



COMISIÓN FEDERAL  
DE ELECTRICIDAD

# “Automatización Industrial Del Sistema De Enfriamiento Del MMT T9 Tipo OA-FA1-FA2”

**Ingeniería Eléctrica**

**Reporte De Residencia**

**Marco Antonio Ruiz Mendoza**

**Asesor Interno:**

**Rubén Herrera Galicia**

**Asesor Externo:**

**Ing. José Luiss Díaz Selvas**

**Diciembre-2016**

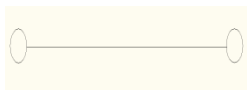
## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

<b>IEC 60034-1</b>	Norma internacional de la Comisión Eléctrica Internacional para maquinas eléctricas rotativas.
<b>IEC-1131</b>	Norma internacional de la Comisión Eléctrica Internacional para normalizar el lenguaje de programación.
<b>DCS</b>	Sistema de Control de Distribución.
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable.
<b>MODBUS</b>	Protocolo Industrial para la Comunicación entre dispositivo de automatización.
<b>RTU</b>	Unidad Terminal Remota.
<b>PCC</b>	Punto de Control Crítico.
<b>CFD</b>	Dinámica de Fluidos Computacionales.
<b>MMT T9</b>	Manuel Moreno Torres Transformador 9.
<b>SCADA</b>	Adquisición de Datos y Supervisión de Datos.
<b>NP</b>	Número de Vueltas de Alambre en el Primario.
<b>NS</b>	Número de Vueltas de Alambre en el Secundario.
<b>VP(t)</b>	Voltaje del Primario.
<b>VS(t)</b>	Voltaje del secundario.
<b><i>a</i></b>	Relación de Vuelta del Transformador.
<b>IP</b>	Corriente del Primario.
<b>IS</b>	Corriente del Secundario.
<b>VR</b>	Regulación de Voltaje.
<b>AA</b>	Transformador Tipo Seco Con Enfriamiento Propio.
<b>AFA</b>	Transformador Tipo Seco Con Aire Forzado.
<b>AA/FA</b>	Transformador Tipo Seco Con Enfriamiento Propio y Aire forzado.

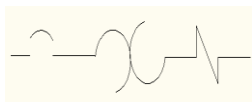
<b>OA</b>	Transformador Sumergido en Aceite con enfriamiento natural.
<b>OA/FA</b>	Transformador Sumergido en Aceite Con Enfriamiento Propio y Aire Forzado.
<b>OA/FOA</b>	Transformador Sumergido en Aceite Con Enfriamiento propio, Con Aceite Forzado-Aire Forzado.
<b>FOA</b>	Transformador Sumergido en Aceite Con Enfriamiento por Aceite Forzado Y Aire Forzado.
<b>OW</b>	Transformador Sumergido en Aceite Con Enfriamiento por Agua.
<b>FOW</b>	Transformador Sumergido en Aceite Con Enfriamiento en Aceite Forzado Y Agua Forzada.
<b>HMI</b>	Interfaz Hombre-Máquina.
<b>RAM</b>	Memoria de Acceso Aleatorio.
<b>EEPROM</b>	Eléctricamente Programable y Borrable Memoria de Solo Lectura.
<b>BASIC</b>	Código simbólico de instrucciones de propósito general para principiantes.
<b>M1</b>	Relé Térmico.
<b>I1</b>	Entrada.
<b>Q1</b>	Salida.
<b>LAN</b>	Red de Área Local.
<b>CSMA/CD</b>	Acceso Múltiples Con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones.
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Americano de Estándares.
<b>C</b>	Capacitancia.
<b>FP</b>	Factor de Potencia.
<b>CA</b>	Corriente Alterna.

<b>RP</b>	Resistencia Paralela.
<b>ε</b>	Permeabilidad Eléctrica o Simplemente Permitividad del Medio Aislante.
<b>ε0</b>	Constante de permitividad del vacío.
<b>A</b>	Área Efectiva de las Placas Paralelas.
<b>d</b>	Distancia de Separación.
<b>XC</b>	Reactancia Capacitiva.
<b>F</b>	Frecuencia.
<b>V</b>	Voltaje.
<b>E</b>	Voltaje de la Prueba
<b>IR</b>	Corriente Resistiva.
<b>IT</b>	Corriente Total.
<b>W</b>	Watts.
<b>mA</b>	Miliamperios.
<b>GST</b>	Espécimen de Prueba Puesto a Tierra.
<b>UST</b>	Espécimen de Prueba No Puesto a Tierra.
<b>TCP-3</b>	Interruptor Selector.
<b>VCA</b>	Voltaje de Corriente Alterna.

### Símbolos



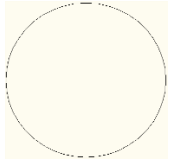
Terminal de tablilla.



Interruptor Termomagnético.



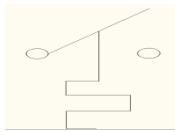
Fusible.



Bobina de Accionamiento.



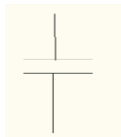
Motor Ventilador.



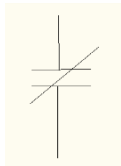
Interruptor Termostático Normalmente Abierto.



Elemento Térmico.



Contacto Normalmente Abierto.



Contacto Normalmente Cerrado.

# Índice

LISTA DE ABREVIATURAS.....	1
1. Introducción.....	6
1.1 Antecedentes.....	6
1.2 Estado del arte.....	8
1.3 Justificación.....	10
1.4 Objetivo.....	10
1.5 Metodología.....	10
2. Fundamento Teórico.....	13
2.1 Transformador.....	13
2.2 Tipos de Enfriamiento en Transformadores.....	17
2.3 Sistema SCADA.....	19
2.4 PLC's.....	21
2.5 Ethernet.....	25
3. Desarrollo.....	27
3.1 circuito de control del sistema de enfriamiento.....	27
3.2 programación de funcionamiento del sistema de enfriamiento en PLC....	30
4. Resultados y Conclusiones.....	33
4.1 Resultados.....	33
4.2 Conclusión.....	37
Referencias Bibliográficas.....	37
Anexo.....	39
Anexo A: Introducción a la Prueba TTR.....	39
Anexo B: Factor de Potencia .....	43

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

Los transformadores tienen distintos tipos de sistemas de enfriamiento, lo cual si no se enfriaran tendría pérdidas, la cual genera un gasto innecesario para la empresa. Que también provoca que sus materiales se empiecen a deteriorar y pueda ocurrir fallas en el transformador. Lo que hace el sistema de enfriamiento es regular la temperatura hasta un cierto punto para que el transformador trabaje de buena manera.

El sistema de enfriamiento de un transformador puede ser combinado, como el que se enfría con aceite y con aire forzado, pero trabajan de forma directa y eso hace que gaste energía que se puede utilizar para otras cosas. Ya que hay veces que la temperatura se puede regular con solo el aceite y con solo una parte de aire forzado y al trabajar de forma directa se está desperdiciando energía que en ese momento no es útil para el transformador.

En los transformadores el control de la temperatura y su regulación de la misma, hacen que el transformador con una temperatura adecuada realice su trabajo con una mejor calidad y así mismo tenga una rentabilidad en su distribución de la energía. Por eso es necesario tener sensores que estén midiendo constantemente la temperatura del transformador y tener una constante comunicación con este.

Los transformadores consisten en dos o más bobinas de tal forma que están enlazadas por el mismo flujo magnético. En un transformador de potencia, la bobina se coloca en un núcleo de acero con el propósito de confinar el flujo que el que enlace una bobina también enlace las demás. Se puede conectar varias bobinas en serie o en paralelo para formar un devanado [1].

Los transformadores son enlaces entre los generadores del sistema de potencia y las líneas de transmisión y entre líneas de diferentes niveles de voltaje. Los transformadores también bajan los voltajes a niveles de distribución y finalmente a los requeridos para uso residencial. Son alternamente eficientes y muy confiables.

Suponiendo que el análisis del flujo varía sinusoidalmente en el núcleo y el transformador es ideal, lo que significa que la permeabilidad  $\mu$  en el núcleo es infinita, todo el flujo está confinado en el núcleo y por lo tanto, enlaza todas las vueltas o espiras de ambos devanados y las pérdidas del núcleo y las resistencias del devanado son cero.

El transformador ideal es una primera etapa en el estudio de los transformadores ideales. Donde, la permeabilidad no es infinita y por lo tanto la inductancia son finitas, no todo el flujo que enlaza un devanado también enlaza los demás, está presente la resistencia del devanado y hay pérdidas en el núcleo de acero debido al cambio cíclico de la dirección del flujo.

Los valores óhmicos de la resistencia y la reactancia de dispersión de un transformador dependen si se mide en el lado de alto o de bajo voltaje. Estos valores se expresan en por unidad se entiende que los kilovoltamperes se basa serán el valor nominal del transformador. El voltaje base será el voltaje nominal del devanado de bajo voltaje si los valores óhmicos de la resistencia y la reactancia de dispersión están referidos a este lado del transformador.

