

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN  
SERVICIOS DE SISTEMA MEEFOGGING PARA  
REFRIGERACIÓN DE AIRE A LA ENTRADA DE TURBINAS A  
GAS PARA LA CENTRAL ALVARO TINAJERO”**

### **EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)**

Previa a la obtención del grado de:

**INGENIERA EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**GISELLA JACKELINE MEDINA ARAGUNDY**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a Dios por darme la vida y mi familia, a mi familia por apoyarme en la consecución de esta meta tan anhelada, a la ESPOL y sus profesores por todos los conocimientos aprendidos durante los años de estudio y a la empresa EnergyControl por toda la colaboración dada.

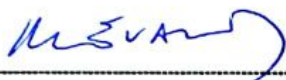
Gisella Jackeline Medina Aragundy

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis hijas Nathaly y Fiorella que son el motor que impulsa cada uno de mis días, a mi esposo por alentarme siempre a lograr mis metas y a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y constante.

Gisella Jackeline Medina Aragundy

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**Mg. Holger Cevallos U.**

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC



**Ing. Elio Sánchez G.**

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC



## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
Gisella Jackeline Medina Aragundy

## RESUMEN

Debido a que la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil EP (EEPG EP) requería aumentar la potencia de generación de una de sus unidades a gas en la Central Térmica Álvaro Tinajero, la contratista ENERGYCONTROL S.A. implementó un Sistema de Enfriamiento del aire de entrada a la unidad de generación mediante nebulización. La unidad de generación de la EEPG es una turbina a gas acoplada a un generador- todo el conjunto de la marca General Electric-; la solución planteada se escogió de teorías básicas de mejoramiento de rendimiento de turbinas a gas en donde se considera que si el aire que entra a la turbina es enfriado, éste se hará más denso y su masa aumentará, lo que nos dará por resultado que la potencia aumente como consecuencia de la segunda ley de Newton ( $F= m \times a$ ).

Para lograr aumentar la potencia se implementó un sistema conocido internacionalmente como Fogging instalado en diferentes países durante los últimos 37 años y construido por la empresa estadounidense MEE Industries Inc., el mismo mejoró el rendimiento de la turbina a gas al aumentar su potencia de salida. El Sistema MeeFogging fué instalado en la Central Álvaro Tinajero por personal técnico ecuatoriano y en calidad de Residente de Obra me encargué de revisar y constatar el buen estado de la instrumentación del skid que llegó de Estados Unidos, de la programación del Controlador Lógico Programable y de la configuración del Scada Factory Tool View de la marca Rockwell Automation.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1. METODOLOGÍA O SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA.....	1
1.1 Sistema Meefogging .....	3
1.1.1 Skid del Meefogging implementado en la AT2.....	4
1.1.2 Tableros de fuerza y control .....	5
1.2 Instalación del Sistema Meefogging .....	7
1.3 Validación de la Instrumentación del Skid .....	10
1.3.1 Metodología aplicada para calibrar los instrumentos de presión.....	12
1.3.2 Metodología aplicada para calibrar los instrumentos de temperatura .....	12
1.3.3 Metodología aplicada para calibrar los instrumentos de flujo.....	13
1.4 Componentes del controlador .....	13
1.4.1 Funciones del controlador .....	14
1.5 Integración del controlador al Sistema Scada de Monitoreo .....	14
CAPÍTULO 2.....	17
2. RESULTADOS OBTENIDOS .....	17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	24
ANEXOS .....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Turbina MS6001B.....	2
Figura 1.2 Partes de una turbina a gas.....	3
Figura 1.3: Sistema Meefogging para enfriamiento de turbinas.....	4
Figura 1.4: Skid del Sistema Meefogging instalado.....	5
Figura 1.5: Amarillamiento de planos.....	6
Figura 1.6: Colocación del sistema fogging en la base de hormigón.....	8
Figura 1.7: Colocación de la tubería de agua de entrada al sistema.....	8
Figura 1.8: Conexión del tablero de fuerza a la acometida principal.....	9
Figura 1.9: Colocación de tubing al manifold de la turbina.....	9
Figura 1.10: Sistema Meefogging instalado en su totalidad.....	10
Figura 1.11: Bomba Hidráulica GPM para calibración de PI y PT.....	11
Figura 1.12: Fluke 744 para lectura y configuración de transmisor de flujo, temperatura y humedad.....	11
Figura 1.13: Horno seco manual 9100S/9102S para temperatura.....	11
Figura 1.14: Cable Ethernet CAT6 conectado al PLC.....	15
Figura 1.15: Cable Ethernet CAT6 conectado al switch Ethernet.....	15
Figura 1.16: Red Ethernet de la Central Álvaro Tinajero.....	16
Figura 1.17: Pantalla del Scada Factory Tool View Server de Rockwell.....	16
Figura 2.1: Pantalla del Scada antes del sistema MeeFogging.....	18
Figura 2.2: Pantalla del Scada con 1MW menos de carga.....	18
Figura 2.3: Pantalla del Scada con 28.1MW de carga.....	19
Figura 2.4: Pantalla del Scada con sistema Meefogging.....	20

## INTRODUCCIÓN

La Central Térmica ALVARO TINAJERO de la ciudad de Guayaquil cuenta con un grupo generador de la marca GE conformado por una Turbina a gas modelo MS6001B, frecuencia 50/60Hz, potencia ISO 38 MW, velocidad 5163 rpm. En la actualidad el grupo generador entrega aproximadamente 28MW sin sistema de refrigeración de aire a la entrada de la turbina. En el año 2011 la EEPG EP adjudicó a la contratista EnergyControl S.A. el suministro de un SISTEMA MEEFOGGING para refrigeración de aire a la entrada de turbina a gas AT2, con la finalidad de aumentar el rendimiento del grupo generador. Para la implementación de este proyecto, el personal de la contratista realizó diversos trabajos en la instalación y montaje del sistema de enfriamiento además de la integración del PLC del skid del sistema fogging al sistema de monitoreo en la sala de control de la Central.

En el capítulo 1 se hace una breve descripción del funcionamiento de una turbina a gas; luego se describe los motivos por los cuales este proyecto era necesario. También cuál fue la solución propuesta al cliente y los componentes incluidos en el sistema; se explica la metodología que se siguió para las pruebas de contrastación de los dispositivos de instrumentación instalados además de los trabajos eléctricos realizados durante el montaje del sistema. En el capítulo 2, se detalla los resultados obtenidos además de una prueba solicitada a la EEPG en el mes de diciembre para incluir en este informe.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. METODOLOGÍA O SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA**

La EEPG cuenta con una unidad de generación conformada por una turbina a gas con un generador acoplado a su eje central de 38 MW de potencia ISO (15°C, 60% de humedad relativa y 14,5 psi); ésta turbina -denominada AT2- en condiciones normales de trabajo entrega aproximadamente 28 – 29MW de potencia, lo que implica que se tiene una pérdida considerable de potencia a la salida y por lo tanto un bajo rendimiento de la turbina.

Éste era el problema principal que tenían los ingenieros encargados de la generación en la Central Tinajero, ya que para obtener un poco más de potencia -1 ó 2 MW adicionales- se debía inyectar más combustible a la turbina lo que representaba un gasto económico mayor y más contaminación

ambiental. Por esto era apremiante hallar un método de aumentar la potencia de salida sin consumir más combustible y con menor emisión de gases al ambiente.

La contratista EnergyControl propuso a los técnicos encargados de la AT2 la implementación del sistema fogging como solución más viable, ya que para el sistema mencionado solo se requería una línea de agua desmineralizada. Para entender el funcionamiento del fogging vamos a explicar qué es y el funcionamiento de una turbina a gas.

