iluminación en parques, jardines y escaparates; control de puertas automáticas; e incluso en el control de dispositivos del hogar como ventanas, toldos, climatización, etc.

PLC (Programmable Logic Controller) Se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: "Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos". El desarrollo de los PLCs fue dirigido originalmente por los requerimientos de los fabricantes de automóviles. Estos cambiaban constantemente los sistemas de control en sus líneas de producción de modo que necesitaban un modo más económico para

realizarlo puesto que, en el pasado, esto requería un extenso realambrado de bancos de relevadores (procedimiento muy costoso). De este modo, a finales de los años 60, la industria necesitaba cada vez más un sistema de control económico, robusto, flexible y fácilmente modificable. Así, en 1968 aparecieron los primeros autómatas programables (APIs o PLCs). La compañía americana Bedford Associates sugirió así un Controlador Modular Digital (MODICON) para su utilización en una compañía de automoción y MODICON 084 fue el primer PLC con una aplicación industrial (1968). Los nuevos controladores debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento, su tiempo de vida debía ser largo y los cambios de programa tenían que realizarse de forma sencilla. También se imponía que pudiera trabajar sin problemas en entornos adversos. Para ello se utilizó una técnica de programación familiar y se reemplazó el uso de relevadores mecánicos por otros de estado sólido. [6]

A principios de los 70, los PLC ya incorporaban el microprocesador. En 1973 aparecieron los PLCs con la capacidad de comunicación-Modbus de MODICON.

De este modo, los PLCs eran capaces de intercambiar información entre ellos y podían situarse lejos de los procesadores y los objetos que iban a controlar. Así se incorporaron también más prestaciones como manipulación de datos, cálculos matemáticos, elementos de comunicación hombre-máquina, etc. A mediados de los años 70 apareció la tecnología PLC, basada en microprocesadores bit-sílice (ej. AMD 2901/2903). Los principales productores de PLCs en esos tiempos se convirtieron en compañías como: Allen-Bradley, Siemens, Festo, Fanuc, Hopewell, Philips, Telemecanique, General Electric etc. Además, se realizaron mejoras como el aumento de su memoria; la posibilidad de tener entradas/salidas remotas tanto analógicas como numéricas, funciones de control de posicionamiento; aparición de lenguajes con mayor número de funciones y más potentes; y el aumento del desarrollo de las comunicaciones con periféricos y ordenadores, las tecnologías dominantes de estos dispositivos eran máquina de estados secuenciales y con CPUs basadas en el desplazamiento de bit. Los PLC más populares fueron los AMD

2901 y 20903 por parte de Modicon. Los microprocesadores convencionales aportaron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLCs. Así, por cada modelo de microprocesador, existía un modelo de PLC basado en el mismo, aunque fue el 2903 uno de los más utilizados. Sin embargo, esta falta de estandarización generó una gran variedad de incompatibilidades en la comunicación debido a la existencia de un maremágnum de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí. Fue en los años 80 cuando se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motors. Se consiguió también reducir las dimensiones de los PLC y se pasó a programar con una programación simbólica a través de ordenadores personales en vez de los terminales clásicos de programación. De hecho, hoy en día, el PLC más pequeño es del tamaño de un simple relevador. Así, en la década de los 80 se mejoraron las prestaciones de los PLCs referidas a: velocidad de respuesta, reducción de las dimensiones, concentración del número de entradas/salidas en los respectivos módulos, desarrollo de módulos de control continuo, PID, servo controladores, control inteligente y fuzzy. Los años 90 mostraron una reducción gradual en el número de protocolos nuevos y en la modernización de las capas físicas de los protocolos más populares que lograron sobrevivir a los años 80. El último estándar, IEC 1131-3, trata de unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. Hoy en día disponemos de PLCs que pueden ser programados en diagramas de bloques, listas de instrucciones o incluso texto estructurado al mismo tiempo. Sin embargo, los ordenadores comenzaron a reemplazar al PLC en algunas aplicaciones e incluso la compañía que introdujo el Modicon 084 ha cambiado su control en base a un ordenador. Cabe esperar que, en un futuro no muy lejano, el PLC desaparezca al disponer de ordenadores cada vez más potentes y todas las posibilidades que estos pueden proporcionar. [6]

Hoy en día, la tendencia actual es dotar al PLC de funciones específicas de control y canales de comunicación para que pueda conectarse entre sí y con ordenadores en red, creando así una red de autómatas.

A continuación se mostrara un mapa conceptual se observa en la Figura 25, de como la tecnología (PLC) va cambiando a lo largo del tiempo.

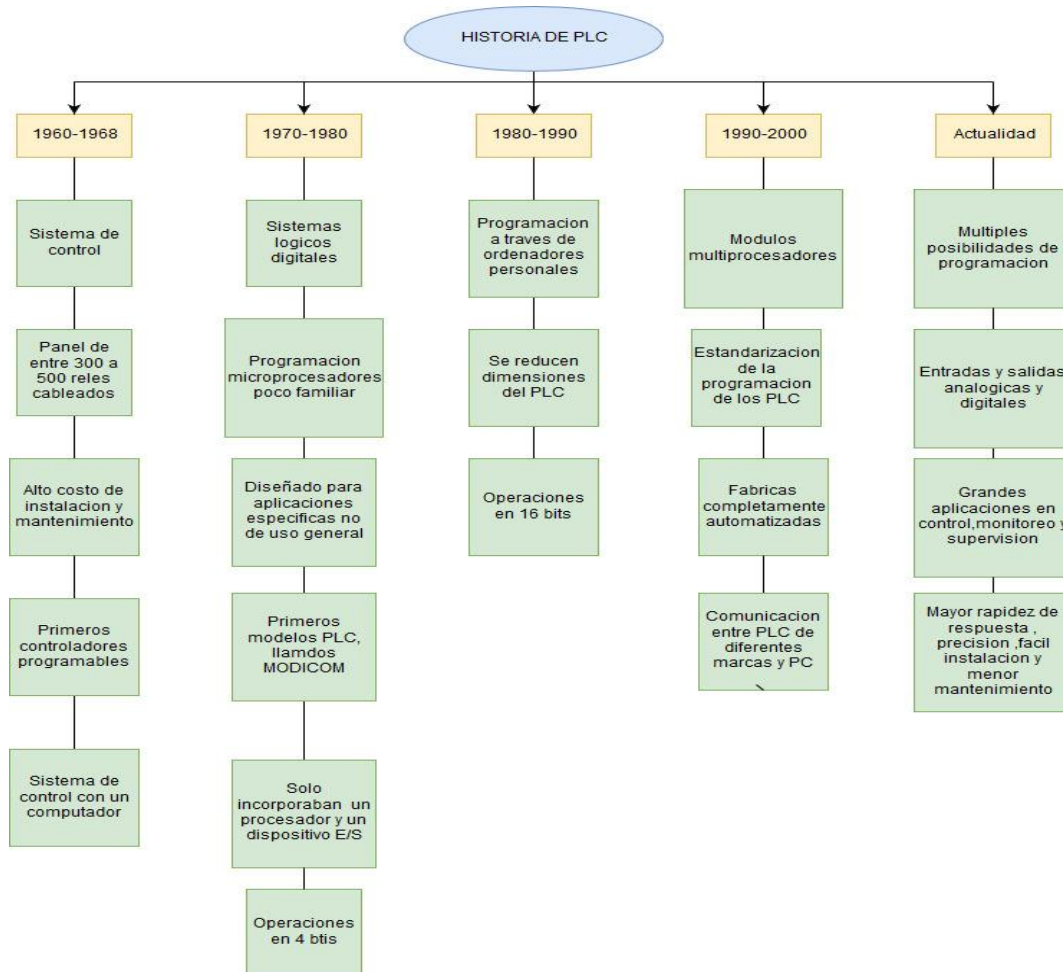


Figura 25. Antecedentes del PLC desde los años 60 hasta la actualidad.

### 7.3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE UN PLC Y SU FUNCIONAMIENTO

Se presenta a continuación un diagrama de la estructura ver Figura 26, para ver sus componentes que conforman un PLC [6]:

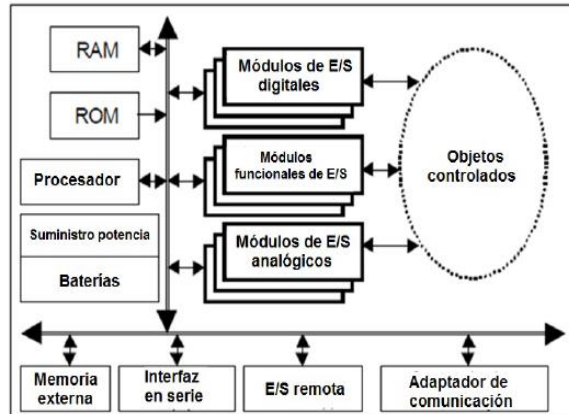


Figura 26. Componentes generales de un PLC

Para que el sistema funcione es necesario que exista un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación internos del controlador y sus bloques. Los valores más frecuentemente utilizados son  $\pm 5V$ ,  $\pm 12V$  y  $\pm 24V$  y existen principalmente dos módulos de suministro de potencia: los que utilizan un voltaje de entrada de la red de trabajo los que utilizan suministradores de potencia operacionales para el control de los objetos. [6]

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, prueba también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo. Los primeros PLCs utilizaron chips que habían sido procesados mediante la técnica denominada “bit-slice”, como el AMD2901, 2903, etc. [6]

La transferencia de datos y/o direcciones en los PLCs es posible gracias a cuatro tipos de buses diferentes [6]:

- Bus de datos, para la transferencia de datos de los componentes individuales.
- Bus de direcciones, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos.
- Bus de control, para las señales de control de los componentes internos.

- Bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S.

El lugar donde se guardan los datos y las instrucciones es la memoria que se divide en memoria permanente, PM, y memoria operacional, conocida como memoria de acceso aleatorio o RAM. La primera, la PM, se basa en las ROM, EPROM, EEPROM o FLASH; es donde se ejecuta el sistema de operación del PLC y puede ser reemplazada. Sin embargo, la RAM, es donde se guarda y ejecuta el programa en cuestión utilizado y es la de tipo SRAM la que se utiliza habitualmente. La condición común para las entradas de dos componentes digitales de un PLC se guarda en una parte de la RAM y se denomina tabla PII o entrada imagen de proceso. La salida controlada, o el último valor de la salida calculado por las funciones lógicas, se guardan en la parte de la RAM denominada tabla PIO, salida de la imagen del proceso. El programa utilizado también puede guardarse en una memoria externa permanente (EPROM o EEPROM) que, para ciertos PLCs, puede ser un módulo externo que se coloca en una toma del panel frontal. Finalmente, los módulos de E/S, son aquellos módulos de señal (SM) que coordinan la entrada y salida de las señales, con aquellas internas del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), y provienen o van a dispositivos como sensores, interruptores, actuadores, etc. Los SMs analógicos utilizan en general un voltaje en DC y una corriente directa. De este modo, opto acopladores, transistores y relés son empleados en la salida digital del SMs para cambiar los estados de la señal de salida con el fin de proteger a estos dispositivos de situaciones como un cortocircuito, una sobrecarga o un voltaje excesivo. El número de entradas y/o salidas de los SMs digitales es también bastante más elevado que en los analógicos, siendo los primeros más de 8, 16 o 32, mientras que los segundos son, a lo sumo 8. Finalmente, los términos “Sinking” y “Sourcing” explican cómo se realiza la conexión de las PLC a los sensores y actuadores [6]:

- Sinking = Línea GND común (-) – tierra común.
- Sourcing = Línea VCC común (+) – suministro de potencia común

### 7.3.2 COMPONENTES DE HARDWARE (PLC)

Un PLC puede contener un casete con una vía en la que se encuentran diversos tipos de módulos, como puede observarse en la siguiente Figura 27, correspondiente a una PLC de la empresa Siemens [7]:

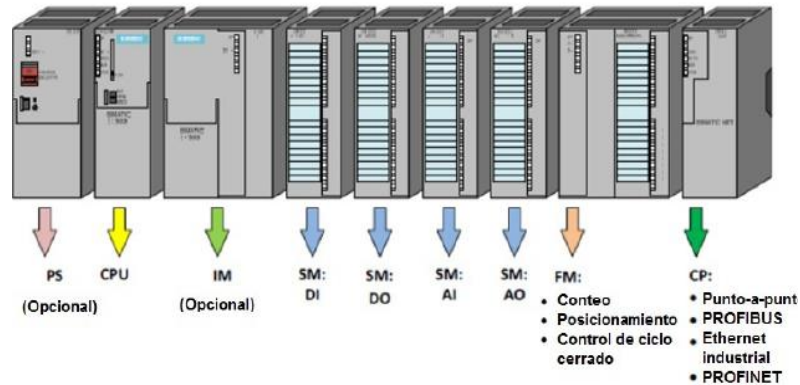


Figura 27. Organización modular del PLC SIEMENS S7-300

Como puede observarse en la figura, el PLC dispone de los siguientes módulos que, aunque en este tipo no puede ser intercambiada, esto sí es posible para PLCs de otras compañías. Los módulos más importantes son [7]:

- Módulo de interfaz (IM), conecta diferentes casetes individuales con un único PLC.
- Módulo funcional (FM), procesamiento complejo en tiempo-crítico de procesos.
- Regulador PID o control de la posición.
- Procesador de la comunicación (CP), conecta el PLC en una red de trabajo industrial, ej. Industrial Ethernet, PROFIBUS, AS– interfaz, conexión serie punto-a punto.
- Interfaz hombre-máquina (HMI), ej. Panel de operaciones.
- Entradas/salidas remotas.
- Módulos de señal de alta-velocidad.
- Cada módulo de PLC module tiene su propia interfaz-HIM básica, utilizada para la visualización de los errores y las condiciones de comunicación, la

batería, entradas/salidas, operación de los PLC, etc. Pequeños display con cristal líquido (LCD) o diodos emisores de luz (LED) se utilizan para la interfaz-HMI.

### 7.3.3 TIPOS DE PLC

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías:

PLC compactos (ver Figura 28): son aquellos que incorporan CPU, PS, módulos de entrada y salida en un único paquete. A menudo existe un número fijo de E/S digitales (no mayor a 30), una o dos canales de comunicación (para programar el PLC y la conexión de los buses de campo) y HMI. Además, puede haber una entrada para el contador de alta velocidad y una o dos E/S analógicas. Para aumentar el número de las E/S de una PLC compacta individual se incrementa (además) los módulos que pueden ser conectados. Estos se colocan en un paquete, similar al del mismo PLC. Estos PLCs de tipo compacto se utilizan en automoción como substitutos de los relés [7].



Figura 28. Ejemplos de PLC compactos FESTO FC660 (izquierda), SIEMENS LOGO (en medio), S7-200 PLC(a la derecha).

PLC modular se observa un ejemplo de este PLC en la Figura 29, es el tipo de PLC más potente y tiene más funciones que los PLC compactos. La CPU, SM, CP y otros módulos se encuentran generalmente en paquetes separados en un riel DIN o en un riel con una forma especial y que se comunica con la CPU a través de un sistema bus. Tiene un número limitado de lugares para los módulos pero, en la mayoría de los casos, este puede aumentarse. Además, los PLCs modulares pueden utilizar un



elevado número de entradas/salidas, pueden soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea. Normalmente se utilizan para el control, regulación, posicionamiento, procesamiento de datos, manipulación, comunicación, monitorización, servicios-web, etc. [8]



Figura 29. Ejemplos de PLC modulares, SIEMENS S7-300 PLC (izquierda) y Allen-Bradley Compact Logix (derecha).

PLC de tipo montaje en rack, ver Figura 30 observa como son y están compuestos, son aquellos que prácticamente tienen las mismas capacidades y funciones que el PLC modular. Sin embargo, existen algunas diferencias en el bus o en el rack dónde se colocan los módulos del PLC.