Tres transformadores monofásicos iguales pueden conectarse de tal manera que tres devanados en  $\Delta$ , a determinado voltaje nominal, y tres devanados en Y, de otro voltaje nominal, formen un transformador trifásico. Si cada uno de los transformadores monofásicos tienen tres devanados, se pueden conectar dos conjuntos en Y y un en  $\Delta$  o dos pueden estar en  $\Delta$  y uno en Y.

El método de enfriamiento de un transformador es importante, ya que la disipación de calor influye mucho en su tiempo de vida y su capacidad de carga. De acuerdo con la norma americana, se definieron algunos métodos, mismos que se utilizan en México. Dependiendo la capacidad del transformador es como se define el sistema de enfriamiento.

El motor eléctrico es la máquina destinada a transformar energía eléctrica en energía mecánica. El motor de inducción es el más usado de todos los tipos de motores, ya que combina las ventajas de la utilización de energía eléctrica, ya que son de bajo costo, facilidad de transporte, limpieza. Desempeñando un importante papel en la sociedad, los motores son el corazón de las máquinas modernas [2].

Los motores de corriente alterna son los más utilizados, porque la distribución de la energía es hecha normalmente de corriente alterna. Los motores también pueden ser síncronos, los cuales funcionan con velocidad fija y se utiliza para grandes potencias ya que son máquinas utilizadas para que conviertan energía eléctrica en energía mecánica.

Una máquina que solo tiene los devanados de amortiguación se les llama máquinas de inducción por que el voltaje del rotor es inducido en los devanados del rotor en lugar de estar físicamente conectados a través de alambres. La característica distintivas del motor de inducción es que no se requiere corriente de campo dc para que opere la máquina.

Un motor de inducción tiene el mismo estator que una maquina síncrona, pero la construcción del rotor es diferente. Hay dos tipos diferentes de rotores que pueden disponerse dentro del estator dentro del motor de inducción. Uno de ellos se llama rotor de jaula de ardilla o simplemente rotor de jaula, mientras que el otro se llama rotor devanado.

Los films y los alimentadores aislantes tienen la función de aislar térmicamente y eléctricamente parte de la bobina del motor. La clase térmica es identificada en la placa de identificación. Estos son a base de aramida y poliéster y poseen films y laminado, siendo usado entre la bobina y la ranura para aislar el paquete de chapas de acero de la bobina de alambres esmaltados.

Los barnices y resinas de impregnación tienen como principales función mantener unido entre si todos los materiales esmaltados de la bobina con todos los componentes del estator y el relleno de los espacios vacíos dentro de las ranuras. La unión de los alambres impide que los mismos vibren y se rosen entre sí. El roce podría provocar fallas en el esmalte del alambre, llevándolo a un corto circuito.

Los motores normales son proyectados para régimen continuos, por tiempo indefinido, e igual a la potencia nominal del motor. En los casos en que la carga no varía de forma previsible, el régimen podría ser indicado numéricamente o por medio de gráficos que representan la variación en función al tiempo. Según la IEC 60034-1, es el grado de regularidad de la carga a la que el motor es sometido.



Los controles lógicos utilizan funciones lógicas, combinaciones y secuencias, mediante la programación adecuada introducida a través de las teclas que dispone el equipo en su frontal o con la ayuda de un PC. Los controladores lógicos se utilizan, como elementos básicos y de control para realizar automatizaciones en equipos industriales [3].

Con la norma IEC-1131 el PLC se define como, un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para hacer utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para realización de funciones de enlaces lógicos, secuenciación, temporización, recuento y calculo, para controlar a través de entradas y salidas digitales o analógicas, diversos tipos de máquinas [4].

Los identificadores del sistema serán referenciados como operándos. Los operándos son elementos contenidos en el controlador y que pueden ser interrogados o manipulados usando instrucciones de programa. Un operándos absoluto es la descripción específica del operándos del PLC, independientemente de la aplicación. El operándos simbólico se específica de acuerdo a la aplicación y va referenciado al operándos absoluto.

Las primeras industrias realizaban el control de las variables de forma manual a través de operadores que visualizaban el estado de proceso mediante indicadores ubicados en la cañería y recipientes y equipos. El operador conocía el valor deseado de la variable a controlar, y en función de errores tomaba acciones correctivas sobre el elemento final de control a fin de minimizarlo.

El PLC por sus especiales características tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución en el software y hardware aplica constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización.

## 1.2 Estado del arte

Guojin Chen Sch. of Mech. Eng., Hangzhou Dianzi Univ., Hangzhou, China. Ming Xu Sch. of Mech. Eng., Hangzhou Dianzi Univ., Hangzhou, China. Sistema de control inteligente del transformador de enfriamiento Sobre la base de DCS y PLC dual. El objetivo de los problemas del sistema de control tradicional del refrigerador de transformador, es desarrollado el sistema de control inteligente de la refrigeración del transformador basado en el DCS doble PLC [5].

La DCS y redundancia dual del PLC, controlador de motor inteligente, la plataforma de monitorización centralizada del sistema, y el sistema de control ambiental lograr el seguimiento, control y monitorización de estado remoto para el sistema de enfriamiento del transformador, y mejorar la fiabilidad y la capacidad de adaptación del sistema de refrigeración del transformador.

Minjing Xiao Sch. of Electron. Inf. & Electr. Eng., CZU, Changzhou, China. MODBUS Convertidor de protocolo que se usa para el Control refrigerado por aire 220 KV de los transformadores principales. Un tipo de diseño que se trata de convertidor de protocolo MODBUS se ha introducido en este documento. Utilizamos principalmente P89C669 microcontrolador para realizar la conversión de datos entre el equipo principal de control de red y MODBUS Unidad Terminal Remota (RTU) [6].

Finalmente, hemos utilizado este tipo de convertidor de protocolo para la comunicación entre el PLC y MODBUS red que utiliza para supervisar el sistema informático automáticamente. Todo el sistema se utiliza en el control refrigerado por aire 220 KV de transformador principal de sistema de energía eléctrica.

Shu-Guang Liu Xi'an Polytechnic University, 710048, China. Xing-Li Sun Beihang University, Beijing 100191, China. La investigación sobre transformadores sistema de control de refrigeración de aceite por aire forzado basado en PCC. Las hormigas de contacto y relés que se adopte en el circuito de control eléctrico del sistema de control de refrigeración de aceite por aire forzado del transformador existían, con baja fiabilidad [7].

Se presenta la forma en que el controlador programable equipo (PCC) con una alta fiabilidad y versatilidad sustituye a las hormigas de contacto no fiables parciales y relés para modificar sistema más antiguo, y el sistema de control de refrigeración de aceite por aire forzado de un nuevo transformador está diseñado. Su funcionamiento sitio muestra que el dispositivo es de alta fiabilidad de funcionamiento y precisión de control.

J.A. Palmer Dept. of Electr. Power Eng., Rensselaer Polytech. Inst., Troy, NY, USA. J.K. Nelson Dept. of Electr. Power Eng., Rensselaer Polytech. Inst., Troy, NY, USA. Control inteligente de bombas de refrigeración grandes transformadores de potencia. En el documento se describe un nuevo enfoque para el control de la refrigeración de transformador de potencia [8].

Un controlador inteligente se propone mediante la adopción de elementos de redes lógicas y neuronales difusas, junto con los recientes avances en las tecnologías de sensores. Este controlador acciona el sistema de refrigeración para funcionar en regímenes de flujo y de temperatura que limitan el problema de la electrificación de streaming y reducir al mínimo la degradación térmica del aislamiento.

B. Shahbazi Niroo Research Institute (NRI), Pounak-e-Bakhtari Blvd., Tehran, Iran. M. Savaghebi Center of Excellence for Power System Automation and Operation, Faculty of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, Iran. M. Ashouri Niroo Research Institute (NRI), Pounak-e-Bakhtari Blvd., Tehran, Iran. La investigación de la mejora de enfriamiento del transformador utilizando el sistema de monitoreo en línea [9].

El enfriamiento forzado se ha utilizado durante muchos años para aumentar la capacidad de carga del transformador. Método de control del sistema de refrigeración del transformador afecta a su rendimiento térmico directamente. Por lo tanto, es posible evitar de condiciones de funcionamiento no deseadas tales como el envejecimiento acelerado y temperatura crítica punto caliente en cierta medida por el control adecuado de sistema de refrigeración.

Xiang Zhang is with the School of Electrical and Electronic Engineering at The University of Manchester, Manchester, M13 9PL, UK. Predicción de la caída de presión y de flujo de distribución en Disco Tipo de transformador Bobinados en un modo de refrigeración OD. Un método para predecir la caída de presión y la distribución del flujo en los bobinados del transformador de tipo disco en un aceite forzada y dirigida se propone (DO) el modo de refrigeración [10].

Los análisis dimensionales se llevan a cabo para identificar las variables adimensionales independientes que afectan a la caída de presión sobre el flujo y la distribución en el devanado. A continuación, los barridos paramétricos se realizan con simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) bajo condiciones de flujo isotérmicas.