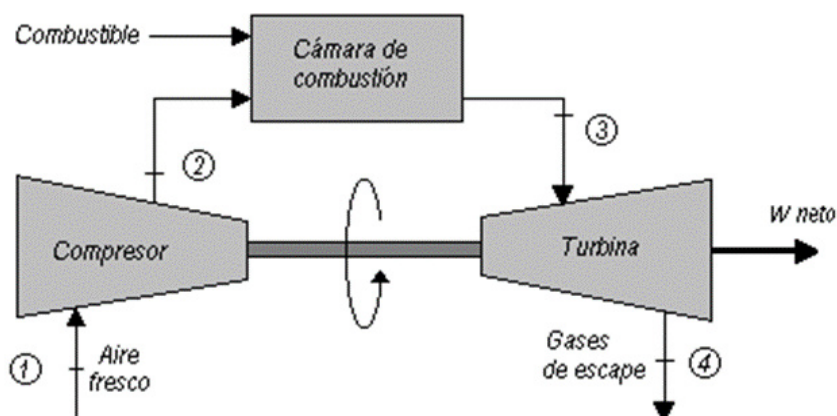
Una turbina a gas es una máquina térmica cuyo fluido de trabajo es el gas. Se compone de 3 partes o etapas: compresión, combustión y turbina de expansión. En el caso de la MS6001B tiene en su eje un generador acoplado.



**Figura 1.1 Turbina MS6001B**

La operación de una turbina es relativamente sencilla: el aire fresco fluye a través del compresor que lo eleva a alta presión, en la etapa de combustión se añade energía dispersando combustible (en este caso bunker) y quemándolo lo

cual genera una alta temperatura; éste gas con alta presión y temperatura ingresa a la turbina donde se expande disminuyendo la presión de salida y moviendo el eje en el proceso.



**Figura 1.2 Partes de una turbina a gas**

Es muy conocido que la potencia de salida de las turbinas a gas se pierde con el incremento de la temperatura ambiente, lo que implica pérdidas en energía, tiempo y dinero.

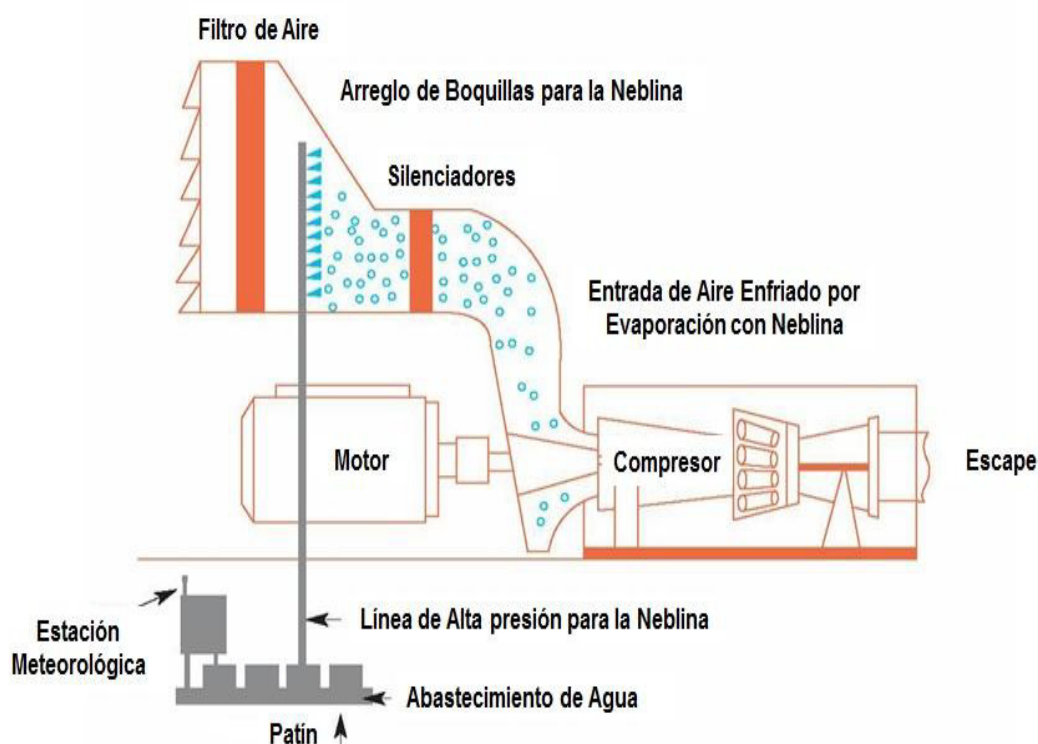
Las pérdidas de potencia en las turbinas de gas pueden ser mitigadas por el sistema Meefogging que reduce la temperatura ambiente por nebulización directa en el conducto de entrada de la turbina.

### 1.1 Sistema MeeFogging

Un sistema de bombas de alta presión presuriza agua desmineralizada que fluye a través de tuberías de acero inoxidable a las boquillas del sistema localizadas en la entrada de la turbina a gas (manifold de toberas). Cada



boquilla atomiza el agua en millones de gotas en segundos. Debido a la gran área de superficie de evaporación y el tamaño pequeño de la gota, la niebla se evapora, enfriando el aire de entrada y proporcionando un impulso de energía rentable. El patín autónomo MeeFog viene completo con un sistema de control del controlador lógico programable (PLC).



**Figura 1.3: Sistema MeeFogging para enfriamiento de turbinas**

### 1.1.1 Skid del MeeFogging implementado en AT2

De acuerdo al diagrama P&ID (ANEXO 1), el skid consta de un conjunto de 5 bombas de desplazamiento positivo que reciben agua desmineralizada a su entrada a una presión entre 30-60 psi para su correcta operación y descargan agua a alta presión de 2000 psi con la

finalidad de que el agua sea atomizada en las boquillas de los nebulizadores en cada manifold a la entrada de aire de la turbina.

El skid cuenta con un tablero de fuerza o MCC donde están todos los arrancadores de las bombas mencionadas anteriormente y con un tablero de control para el PLC y la estación meteorológica.

El skid cuenta con instrumentación del tipo switch con salidas discretas que permitirán al controlador lógico programable recibir señales de alerta referente al comportamiento del mismo y de su correcta operación, los sensores más relevantes son : Sensor de flujo, Switchs de baja presión, Sensor de temperatura, Sensor de humedad



**Figura 1.4: Skid del Sistema Meefogging instalado**

### **1.1.2 Tableros de fuerza y control**

El skid del Sistema MeeFogging incluye un tablero de fuerza MCC con los arrancadores directos y los circuitos de control de las cinco bombas

de desplazamiento positivo. En obra previa de la puesta en marcha del skid se procedió a realizar amarillamiento de los planos eléctricos que llegaron en el tablero, se constató que los planos coincidían con las conexiones tanto de fuerza como de control del tablero y se procedió a realizar pruebas de arranque sin energizar los motores de las bombas, esto con la finalidad de establecer y comprobar ante el cliente que los arrancadores estaban en buen estado.



**Figura 1.5: Amarillamiento de planos**

Para la instalación eléctrica del skid de bombas el cliente recomendó se tome energía del MCC de la turbina a gas AT2 para alimentar al tablero de fuerza y control por lo cual se procedió a realizar el cableado de fuerza utilizando los ductos de hormigón existentes y se colocó en el MCC de la AT2 un breaker 3P-100Amp 480Vac.

Debido a que el skid requería una presión de entrada de agua desmineralizada entre 30 a 60 PSI para su buen funcionamiento (valor

óptimo 40PSI) y sólo se contaba en la planta con una presión de 12PSI, se tuvo que instalar una bomba booster de 3HP con su respectivo tablero de arrancador e interconexión con el tablero de control existente en el skid, ésta bomba booster recibe el agua desmineralizada a 12 PSI y la eleva a 40 PSI, de tal forma que el skid quedó operando en su valor óptimo de presión de entrada. Debido a los cambios antes mencionados el diagrama de fuerza del skid se muestra en el Anexo 2.