El rack contiene ranuras para los módulos y un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos. La mayoría de los módulos PLC no tienen sus propias cajas, disponen solamente de un panel frontal con una interfaz-HIM. La ventaja principal es que pueden permitir un intercambio más rápido de los datos entre los módulos y el tiempo de reacción por parte de los módulos es menor [8].

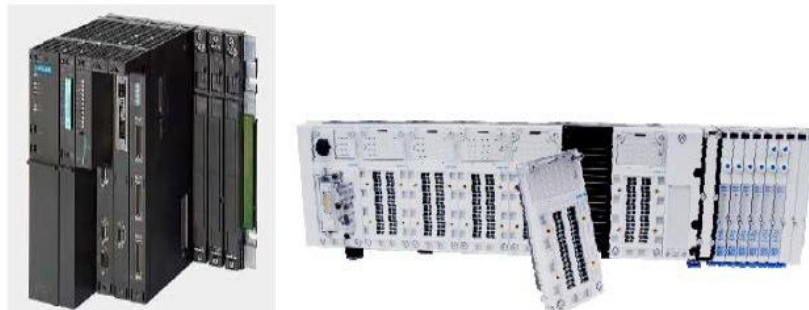


Figura 30. Ejemplos de PLCs rack. Siemens S7-300 PLC (en la parte izquierda) y Allen-Bradley Compact Logix PLC (en la parte derecha)

Los PLC de tipo de ranura son como se muestran en la Figura 31, se trata de una tarjeta especial, que posee todas las funciones de cualquier CPU de un PLC normal. Se sitúa en el (en una ranura vacía de la placa base), que permite intercambiar directamente la información entre las aplicaciones-HIM del PC existente y/u otras aplicaciones software. La ranura de la tarjeta del PLC tiene por lo menos un canal de comunicación para conectar con el bus de campo (para conectar con unas entradas/salidas remotas o con otros dispositivos PLC) [8].

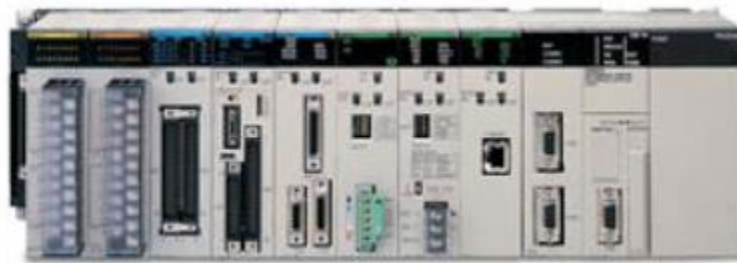


Figura 31. PLC Omrom CS1G/H de tipo ranura

#### 7.3.4 PROGRAMACION DEL PLC

Existen distintos tipos de lenguaje de programación de un PLC, quizás el más común sea la programación tipo escalera o ladder, Los diagramas de escalera son ejemplificados en la Figura 32, son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones. [8]

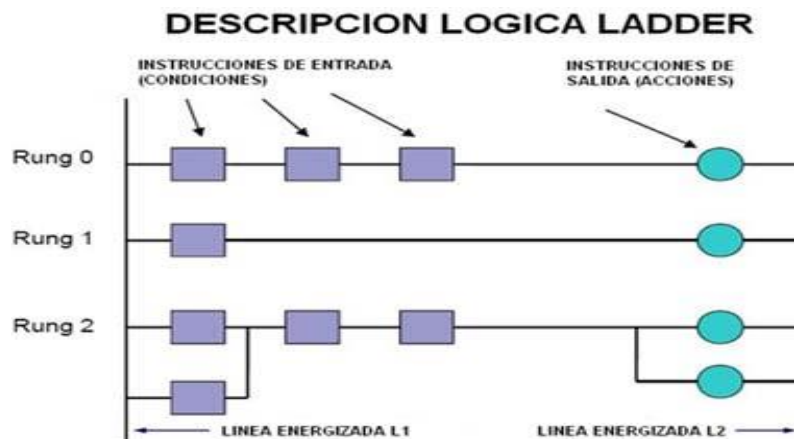


Figura 32. Declarar entradas y salidas en el lenguaje ladder.

De esta manera Las principales características del lenguaje ladder son [8]:

- Instrucciones de entrada se introducen a la izquierda.
- Instrucciones de salida se situarán en el derecho.
- Los carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna y 24 V y tierra para los circuitos de CC.
- La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).
- El procesador ("controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha.

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no dejar pasar la corriente de una línea a la otra. Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos normalmente abierto o normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores. Si las condiciones son verdaderas la corriente llega a las instrucciones de salida las cuales generan acciones como energizar la bobina de un motor o energizar una lámpara por ejemplo. De esta forma el paso de la corriente a las bobinas de salida están condicionadas por la lógica que manejen las instrucciones de entradas. Un PLC tiene muchas terminales "de entrada" y también muchos terminales de salida, a través de los cuales se producen las señales "alta" o "baja" que se transmiten a las luces de energía, solenoides, contactores, pequeños motores y otros dispositivos que se prestan a control on / off. En un esfuerzo por hacer PLC fácil de programar, el lenguaje de programación ladder fue diseñado para asemejarse a los diagramas de lógica de escalera. Por lo tanto, un electricista industrial o ingeniero eléctrico, acostumbrados a leer esquemas de lógica ladder se sentirán más cómodos con la programación de un PLC si se maneja con el lenguaje ladder.

#### 7.4 PERFORADORA 39 HR BUCYRUS

El lugar donde se realizó la actualización del proyecto es en una perforadora modelo 39 HR BUCYRUS (es el modelo de venta de la empresa MATCO), pero aquí en

Mexicana de Cobre, Mina La Caridad recibe el nombre de perforadora #66, son usadas para realizar perforaciones para encontrar cobre y estimar cuanto cobre hay en esa parte del cerro, se realizan varias barrenaciones, los mineros si consideran que el cobre ahí es mucho proceden a mover la perforadora. Una perforadora hidráulica articulada a una guía de acero o mástil que accionada por medios hidráulicos gira, sube o baja a lo largo del mástil, el número de posiciones es ilimitados, son conocidas como perforadoras de columnas. Emplean modernas brocas intercambiables con insertos de carburo de tungsteno, teniendo una longitud de avance muy grande permitiendo la utilización de secciones de acero de barrenación, son generalmente de accionamiento por percusión habiendo también rotación, el motor de accionamiento puede ser gasolina, diésel y van montadas sobre carros con orugas. Se caracteriza porque la posición vertical es utilizada para el trabajo de perforación y la horizontal para el transporte, ver Figura 33 de sus componentes. [9]

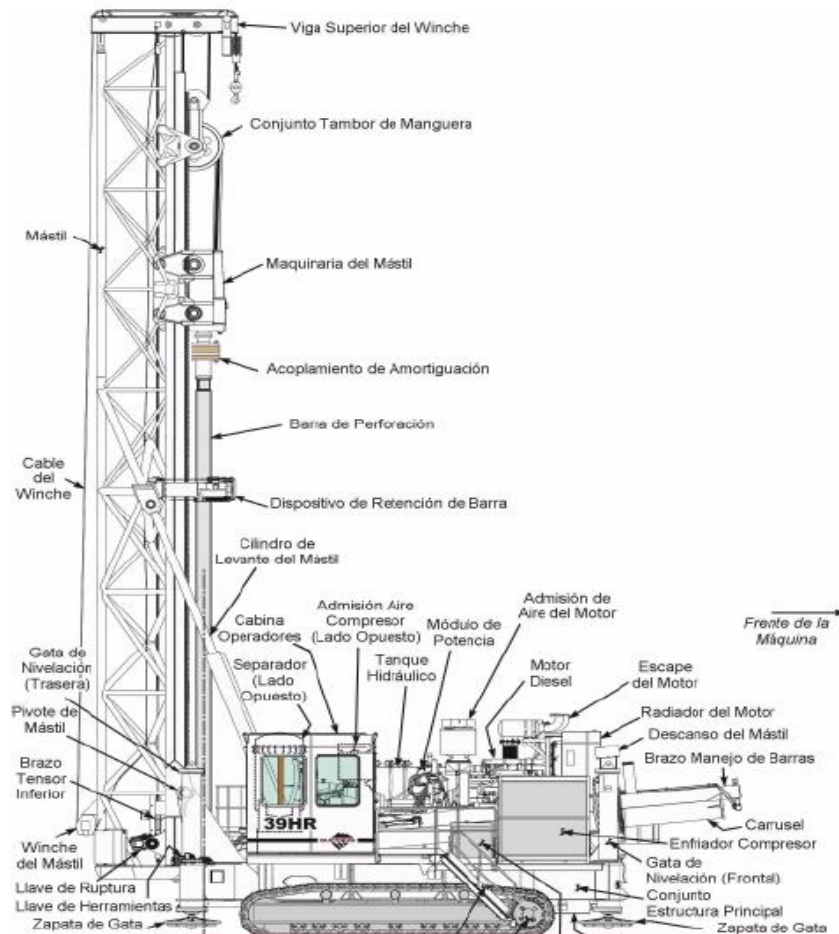


Figura 33. Perforadora 66 componentes mecánicos.

La perforadora 66 (PERFORADORA 39 HR BUCYRUS) para moverse de una zona a otra para realizar el proceso de barrenación utiliza sistemas de conjuntos de orugas como se muestran en el Figura 34, este tipo de sistemas es necesario por la condiciones del terrero minero.

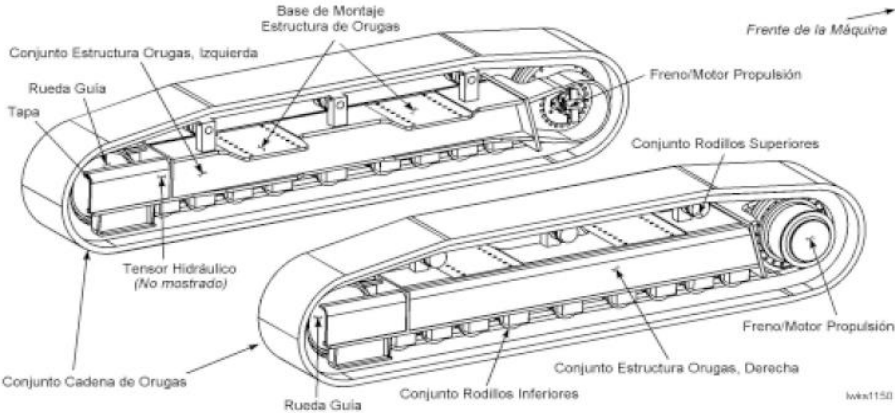


Figura 34. Maquinaria interior de la perforadora 66, sistema de conjunto de orugas.

Este equipo cuenta con una estructura principal se aprecia en la Figura 35 , que sirve para la nivelación de la perforadora ya que hay zonas que no son totalmente planas, es necesario que operador mediante unos controles adecue los niveladores para realizar la barrenación, es importante resaltar que esta maquinaria pesada no realizara la barrenación si no se encuentra en una posición de 0°. En esta parte cuenta también con unas escaleras por donde el operador puede subir al equipo, estas escaleras cuentan con un botón tanto en la parte de arriba y abajo para hacerlas ascender y descender.

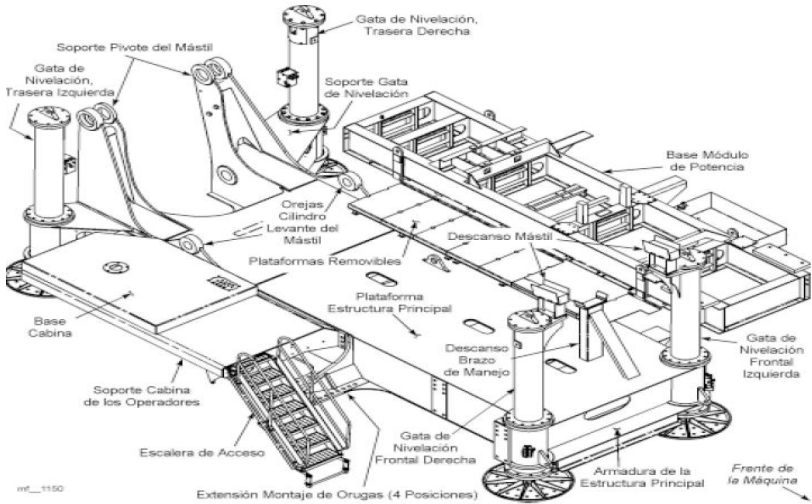


Figura 35. Estructura principal de la perforadora 66 y componentes.

La cabina de los operadores como se presenta un dibujo de los componente en la Figura 36 está ubicada en la parte derecha trasera de la máquina. Todos los controles usados para la operación de la máquina se encuentran dentro de la cabina, accesibles desde el asiento del operador. Se puede ingresar desde las escaleras de acceso al frente de la máquina y a través de una puerta al frente de la cabina. Las funciones normales de la maquinaria se pueden ver desde las ventanas izquierda, frontal y trasera de la cabina.

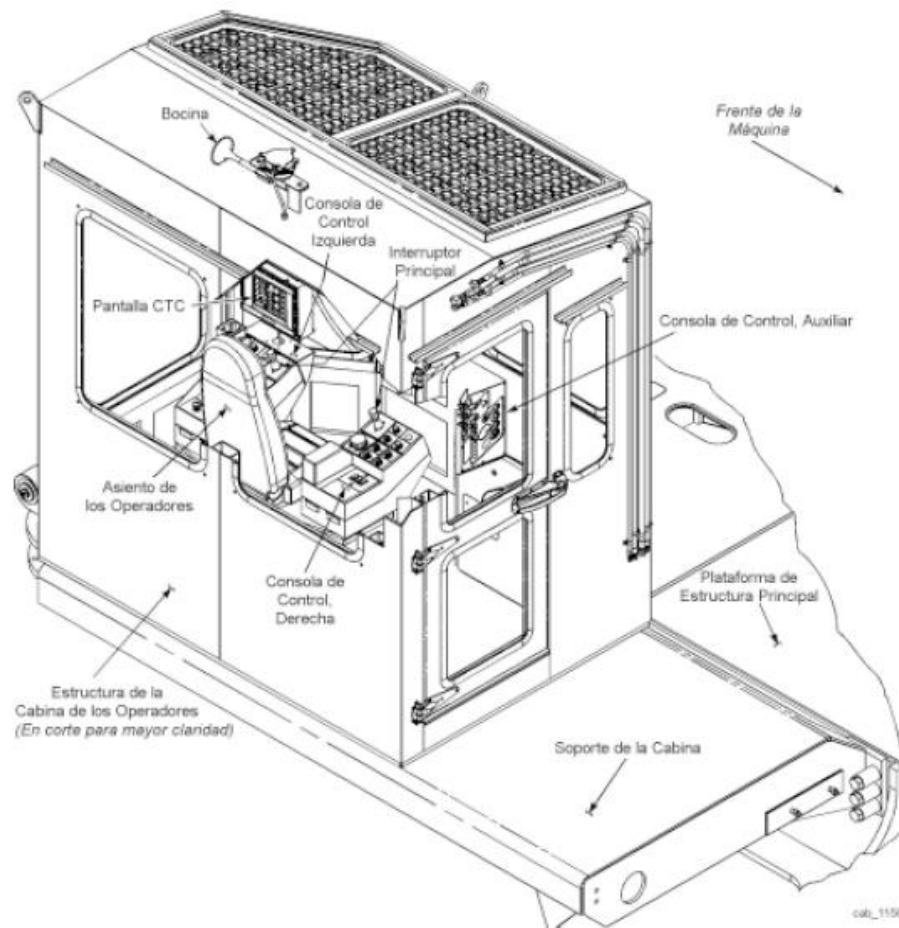


Figura 36. Cabina del operador, aquí es donde el operador lleva acabo la nivelación y tiene los controles para la barrenación.