Lo que aquí se propone como proyecto es realizar la automatización industrial del sistema de enfriamiento del MMT T9 tipo OA-FA1-FA2, utilizando controladores lógicos programables. Diseñar los controladores del sistema de enfriamiento y protocolo de comunicación para enviar y recibir variables de temperatura vía Ethernet y tener un funcionamiento adecuado en el transformador y un ahorro de energía.

### **1.3 Justificación**

Este Proyecto pretende utilizar los controladores programables, para controlar el sistema de enfriamiento y así poder reducir pérdidas en el transformador. Poder tener un mejor ahorro de energía, ya que los moto ventiladores actúan de forma directa y la automatización del sistema de enfriamiento. Ara que el sistema de enfriamiento del transformador trabaje de una forma más eficiente.

El control del sistema de enfriamiento de un transformador es más eficiente, ya que gasta menor energía que un sistema de enfriamiento que está conectado directamente. Porque al ser un sistema contralado solo se utiliza lo necesario para mantener al transformador estable en cuanto a su temperatura, y por ende tener una buena calidad y rentabilidad en el transformador.

El control del sistema de enfriamiento con PLC ara que este sistema sea más eficiente ya que solo se utilizara lo requerido por el transformador y reducirá el gasto de energía. Por qué solo utilizara la energía que esta requiera, haciendo que este proyecto sea viable para el ahorro de energía y para tener una mejor eficiencia en el transformador. y también estará monitoreado lo que ara aún más eficiente este sistema.

### **1.4 Objetivo**

Diseñar y construir un sistema de enfriamiento para el banco de transformación MMT T 9 que opere de forma automática y cumpla con los actuales estándares de ahorro y eficiencia energética.

#### **Objetivos específicos**

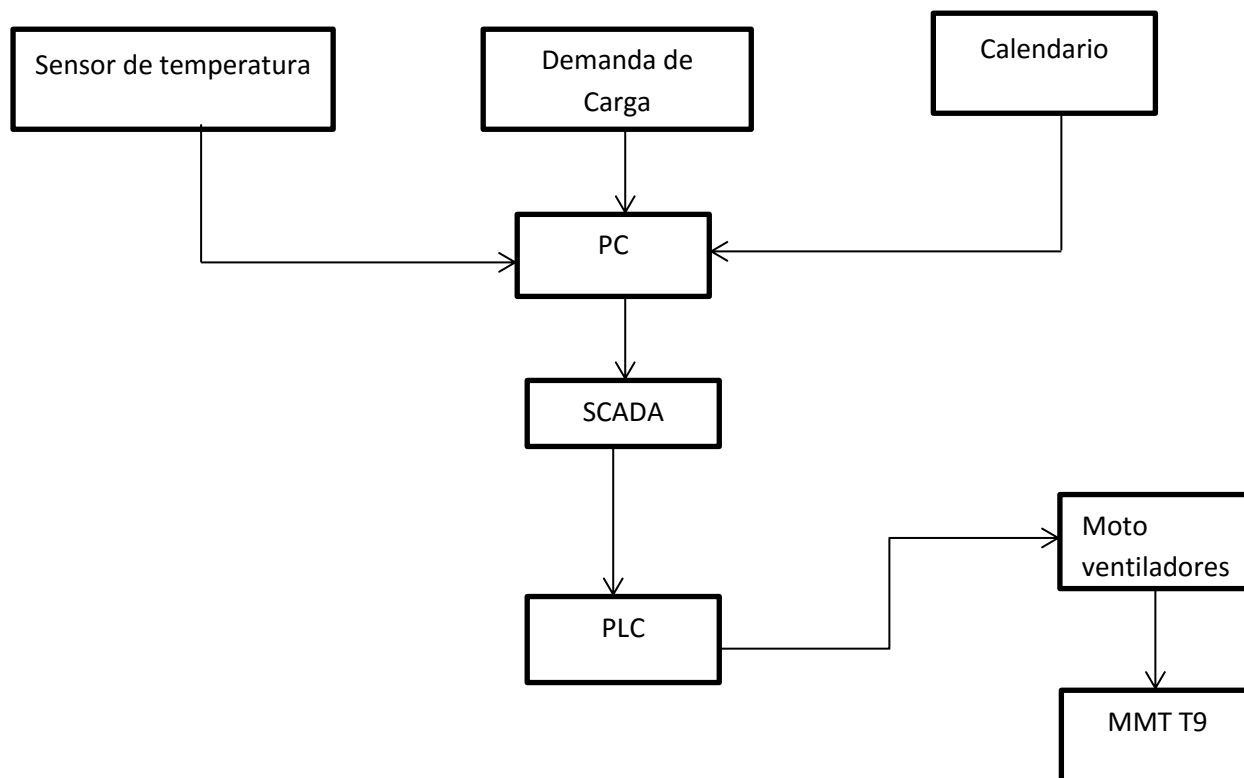
Diseñar un sistema automático para el control y supervisión en tiempo real del sistema de enfriamiento del MMT T 9.

Implementar los protocolos actuales de automatización y control que permitan el control del sistema de enfriamiento MMT T 9.

Usar los actuales protocolos de comunicación para enviar y recibir las variables de temperatura vía Ethernet (SISTEMA LAN de la S.E. MMT) y SCADA del MMT T 9.

### **1.5 Metodología**

En la figura 1.1 se muestra el diagrama a bloques general de la automatización industrial del sistema de enfriamiento del MMT T9 Tipo OA-FA1-FA2.



*Fig. 1.1 Diagramas a bloques del hardware.*

**Sensor de temperatura.-** Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares. Típicamente suele estar formado por el elemento sensor, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura.

**Demanda de carga.-** la cantidad de energía que el usuario requiere en determinado tiempo. La demanda de una instalación o sistema de distribución de la carga en las terminales receptoras tomadas en un valor medio en determinados intervalos, se entiende por carga por carga la que se mide en términos de potencia o de intensidad de corriente. El periodo durante el cual se toma el valor medio se denomina intervalos de demanda.

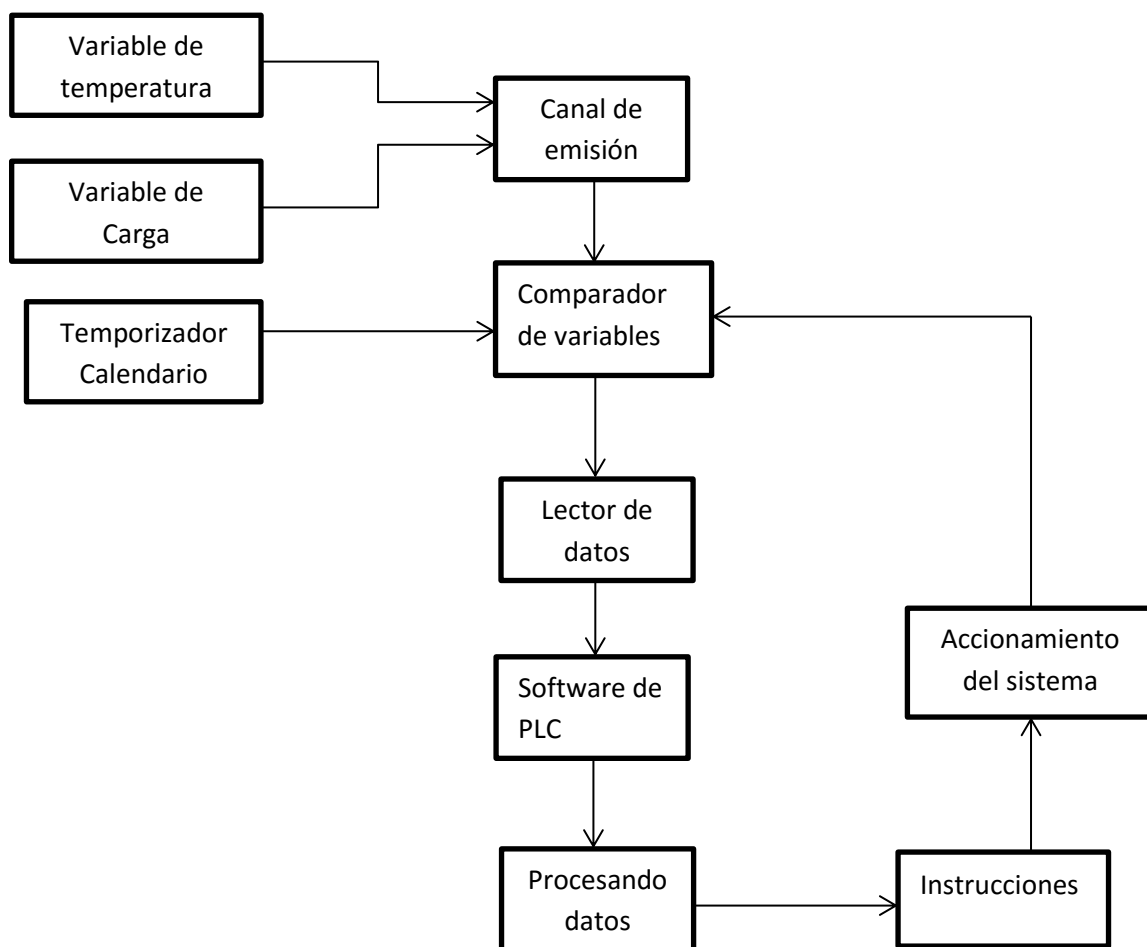
**Calendario.-** Sistema de división del tiempo por días, semanas, meses y años, fundamentalmente a partir de criterios astronómicos o de acuerdo con el desarrollo de alguna actividad. El calendario es una cuenta sistematizada del transcurso del tiempo, utilizado para la organización cronológica de actividades. Se trata de un conjunto de reglas o normas que tratan de hacer coincidir el año civil con el año trópico.