El tablero de control del skid se energiza a través de un transformador 480-115VAC de 1500VA existente en el tablero de fuerza o MCC del skid, el cual alimenta al PLC, a sus entradas y salidas discretas; así como a todos los componentes de mando y control existentes en el tablero, cabe indicar que todas las entradas y salidas del PLC son a 115VAC y que debido a la incorporación de la bomba booster en control existentes en el tablero, en el skid se realizó el trabajo de integrar las respectivas señales de control al PLC.

## **1.2 Instalación del Sistema Meefogging**

El sistema Meefogging es un skid integral, de fábrica viene implementada la mayor parte de la solución, como residente de obra tocó revisar y comprobar que las instalaciones físicas – base de concreto para el skid – sean realizadas de la manera que recomienda el fabricante, ya que al no realizarlo correctamente se corre el riesgo de un accidente o mal funcionamiento del sistema fogging.



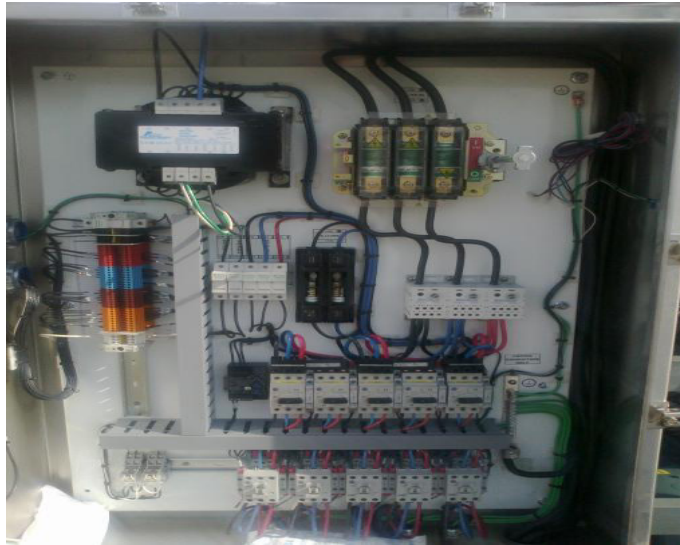
**Figura 1.6: Colocación del sistema fogging en la base de hormigón**

Para poner en marcha el fogging se empezó con la colocación de tuberías, acoples y reducciones para permitir el ingreso de agua desmineralizada al sistema.



**Figura 1.7: Colocación de la tubería de agua de entrada al sistema**

Luego de realizar la instalación física de los equipos y accesorios necesarios, se iniciaron los trabajos para instalación de la acometida principal del skid, se instalaron chaneles hasta llegar al breaker principal del 100 A; además se realizó la instalación de la puesta a tierra y del cable de comunicación al PLC.



**Figura 1.8: Conexión del tablero de fuerza a la acometida principal**

Se realizó la instalación del tubing al manifold de la unidad de generación.



**Figura 1.9: Colocación de tubing al manifold de la turbina**





**Figura 1.10: Sistema Meefogging instalado en su totalidad**

### 1.3 Validación de la Instrumentación del Skid

La instrumentación que incluyó el skid fué retirada y llevada al laboratorio con la finalidad de hacerle las pruebas respectivas y poder establecer el estado de la misma así como sus valores de seteo.

Para la contrastación de la instrumentación se utilizaron los siguientes equipos:

- Calibrador Fluke 744.
- Bomba hidráulica con manómetro patrón GPM de 0-700Bar, precisión manómetro patrón 0,05%.
- Horno seco manual 9100S/9102S para temperatura.
- Accesorios de laboratorio para conexiones.



**Figura 1.11: Bomba Hidráulica GPM para calibración de PI y PT**



**Figura 1.12: Fluke 744 para lectura y configuración de transmisor de flujo, temperatura y humedad**



**Figura 1.13: Horno seco manual 9100S/9102S para temperatura**



### **1.3.1 Metodología Aplicada para calibrar los Instrumentos de Presión**

Para calibrar los instrumentos de presión se empleó una bomba hidráulica y un manómetro patrón que se utilizó como testigo de la correcta calibración de los instrumentos de presión. El manómetro patrón utilizado es de alta precisión con un valor mínimo de 0,05 % de toda la escala.

Se colocó los manómetros e interruptores de presión en la bomba hidráulica y mediante comparación con el manómetro patrón se estableció el adecuado comportamiento de la instrumentación así como se confirmó los valores de seteo en los casos de interruptores de presión.

### **1.3.2 Metodología Aplicada para calibrar los Instrumentos de Temperatura**

Utilizando el horno seco manual se estableció una temperatura fija, luego se transmitió la temperatura utilizando alambres al sensor de temperatura y humedad, se logró medir la salida del transmisor con el FLUKE 744, y con una diferencia de aproximadamente el 1% se pudo contrastar la correcta operación del sensor.

Debido a la falta de un equipo patrón de humedad no se pudo contrastar el sensor de humedad.

### **1.3.3 Metodología Aplicada para calibrar los Instrumentos de Flujo**

Para esta comparación se construyó una pequeña maqueta con tuberías de plástico de ½ in y en la línea se colocó en serie un sensor de flujo y un medidor de flujo del mismo tipo que se utiliza en las casas para medir el consumo de agua, el personal que realizó esta prueba estaba consciente de que el medidor de flujo convencional no serviría como equipo patrón, sin embargo cabe recalcar que el objetivo de la prueba no era el de calibrar el transmisor de flujo sino contrastar de que los valores que envía el FT están dentro de un rango adecuado de medición.

Construida la maqueta, se procedió a realizar las pruebas respectivas y mediante comparación entre los valores medidos por el Indicador de flujo convencional y los valores medidos por el FLUKE 744 de forma eléctrica se pudo establecer que el transmisor de flujo estaba operando adecuadamente.

## **1.4 Componentes del controlador**

El Controlador del skid del sistema Meefogging consta de:

- 01 PLC marca Allen Bradley SLC 500 5/03 CPU.
- 01 OIT ( terminal de interface operador ) OIT4160B.
- Programa especial del PLC, propietaria de MEE Industries Inc.

### **1.4.1 Funciones del controlador**

Este controlador realiza 2 tipos de funciones:

- Lee los datos de temperatura ambiente y humedad proveniente de la estación climatológica instalada, toma en consideración algunos parámetros de control editables por el usuario y enciende y apaga el sistema de nebulización.
- Lee los diferentes dispositivos de seguridad en las bombas, incluyendo interruptores de presión, medidores de flujo de agua, etc. Además de realizar limpiezas y paradas eventuales por seguridad.

El PLC controla las bombas administrando agua presurizada al manifold de toberas de alta presión y enciende las bombas individualmente y eficientemente de acuerdo a un potencial de enfriamiento calculado continuamente de medir la humedad relativa y la temperatura ambiente de la masa de aire alrededor.

El PLC también secuencia las bombas mientras monitorea el sistema de operación y comportamiento. Un panel conteniendo un display y controles táctiles están montados en el skid de bombas y provee la interface del PLC al operador para su control.

### **1.5 Integración del controlador al sistema Scada de Monitoreo de la Central**

Después de que el Sistema MeeFogging entró en operación en modo local se procedió a realizar los siguientes trabajos de integración:

- Tendido de cable Ethernet CAT6 desde el PLC SLC500 Allen Bradley hasta el switch Ethernet de CISCO existente en la sala de control de la turbina a gas AT2 y que forma parte de la red segura Ethernet industrial de la planta Álvaro Tinajero.



**Figura 1.14: Cable Ethernet CAT6 conectado al PLC**



**Figura 1.15: Cable Ethernet CAT6 conectado al switch Ethernet**

- Mapeo de todas las señales existentes en el programa del PLC.