El conjunto del mástil se muestra en la Figura 37 es una estructura fabricada de tubos de acero y planchas modeladas. La estructura principal está compuesta de tres tubos verticales soldada entre sí con enlaces tubulares. El mástil proporciona el montaje y guía para el equipamiento de perforación de la máquina. El mástil es capaz de ser posicionado en cualquier ángulo desde  $70^\circ$  sobre la horizontal (en los

descansos) hasta 5<sup>0</sup> pasadas la vertical. Para operaciones de perforación, el mástil debe estar en un ángulo cercano a la vertical.

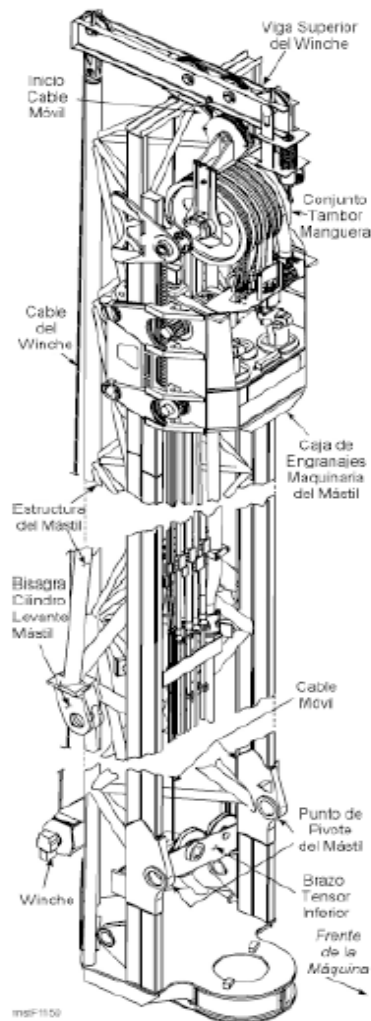


Figura 37. Estructura del mástil y sus componentes

La maquinaria del mástil se observa en la Figura 38, hace girar la broca de perforación, eleva la barra de perforación y broca, suministra fuerza de empuje durante las operaciones de perforación y entrega aire de perforación a la broca. Incluye 2 motores de rotación sobre el tope de la caja de engranajes, 2 motores de levante/freno en el tope de la estructura guía integral, 2 piñones para subir y bajar la caja de engranajes a lo largo de la cremallera del mástil, 2 piñones adicionales para alinear la caja de izquierda a derecha y un set de conjuntos de rodillos guía en la parte trasera de la caja de engranajes para alinearla adelante y atrás.

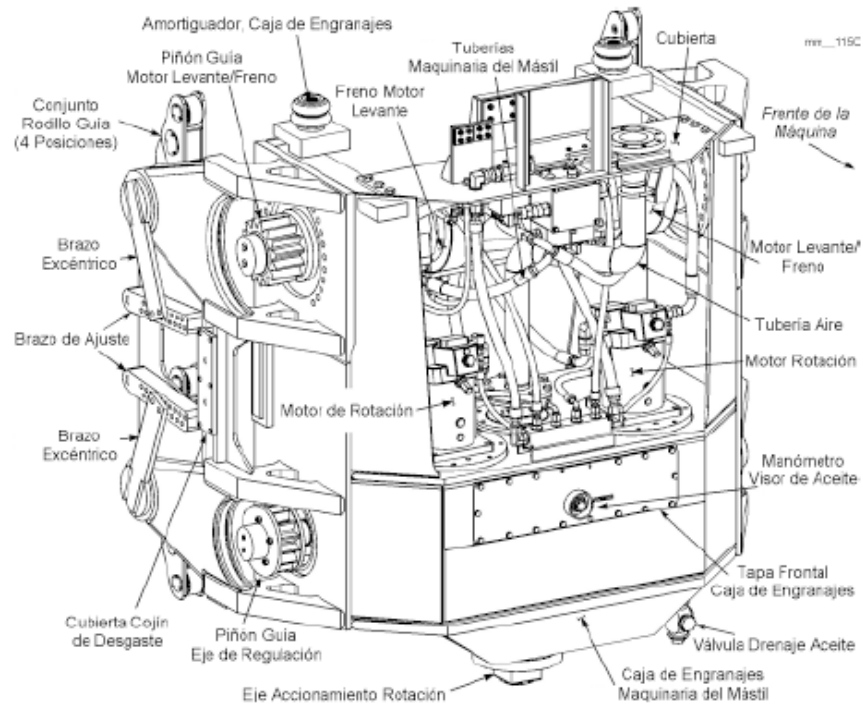


Figura 38. Conjunto de partes de la maquinaria necesaria para mover el mástil.

Cuenta también con un dispositivo de retención de barras como se muestran en la Figura 39, se usa como rasgo de seguridad que permite al brazo de barra cargar una barra dentro del mástil, pero previniendo que la barra de perforación caiga adelante hacia la plataforma de maquinaria. Cuando la barra de perforación es empujada hacia la parte trasera de la máquina a través de las compuertas, éstas girarán hacia atrás. Ambas compuertas girarán juntas con la ayuda de un cable de acero entre ellas, indiferente de la posición de la barra de perforación. Cuando la barra está en posición, las compuertas girarán cerrándose con la ayuda del resorte de la compuerta de seguridad. Amortiguadores de goma absorberán el impacto de las compuertas al cerrarse.



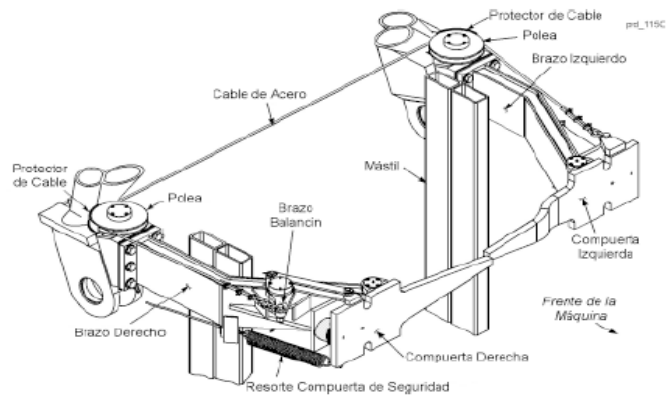


Figura 39. Componentes del sistema de retención de barras.

El módulo de potencia se muestra en la Figura 40, está ubicado en el lado izquierdo del conjunto de la estructura principal. Este módulo incluye un motor diésel conectado a una transmisión de accionamiento de potencia. La transmisión transfiere la potencia del motor a varias bombas para suministrar presión hidráulica y también transfiere potencia al compresor de aire para el aire comprimido de perforación. El módulo además contiene el radiador y las tuberías para enfriar el motor y un depósito hidráulico. Todos los componentes están instalados sobre una base fijada al conjunto de la estructura principal.

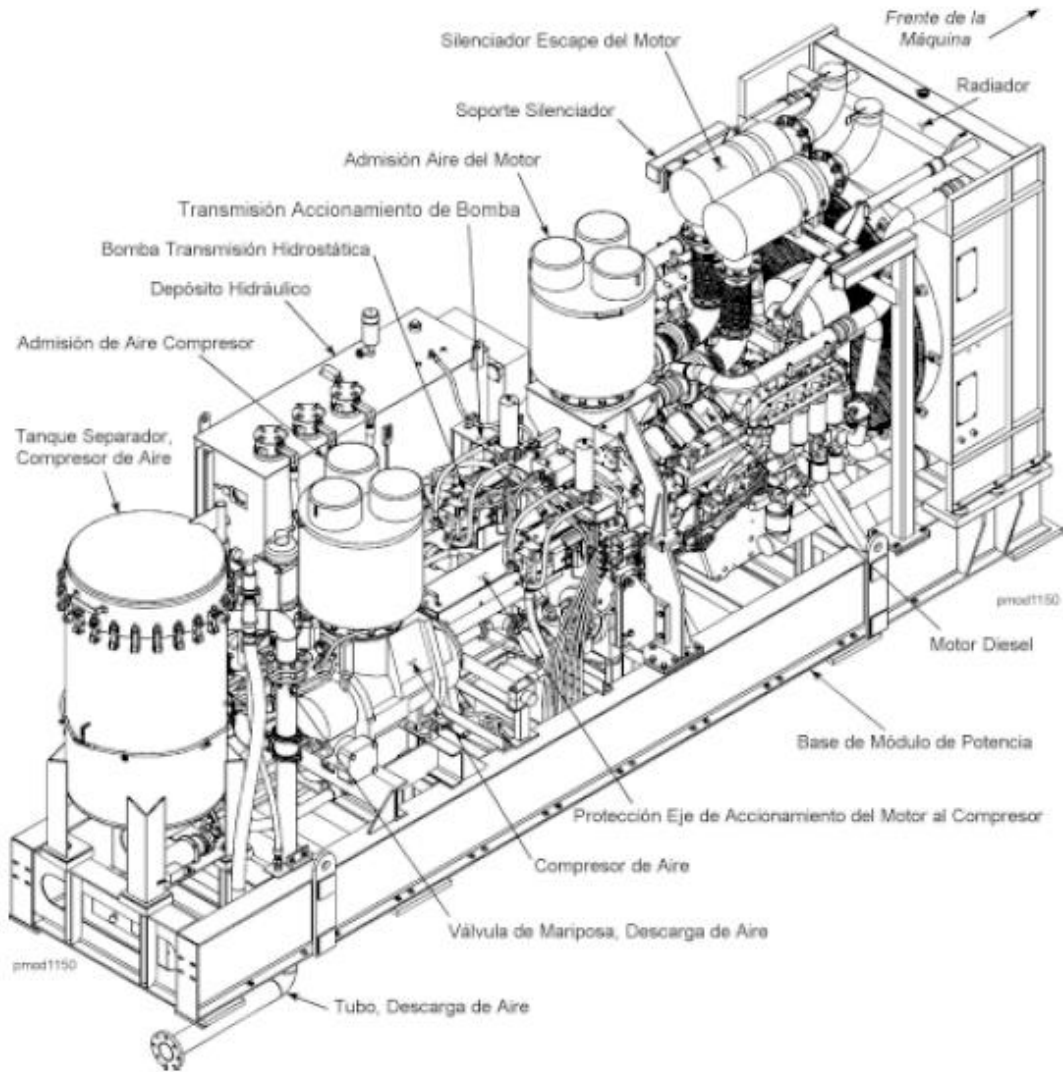


Figura 40. Módulo de potencia sus partes y componentes

Hay 2 tanques de combustible en los planos de la Figura 41, ubicados en la parte delantera de la máquina, bajo la plataforma de la estructura principal. Estos tanques están interconectados con tuberías. Un puerto de llenado está ubicado al frente de la máquina entre las gatas de nivelación. Las tuberías de suministro de combustible cruzan desde los tanques subiendo por el lado izquierdo de la estructura de la maquinaria hacia el motor.

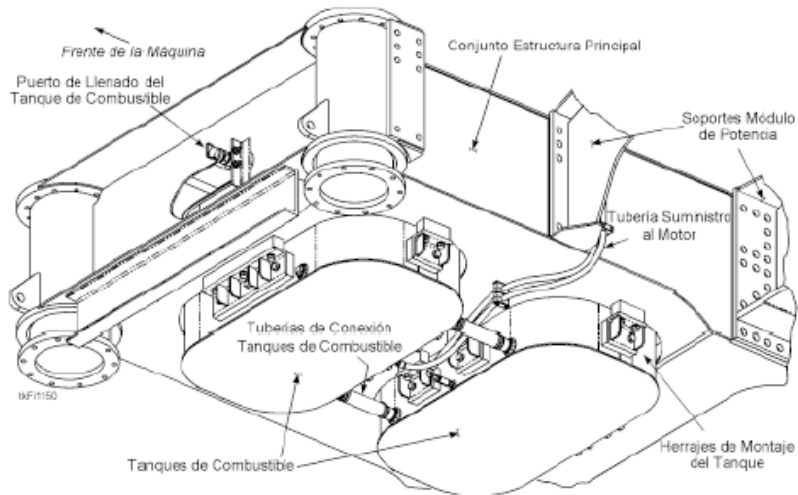


Figura 41. Tanques de combustibles para la nivelación de la perforadora y sus componentes.

Hay 2 tanques de agua se parecía en la Figura 42, ubicados en la parte trasera de la máquina, bajo la estructura principal. Estos tanques están interconectados con tuberías. Un puerto de llenado está ubicado en la esquina frontal izquierda de la máquina.

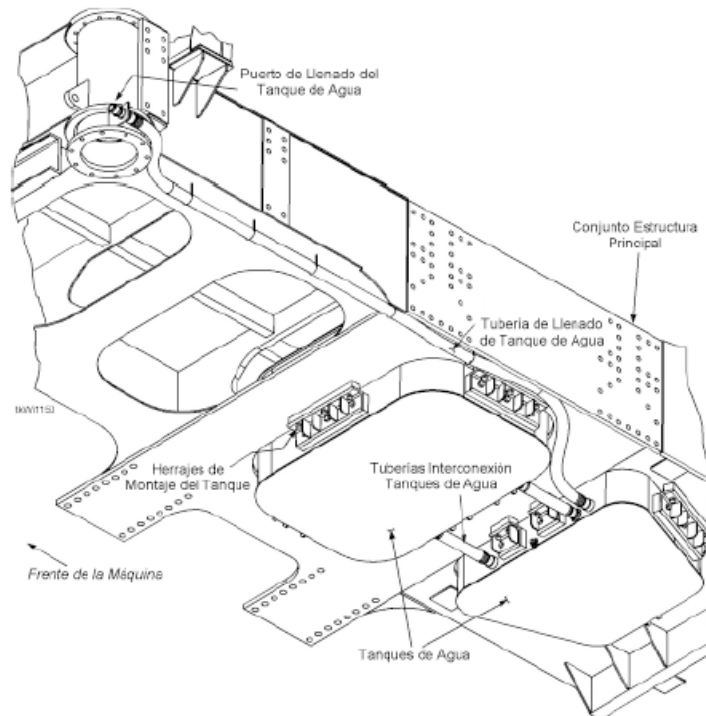


Figura 42. Sistema de tanques de agua para el enfriamiento del equipo.

## **8. PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

Los procedimientos empleados aquí fue análisis de vibraciones, cámara termográfica para ver el daño en los campos del motor DC y al tener los resultados se optó por instalar un variador (nuevas funciones) para programarlo evitar los daños y reparaciones constantes, se mejoró las visualizaciones ya que las anteriores no eran amigables con los operadores, se programaron nuevas alarmas para evitar daños en equipo. Se instaló una red de continuación con un PLC control logix para manipular y tener las bases de datos del PLC 5 el cual está limitado por los cambios tecnológicos y es necesario accederlo por la red existente DH+ se comunicó a una red Ethernet para el panel y acceso directo a los variadores de velocidad.

### **8.1 ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA PERFORADORA 66**

Se consideraron tres aspectos importantes en la actualización de la perforadora con lo cual se busca mejorar la disponibilidad y confiabilidad de esta perforadora.

1.- El cambio de variadores para el movimiento de levante y rotación, el comparativo económico indica que es más barato la marca Allen Bradley Rockwell que la original Siemens, también se escoge esta marca por ser la más conocida por el personal de mantenimiento, se considera la facilidad a través de su pantalla diagnóstica para cargar y guardar los respaldos de la programación, también se hace una consideración a la potencia total por lo tanto el variador se instala con un 25 % de capacidad adicional a plena carga, estos tipos de variadores existen en otras aplicaciones en la planta y con resultados excelentes por más de 15 años.