**PC.-** Computadora personal, ordenador personal, conocido como PC (sigla en inglés de personal computer), es un tipo de microcomputadora diseñada en principio para ser utilizada por una sola persona a la vez. Una computadora personal suele estar equipada para cumplir tareas comunes de la informática moderna, es decir permite navegar por Internet, estudiar, escribir textos y realizar otros trabajos de oficina o educativos, como editar textos y bases de datos, además de actividades de ocio.

**SCADA.-** acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition, es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo, y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo y permite su gestión e intervención.

**PLC.-** Un Controlador Lógico Programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC. Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos. Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

**Motor-Ventilador.-** es una máquina de fluido, más exactamente una turbo máquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que mantener un flujo continuo de aire. Se utiliza para usos muy diversos como: ventilación de ambientes, refrescamiento de máquinas u objetos o para mover gases, principalmente el aire, por una red de conductos. En su versión más corriente, un ventilador es una máquina que absorbe energía mecánica y la transfiere a un gas.



*Fig. 1.1 Diagramas a bloques del software.*

En la primera etapa tenemos las variables de temperatura y de carga que son las que se transmitirán a través del canal de emisión, que es la que llegara a un comparador donde también llega un temporizador calendario que indicara que días y meses del año trabajaran todo el sistema de enfriamiento por completo y después evaluara los rangos de temperatura y de carga que tiene el transformador.

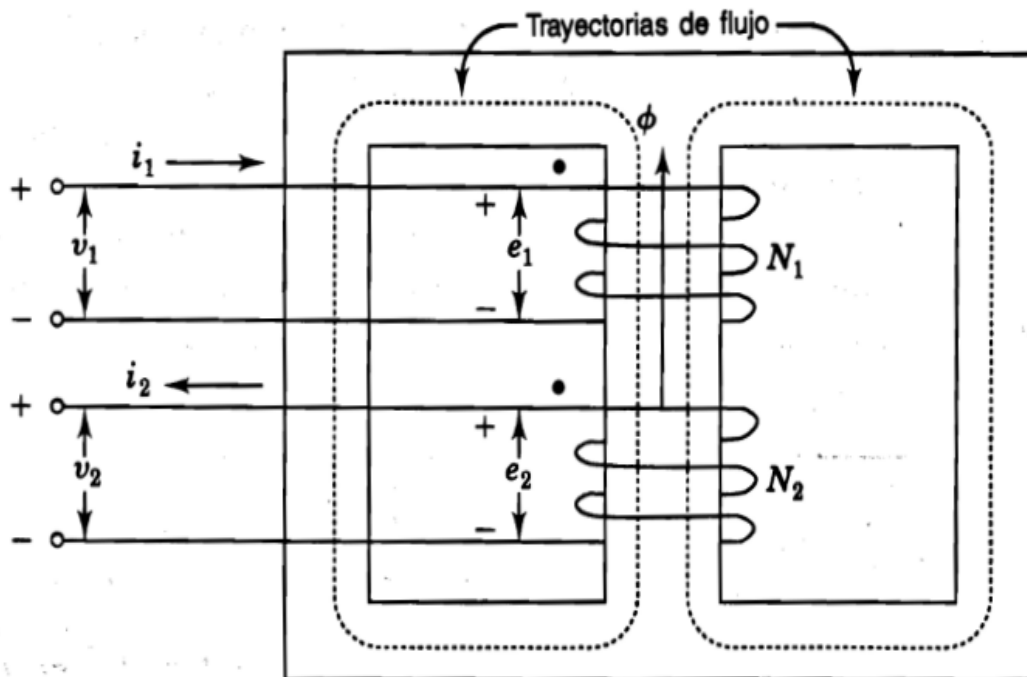
Después manda los resultados a un lector de datos que se encarga de evaluar los resultados y mandar al software de PLC a que se encargue de elegir que acción se llevara a cabo en conjunto con el sistema SCADA que se encargara de procesar los datos y mandar las instrucciones que se realizaran en el sistema de enfriamiento funcione de la mejor manera y con forme a lo requerido.

En la segunda etapa se llevara a cabo el accionamiento del sistema este explicado anteriormente. En esta etapa se realizar el accionamiento del motor-ventilador que se utilizaran conforme a lo que el transformador lo requiera, y en el momento que este sea requerido, tomando en cuenta las variables de carga, temperatura y el tiempo que este lo requiera para que el transformador funcione eficientemente y no tenga ninguna perdida.

## 2. Fundamento teórico

### 2.1 Transformador

El transformador cosiste en dos o más bobinas colocadas de tal forma que están enlazadas por el mismo flujo magnético. En un transformador de potencia, las bobinas se colocan sobre el núcleo de acero con el propósito de confinar el flujo de manera que el que enlace una bobina también enlace a todas las demás [11]. En la figura 2.1 como se puede colocar dos devanados sobre un núcleo de acero para formar un transformador monofásico de tipo acorazado.



*Fig.2.1 Se observa como colocar dos devanados sobre un núcleo de acero para formar un transformador monofásico de tipo acorazado.*

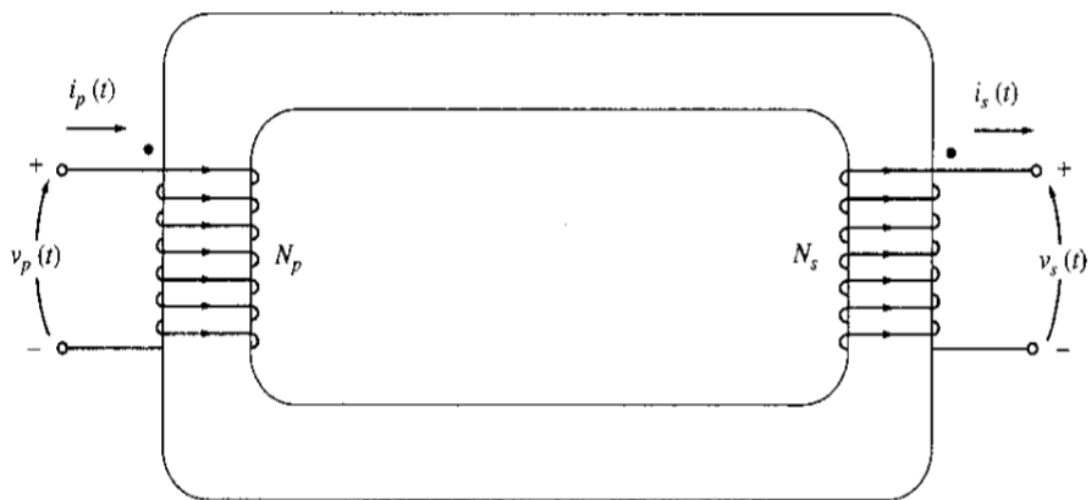
Un transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo [12].

Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y la segunda suministra energía eléctrica a la carga. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario o devanado de entrada, y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario o devanado de salida. Si hay un tercer devanado en el transformador, este se llama devanado terciario.

El propósito principal de un transformador es convertir la potencia alterna de un nivel de voltaje en potencia alterna de la misma frecuencia pero en otro nivel de voltaje. Los transformadores también se utilizan para otros propósitos. Los transformadores de potencia se construyen de dos maneras. Un tipo de transformador consta de una pieza de acero rectangular, laminada, con los devanados enrollados sobre dos de los lados del rectángulo.

En un transformador, las bobinas del primario y secundario están físicamente enrolladas una sobre la otra; la bobina de menor voltaje está situada en la parte interna. Esta disposición cumple con dos objetivos, simplificar el problema del aislamiento del devanado de alta tensión desde el núcleo, resulta menor flujo disperso que en el caso de disponer los dos devanados en el núcleo, separado.

Un transformador ideal es un dispositivo sin pérdidas, con un devanado de entrada y un devanado de salida. Las relaciones entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida, y entre la corriente de entrada y la corriente de salida, están dadas por dos sencillas ecuaciones. En la figura 2.2 se muestra un diagrama de un transformador ideal



*Fig.2.2 Diagrama de un transformador ideal.*

El transformador tiene  $N_p$  vueltas de alambre en el primario y  $N_s$  vueltas de alambre en el secundario. La relación entre el voltaje  $V_p(t)$  aplicado al lado primario del transformador y el voltaje  $V_s(t)$  producido en el lado secundario.

$$\frac{V_p(t)}{V_s(t)} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (2.1)$$

Donde  $a$  está definida como relación de vuelta del transformador.

$$a = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.2)$$

La relación entre la corriente  $I_p(t)$  que influye en el lado primario del transformador y la corriente  $I_s(t)$  que sale del transformador por el secundario.

$$N_p I_p(t) = N_s I_s(t) \quad (2.3a)$$

O

$$\frac{I_p(t)}{I_s(t)} = \frac{1}{a} \quad (2.3b)$$

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones.

$$\frac{V_p}{V_s} = a \quad (2.4)$$

Y

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a} \quad (2.5)$$

Las pérdidas que ocurren en los transformadores reales deben tenerse en cuenta en cualquier modelo aproximado del transformador. Los principales ítems que deben tenerse en cuenta para las construcciones de tal modelo. Pérdidas en el cobre. Son pérdidas por calentamiento resistivo de los devanados primarios y secundarios. Son proporcionales al cuadrado de la corriente en los devanados.