- Se ingresó en el servidor de la Planta Álvaro Tinajero para tener acceso al software Factory Tool View Server y poder incorporar las variables del mapeo así como la creación de una pantalla en la que se pueda monitorear el proceso del skid.

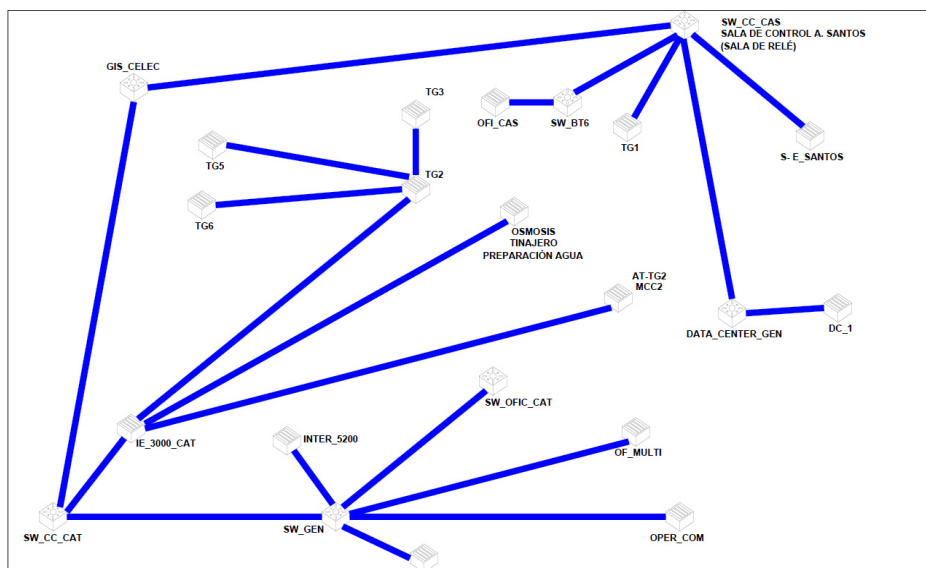


Figura 1.16: Red Ethernet de la Central Álvaro Tinajero

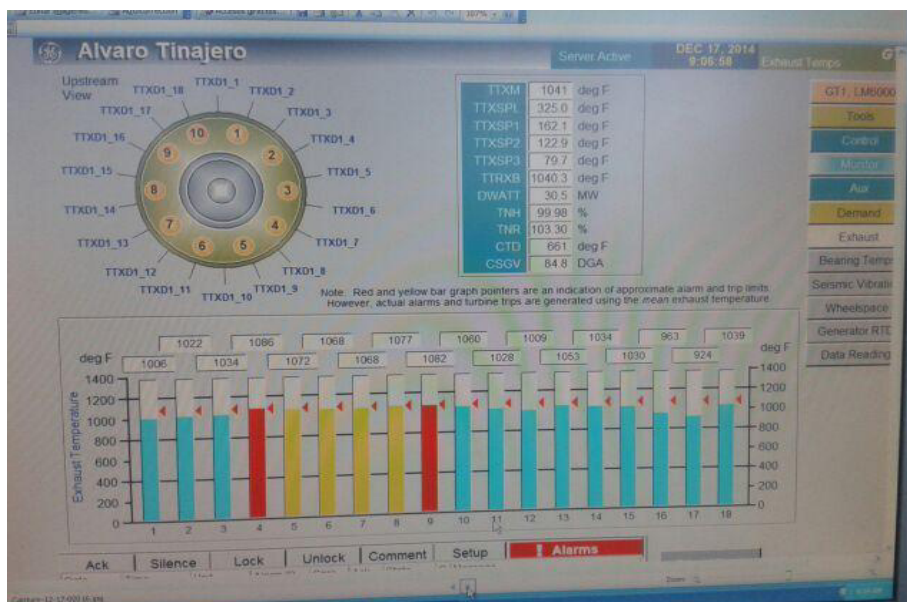


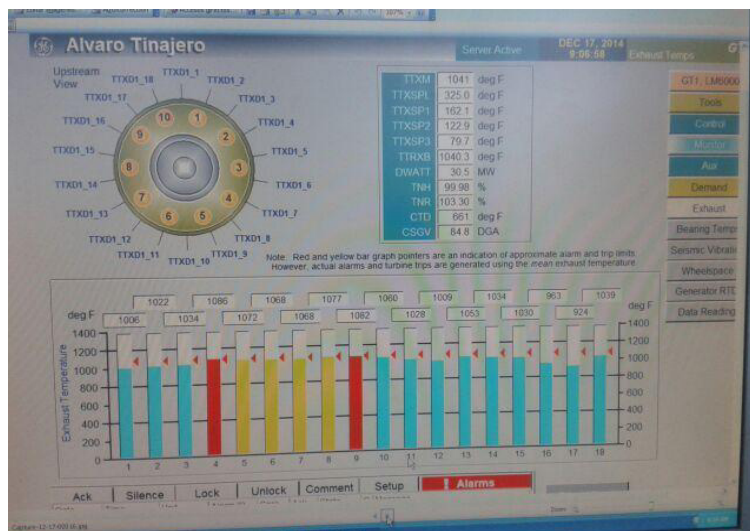
Figura 1.17: Pantalla del Scada Factory Tool View Server de Rockwell

## CAPÍTULO 2

### 2. RESULTADOS OBTENIDOS

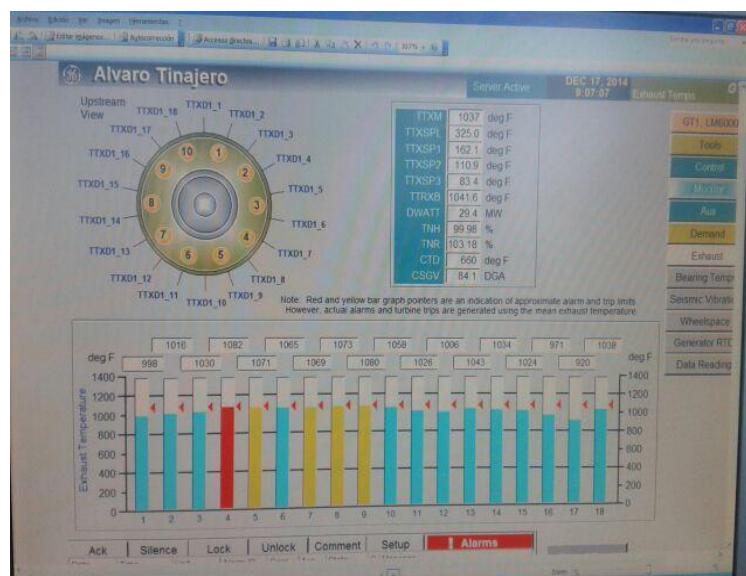
Con la finalidad de poder apreciar los resultados obtenidos en este proyecto se solicitó a la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil EP realice pruebas actualizadas al 17 de diciembre del 2014 del sistema MeeFogging y los resultados fueron los siguientes:

- En la figura 2.1 se muestra la pantalla del Scada Factory Tool View de la turbina a gas AT2 en plena operación sin el sistema MeeFogging y podemos apreciar que la carga de la turbina es de 30,5MW y las temperaturas de escape de gases están demasiado altas con peligro de que la unidad se dispare.