2.- La actualización del PLC de marca diferente a un PLC de la misma marca y con las comunicaciones actualizadas, el original maneja una comunicación 485 modbus en el PLC y profibus con los variadores se requería una PC industrial la cual tenía en el BUS de las tarjetas la interface para comunicarse con una tarjeta del fabricante para profibus.

3.- La comunicación actualizada a través de red Ethernet en la opción PLC, variador Allen Bradley y paneles de visualización, un panel del operador y otro para personal de mantenimiento con gráficos y banner de alarmas para la información de los

departamentos que lo requieran, con esta opción se tiene todo en una sola red y en comunicación directa el PLC con el variador y la base de datos disponible.

En la implantación de la actualización se utilizó el mayor tiempo en adaptar las dimensiones del variador al mismo gabinete de control existente en la idea de optimizar los tiempos al cambiar cableados y gabinetes, se dimensionaron los requerimientos de espacio y se instalaron los variadores, se parametrizaron y se estuvieron haciendo ajustes para rampas de arranque y la corriente de campo así como los valores de corriente permisibles donde se den las opciones optimas de operación y seguridad, lo cual fue probado a satisfacción de la operación, con esta opción y con los parámetros probados se procedió a dejar parámetros sin posibilidad de mover para lo cual se instaló un password de acceso, después de un año no se ha requerido cambio de campos en los motores de levante o rotación en la perforadora, se eliminó el tiempo perdido por estas causas.

El PLC maneja el control del equipo sin problema alguno con el equipo periférico, el tener la conexión directa al panel hace que los datos estén en forma segura y sin perdida por diferencia en tiempo, la red en Ethernet es corta de algunos 18 mts pero también a la fecha no se tiene ningún problema. La comunicación actual de los equipos PLC, variador y paneles es adecuada y sin fallas en la red Ethernet, es conveniente comentar que uno de los problemas mayores comenzó con la obsolescencia de la tecnología de comunicación al depender de un PC industrial con software para elaborar pantallas de interface con un monitor tipo monocromático con la interface dentro de la PC para comunicase por profibus con el PLC cuando este sistema de comunicación fallaba se y requería hablarle al servicio especializado para restablecer la operación, también se tenían problemas por falso contacto en diversos conectores, no olvidar que la operación de estos equipos es de ambiente duro por la vibración excesiva y exposición continua al polvo aparte que la PC una PC industrial del sistema obsoleto es cuatro veces más costosa que una PC normal o tres veces más cara que un panel actualizado.

## 8.2 METODO EMPLEADO EN LA DETECCION DE FALLAS DE LA PERFORADORA 66

En la detección de fallas del equipo se han implementado diversas formas de realizar actividades que proporcione la información pertinente para establecer las condiciones del servicio para la operación y producción requeridas. Para el caso de los bobinados de los motores de corriente directa se tiene la medición de la resistencia de aislamiento la cual se puede medir con un multímetro convencional el cual nos indica los valores que se tienen y por ende las acciones a tomar un valor Aceptable para los campos de los motores es de 12 ohm o mayor, valores por debajo de estos no son considerados convenientes para trabajar, también se tiene la medición más a detalle cuando se desea estimar el tiempo donde se puede dañar el aislamiento para lo cual se realiza la prueba de impulso o la cual nos permite detectar fugas de corriente de los devanados del motor, consiste en ir incrementando el valor de voltaje de alimentación y medir la resistencia de aislamiento y la corriente de fuga esta prueba se realiza a través del aparato de medición AWA de la marca SKF el cual se programa a los valores nominales de operación del motor y se establece las condiciones para la prueba con esto es posible definir si el motor o bobinado está en condiciones de operar o próximo a tener un daño de aislamiento.

Otro de los procedimientos para detectar a tiempo y evitar el mal funcionamiento de los motores de corriente directa es el siguiente:

Se realiza una revisión de las armaduras en especial la zona de brochas o carbones de conmutación, la idea es detectar la falta de contacto adecuado por desgaste de esta parte en los motores los cuales tienen más de 15 años de operación continua este método también ayuda en la prevención de cortos circuitos en los equipos.

Se utiliza un medidor de caratula para la superficie del conmutador las delgas del motor la idea es medir o detectar el desgaste en la circunferencia del conmutador evitar brincos de corriente conocidos como flashover los cuales si no se detectan a tiempo pueden dañar el motor o los campos que lo componen. En la medición se trabaja con una escala de 360 grados para detectar los puntos de los posibles

desniveles se considera aceptable un valor 6 milésimas o menos a lo largo de la circunferencia para lo que se define como TIR y la medición de 3 milésimas para el concepto MBTB se considera aceptable estos valores acorde a los fabricantes del equipo.

Para facilitar la interpretación se hacen la siguiente consideración.

TIR: Índice Total de Redondez en Milésimas

MBTB: Máximo Índice entre Barra y Barra

Se presenta el siguiente ejemplo en la Figura 43 del seguimiento a los motores de corriente directa la medición en la circunferencia del conmutador.

Conmutador de corriente directa

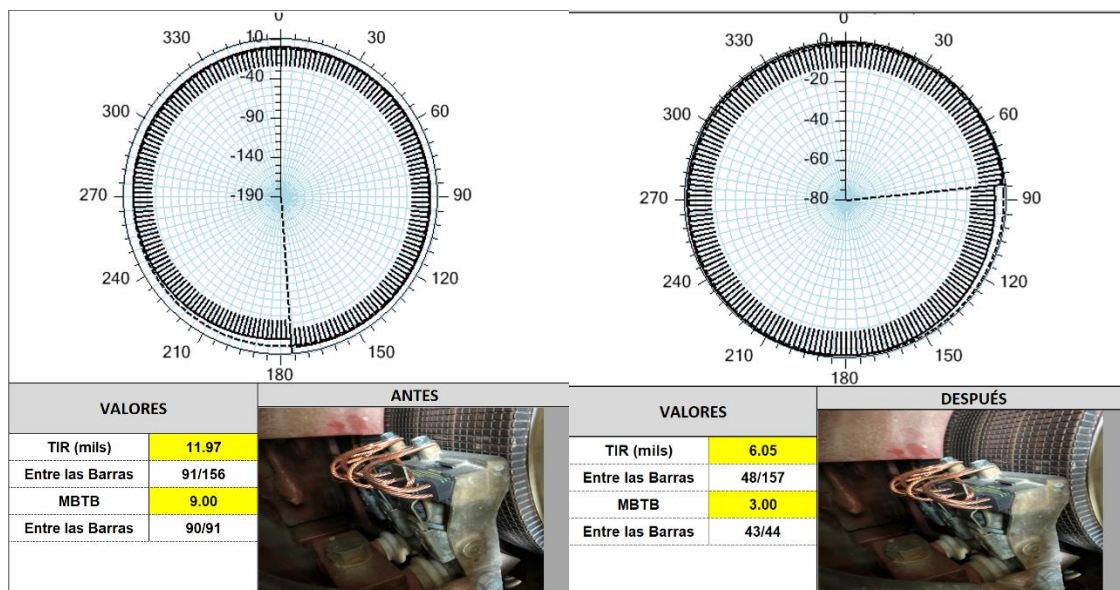


Figura 43. Se presenta una imagen del conmutador de corriente directa de un motor DC donde se midió su resistencia ( $\Omega$ ) para checar daños en el aislamiento valores menos a  $12 \Omega$ , no son convenientes para su funcionamiento y se checa también el TIR (se trabaja con una escala de 360 grados para detectar los puntos de los posibles desniveles se considera aceptable un valor 6 milésimas o menos a lo largo de la circunferencia) Y MBTB (la medición de 3 milésimas).

En la ilustración del conmutador antes se tienen un incremento considerable de valores de TIR y MBTB con valores sobre los límites permisibles, en la ilustración después se tienen valores de TIR y MBTB con valores muy poco por encima del límite permisible considerados como buenos. Es conveniente comentar que en

revisión visual no se detecta ninguna anomalía en porta-bochas, conexiones eléctricas, etc. De la revisión presentada se programó para servicio el motor y quedó como el después de la ilustración, el cual tiene las condiciones para una operación buena y estable. En el mantenimiento predictivo de condición se trata de obtener los resultados de la medición en la idea de anticipar a lo que más tarde se puede convertir en un paro inesperado con la afectación de disponibilidad y por lo tanto de producción. Otra de las actividades que se realizan para detectar problemas en las revisiones predictivas de monitoreo de condición es la termografía que va enfocada principalmente a detectar falsos contactos en los cableados de fuerza de los motores del equipo de perforación, un ejemplo de revisión es el siguiente:

En una de las revisiones realizadas se encuentran puntos calientes en los cables que llegan a los gabinetes de las alimentaciones como se muestra en la Figura 44.

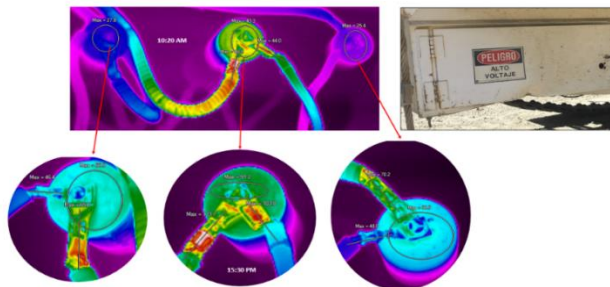


Figura 44. Puntos calientes en las entradas de alimentación de los gabinete detectados por una cámara termográfica marca FLUKE Ti400.

En el gabinete de la alimentación se encuentra un cable con un diferencial de 40°C aproximadamente en el cual se requiere revisar torque del tornillo y/o poncha dura de la terminal de conexión. Adicional a la termografía de cables de alimentación se revisa la temperatura en los campos o bobinados de los diversos motores del equipo se muestra una tabla de seguimiento de esta actividad:

Adicional a la termografía de cables de alimentación se revisa la temperatura en los campos o bobinados de los diversos motores del equipo se observa en la Figura 45 y en conjunto se muestra en la tabla 3 de seguimiento de esta actividad:



LEVANTE	MOTOR TRASERO			
	CAMPO #01	CAMPO #02	CAMPO #03	CAMPO #04
IZQUIERDO	83°C	72°C	72°C	73°C
	CAMPO #01	CAMPO #02	CAMPO #03	CAMPO #04
DERECHO	102°C	92°C	92°C	94°C
GIRO	MOTOR TRASERO			
	CAMPO #01	CAMPO #02	CAMPO #03	CAMPO #04
ARRIBA	56°C	53°C	62°C	57°C
	CAMPO #01	CAMPO #02	CAMPO #03	CAMPO #04
ABAJO	63°C	68°C	61°C	63°C

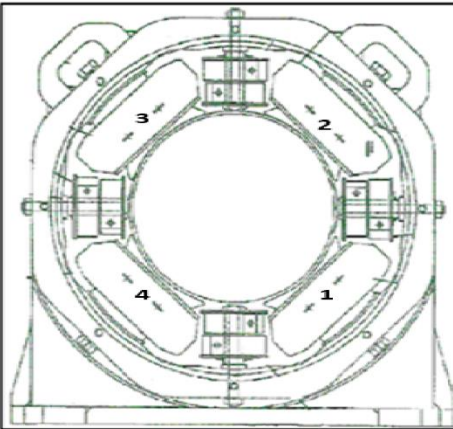


Figura 45 y Tabla 3. Relación de la temperatura obtenida de los bobinados de un motor dc perforadora 66 para detectar temperaturas por fuera del rango aceptado e implementar un plan de mantenimiento adecuado para evitar daños futuros en el equipo.

La idea es detectar temperaturas que estén por encima de las demás o generales y de esta forma comenzar con revisiones más a detalle como sería el caso de la medición a través del equipo AWA como detención de fuga o disminución de impedancia o resistencia de aislamiento. El seguimiento de todos los componentes importantes es lo que garantiza la operatividad de los equipos se le da seguimiento termográfico a los frenos del cabezal y radiador del compresor y filtros que intervienen en los circuitos como se puede observar en la Figura 46.

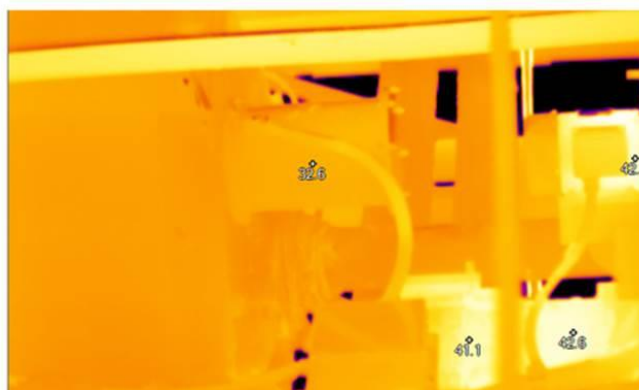


Figura 46. Se tiene una temperatura 41 a 43 grados en los frenos del cabezal

En la revisión termográfica del cabezal se tiene una temperatura aceptable menor a 50 grados y teniendo en cuenta que está a la intemperie, en caso de detectarse

un diferencial en las temperaturas de más de 10 grados se tendría que parar el equipo para revisión.

En la inspección del radiador del compresor de la Figura 47, se tiene un diferencial de aproximadamente 22 grados entre la parte superior e inferior del compresor considerado bueno y se toma en cuenta las alimentaciones de la derecha la cual tiene 84 grados la alimentación y 62 grados el retorno de la alimentación, el intercambio de temperatura es considerado bueno.

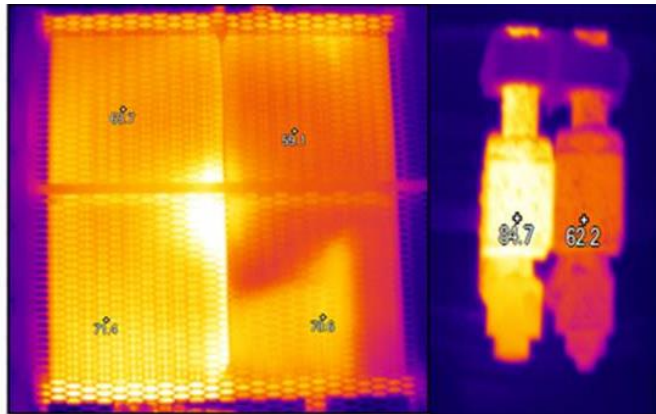


Figura 47. Inspección del radiador del compresor fotografía obtenida por el aparato FLUKE Ti400.

Otra acción aparte de la termografía de componentes es el seguimiento de vibración a los conjuntos motor transmisión o motor compresor como el siguiente ejemplo realizado a un compresor de tornillo de la perforadora: Se realiza la medición de vibración en los puntos de monitoreo en la idea de poder correlacionar las posibles fallas que se pudieran presentar en el motor compresor de la perforadora 66 se aprecia en la Figura 48.