Pérdidas por corrientes parasitas. Pérdidas por calentamiento resistivo en el núcleo del transformador. Son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado al transformador. Pérdidas por histéresis. Están relacionadas con los reordenamientos de los dominios magnéticos en el semiciclo. Son una función compleja no lineal del voltaje aplicado al transformador.

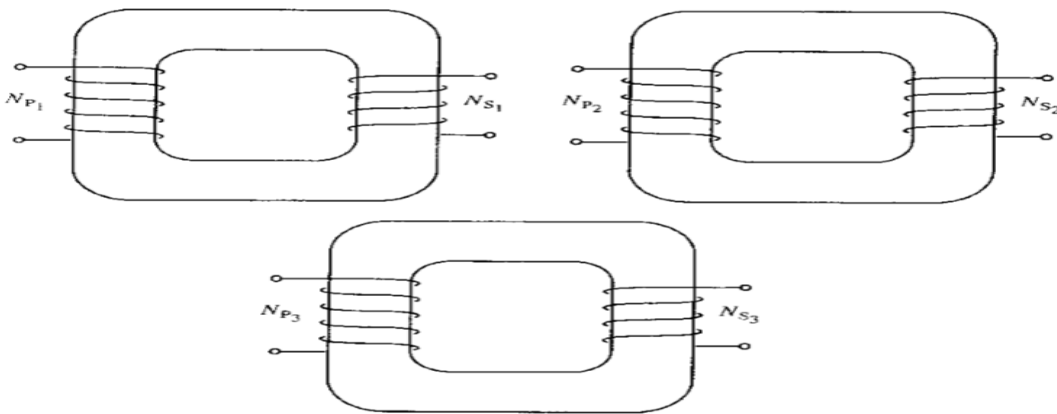
Es posible elaborar un circuito equivalente que tenga en cuenta las principales imperfecciones de los transformadores reales. Se considera cada una de estas imperfecciones y sus efectos se incluyan en el modelo de transformador. El efecto más sencillo de modelar son las pérdidas en el cobre. Pérdidas resistivas en los devanados primarios y secundarios del transformador.

Debido a que un transformador real tiene impedancia serie dentro de él, su voltaje de salida varía con la carga, aunque el voltaje de entrada permanezca constante. Se acostumbra a definir una cantidad llamada regulación de voltaje (VR). La regulación de voltaje a plena carga es una cantidad que compara el voltaje de salida del transformador sin carga con el voltaje de salida del transformador a plena carga.



Para determinar la regulación de voltaje de un transformador, es necesario entender las caídas de voltaje dentro de él. Los efectos de la rama de excitación en la regulación de voltaje del transformador pueden ser ignorados, por lo cual solo deben considerar la impedancia serie. La regulación de voltaje de un transformador depende tanto de la magnitud de esa impedancia serie como del ángulo de fase de la corriente que fluye en el transformador.

Los transformadores para circuitos trifásicos se suelen construir de dos maneras. Una de estas consiste simplemente en tomar tres transformadores monofásicos y conectarlos en banco trifásicos. Otra alternativa es construir un transformador trifásico que consta de tres conjuntos de devanados enrollados sobre un núcleo común. En la figura 2.3 se muestra un banco trifásico compuesto por tres transformadores independiente.



**Fig.2.3** Banco trifásico de transformadores compuesto por tres transformadores individuales.

El voltaje nominal de un transformador cumple con dos funciones. La primera es evitar la perforación del aislamiento de los devanados del transformador debido a la aplicación de un voltaje excesivo. Ésta no es la limitante más seria en los transformadores prácticos. La segunda función se refiere a la curva y la corriente de magnetización del transformador.

El transformador es un elemento particularmente importante en una red eléctrica. Es necesario eficientemente contra todos los defectos sub susceptible de dañarlo ya sea de origen interno o externo. Los principales efectos que pueden afectar un transformador son las sobrecargas, cortocircuitos, defectos de tierra y sobreflujo. Las sobrecargas pueden ser debidas al aumento del número de cargas alimentadas simultáneamente o al aumento de la potencia absorbidas por una o varias cargas.

Cuando se aplica voltaje al primario de un transformador, se produce un flujo en el núcleo, como lo indica la ley de Faraday. El flujo varia en el núcleo induce un voltaje en el devanado secundario puesto que los núcleos de los transformadores tienen una muy alta permeabilidad, la fuerza magnetomotriz neta es muy pequeña. La fuerza magnetomotriz del circuito primario debe ser aproximadamente igual y puesto a la fuerza magnetomotriz del circuito secundario.

Es importante mantener cortocircuitado un transformador de corriente todo el tiempo puesto que pueden aparecer voltajes extremadamente altos en los terminales en los terminales de su secundario abierto. La mayoría de los relés y otros aparatos que

utilizan la corriente de un transformador de corriente tiene un enclavamiento cortocircuitado que se debe cerrar antes que el relé pueda ser removido para inspecciones y ajustes.

## 2.2 Tipos de enfriamiento en transformadores

El método de enfriamiento de un transformador es muy importante, ya que la disipación del calor, influye mucho en su tiempo de vida y capacidad de carga, así como en el área de su instalación y su costo. De acuerdo a las normas americanas se han definido algunos métodos de enfriamiento, mismos que se usan en México. El enfriamiento de los transformadores se clasifica [13].

**TIPO AA.-** Transformadores tipo seco con enfriamiento propio, estos transformadores no contienen aceite ni otros líquidos para enfriamiento, el aire es también el medio aislante que rodea el núcleo y las bobinas, por lo general se fabrican con capacidades inferiores a 2,000 KVA y voltajes menores de 15 KV y hasta 2 000 KVA. En la figura 2.4 se muestra la estructura de un transformador con sistema de enfriamiento tipo AA.



*Fig.2.4 Estructura de un transformador con sistema de enfriamiento propio, este tipo de enfriamiento se le conoce como AA.*

**Tipo AFA.-** Transformadores tipo seco con enfriamiento por aire forzado, se emplea para aumentar la potencia disponible de los tipo AA y su capacidad se basa en la posibilidad de disipación de calor por medio de ventiladores o sopladores. El diseño comprende un ventilador que empuja el aire en un ducto colocado en la parte inferior del transformador.

**Tipo AA/FA.-** Transformadores tipo seco con enfriamiento natural y con enfriamiento por aire forzado, es básicamente un transformador tipo AA al que se le adicionan ventiladores para aumentar su capacidad de disipación de calor. La denominación de estos transformadores indica que tienen dos régimen, uno por enfriamiento natural y el otro contando con la circulación forzada por medio de ventiladores, cuyo control es automático y opera mediante un relevador térmico.

**Tipo OA.-** Transformador sumergido en aceite con enfriamiento natural, en estos transformadores el aceite aislante circula por convección natural dentro de un tanque que tiene paredes lisas o corrugadas o bien provistas con tubos radiadores. Esta solución se adopta para transformadores de más de 50 KVA con voltajes superiores a 15 KV. Este es el enfriamiento más comúnmente usado y el que frecuentemente resulta el más económico y adaptable a la generalidad de las aplicaciones.

**Tipo OA/FA.-** Transformador sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio y con enfriamiento por aire forzado, es básicamente un transformador OA con la adición de ventiladores para aumentar la capacidad de disipación de calor en las superficies de enfriamiento y por lo tanto, aumentar los KVA de salida. En la figura 2.5 se muestra la de un transformador que su tipo de enfriamiento es sumergido en aceite con enfriamiento propio y con enfriamiento por aire forzado.



*Fig.2.5 Se muestra la estructura que tiene un transformador sumergido en aceite con enfriamiento propio y con aire forzado denominado tipo OA/FA.*

**Tipo OA/FOA/FOA.-** Transformador sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio/con aceite forzado – aire forzado/con aceite forzado/aire forzado. Con este tipo de enfriamiento se trata de incrementar el régimen de carga de transformador tipo OA por medio del empleo combinado de bombas y ventiladores. El aumento de la capacidad se hace en dos pasos.

Se usan la mitad de los radiadores y la mitad de las bombas con lo que se logra aumentar en 1.33 veces la capacidad del tipo OA, Se hace trabajar la totalidad de los radiadores y bombas con lo que se logra un aumento de 1.667 veces la capacidad del OA. Se fabrican en capacidades de 10,000 KVA monofásicos y 15,000 KVA trifásicos. En la construcción se usan los radiadores desprendibles normales con la adición de ventiladores montados sobre dichos radiadores y bombas de aceite conectados a los cabezales de los radiadores.