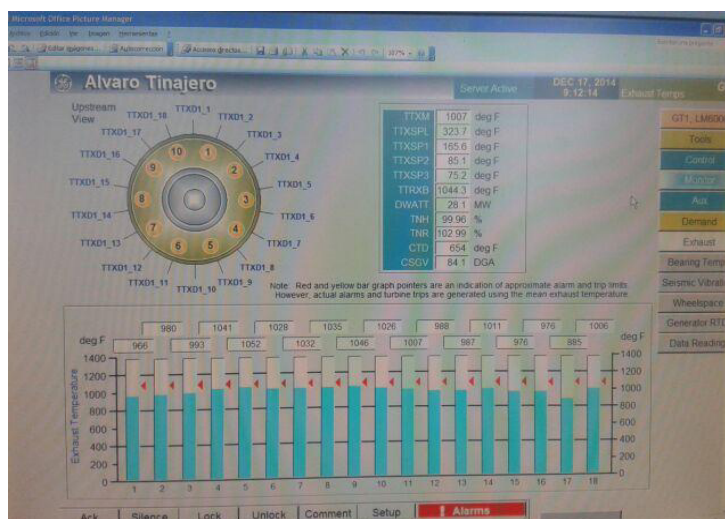
**Figura 2.1: Pantalla del Scada antes del sistema MeeFogging**

- En la figura 2.2, el departamento de operaciones toma la decisión de bajar la carga 1MW, es decir a 29,4 MW para que las temperaturas también bajen, sin embargo no se obtiene disminución de temperatura adecuada para que la máquina trabaje de forma confiable.



**Figura 2.2: Pantalla del Scada con 1MW menos de carga**

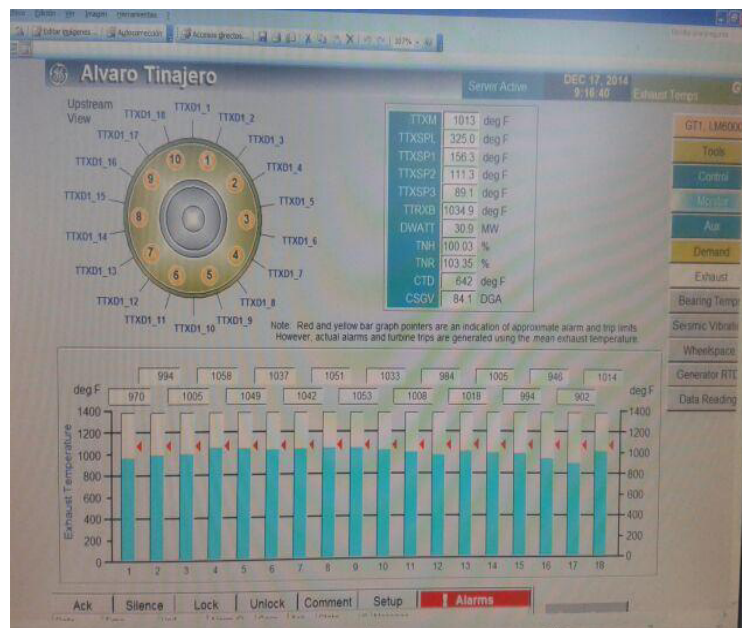
- En la figura 2.3, el departamento de operaciones toma la decisión de bajar la carga otra vez hasta 28,1 MW para que las temperaturas de escape se normalicen, por lo tanto la turbina AT2 - de 37MVA – está trabajando con un rendimiento de apenas el 75%.



**Figura 2.3: Pantalla del Scada con 28.1MW de carga**

- En la figura 2.4, el departamento de operaciones puso en operación el sistema fogging y se pudo aumentar la carga de 28MW a 31MW y como se puede observar las temperaturas de escape están en un valor normal de operación. El rendimiento de la turbina es ahora aproximadamente el 89%. Se puede apreciar que la temperatura ambiente está en 84°F y la temperatura que ingresa a la AT2 es de 72°F es decir que el sistema disminuye la temperatura de la masa de aire de entrada en 12° F.





**Figura 2.4: Pantalla del Scada con sistema Meefogging**

De esta manera se puede ver que al encender el sistema Meefogging se aumenta el rendimiento de la turbina y por lo tanto también aumenta la potencia de salida.

Como sabemos la eficiencia de una máquina es un valor ISO y por lo tanto no se puede mejorar, por eso lo que intentamos mejorar con este proyecto es el rendimiento de la turbina y en consecuencia obtenemos más potencia de trabajo, con un consumo menor de combustible y menos contaminación ambiental.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **Conclusiones**

1. En nuestro medio debido a la humedad y las altas temperaturas en las tardes se hace necesaria la instalación de sistemas de enfriamiento en las turbinas para mejorar su rendimiento y optimizar su trabajo.
2. Los controladores lógicos programables reducen significativamente los sistemas de cableado en tableros de control.
3. Lo óptimo en una industria es tener el control de todos y cada uno de los procesos principales y auxiliares que están involucrados directamente con la producción, con la finalidad de poder mejorar los procesos y tener registros para mantenimientos predictivos y correctivos.

4. Con los sistemas de enfriamiento del aire de entrada del compresor tenemos muchas ventajas: mejoramiento en potencia de salida, disminución en las emisiones de vapor por lo tanto menos contaminación y un costo más barato de la energía.
5. En base a la experiencia adquirida en sistemas de mejoramiento de rendimiento de turbinas mediante refrigeración de aire considero que el mejor sistema, tanto desde el punto de vista económico, consumo de energía, consumo de recursos y facilidad de mantenimiento y operación es el sistema fogging que enfría la masa de aire que entra a la turbina mediante la atomización del agua, en especial en horas de mucho calor y lugares con altas temperaturas.
6. El diseño de las boquillas de nebulización es muy importante, éstas deben estar distribuidas por la mayor área para obtener una mayor evaporación del agua.
7. El gasto más importante en este tipo de sistemas es de agua, ya que se pierde un poco al convertirlo en vapor que al chocar con las paredes cae al piso de el compresor, pero a través de unos drenes instalados el agua que finalmente no se vaporiza sale por estos drenajes. Para reutilizar ésta agua se podría colocar un sistema de reutilización de ésta agua y así el ahorro final sería mayor.

## Recomendaciones

1. Cada vez que se realice el montaje de una maquina se debe de tener claro conocimiento y experiencia en la lectura de planos del proceso y eléctricos, caso contrario el montaje va destinado al fracaso.
2. Cuando se ejecuta un proyecto que involucrada instrumentación de control en una máquina, la misma tiende a descalibrarse por motivo de la vibración en el transporte, por lo cual se debe contrastar la calibración de los equipos antes de ser instalados y puestos en operación.
3. El sistema fogging es un sistema muy utilizado internacionalmente por los motivos indicados a lo largo de este informe, pero en nuestro país aún es poco conocido y su aplicación es casi nula, según lo investigado aún no se ha hecho éste tipo de implementaciones en alguna otra Central o planta generadora en el país y si se lo ha hecho no ha sido muy referenciado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_de\\_gas](http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_de_gas)
- Mee Fog Skid Controller User Guide, Mee Industries Inc. 2003
- Informes de trabajo de la empresa EnergyControl S.A.
- Hojas de pruebas efectuadas por la EEPG
- Creus, A., Instrumentación Industrial, Alfaomega marcombo, 6th Ed, 1997

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Plano Esquemático P&ID y diagrama fuerza y control del Skid de Meefogging.

ANEXO 2: Diagrama de Fuerza del Skid con la bomba booster.

ANEXO 3: Hoja de Pruebas realizada por el técnico de MEE Industries Inc. el día de la entrega del sistema a la Central Álvaro Tinajero de la EEPG.

ANEXO 4: Diagrama de cableado de Switchs de Presión y Válvula Solenoide.

ANEXO 5: Diagrama de cableado de Fuerza de Sistema Trifásico 460V.