VALORES DE VIBRACIÓN OBTENIDOS		POSICIÓN	Vibración In/Sec. (0-P)	Envolvente gE	
MOTOR-COMPRESOR	MOTOR LADO LIBRE	1	HORIZONTAL	0.102	2.736
			VERTICAL	0.114	
			AXIAL	0.148	
	Temperatura Balero:				59.3 °C
	MOTOR LADO COPLE	2	HORIZONTAL	0.115	4.625
			VERTICAL	0.142	
			AXIAL	0.161	
	Temperatura Balero				86.9 °C
	TRANSMISION LADO IZQUIERDO	3	HORIZONTAL	0.209	42.915
			VERTICAL	0.151	
			AXIAL	0.192	
	Temperatura Balero				69 °C
TRANSMISION LADO DERECHO	4	HORIZONTAL	0.199	49.237	
		VERTICAL	0.161		
		AXIAL	0.191		
Temperatura Balero				65.6 °C	
COMPRESOR #1 TORNILLO MACHO LADO COPLE	5	HORIZONTAL	0.279	46.353	
		VERTICAL	0.181		
		AXIAL	0.214		
Temperatura Balero				58.9 °C	
COMPRESOR #1 TORNILLO MACHO LADO BOMBA	6	HORIZONTAL	0.49	35.188	
		VERTICAL	0.349		
		AXIAL	0.23		
Temperatura Balero				96.9 °C	
COMPRESOR #1 TORNILLO HEMBRA LADO COPLE	7	HORIZONTAL	0.265	47.674	
		VERTICAL	0.204		
		AXIAL	0.165		
Temperatura Balero				63.8 °C	
COMPRESOR #1 TORNILLO HEMBRA LADO BOMBA	8	HORIZONTAL	0.396	50.645	
		VERTICAL	0.143		
		AXIAL	0.249		
Temperatura Balero				92.8 °C	
COMPRESOR #2 TORNILLO HEMBRA LADO COPLE	9	HORIZONTAL	0.273	52.116	
		VERTICAL	0.181		
		AXIAL	0.236		
Temperatura Balero				73.1 °C	
COMPRESOR #2 TORNILLO HEMBRA LADO BOMBA	10	HORIZONTAL	0.338	53.328	
		VERTICAL	0.277		
		AXIAL	0.250		
Temperatura Balero				90.2 °C	
COMPRESOR #2 TORNILLO MACHO LADO COPLE	11	HORIZONTAL	0.243	41.305	
		VERTICAL	0.239		
		AXIAL	0.212		
Temperatura Balero				64 °C	
COMPRESOR #2 TORNILLO MACHO LADO BOMBA	12	HORIZONTAL	0.38	35.446	
		VERTICAL	0.21		
		AXIAL	0.191		
Temperatura Balero				90 °C	

Figura 48. Por medio del análisis de vibraciones y de cámara termografica se detectó un incremento en la temperatura de los baleros y se procederá a tomar acciones necesarias para llevar a su solución.

Las mediciones obtenidas por el análisis de vibraciones se tomara las siguientes medidas para el compresor:

1. Horizontal: se tienen valores precautorios= 0.49 in/sec. (6H), se muestra la frecuencia del tornillo de 6 alabes, se tendrá en seguimiento.
2. Vertical: se tiene valores precautorios= 0.349 in/sec. (6V), se muestra en incremento la amplitud de la frecuencia del tornillo de 6 alabes, se tendrá en seguimiento.
3. Axial: se tiene valores bajos de 0.250 in/sec. (10A), se tendrá en seguimiento posible inicio de falla en tornillo 6 alabes.

4. Envolvente: se tiene valores altos 53.328 gE., se tendrá en seguimiento, sin frecuencia de falla.
5. Nota: se dará seguimiento al incremento de los rodamientos de envolvente, 4 puntos de temperatura arriba de 90° C.

Las siguientes medidas obtuvieron para el motor se llevara a cabo las siguientes medidas:

1. Horizontal (2H): se tiene valores bajos 0.115 in/sec., los valores bajaron con el cambio de compresor.
2. Vertical (1V): se tiene valores bajos 0.142 in/sec., en buenas condiciones para operar.
3. Axial (2A): se tiene valores bajos 0.161 in/sec., en buenas condiciones para operar.

La medición de condición indica que se le dará el seguimiento con otra revisión para determinar la prioridad del mantenimiento, si la condición fuera critica el equipo se para en el momento de la detección, pero la idea del mantenimiento predictivo es anticiparse a las posibles fallas y programar las correcciones para evitar pérdidas de disponibilidad y producción y realizar los mantenimientos de forma pertinente.

## 8.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (ANÁLISIS DE CÁMARA TERMOGRAFÍA).

El realizar estos mantenimientos en los equipos es muy importante aumentan la vida útil en los equipos y eso hace que sea menos costoso al momento de cambiar refacciones, no es lo mismo costo comprar un filtro de aceite que un engrane, hay ciertas refacciones que si son necesarias cambiar por ya cumplieron con su vida útil pero ya hablando de engranes, bombas, transmisiones llevando a cabo un mantenimiento adecuado es posible preservarlas por más tiempo y que no sea un costo a corto o mediano plazo. El mantenimiento predictivo a realizar es una pala es un equipo grande de tráfico pesado el cual se encarga de recoger el mineral (piedras) de la voladura (explosión) y colocarlas en un yucle, el yucle se encarga de llevar ese mineral a trituración donde procederá a convertir dichas piedras en polvo

para luego mandarlas a concentradora para su tratamiento correspondiente, observar la Figura 49.



Figura 49. Pala 15 colocando el mineral en el yucle.

Las actividades normales en el área de mantenimiento predictivo es revisar los equipos con la ayuda de aparatos de medición como es el caso de la cámara termografía para la detección de condiciones o hallazgos los cuales son reportados para su atención, la prioridad dependerá del tipo de hallazgo encontrado.

A continuación se presenta el seguimiento y mejoras obtenidas por el mantenimiento predictivo con la ayuda de la cámara termográfica.

Inspección realizada en el compresor de la pala # 9.

<b>Modelo Compresor:</b>	<b>Quincy QR 350</b>
Rango de presión de aire en la descarga Real:	135 – 165 psi
Rango de presión Recomendado por Manual:	130 – 175 psi
Presión del aceite del compresor Real:	<b>Tenía 108 psi y se bajó a 20 psi.</b>
Presión del aceite del compresor Recomendado:	18 – 20 psi

Figura 50. Datos obtenidos antes y después del mantenimiento predictivo aplicado al compresor de la pala 9

Al cambiar los valores del psi sugeridos por el manual para que el compresor funcione de una manera óptima se pudo observar una mejoría en el equipo.

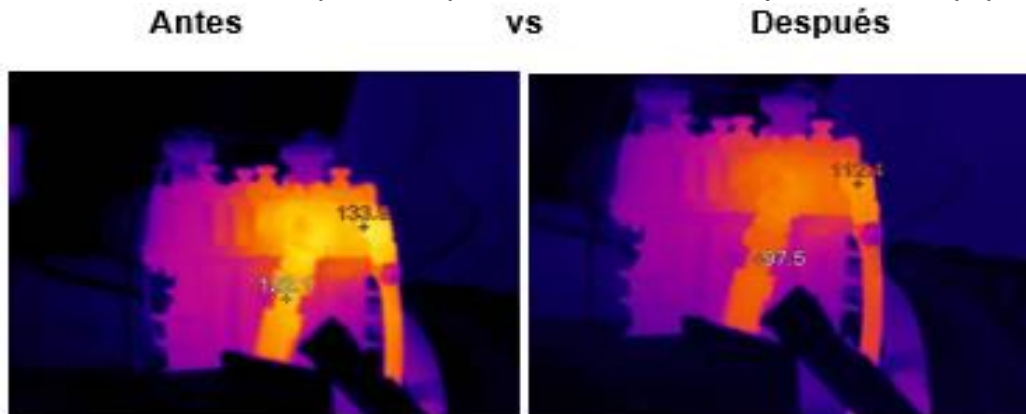


Figura 51. Aquí se presenta una imagen obtenida por la cámara termográfica donde se puede observar la disminución de la temperatura al corregir los parámetros, es importante calibrar los parámetros ya que aumenta la vida útil del equipo y ayuda a mejorar la disponibilidad del equipo.

Para realizar esta mejora se cambiaron manómetros, se calibraron las bombas de lubricación y se puede ver como la temperatura disminuyo en el compresor. Se siguió un plan de mantenimiento ya establecido por el área de mantenimiento y planeación de la empresa y se procedió ir a realizar los chequeos, análisis y correcciones necearías para funcionamiento adecuado de los compresores de las palas #10, #12, #15, #16.

#### Inspección realizada en el compresor de la pala # 10

PA010:

<b>Modelo Compresor:</b>	<b>Quincy QR 370</b>
Rango de presión de aire en la descarga Real:	120 – 170 psi
Rango de presión Recomendado por Manual:	130 – 175 psi
Presión del aceite del compresor Real:	<b>Tenía 42 psi y se bajó a 18 psi.</b>
Presión del aceite del compresor Recomendado:	18 – 20 psi

Figura 52. Datos obtenidos antes y después del mantenimiento predictivo aplicado al compresor de la pala 10.

Los compresores son distintos modelos así que varían sus parámetros y capacidades no tiene valores predefinidos cada uno, mediante el uso y factores externos (vibraciones, temperatura etc.) hacen que estos parámetros se salgan del rango adecuado por el fabricante y ocasionen daños en el equipo.

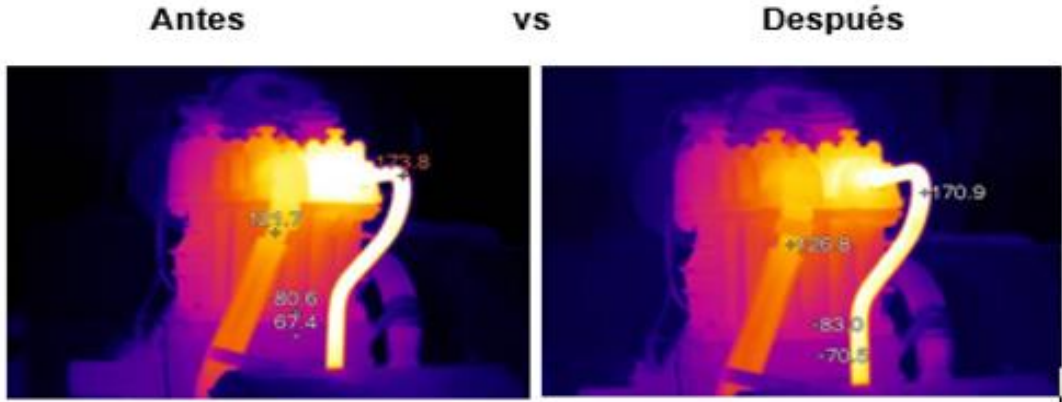


Figura 53. Este es el compresor de la pala 10 al realizar los cambios de manómetros y calibrar las bombas de lubricación del compresor se puede observar una mejoría y reducción de la temperatura.

Aquí también presentaba el mismo problema que el compresor de la pala #9, se cambiaron manómetros, se calibraron las bombas de lubricación y se puede ver como la temperatura disminuyo en el compresor.

En la mayoría de los casos fue el mismo problema, al realizar este plan de mantenimiento se logró subir el porcentaje de disponibilidad de equipo (área de palas). Se presentan a continuación los resultados obtenidos en inspecciones de las palas #15 y #16.

Inspección realizada en el compresor de la pala # 15

**PA015:**

Modelo Compresor:	Quincy QR 370
Rango de presión de aire en la descarga Real:	135 – 170 psi
Rango de presión Recomendado por Manual:	130 – 175 psi
Presión del aceite del compresor Real:	Tenía 25 psi y se bajó a 20 psi.
Presión del aceite del compresor Recomendado:	18 – 20 psi

Figura 54. Resultados obtenidos del compresor de la pala 15.

Análisis termográfico del compresor de la pala 15:



Figura 55. El compresor de la pala 15 al realizar los cambios de manómetros y calibrar las bombas de lubricación del compresor se pudo observar una mejoría y reducción de la temperatura.

Inspección realizada en el compresor de la pala # 16

PA016:

Modelo Compresor:	Quincy QR 370
Rango de presión de aire en la descarga Real:	130 – 165 psi
Rango de presión Recomendado por Manual:	130 – 175 psi
Presión del aceite del compresor Real:	20 psi (se dejó igual)
Presión del aceite del compresor Recomendado:	18 – 20 psi

Figura 56. Rangos del compresor recomendados por el manual vs real.

Las acciones que se realizaron fueron calibración de las bombas de aceite y cambio de manómetros.



Figura 57. Este es el compresor de la pala 16 al momento de realizar el cambio de manómetro y calibrar los parámetros de las bombas de aceite podemos observar que de una temperatura máxima de 190 grados centígrados bajo a 130.4 grados mejorando así su operación y funcionamiento en el equipo.



Por los resultados obtenidos, se hicieron una serie de recomendaciones a los trabajadores para aumentar la disponibilidad de los compresores. Se adjuntan Recomendaciones:

1. Se recomienda el cambio de filtros de aceite y Aceite (4.2 lts) cada servicio.
2. Se recomienda utilizar el aceite SAE 30 o 15w40.
3. Se recomienda instalar dren automático a compresor de PA010 (no tiene de momento).
4. Se recomienda en el mantenimiento revisar compresores de PA010 y PA015 porque están pasando aceite al tanque de aire.
5. Compresor de PA010 es el único que continua con la temperatura por arriba del límite permisible 175°C, Se recomienda revisión de válvulas en el siguiente mantenimiento del equipo.

Se anexa tabla 4 con resumen de manómetros cambiados durante la revisión.

EQUIPO	MANOMETRO ACEITE	MANOMETRO AIRE	EQUIPO	MANOMETRO ACEITE	MANOMETRO AIRE
PA009	✗	✓	PA009	✓ NUEVO	✓ NUEVO
PA010	✗	✓	PA010	✓ NUEVO	✓ NUEVO
PA011	✓	✓	PA011	✓	✓ NUEVO
PA012	✗	✗	PA012	✓ NUEVO	✓ NUEVO
PA015	✗	✓	PA015	✓ NUEVO	✓ NUEVO
PA016	✓	✗	PA016	✓	✓ NUEVO
	RANGO 0-30 PSI	RANGO 0-200 PSI		RANGO 0-30 PSI	RANGO 0-200 PSI

Tabla 4. En esta tabla se muestra los cambios realizados, un antes y después en lo que se refiere a manómetros de aire y aceite.

Con este tipo de análisis termográfico tuve la oportunidad de realizar un plan de mantenimiento predictivo, se me capacito para llevar a cabo estas mediciones y ver las acciones que se toman para tener las condiciones óptimas del equipo para garantizar su disponibilidad.

### 8.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (ANÁLISIS DE VIBRACIONES).

En el mismo lugar de trabajo (palas) donde se realizó el análisis termográfico, aquí también se llevó acabo el análisis de vibraciones se realizó una revisión al nivel de

vibración en los conjuntos motor transmisión mecánica, se documenta , se toma nota de las observaciones de la medición y los hallazgos, la idea del mantenimiento es el monitoreo de las condiciones del equipo que está operando y en esa idea atender los equipos cuando se estén saliendo de los parámetros normales o recomendados en el manual. Se presenta a continuación la inspección que se realizó en la pala #12 por medio de análisis de vibraciones.

Inspección pala #12 análisis de vibraciones:

Presenta en el motor de levante operando con valores de vibración y envolvente bajos y valor predominante: 0.275 in/sec en punto 2V.

#### REPORTE DE VIBRACIONES SISTEMA DE LEVANTE PALA No.12

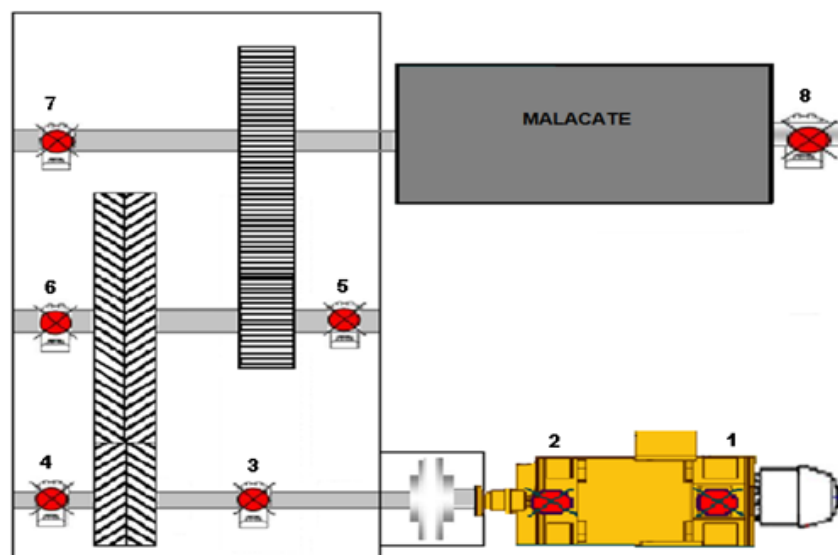


Figura 58. Se procedió a realizar el monitoreo en donde se puede observar en la imagen donde están los puntos críticos donde se registró valores altos de vibraciones, estos valores altos en axial son inducidos por la flecha de entrada.