**Tipo FOA.-** Sumergido en líquido aislante con enfriamiento por aceite forzado y de aire forzado. Estos transformadores pueden absorber cualquier carga de pico a plena capacidad ya que se usa con los ventiladores y las bombas de aceite trabajando al mismo tiempo. El aceite de estos transformadores es enfriado al hacerlo pasar por cambiadores de calor o radiadores de aire y aceite colocados fuera del tanque. Su diseño está destinado a usarse únicamente con los ventiladores y las bombas de aceite trabajando continuamente.

**Tipo OW.-** Sumergido en líquido aislante con enfriamiento por agua, en estos transformadores el agua de enfriamiento es conducida por serpentines, los cuales

están en contacto con el aceite aislante del transformador y se drena por gravedad o por medio de una bomba independiente, el aceite circula alrededor de los serpentines por convección natural.

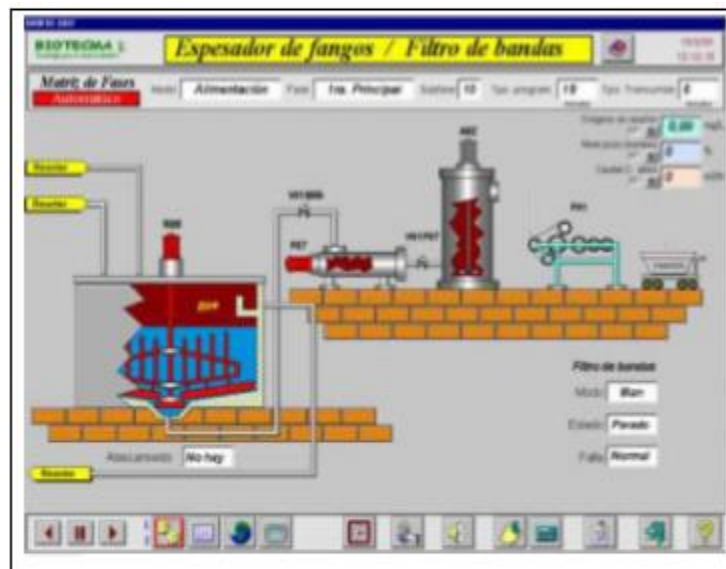
**Tipo FOW.-** Transformador sumergido en líquido aislante con enfriamiento de aceite forzado y con enfriadores de agua forzada. Este tipo de transformadores es prácticamente igual que el FO, sólo que el cambiador de calor es del tipo agua – aceite y se hace el enfriamiento por agua sin tener ventiladores.

### 2.3 Sistema SCADA

SCADA proviene de las siglas de Supervisory Control And Data Acquisition, Adquisición de datos y supervisión de control. Es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Proporciona información de proceso a diversos usuarios [14].

Los sistemas de interfaz entre usuario y planta basados en paneles de control repletos de indicadores luminosos, instrumentos de medición y pulsadores, están siendo sustituidos por sistemas digitales que implementa el panel sobre la pantalla de un ordenador. El control directo lo realizan los controladores autónomos digitales y autómatas programables y están conectadas a un ordenador que realiza las funciones de dialogo con el operador.

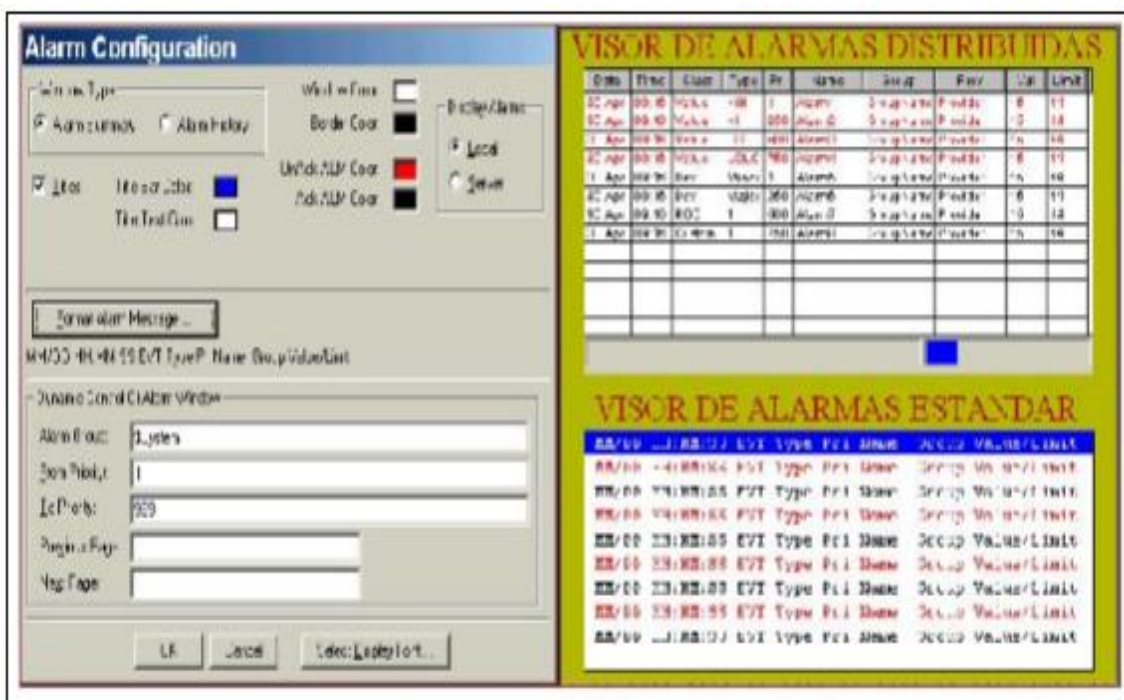
Funciones principales, Adquisición de datos, para recoger, procesar y almacenar la información recibida. Supervisión, para desde un monitor la evolución de las variables de control. Control para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas. En la figura 2.6 se muestra una parte de cómo se maneja el proceso con SCADA.



*Fig.2.6 Se muestra una de las funciones que puede realizar el sistema SCADA.*

Funciones más específica, transmisión, de información con dispositivos de campo y otros PC. Base de datos, gestión de datos con bajos tiempos de acceso. Presentación, representación de los datos. Interfaz de operación o HMI. Explotación de los datos adquiridos para gestión de calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.

Un paquete SCADA debe ofrecer la posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencia. Generación de históricos de señal de planta, que pretende ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo. Ejecución de programa, que modifica la ley de control, o conclusión del programa total sobre el autómatas, bajo ciertas condiciones. En la figura 2.7 se muestra una tarjeta de configuración de alarma estándar en sistema SCADA.



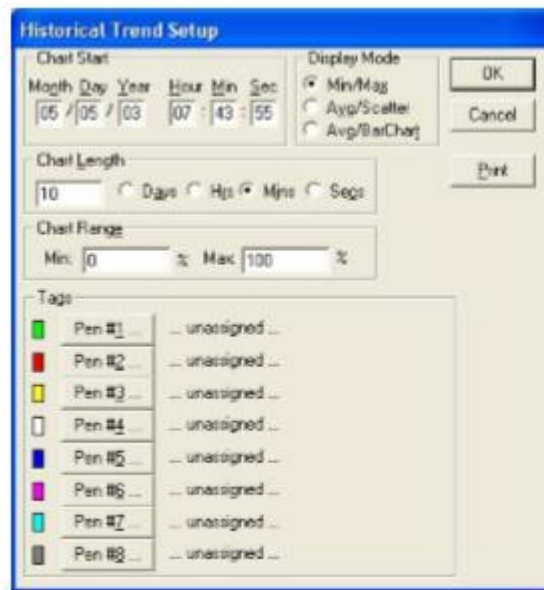
**Fig.2.7** Se muestra la estructura de una tarjeta de configuración de alarma estándar y visor de alarma estándar y distribuida en el sistema SCADA.

Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, y no sobre la del autómatas, menos especializado. Con ella se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora.

Un SCADA debe cumplir varios objetivos, deben ser sistema de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa. Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la planta. Deben ser programas sencillos de instalar, sin

excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizarla, con interfaces amigables con el usuario.

Módulos, configuración, permite al usuario definir el entorno del trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se dese desarrollar. Módulos, interfaz gráfico de operador las funciones de control y supervisión de las plantas. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos. Módulo de proceso, ejecuta las acciones de mando pre programado a partir de los valores actuales de las variables leídas. En la figura 2.8 se muestra una gráfica en tiempo real de un proceso con el sistema SCADA que se actualiza constantemente.



*Fig.2.8 Grafica en tiempo real de un proceso con el sistema SCADA.*

Gestión y archivo de datos, se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otras aplicaciones o dispositivos pueda tener acceso a ellos. Comunicaciones se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre esta y el resto de elementos informáticos de gestión.