# ANEXO 1

Plano Esquemático P&ID y diagrama fuerza y control del Skid de Meefogging

## ANEXO 2

Diagrama de Fuerza del Skid con la bomba  
booster



## ANEXO 3

Hoja de Pruebas realizada por el técnico de MEE Industries Inc. el día de la entrega del sistema a la Central Álvaro Tinajero de la EEPG



16021 Adelante Street  
Irwindale, CA 91702  
(626)359-4550 Phone  
(626)359-4660 Fax

### SKID INSTALLATION REPORT

#### PERFORMANCE TEST

Date: 29/NOV/2012

Report taken by: Sam Dagmajyan

Customers: \_\_\_\_\_

Turbine type and Number:		1.30pm	1.45pm	2.00pm	2.15pm	2.30pm	2.50pm
	Unit	Before Skid operation	During Skid operation	During Skid operation	During Skid operation	During Skid operation	After Skid operation
Time							
GT Output	MW	31.2	34.3	33.9	—	34.9	35.3
Gas Fuel Consumption	kg/s	—	2.573	2.844	—	2.663	2.335
Compressor Inlet Temp	°F	87	72	73	—	73	74
Compressor Outlet Temp.	C	N/D	N/D	N/D	—	N/D	N/A
Compressor Outlet Press.	PSI bar	138.2	144.9	144.7	—	146.4	146.6
Turbine Inlet Temp. (TIT)	°F	N/D	N/D	N/D	—	N/D	N/D
Exhaust Temp (TAT)	°F	1038	1025	1025	—	1022	1021
<b>Skid Readings</b>							
Ambient Temperature	C	32.8°C	33.8°C	34.1°C	34.3°C	34.6°C	34.6°C
Relative Humidity	%	42.3%	40.2%	38.4%	39.0%	38.5%	38.1%
Wet Bulb Temperature	C	22.8°C	23.1°C	23.1°C	23.4°C	23.4°C	23.4°C
Stages / Temp	.../°C	0	7st/10.3°C	7st/10.3°C	7/10.3°C	7st/10.3°C	0
Total Water Flow of Skids	m	0	37.84pm	37.54pm	37.52pm	37.34pm	0

Mee Industries  
Representative

Date

[Signature]  
11.29.2012

Customer

Date

FERNANDO SEGOVIA V. [Signature]  
29/Nov/12 (29/A)

Operations  
Personnel

Date

Xavier Constante  
29 NOV 2012

## ANEXO 4

Diagrama de cableado de Switchs de Presión  
y Válvula Solenoide

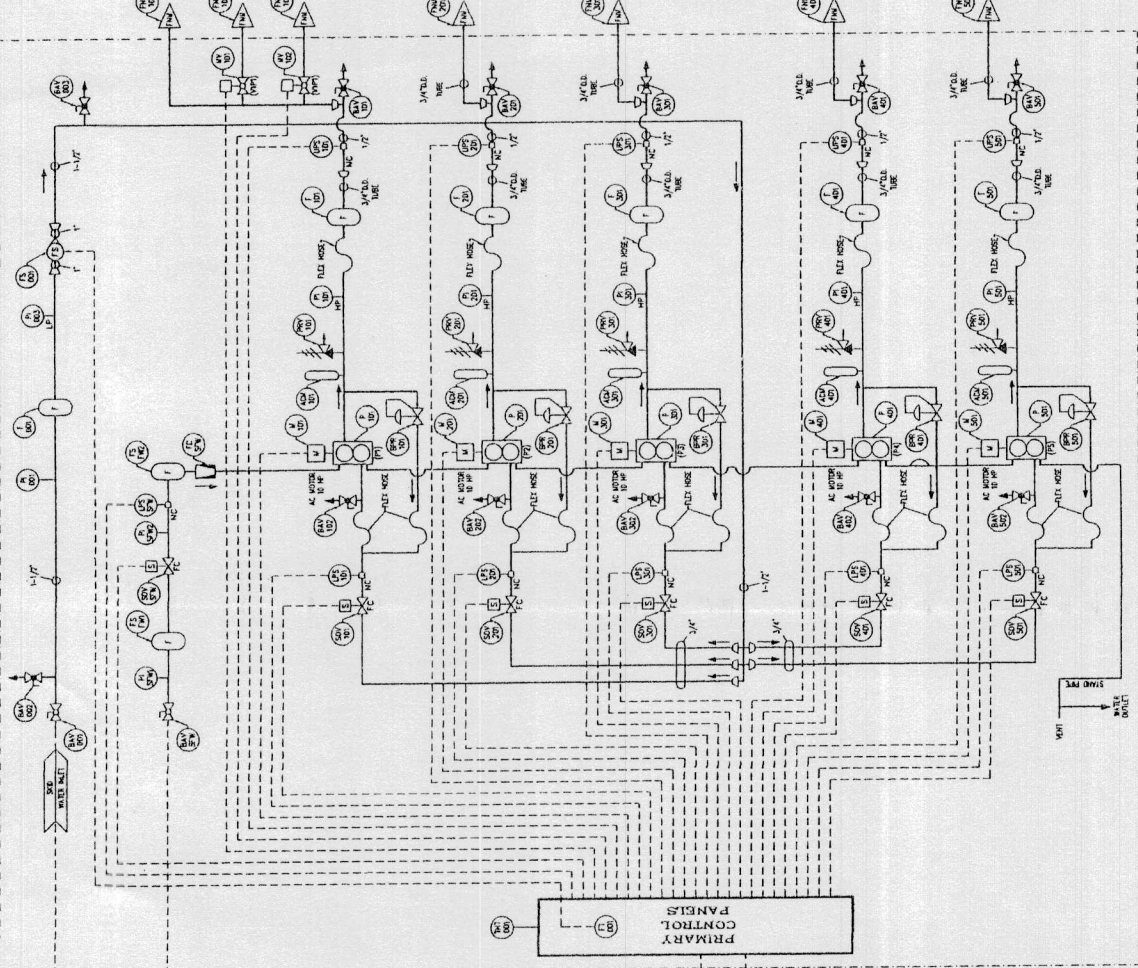
## ANEXO 5

Diagrama de cableado de Fuerza de Sistema  
Trifásico 460V



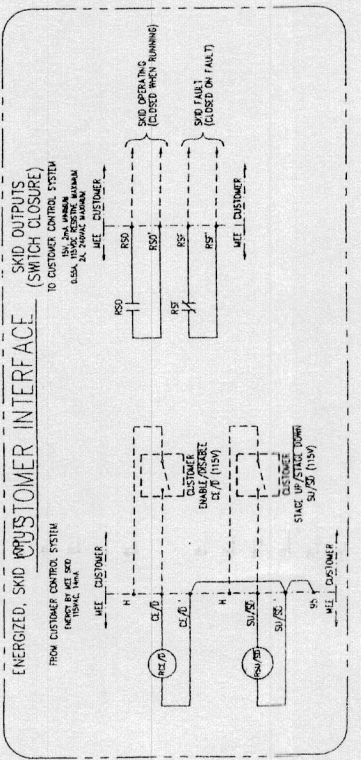
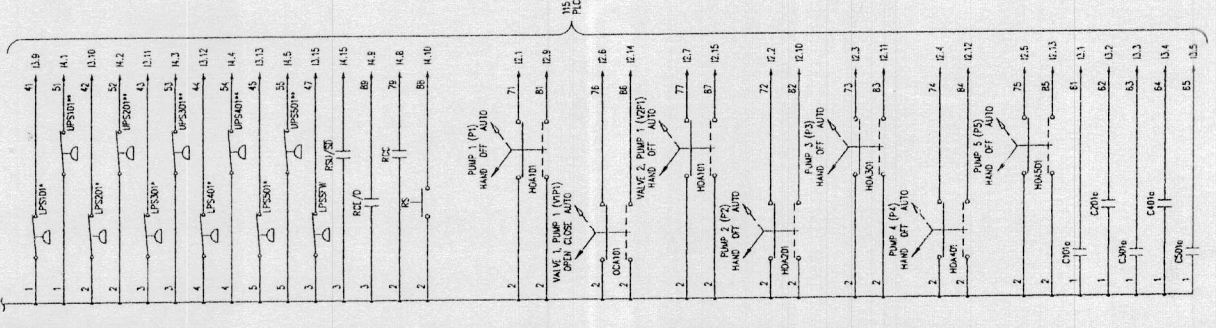
FOG PUMP SKID PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM

INLET CONDITIONS (US):  
 5. 1-1/2" 300 FLANK  
 1. 120 PSI (8.3 BAR)  
 2. 50 F (10 C)  
 3. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 4. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 5. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 6. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 7. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 8. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 9. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)  
 10. 100 GPM (3.8 M<sup>3</sup>/HR)



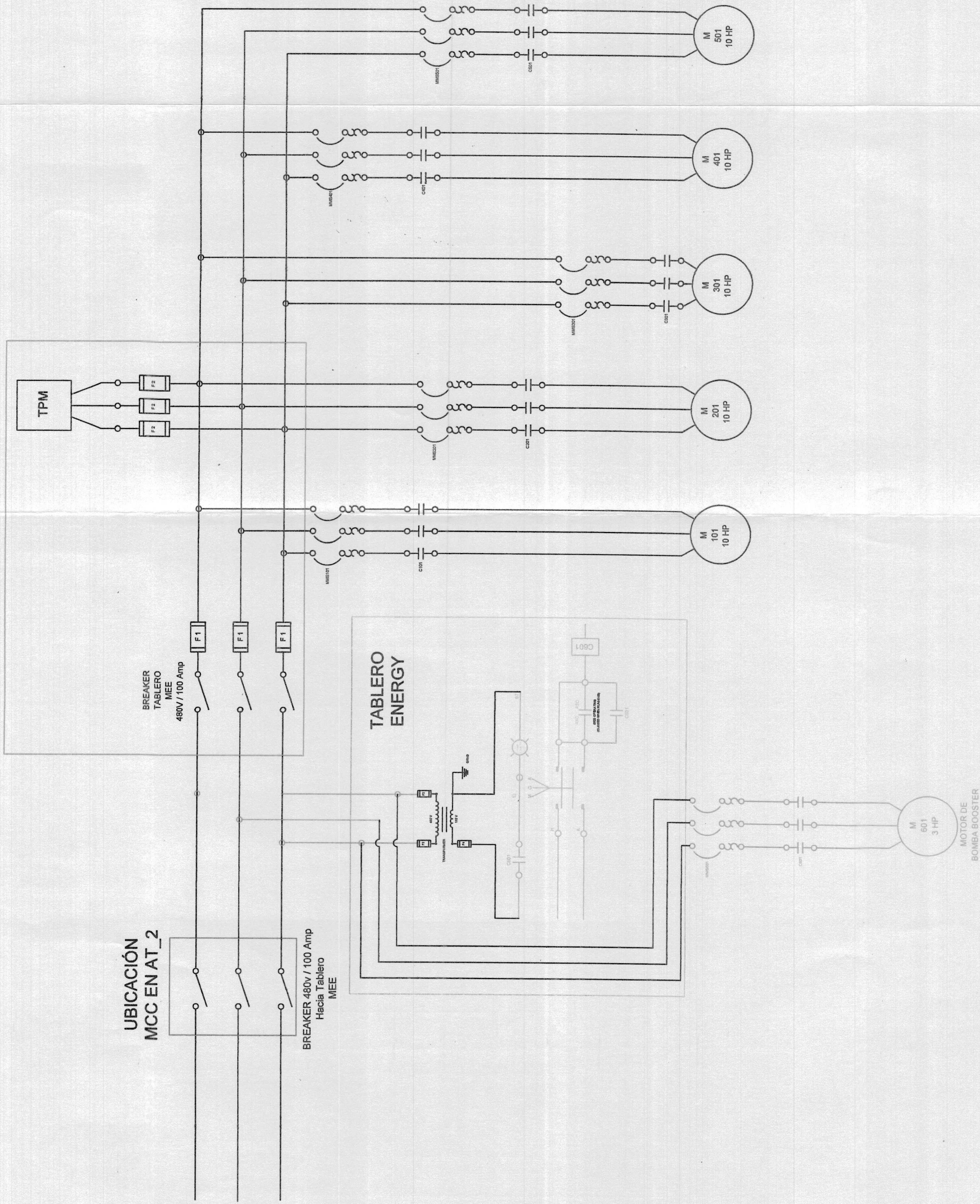
ACR001 - 50	ACTUATOR (PUMP PRESSURE) (PUMPS 1 THRU 5)
AK14 - 1/2"	MANUAL BALL VALVE (SKID INLET WATER)
BAV001	MANUAL BALL VALVE (INLET DRAIN WATER)
BAV002	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV003	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV004	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV005	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV006	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV007	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV008	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV009	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV010	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV011	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV012	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV013	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV014	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV015	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV016	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV017	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV018	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV019	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV020	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV021	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV022	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV023	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV024	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV025	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV026	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV027	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV028	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV029	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV030	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV031	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV032	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV033	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV034	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV035	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV036	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV037	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV038	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV039	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV040	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV041	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV042	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV043	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV044	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV045	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV046	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV047	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV048	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV049	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV050	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV051	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV052	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV053	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV054	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV055	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV056	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV057	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV058	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV059	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV060	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV061	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV062	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV063	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV064	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV065	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV066	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV067	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV068	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV069	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV070	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV071	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV072	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV073	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV074	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV075	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV076	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV077	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV078	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV079	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV080	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV081	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV082	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV083	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV084	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV085	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV086	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV087	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV088	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV089	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV090	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV091	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV092	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV093	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV094	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV095	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV096	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV097	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV098	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV099	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)
BAV100	MANUAL BALL VALVE (DRAIN WATER PUMPS)

NOTES:  
 - LOW INLET PRESSURE:  
 WHEN A CONTINUOUS LOW INLET PRESSURE CONDITION EXISTS FOR FIVE SECONDS, THE PLC SHUTS OFF THE RESPECTIVE PUMP UNIT.  
 - LOW DISCHARGE PRESSURE:  
 WHEN A CONTINUOUS LOW DISCHARGE PRESSURE CONDITION EXISTS FOR THIRTY SECONDS, THE PLC SHUTS OFF THE RESPECTIVE PUMP UNIT.  
 \* 400V, 3 PHASE.  
 TO BE FURNISHED BY CUSTOMER.