Se presenta una tabla donde se registra los valores y los lugares donde sucedieron los altos valores de las vibraciones para después realizar su análisis.

VALORES DE VIBRACIÓN OBTENIDOS		POSICIÓN	Vibración In/Sec. (0-P)	Envolvente gF	
SISTEMA- LEVANTE	MOTOR LADO LIBRE	1	HORIZONTAL	0.186	2.9
			VERTICAL	0.233	
			AXIAL	0.271	
	MOTOR LADO COPLÉ	2	HORIZONTAL	0.231	1.8
			VERTICAL	0.275	
			AXIAL	0.273	
	FLECHA DE ENTRADA LADO ACOPLAMIENTO	3	HORIZONTAL	0.711	23.0
			VERTICAL	0.963	
			AXIAL	0.634	
	FLECHA DE ENTRADA LADO LIBRE	4	HORIZONTAL	0.890	28.8
			VERTICAL	0.967	
			AXIAL	0.746	
	FLECHA INTERMEDIA LADO MOTOR	5	HORIZONTAL	0.852	12.0
			VERTICAL	1.088	
			AXIAL	1.246	
	FLECHA INTERMEDIA LADO LIBRE	6	HORIZONTAL	0.559	11.0
			VERTICAL	0.755	
			AXIAL	1.412	
	MALACATE LADO ENGRANE	7	HORIZONTAL	0.666	2.4
			VERTICAL	0.326	
			AXIAL	0.410	
	MALACATE LADO LIBRE	8	HORIZONTAL	0.634	1.8
			VERTICAL	0.327	
			AXIAL	0.343	

Tabla 5. En esta tabla se realiza el registro de las áreas donde se registró los altos valores de vibración donde los datos se suministraran a un software para un análisis.

Al realizar el análisis de vibraciones se tiene valor de Vibración a nivel de alarma, valor predominante 1.412 in/sec. En el punto 6A. Envoltente alto en punto 4 la frecuencia dominante en la transmisión es provocada por el mal contacto de flecha de entrada con engrane intermedio, la temperatura está en 67°C. Se tienen problemas de desalineación, considerar adelantar el mantenimiento de la pala (tabla 5). El equipo puede seguir operando, se tendrá en monitoreo.

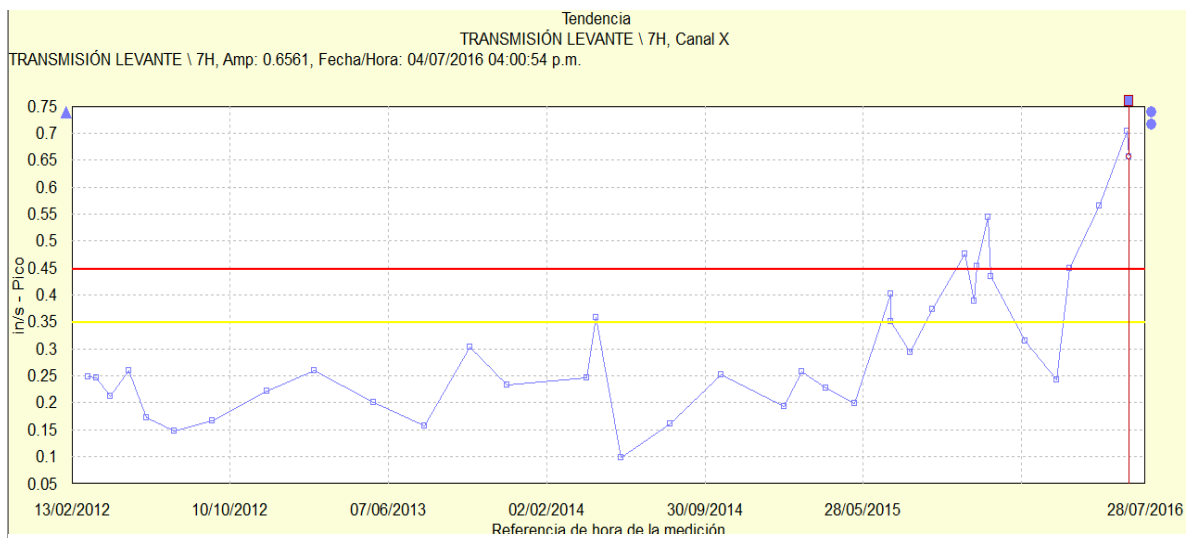


Figura 59. Seguimiento histórico de la transmisión de levante de la pala 12, se puede ver en 6 puntos que están en estado crítico y necesita aplicarse medidas para solucionar dichos problemas ya que de seguir así puede parar el equipo y causar grandes daños.

## Reporte de vibraciones del sistema de giro de la pala #12

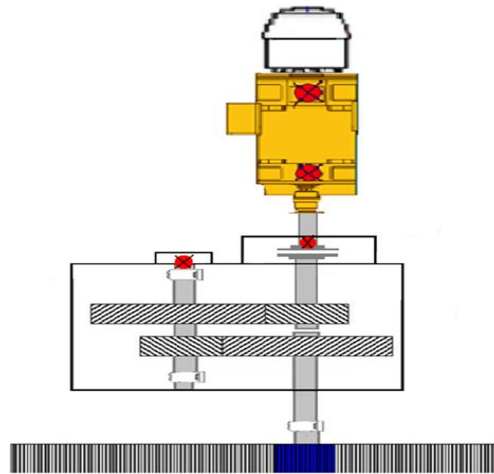


Figura 60. Monitoreo de la transmisión del sistema de giro de la pala 12.

La situación de la transmisión del sistema de giro de la pala #12 es la siguiente:

Operando con los valores de vibración aceptables, envolventes bajas como predominante 8.012gE en el motor de sistema de giro derecho se recomienda revisar la lubricación de este motor. El valor predominante: 0.434 in/sec. En punto 5A.

VALORES DE VIBRACIÓN OBTENIDOS		POSICIÓN	Vibración In/Sec. (0- P)	Envolvente gE
SISTEMA- GIRO DERECHO	MOTOR LADO LIBRE	1	RADIAL 0.155	8.12
			AXIAL 0.176	
	MOTOR LADO COPLE	2	RADIAL 0.186	1.904
			AXIAL 0.103	
	PRIMERA FLECHA LADO COPLE	3	RADIAL 0.218	2.115
			AXIAL 0.229	
	SEGUNDA FLECHA LADO COPLE	4	RADIAL 0.178	1.328
			AXIAL 0.272	
SISTEMA DE GIRO IZQUIERDO	MOTOR LADO LIBRE	5	RADIAL 0.332	1.503
			AXIAL 0.434	
	MOTOR LADO COPLE	6	RADIAL 0.165	4.152
			AXIAL 0.201	
	PRIMERA FLECHA LADO COPLE	7	RADIAL 0.217	2.425
			AXIAL 0.233	
	SEGUNDA FLECHA LADO COPLE	8	RADIAL 0.177	4.351
			AXIAL 0.271	

Tabla 6. El sistema de giro de la pala 12 su monitoreo es aceptable con muy pocos altos de vibraciones con un predominante en el punto 8 con 4.351gE, se recomienda checar la lubricación para mejorar su rendimiento.

## Reporte de vibraciones del sistema de penetración de la pala #12

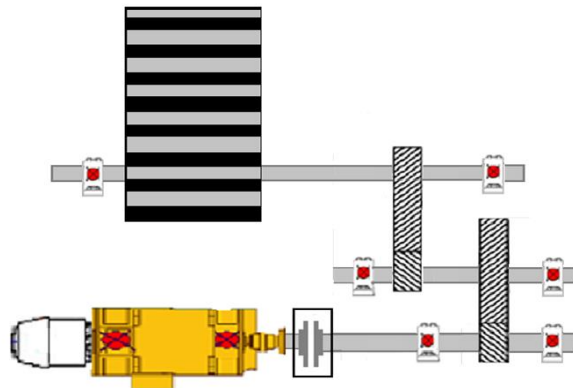


Figura 61. Sistema de penetración de la pala 12, sus puntos en donde se realizara el monitoreo.

La situación del sistema de penetración de la pala 12 es bueno, se encuentra operando con valores de vibración a nivel aceptable. Valor de vibración predominante = 0.312 in/sec. Esto en 2H revisión de espectros de vibración y envolvente muestran posible falla en rodamiento en pista interior.

VALORES DE VIBRACIÓN OBTENIDOS		POSICIÓN	Vibración In/Sec. (0-P)	Envolvente gE	
SISTEMA- PENETRACION	MOTOR LADO LIBRE	1	HORIZONTAL	0.183	2.637
			VERTICAL	0.254	
			AXIAL	0.307	
	MOTOR LADO COPLÉ	2	HORIZONTAL	0.312	10.883
			VERTICAL	0.292	
			AXIAL	0.283	
	FLECHA DE ENTRADA LADO COPLÉ	3	HORIZONTAL	0.515	5.509
			VERTICAL	0.447	
			AXIAL	0.670	
	FLECHA DE ENTRADA LADO LIBRE	4	HORIZONTAL	0.425	8.879
			VERTICAL	0.851	
			AXIAL	0.061	
	FLECHA INTERMEDIA LADO MOTOR	5	HORIZONTAL	0.433	15.47
			VERTICAL	0.667	
			AXIAL	0.711	
	FLECHA INTERMEDIA LADO LIBRE	6	HORIZONTAL	0.238	3.324
			VERTICAL	0.218	
			AXIAL	0.582	
	FLECHA DE SALIDA LADO ENGRANE	7	HORIZONTAL	0.389	4.207
			VERTICAL	0.207	
			AXIAL	0.677	
	FLECHA DE SALIDA LADO LIBRE	8	HORIZONTAL	0.361	2.23
			VERTICAL	0.271	
			AXIAL	0.297	

Tabla 7. Se puede ver tras realizar el monitoreo es bueno, no hay tantas alarmas se debe proceder a lubricar y tener un seguimiento en la posición 5A (posición intermedia lado motor) en el punto 5A se tiene un valor predominante de 0.711 in/sec. Y un incremento en el envolvente.

Durante algunos años se va llevado un registro histórico se muestra en la figura 62 de la vibraciones en lo cual El monitoreo o seguimiento de la condición de los equipos principales es continuo y la frecuencia aumenta o disminuye acorde a lo detectado, en la idea de tomar decisiones pertinentes.

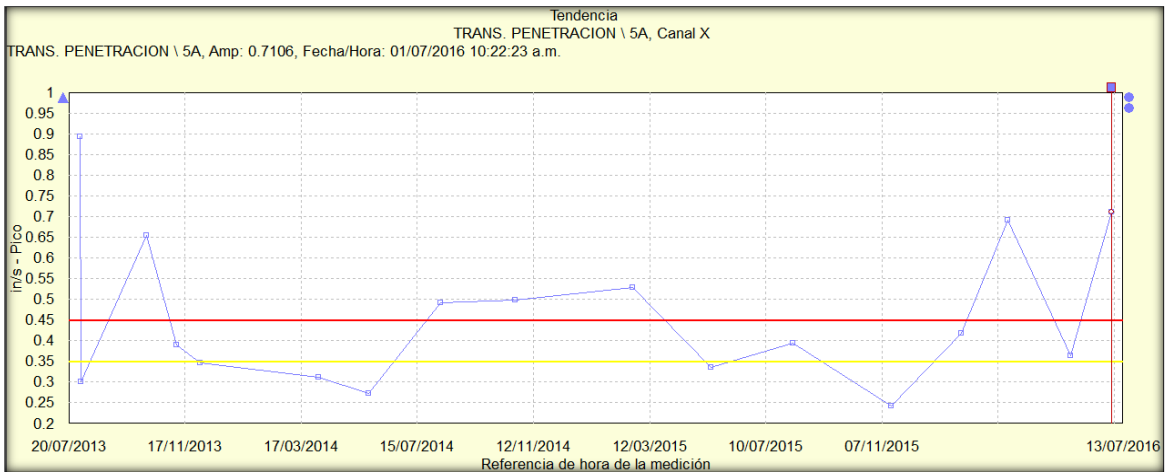


Figura 62. En este registro histórico se ha logrado disminuir o controlar la frecuencia de los problemas de análisis de vibraciones gracias al plan de mantenimiento predictivo.

#### 8.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (SUBESTACION PRINCIPAL).

La empresa (mina la Caridad) realiza dos veces al año un paro anual en la planta para rehabilitar las zonas críticas, ya que realizar paros continuos no es costable para ellos, porque el realizar paros continuos equivale a perder millones de dólares en cuestión de minutos, el mantenimiento a realizar fue en el área de la subestación principal donde se cambiaron las cuchillas de alta tensión en la subestación principal de 230 KV de alimentación. Por parte del personal encargado se decidió cambiar 2 juegos de cuchillas trifásicas de la marca SIEMENS, el detalle de la instalación es adecuar las nuevas chuchillas a un equipo que tiene dimensiones diferentes de altura y terminaciones, el trabajo original son 5 juegos de cuchillas pero el tiempo de paro de planta para el mantenimiento anual en toda la unidad no permite se realice el cambio de 5 juegos.

A las 7:30 a.m. se paró todo el equipo de la planta se liberaron 14 circuitos que alimentan a las áreas de los procesos se dejó fuera la energía que en ese momento estaba demandando 101 Mega watts de carga. Se procedió a comenzar con los

trabajos del desmantelamiento de las cuchillas se observa en la Figura 63, en la subestación principal.



Figura 63. Desmantelamiento y sustitución de cuchillas y aisladores.

Como primera actividad se procedió a desmantelar las cuchillas y aisladores de cada juego, se formaron 2 grupos de trabajo de 7 personas cada uno, en la idea de trabajar para minimizar los tiempos perdidos, se utiliza el equipo auxiliar del camión HIAB se muestra en la Figura 64 para el movimiento de componentes y equipo de trabajo.

Este trabajo de quitar equipos a sustituir lo realizaron en aproximadamente 5 horas de trabajo continuo.



Figura 64. Adaptando el nuevo equipo en las líneas de transmisión de las cuchillas.

El trabajo se vio afectado por tener que realizar adecuaciones para adaptar los nuevos equipos estos cambios se puede apreciar en la Figura 65 y por el daño de una torre de aisladores que se cayeron por posible mal manejo del personal contratado y por la improvisación de la estructura.



Figura 65. Daño a una columna de aisladores por mal manejo de la empresa contratista.

La instalación del nuevo equipo de cuchillas se terminó a las 3:00am del día 7 de julio con un retraso de 12:00 horas sobre el tiempo estimado. Esto debido a que la empresa contratista no estaba preparada para los inconvenientes que se les fueron planteando durante el día y por no contar con un programa de actividades a realizar. A continuación unas imágenes de la terminación del mantenimiento se aprecian en Figura 66, en la subestación y realización de las pruebas para iniciar con el arranque de la subestación principal.



Figura 66. Otras de las causas por el retraso fue el adecuar los buses y los aisladores a la nivelación requerida.



Realizando las últimas pruebas en la Figura 67 se muestran para la entrega de la subestación principal y arrancar para proporcionarle energía eléctrica a la mina.



Figura 67. Se procedió a realizar las pruebas con el DUCTER y MEGGER para analizar si los aisladores y contactos estaban en óptimas condiciones para arrancar.