## 2.4 PLC'S

Controladores lógicos programables, también llamados controladores programables o PLC, son miembros de estado sólido de la familia de ordenadores, utilizando circuitos integrados en lugar de dispositivos electromecánicos para implementar funciones de control. Son capaces de almacenar instrucciones, como la secuenciación, temporización, conteo, la aritmética, la manipulación de datos y comunicación, para controlar máquinas y procesos industriales [15].

Un controlador lógico es aquel que realiza funciones lógicas, combinacionales y secuenciales, mediante la programación adecuada introducida a través de las teclas que dispone el equipo en su frontal o con la ayuda de un PC. Encontramos dos grandes divisiones para la clasificación de los controladores lógicos, los controladores lógicos

con funciones lógicas definidas en el equipo, y los controladores lógicos con diagramas de contacto. En la figura 2.9 se muestra como es un PLC con lógica definida.



*Fig.2.9 Aspecto externo de un controlador lógico con funciones lógicas definidas.*

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización.

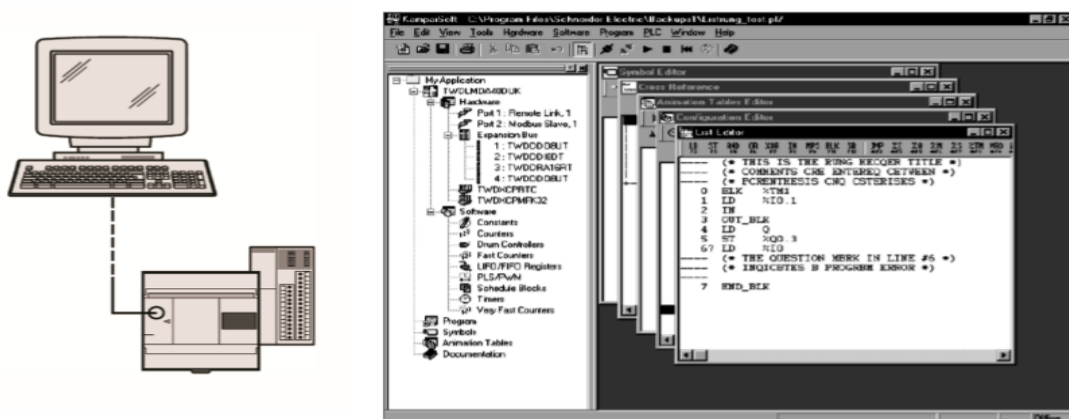
Los PLC tienen que ser capaces de almacenar y retirar información, para ello cuentan con memorias. Las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada. Estas localizaciones están muy bien organizadas. En las memorias el PLC debe ser capaz de almacenar. Datos del Proceso, señales de entradas y salidas, variables internas, de bit y de palabra, datos alfanuméricos y constantes. Datos de Control, instrucciones de usuario, programa, configuración del autómatas [16].

La memoria de datos. También llamada tabla de registros, se utiliza tanto para grabar datos necesarios a los fines de la ejecución del programa, como para almacenar datos durante su ejecución y/o retenerlos luego de haber terminado la aplicación. Este tipo de memorias contiene la información sobre el estado presente de los dispositivos de entrada y salida. Si un cambio ocurre en los dispositivos de entrada o salida, ese cambio será registrado inmediatamente en esta memoria.

El programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, además debe ser fácil de leer, escribir o borrar. Por eso es que se usa para su almacenamiento memorias tipo RAM, o EEPROM. A estas memorias se la llama memoria del usuario o memoria de programa. Usar memorias tipo RAM será necesario también el uso de pilas, ya que este tipo de memoria se borra con la ausencia de alimentación. Usar memorias EEPROM la información no se pierde al quitar la alimentación.

PC. Es la forma más cómoda empleada en la actualidad. Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento en soporte magnético, impresión, transferencia de datos,

monitorización mediante software SCADA, entre otros. En la figura 2.10 se muestra la forma de comunicación de un PC con un controlador lógico.



*Fig.2.10 se muestra la forma de comunicarse y de programar comandos desde una PC a un controlador lógicos.*

Para cada caso el fabricante proporciona lo necesario, el equipo o el software y/o los cables adecuados. Cada equipo, dependiendo del modelo y del fabricante, puede poseer una conexión a uno o varios de los elementos anteriores. Los fabricantes ofrecen características tales como: la capacidad de memoria, operaciones aritméticas, en directa relación a la cantidad de entradas y salidas que el controlador puede manejar.

Otras de las clasificaciones que se suelen hacer con respecto a los PLC son por su construcción. Estos pueden ser compactos o modulares. Un PLC es compacto cuando todas sus partes se encuentran en la misma caja, compartimiento o chasis. Los PLC compactos suelen ser los más baratos y pequeños, pero tienen la desventaja de sólo poder ampliarse con muy pocos módulos. En la figura 2.11 se muestra la estructura de un PLC de estructura compacta.



*Fig.2.11 Se muestra como es la estructura externa de un PLC compacto.*

Un PLC es modular cuando se puede componer o armar en un bastidor o base de montaje, sobre el cual se instalan la CPU, los módulos de entradas/salidas y los módulos de comunicaciones si fueran necesarios, entre otros. La principal ventaja de un PLC modular es que el usuario puede componer su equipo como sea necesario, y luego puede ampliarlo si su aplicación lo requiere.



También suelen poseer instrucciones más complejas, un lenguaje de programación más potente y posibilidades de comunicaciones. La desventaja es que suele ser un poco más caro y voluminoso que el integral. Algunos módulos de E/S tienen forma de tarjetas con una bornera en el frente y un conector macho en su parte posterior. A estos módulos muchas veces se los denomina tarjetas de entradas y/o salidas.

La mayoría de los procesos básicos de programación PLC se basan en la lógica de escalera, que pretende sustituir los sistemas de relés lógicos. Este tipo de programación consta de un software que programa la dirección de diagramas de circuitos de hardware basado en la lógica de relés. Se utiliza para reducir la carga de trabajo de los técnicos, ya que los comandos se envían a la maquinaria de hardware para su ejecución a través de dos rieles verticales y una serie de peldaños horizontales en espiral alrededor de ellos.

La programación tradicional. En este enfoque, los equipos que se utilizan en maquinaria PLC aplican protocolos informáticos de lenguajes como BASIC y C con el fin de proporcionar las órdenes y señales a los componentes de la maquinaria en la línea de montaje. Este método se volvió muy popular durante los años 1980 y 1990, y sigue siendo común actualmente.

Un tipo muy avanzado de programación PLC es la lógica de estados. Es un lenguaje de programación de alto rendimiento que funciona con diagramas de transición de estados, en los cuales se puede cambiar el orden de las actividades y se pueden alterar de acuerdo a las prioridades. La programación de lógica de estados se encuentra normalmente en programas informáticos y sistemas de hardware, ya que dicha técnica se acomoda tanto al rendimiento de estado finito como a las actividades por eventos.

Inversor de giro pasando por paro de un motor. En este ejemplo pretendemos realizar el arranque de un motor eléctrico con inversión de giro pasando por paro, de tal manera que este gire de derecha a izquierda dependiendo del pulsador accionado. Asimismo, dispondremos de un pulsador normalmente cerrado para realizar la parada del motor, cualquiera que sea el giro del mismo.

En la figura 2.12 definiremos las que van a ser las entradas y las salidas, de los distintos elementos del inversor. En la figura 2.13 se muestra el esquema, en diagrama de contacto, para obtener un inversor de giro pasando por paro.

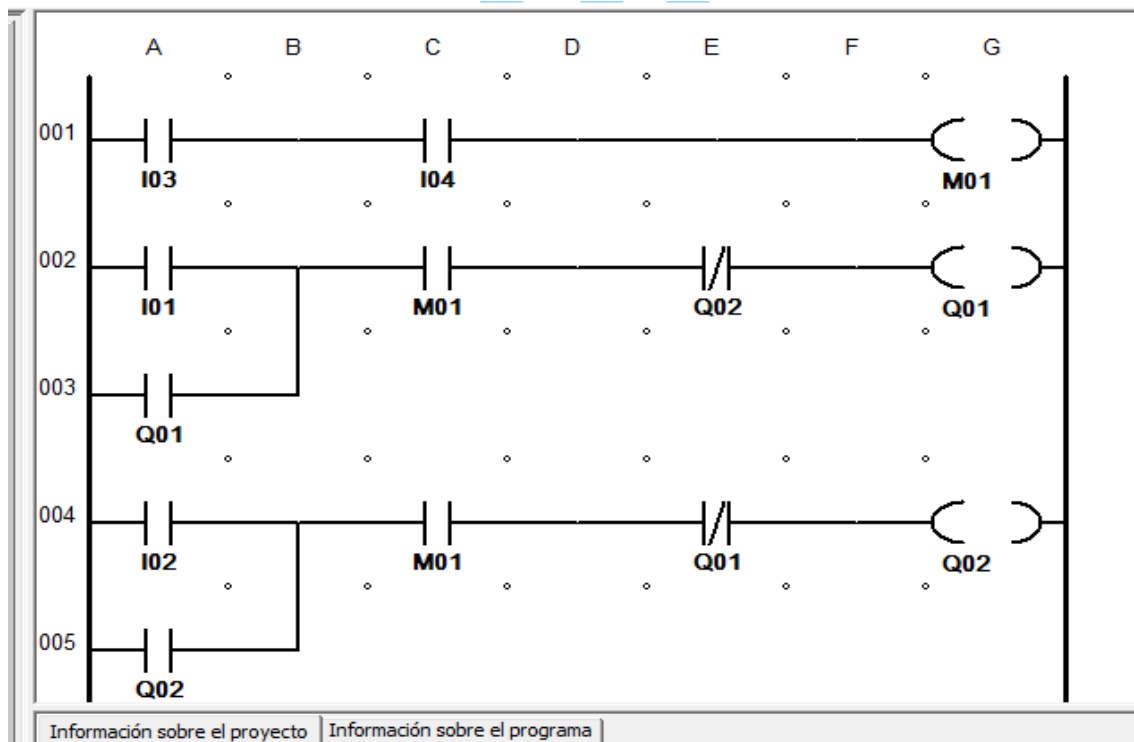
### Entradas

FUNCIÓN	DIRECCIÓN
Pulsador de marcha a izquierda	I0
“ “ a derecha	I1
“ “ de parada	I2
Relé térmico	I3