TABLERO MEE



UBICACIÓN  
MCC EN AT\_2

BREAKER 480v / 100 Amp  
Hacia Tablero  
MEE

BREAKER  
TABLERO  
MEE  
480V / 100 Amp

TABLERO  
ENERGY

MOTOR DE  
BOMBA BOOSTER

M 601  
3 HP

M 101  
10 HP

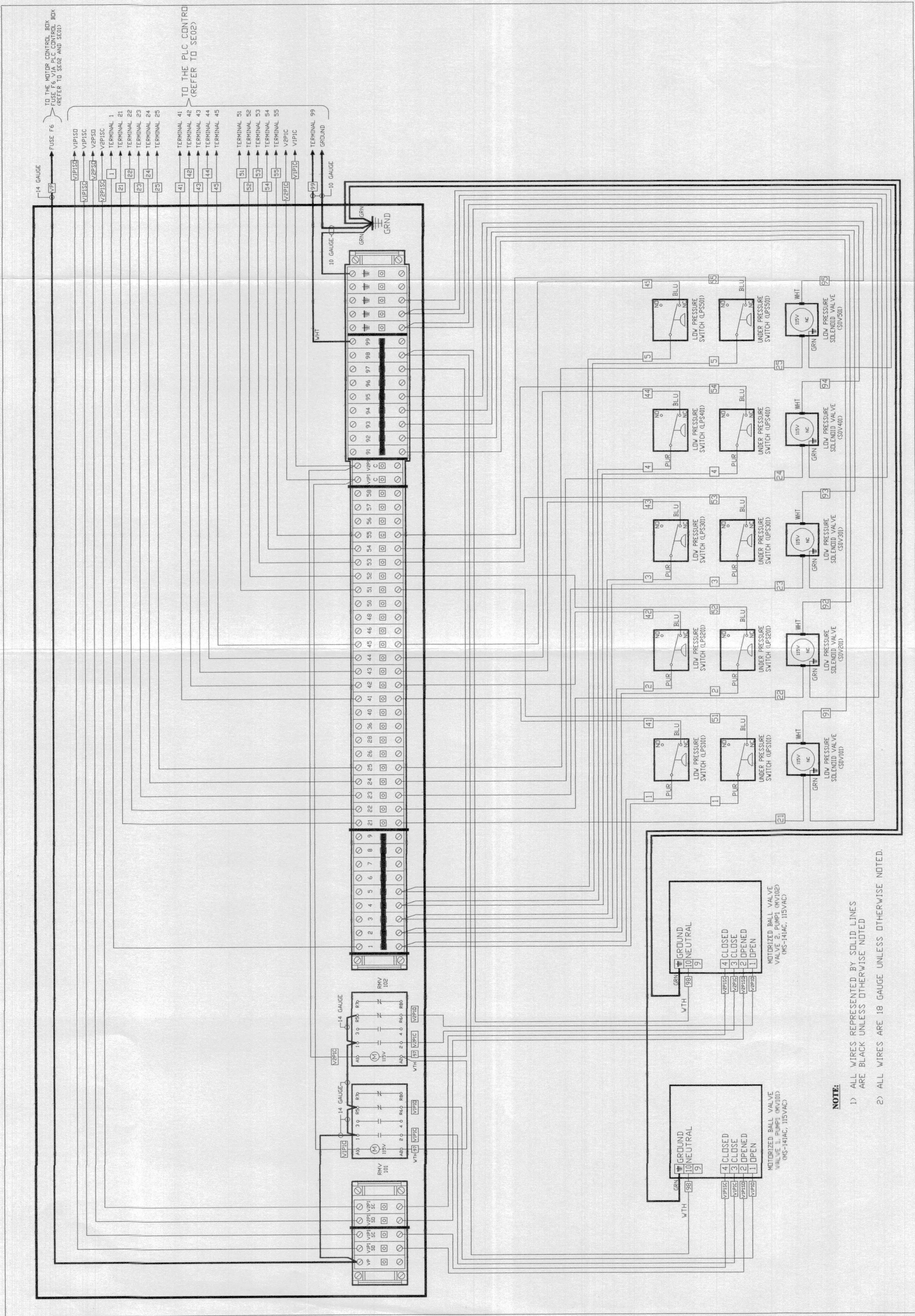
M 201  
10 HP

M 301  
10 HP

M 401  
10 HP

M 501  
10 HP

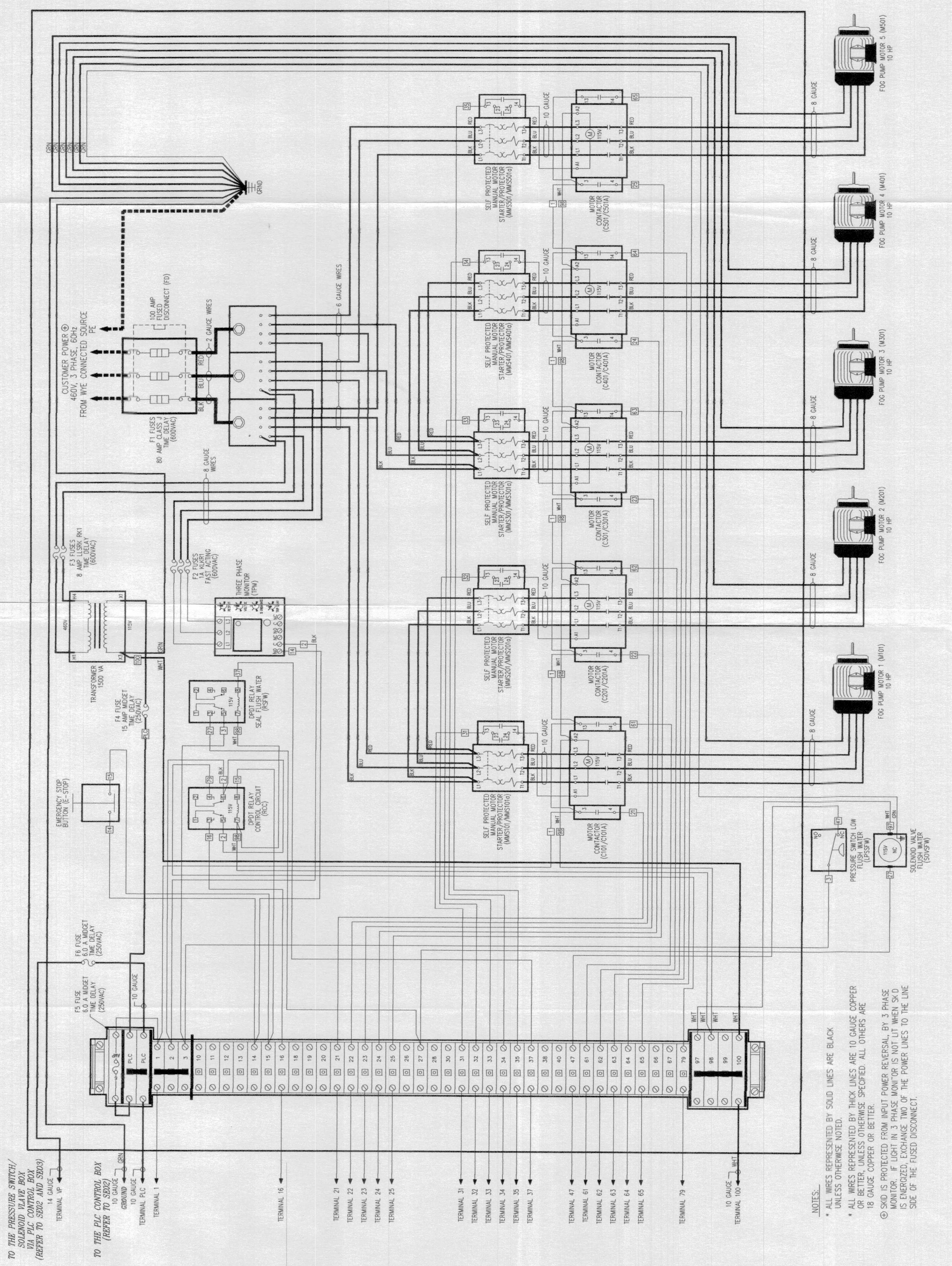




**NOTE:**

- 1) ALL WIRES REPRESENTED BY SOLID LINES ARE BLACK UNLESS OTHERWISE NOTED
- 2) ALL WIRES ARE 18 GAUGE UNLESS OTHERWISE NOTED.





TO THE PRESSURE SWITCH/  
SOLENOID VALVE BOX  
VIA PLC CONTROL BOX  
(REFER TO S202 AND S203)

TO THE PLC CONTROL BOX  
(REFER TO S202)

- NOTES:
- \* ALL WIRES REPRESENTED BY SOLID LINES ARE BLACK UNLESS OTHERWISE NOTED.
  - \* ALL WIRES REPRESENTED BY THICK LINES ARE 10 GAUGE COPPER OR BETTER. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. ALL OTHERS ARE 18 GAUGE COPPER OR BETTER.
  - ⊕ SKID IS PROTECTED FROM INPUT POWER REVERSAL BY 3 PHASE MONITOR. IF LIGHT IN 3 PHASE MONITOR IS NOT LIT WHEN SKID IS ENERGIZED, EXCHANGE TWO OF THE POWER LINES TO THE LINE SIDE OF THE FUSED DISCONNECT.