## 9. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta los argumentos para llevar dicha actualización en la perforadora y la solución a los problemas en imágenes presentadas a continuación.

### 9.1 COMPARATIVO SIEMENS Y ALLEN BRADLEY

Las opciones de sustitución son los originales de tecnología antigua marca SIEMENS por el equivalente en la misma tecnología o por otra marca diferente que para este caso se analiza la tecnología Allen Bradley, en la revisión de los requerimientos ambas tecnologías cumplen con las necesidades de la actualización esto quiere decir que con ambas va a funcionar de forma normal, solo el cambio indicará que tan bien funciona una de la otra, con el análisis anterior la decisión es tomada por el costo de la implementación siendo favorecida la decisión por la tecnología Allen Bradley para el modelo de variador Powerflex de DC.

### 9.2 MEJORAS EN LA ACTUALIZACION DEL EQUIPO

La principal ventaja la presenta en la comunicación del sistema con el PLC, cambiar una red fielbus a una Ethernet de protocolo industrial y la mejora en la visualización

y protección del equipo, la experiencia de la tecnología de Allen Bradley la cual el personal de la planta comenta que es duradera, también muy importante el costo de la implementación la cual resulta en aproximadamente la mitad de la propuesta con equipo original. Los altos costos de la tecnología original se deben a que las marcas oficiales de los equipos consideran un mercado seguro y por este motivo elevan los precios de la actualización.

### 9.3 PROGRAMA DE ACTIVIDADES EN LA INSTALACION DE VARIADORES

Para la instalación e implementación se consideraron los siguientes conceptos:

1. Requerimientos y modificaciones de los equipos existentes.
2. Tiempo de instalación de los variadores.
3. Tiempo de programación de los variadores.
4. Instalación de los paneles de visualización.
5. Revisión de programa del control y comunicación en el control Logix.
6. Pruebas de comunicación del Control Logix, variadores de velocidad DC, panel de visualización.
7. Pruebas de funcionamiento de las modificaciones en vacío (control).
8. Pruebas con carga y ajuste de parámetros.
9. Finalmente de un estimado de 170 horas la instalación del equipo con la revisión a detalle del programa se logró reducir a 120 horas la instalación completa esto fue en 5 días hábiles de trabajo.

Se realizaron una serie de implementaciones ya que el nuevo equipo no se adaptaba donde se encontraba el equipo obsoleto. En algunos casos se tuvieron que hacer mediciones y realizar estructuras para insertas los equipos.

#### 9.4 IMPLEMENTACION DE EQUIPOS NUEVOS Y MEJORAS

Una de las primeras adaptaciones fue acomodar el drive ya que el marca SIEMENS es más pequeño, se realizaron unas mediciones se puede observar en la Figura 68, para colocar el variador de velocidad de Allen Bradley.

Enseguida se presenta las mediciones en las Figuras 69 y 70 para llevar a cabo esta actualización:

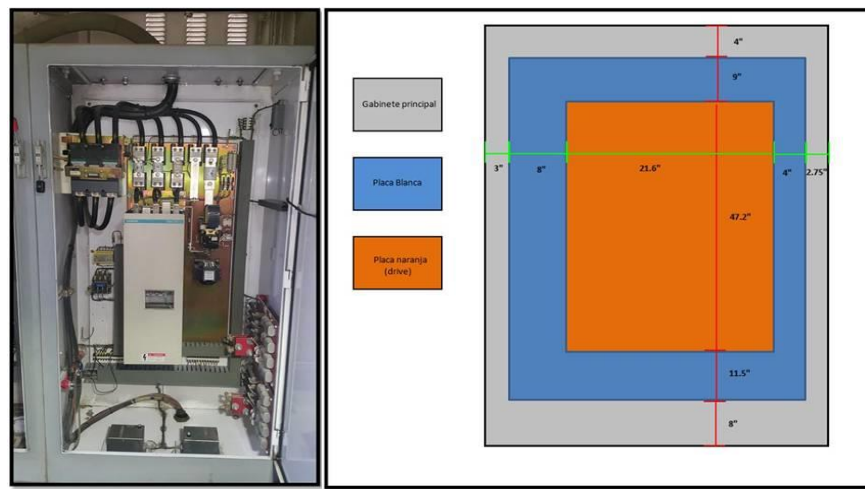


Figura 68. En la parte izquierda es el antiguo gabinete de la marca SIEMENS para poder adaptar el nuevo se tuvo que realizar unas mediciones y hacer nuevo compartimiento para el drive.

## 9.5 IMPLEMENTACION DE LOS NUEVOS GABINETES DE LA MARCA ALLEN BRADLEY:

Se utilizó el mismo gabinete de control que se tiene con la marca SIEMENS esto por la necesidad de aprovechar el espacio ya que acomodar otro gabinete hubiera afectado el tránsito de personal por los pasillos o incomodar maniobras de mantenimiento.



Figura 69. El drive marca Allen Bradley adaptado e instalado (controlador motor de levante).



Figura 70. El variador de velocidad marca Allen Bradley ya instalado (controlador motor de rotación)

## 9.6 VISUALIZACION DEL PANEL Y LA PANTALLA ANTIGUA EN EL CONTROL DE LA PERFORADORA 66

El cambio de visualización una de las acciones más importantes ya que la plataforma de visualización se aprecia en las Figuras 71, 72, 73 y 74, dependía de un Panel y un software especial obsoleto el cual manejaba la comunicación de un arreglo de tarjeta de comunicación en una PC para comunicar los equipos con el PLC SIEMENS a través de una red FIELBUS en la actualización solo se utiliza un panel con la comunicación Ethernet quedo fuera la PC.



Figura 71. Este es el panel que tenía la perforadora 66 antes de realizar la nueva actualización, se puede está obsoleta y es poco amigable de manejar para el operador.



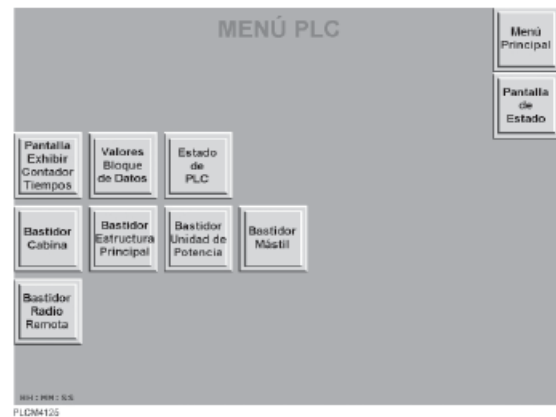
Pantalla de Nivelación

Figura 72. La visualización de los parámetros, botones y manejo es muy tedioso y el operador batallaba para poder operar el equipo.



Alarmas Activas

Figura 73. La visualización de las alarmas, solo algunas alarmas mostraba las de vital importancia ya que el rango de operaciones y procesamiento estaba limitado del plc5 y red nrofibus.



Menú PLC/Profibus

Figura 74. El menú general de las opciones del funcionamiento de la perforadora 66.

## 9.7 NUEVAS PANTALLAS Y VISUALIZACION DE LA MODIFICACION

La versatilidad que ofrece los panel view como en este caso modelo 1250 se muestra en las Figuras 75, 76 y 77 tiene los puertos para comunicarse en varias opciones de control (puede visualizar otras redes si se le realiza las conexiones) siendo la conexión Ethernet la más adecuada no se depende de una PC o tarjeta para comunicar ni visualizar el PANEL tiene incluido un software que te permite realizar los gráficos y en otros el software de desarrollo viene incluido con el panel.



Figura 75. Aquí se puede observar que la visualización es más amigable con el operador y mostrando parámetros que antes no mostraba y que son importantes para el operador para realizar su trabajo.



Figura 76. En este display el operador puede presionar la pantalla touch y ver los parámetros de los drives de los controladores de motor de levante o rotación.

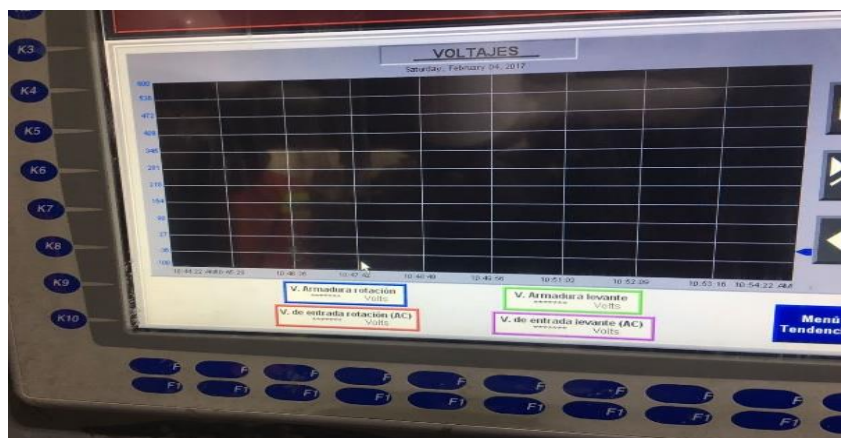


Figura 77. Este un plus de la visualización que se le programo para llevar un registro histórico y realizar mejores análisis a la hora de determinar una causa o un problema.

## 9.8 PROGRAMACION LADDER

Se programa una serie de alarmas necesarias para llevarlas a la visualización y llevar un registro histórico para atacar de mejor forma las fallas y tener un panorama más claro para llegar a una solución del problema, estas alarmas son necesarias para el funcionamiento de la perforadora ya que antes no contaba con esto y dependía de una manipulación totalmente análoga (dependía de los sentidos de operador), a continuación se presenta parte de esta programación ya que por políticas de la empresa (Grupo México) no es posible mostrar toda la programación ladder . Se presenta la programación que corresponde al Control Logix RS 5000 que es una de las plataformas más usadas de Allen Bradley, El programa se compone de varias rutinas las cuales van desarrollándose acorde al requerimiento de la operación de la perforadora , se presenta a continuación print screen de la programación ladder, observar la Figura 78.

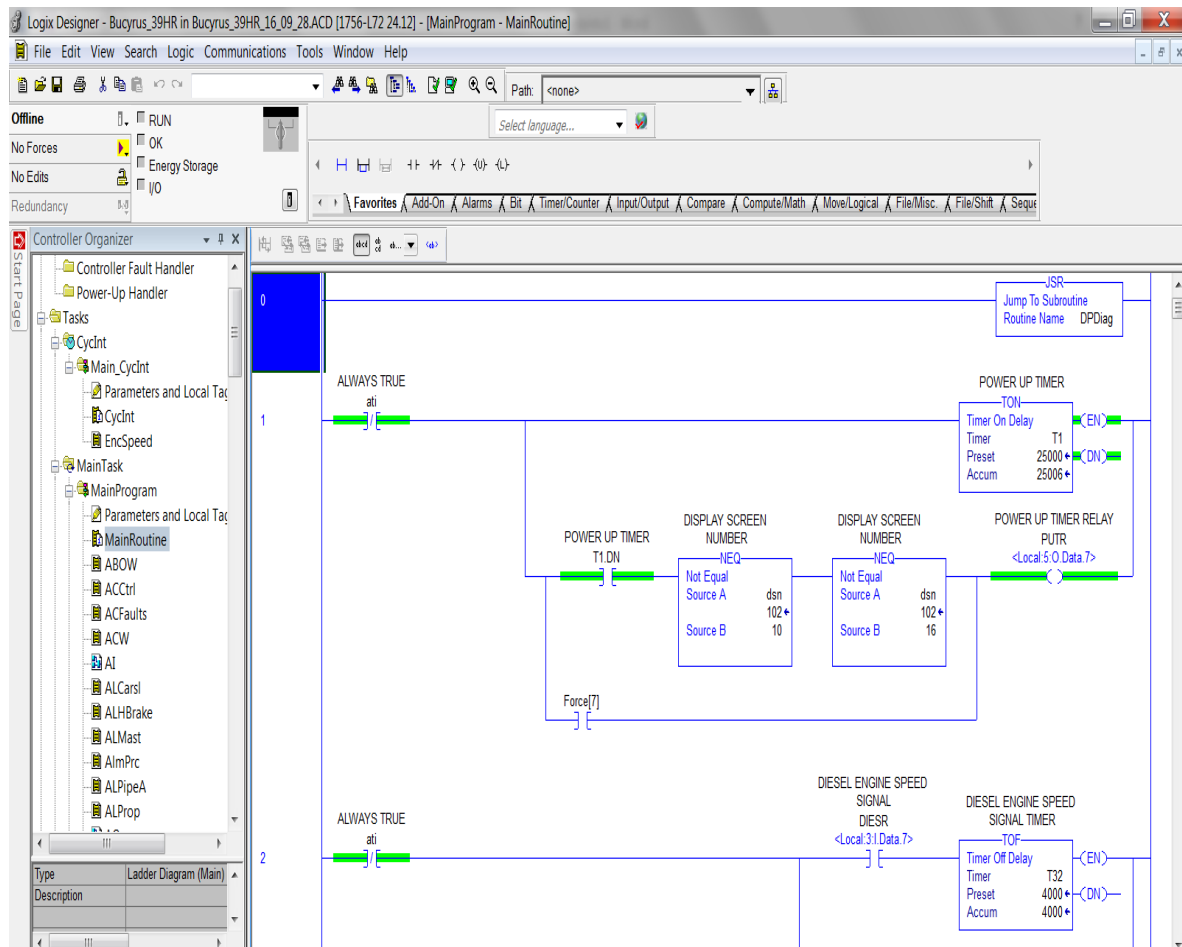


Figura 78. El renglón cero del siguiente programa, así como los renglones 1 y 2 muestran las condiciones donde el programa revisa que este energizado y disponibles las condiciones para la operación.

En la Figura 79 se muestra algunas líneas del ladder donde se evalúa que estén presentes las condiciones necesarias para iniciar la operación, en estas líneas del ladder se está verificando el tiempo de iniciar el arranque de la máquina verificando que los mandos de velocidad estén en la posición neutral.

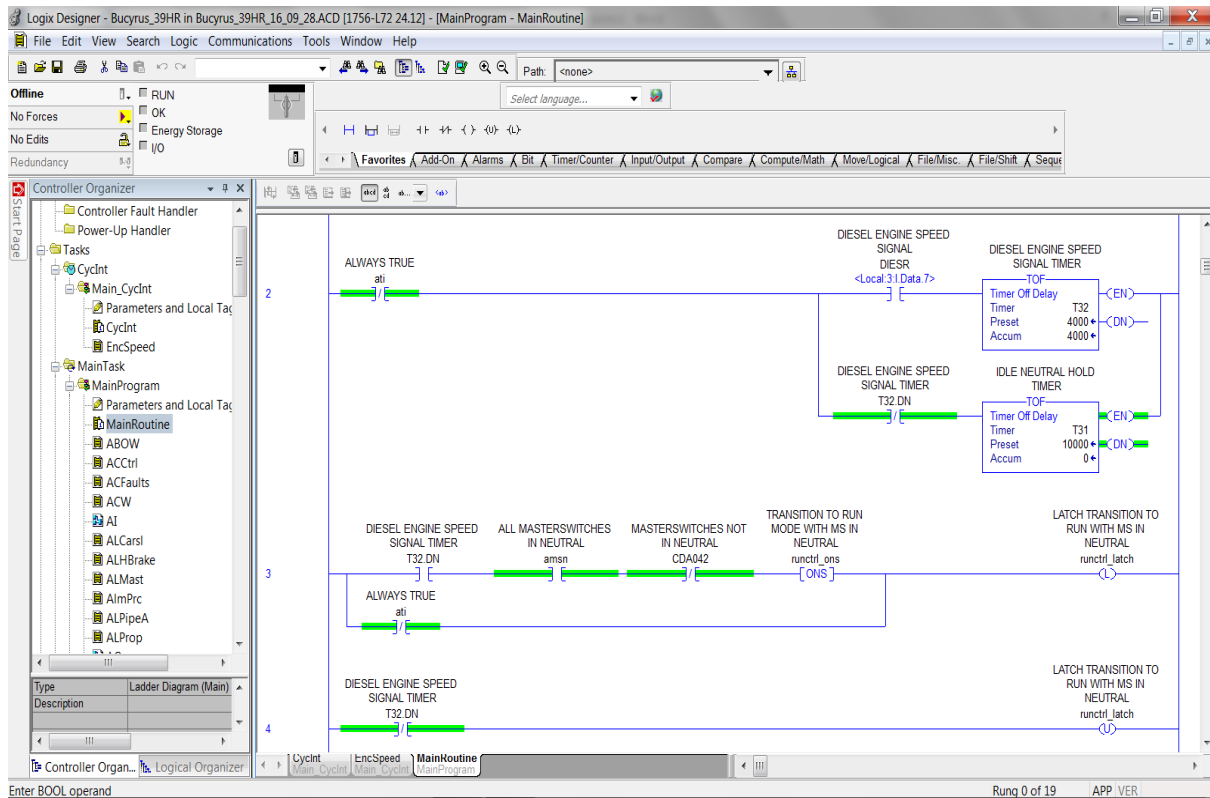


Figura 79. Se va verificando que todo este inicializando con los mandos se encuentren en posiciones neutrales para arrancar el equipo.



El renglón 5 continúa la evaluación de las condiciones y las protecciones que deben ser validadas antes de operar la perforadora, en los renglones 6, 7, 8 y 9 se manda a subrutinas que llevan los controles de alarmas del sistema, observar la Figura 80.

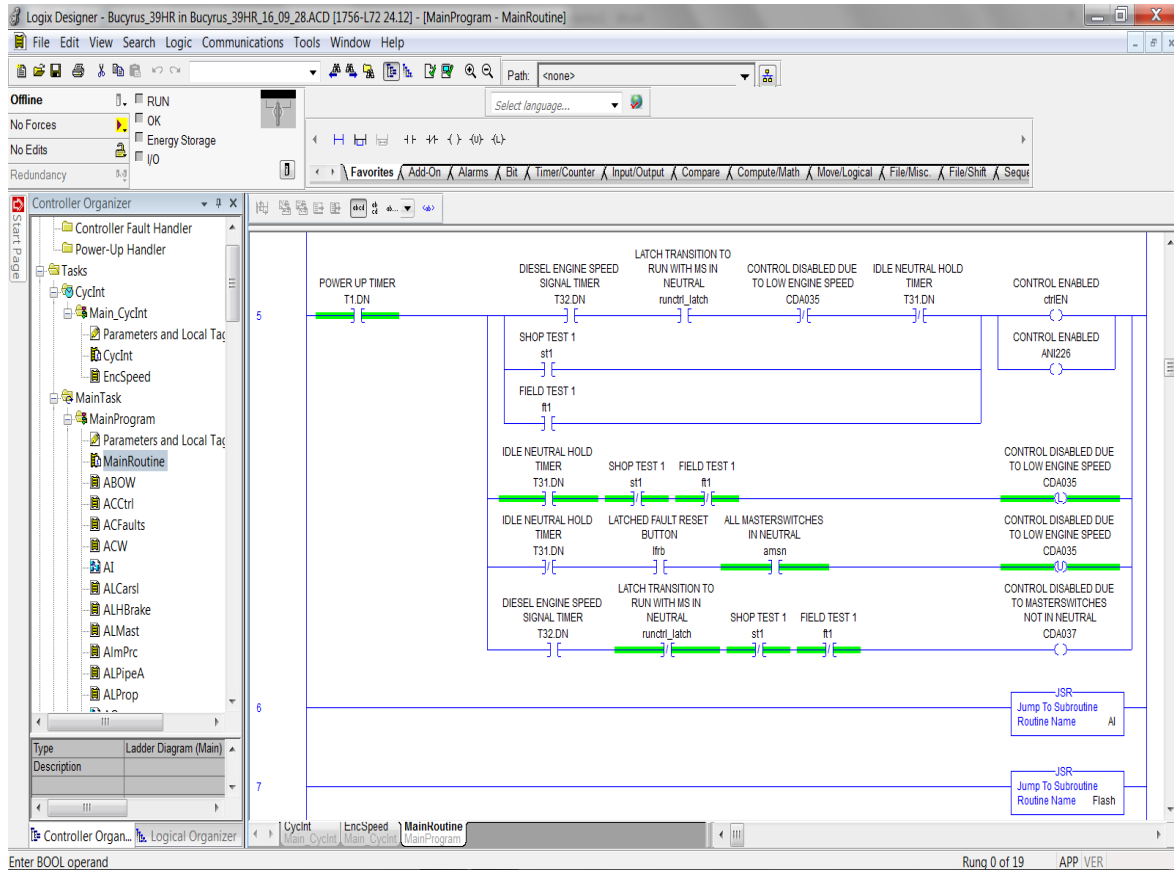


Figura 80. La evaluación de las condiciones, las protecciones tienen que ser válidas antes de operar la perforadora, en caso de que no sean válidas, la perforadora no arrancará, y una vez que es válido se manda a subrutinas que llevan los controles de alarmas del sistema.

Programa de la rutina AI en diagrama a bloques se aprecia las señales análogas de referencia de los mandos para mover la broca o flecha de penetración, así como la señal de rotación y movimiento o traslado de la perforadora. Es una de las rutinas más importantes ya que es aquí donde está determinado el control de movimiento en estos bloque se tiene conectados de izquierda a derecha parte superior izquierda lo que es el movimiento de la broca o flecha larga subir o bajar la señal HPMS es la referencia de la palanca de movimiento dentro del bloque se maneja las escalas, en la Figura 81 , la señal RMS bloque central superior controla el movimiento de rotación de la broca como un taladro que gira izquierda o derecha, la señal PRPAMS\_A parte superior derecha controla el movimiento de las orugas izquierda o derecha de la perforadora, la señal WIC parte inferior izquierda controla la alimentación del agua a la broca para su enfriamiento, la señal PLFP parte inferior centro es la fuerza de empuje para perforar equivalente como analogía a un taladro rotor matillo, la señal FRDAS parte inferior derecha de la imagen es el control del ángulo que debe guardar al momento de perforar.

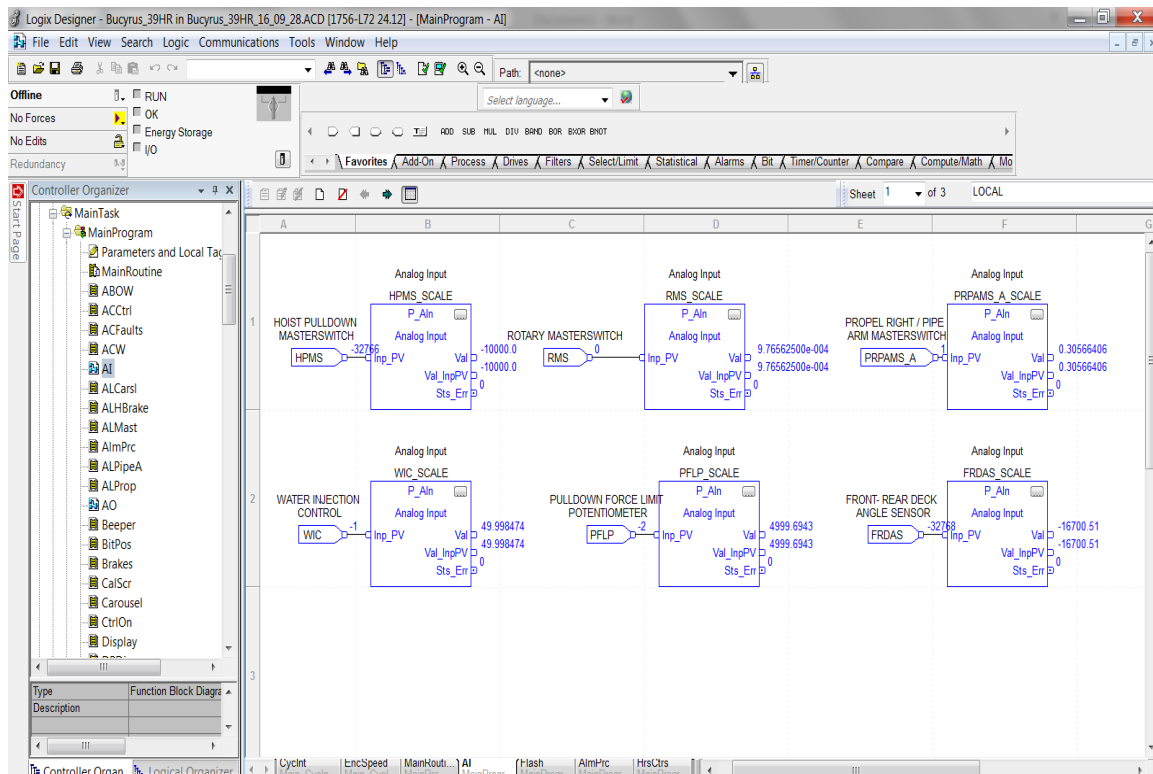


Figura 81. La subrutina AI se programa con bloques por la facilidad de la escalación y el control de alarmas y las señales análogas.

## 10. CONCLUSIONES

Realizar las prácticas en una empresa como es Mexicana de Cobre fue una gran experiencia ya que cuenta con una gran variedad de equipo y cada año están actualizando sus plataformas de control en los diferentes procesos industriales para la obtención del cobre.

El proyecto que realice para la empresa fue un trabajo de un alto alcance ya que no contaba con los conocimientos necesarios para enfrentarme a ese reto, se me capacito en los lugares donde veían que me hacía falta un reforzamiento de experiencia acerca de temas como PLC, redes (comunicación e interfaz) estos fueron mis principales problemas a los que me enfrente.

Otra de las cosas que también aprendí fue buscar la mejor opción sobre equipo para los proyectos y analizar varios factores para tomar en cuenta que es la mejor opción como lo son costos, si la plataforma es amigable con los trabajadores (el caso de mi proyecto con los operadores) si tienes que rediseñar estructuras o mecanismo para integrar el equipo, todo eso me hizo pensar de una diferente manera de realizar estos proyectos.

Mi proyecto estaba compuesto de 2 partes (perforadora #66 y #68) donde en cada una se realizaba una actualización y cambiar variadores para mejorar el funcionamiento de la perforadora ya que cada cierto tiempo se tenía complicaciones y se terminaba desgastando el equipo, se tenía que mandar a mantenimiento, eso provocaba grandes gasto de dinero y conseguir equipo electrónico para que esta máquina volviera a sus funciones que era realizar barrenos en el tajo minero, la perforadora #66 se logró implementar todo lo que se tenía planeado en el programa de actividades (comunicación de PLC5 a Control Logix , visualización para que fuera más fácil de operar para los trabajadores y cambio variadores de velocidad ) presentado a mi tutor académico, el caso de la perforadora #68 por cuestiones externas a mí y a derecho reservado de La empresa ,ya no se pudo implementar o llevar a cabo dicha actualización , se me invito a formar parte del proyecto pero la fecha en que se tiene pensando realizar dicha actualización pero está fuera de mi fecha de entrega final de prácticas profesionales y le comente a mi tutor , ya el me

asigno a otro tipo de actividades en su momento para ayudarme a cumplir con mis horas establecidas por mi programa universitario(ingeniería Mecatrónica) que fueron mantenimientos predictivos a equipos.

Le doy gracias a Mexicana de Cobre por dejarme realizar mis prácticas profesionales, ayudarme a crecer como profesionista y a mi tutora Dr. María Elena Anaya por su apoyo y asesoría para llevar a cabo este proyecto. Creo que la empresa Mexicana de Cobre, Mina La Caridad es un buen lugar para crecer como profesionista y para que compañeros puedan desarrollar habilidades y destrezas para su formación profesional.

## **11. RETROALIMENTACION**

Durante mi estancia en la mina la caridad logre aprender y poner en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad, mi proyecto contaba con áreas de hidráulica y programación de PLC, por el lado de la hidráulica tuvo mucha relación lo visto en el programa de estudios de mi carrera con lo que es una experiencia laboral, funcionamiento de pistones, válvulas, aceites (características para distintos trabajos), principios hidráulicos, teoría, etc. Por el lado de programación de PLC si tuve algunas dificultades ya que lo aprendí en la universidad era muy básico y se me tuvo que capacitar dos semanas para contar con los conocimientos requeridos para poder llevar a cabo el proyecto, en una parte del proyecto involucraba redes, que es otra materia que se imparte en mi carrera pero de una manera muy teórica, enseñaron puros conceptos, hacer un cable de datos para Ethernet, subdividir redes etc. En la empresa donde realice las practicas solicitaban cosas más complicadas a la cuales no pude dar respuesta y se me impartió otra capacitación para poner al corriente. Estuve desenvolviéndome en el área mecánica, eléctrica, instrumentación, talleres centrales, mina, ESDE, etc. No hubo ningún inconveniente, solamente en el área eléctrica pero la carrera de Ingeniera Mecatrónica tiene 3 materias relacionadas con ella y aunque no tiene perfil eléctrico pienso que se debería de ofrecer materias optativas de esa rama de la ingeniería. Tengo habilidades en la programación de PLC, manejo de redes, realización de análisis de

equipo (vibraciones y termografía) gracias a mi estancia aquí en la empresa mexicana de cobre pude desarrollar este tipo de habilidades.

Oportunidades que note en las practicas es que se están contratando mucho ingeniero Mecatrónico por los diversos conocimientos con los que cuentan ,en el área mecánica se ve mucho del rediseño de mecanismo ,utiliza unos de los programas visto en la carrera realizar dichos diseños que es el solidworks, en lo que es la hidráulica se utilizan componentes festo que era los utilizados en laboratorio de Mecatrónica para la elaboración de prácticas, en el área instrumentación fue parecido a lo visto en electrónica analógica, digital y potencia. Creo que es recomendable enfocarse más en programación de PLC y control ,que son materias que nomás se cumple muy por encima de lo que es el plan de estudios , debería que cuando se impartan esas clases sean más práctica , plantear situaciones reales en que los estudiantes puedan relacionar lo aprendido en el curso.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] I. j. A. Contreras, «Inversores su uso y aplicacion,» *Universidad Autonoma De Nuevo Leon*, pp. 17-30, 2000.
- [2] L. X. A. Suarez, «Variadores de frecuencia para el control de motores de velocidad asincronos jaula de ardillas,» *Universidad Central Del Ecuador*, vol. I, pp. 19-32, 2017.
- [3] Luis Fernando Mantilla Peñalba , «Variadores de velocidad -Ingenieria electrica y energetica,» *Gestion Energetica de los Motores Electricos*, vol. VII, pp. 50-60, 2013.
- [4] T. Wildi, *Maquinas Electricas y Sistemas de Potencia*, Mexico: PEARSON, Prentice Hall, 2007.
- [5] S. J. Chapman, *Maquinas Electricas*, Mexico: Mc Graw Hill, 2012.
- [6] UNED Departamento de Ingenieria Electrica , Electronica y Control, «Controladores Logicos Programables,» *Controladores Industriales Inteligentes*, vol. III, p. 25, 2011.
- [7] SIEMENS, «SIEMENS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES,» *SIMATIC*, vol. I, p. 35, 2008.
- [8] ALLEN BRADLEY, «PLC y su programacion basica,» *ROCKWELL AUTOMATION* , vol. IV, nº CCP-151-TSM, p. 108, 2008.
- [9] MATCO-CATERPILLE, «PERFORADORA 39HR BUCYRUS,» *MATCO-CAT EQUIPO*, vol. IV, nº 4, p. 40, 1998.