### Salidas

FUNCIÓN	DIRECCIÓN
Salida de giro a izquierda	Q0
“ “ a derecha	Q1

**Fig.2.12** Se muestra las entradas y salidas de los distintos elementos del inversor de giro pasando por paro.



**Fig. 2.13** Esquema, n diagrama de contactos, para obtener un inversor de giro pasando por paro.

Funcionamiento. El pulsador de parada y el relé térmico se conectan en serie y se asocian a un relé interno, M1. Al accionar la entrada I1 se activa la salida Q1 a través del relé interno M1. Al activarse la salida Q1, todos los contactos configurados de la misma forma que Q1 cambia de estado. Al dejar de pulsar I1, la salida Q1 se queda realimentada por el contacto Q1, realizado en paralelo con I1. si queremos que gire en sentido contrario, basta con accionar el pulsador de parada y accionar I1 posteriormente.

## 2.5 Ethernet

Ethernet al que también se le conoce como IEEE 802.3, en el estándar más popular para las LAN, usa el método de transmisión de datos llamados Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones. Antes de que un nodo envíe algunos datos a través de una red Ethernet, primero escucha y se da cuenta si algún otro nodo está transfiriendo información [17].

Cada paquete enviado contiene la dirección de la estación destino, la dirección de la estación de envío y una secuencia variables de bits que representa el mensaje transmitido. El dato transmitido procede a 10 millones de bits por segundo y el paquete varia en una longitud de 64 a 1518 bytes, así el tiempo de transmisión de un paquete de Ethernet está en un rango de 50 a 1200 microsegundo dependiendo de su longitud.

La velocidad de envío de paquetes utilizados la tecnología Ethernet son de 10 Mbps, 100 Mbps y de 1000 Mbps utilizando el Gigabit Ethernet cuya especificación se encuentra respalda por la IEEE con número 802.3z, el cual cumple objetivos. Permitir realizar operación de envío y recepción de datos a una velocidad de 1000 Mbps. Usa el formato de frame Ethernet 802.3. Usa el método de acceso CSMA/CD con soporte para un repetidor por dominio de colisión.

La trama de Ethernet tiene un esquema de direccionamiento de 48 bits. A cada computadora conectada a una red Ethernet se le asigna un número único de 48 bits conocido como dirección Ethernet. Para asignar una dirección, los fabricantes de hardware de Ethernet adquieren bloques de direcciones Ethernet y las asignan en secuencia conforme fabrican el hardware de interfaz Ethernet.

La dirección Ethernet se coloca en el hardware de interfaz anfitrión de la máquina de tal forma que se pueda leer. Debido a que el direccionamiento Ethernet se da entre dispositivos de hardware, a esto se le llama direccionamiento o direcciones físicas. La trama de Ethernet es de una longitud variable pero no menor a 64 bytes ni rebasa los 1518 bytes, cada trama contiene un campo de la información de la dirección de destino.

Además de la información que indica la fuente y el destino, cada trama transmitida contiene un preámbulo, un campo tipo, un campo de datos y un campo para verificación por redundancia cíclica. El preámbulo consiste en 64 bits que alternan ceros y unos para ayudar a la sincronización de los nodos de recepción. En la figura 2.14 se muestra una trama de Ethernet.

Preámbulo	Dirección destino	Dirección fuente	Tipo	Datos	CRC
8 bytes	6 bytes	6 bytes	2 bytes	46-1500 bytes	4 bytes

*Fig.2.14 Formato de una trama que viaja a través de Ethernet.*

El campo de tipo de trama contiene un entero de 16 bits que identifica el tipo de datos que se están transfiriendo en la trama. Desde el punto de vista de internet, este campo es esencial porque significa que las tramas se autoidentifican. Cuando una llega a una maquina dada, el sistema operativo utiliza el tipo de trama para determinar qué modelo de software de protocolo se utilizara para procesar la trama.

La mayor ventaja de que las tramas se autoidentifiquen es que estas permitan que múltiples protocolos se utilicen juntos en una sola máquina y sea posible entremezclar diferentes protocolos en una sola red física sin interferencias. Los protocolos TCP/IP utilizan tramas Ethernet autoidentificables para hacer una selección entre varios protocolos.

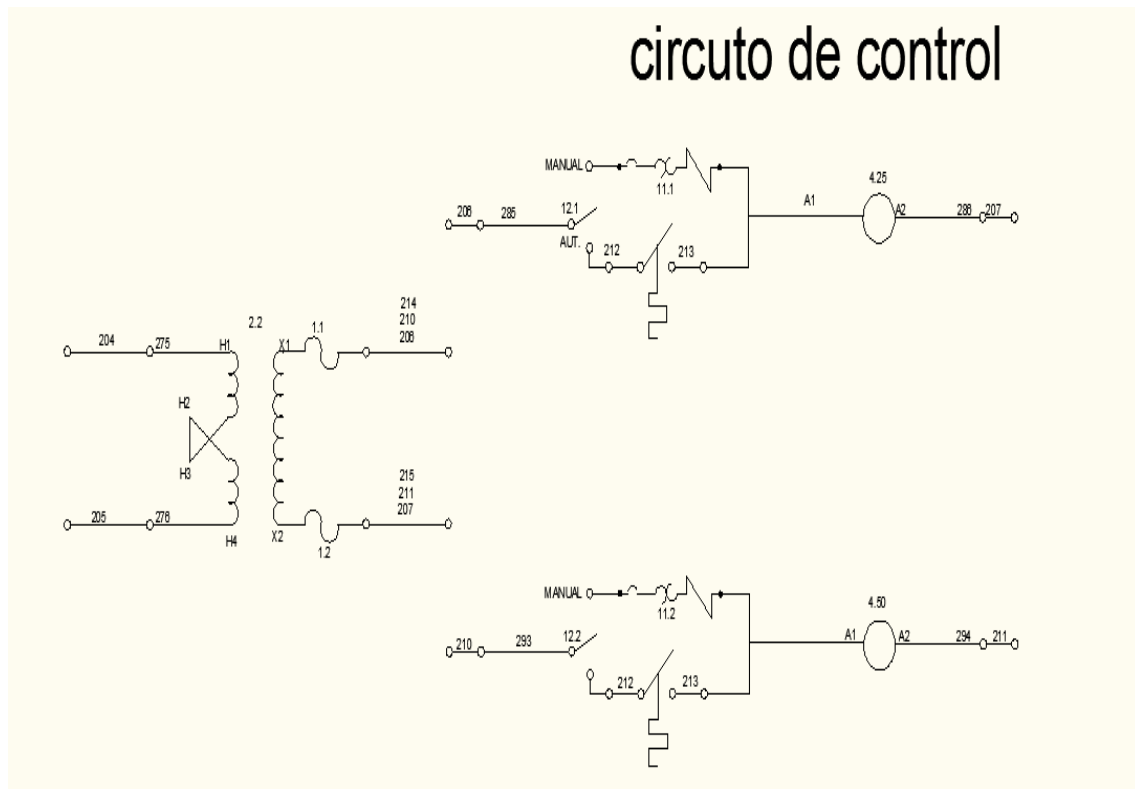
El protocolo CSMA/CD incorpora dos mejoras que aumentan el rendimiento de una red, en primer lugar, no se transmite si hay otra estación hablando y en segundo, si mientras se está transmitiendo detecta que otra estación trasmite, estación se calla, en

lugar de seguir transmitiendo al final de la trama. Se produce una colisión cuando dos o más estaciones empiezan a transmitir simultáneamente.

### 3. Desarrollo

#### 3.1 circuito de control de sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento tiene como objetivo mantener la temperatura estable en el transformador. El sistema de control de enfriamiento está dividido en dos en el cual la primera es enfriamiento propio, el cual consiste estar sumergido en aceite y la segunda en por aire forzado en esta última es donde se lleva a cabo la automatización. En la cual se tiene el circuito de control cortesía de PROLEC que se muestra en la figura 3.1.

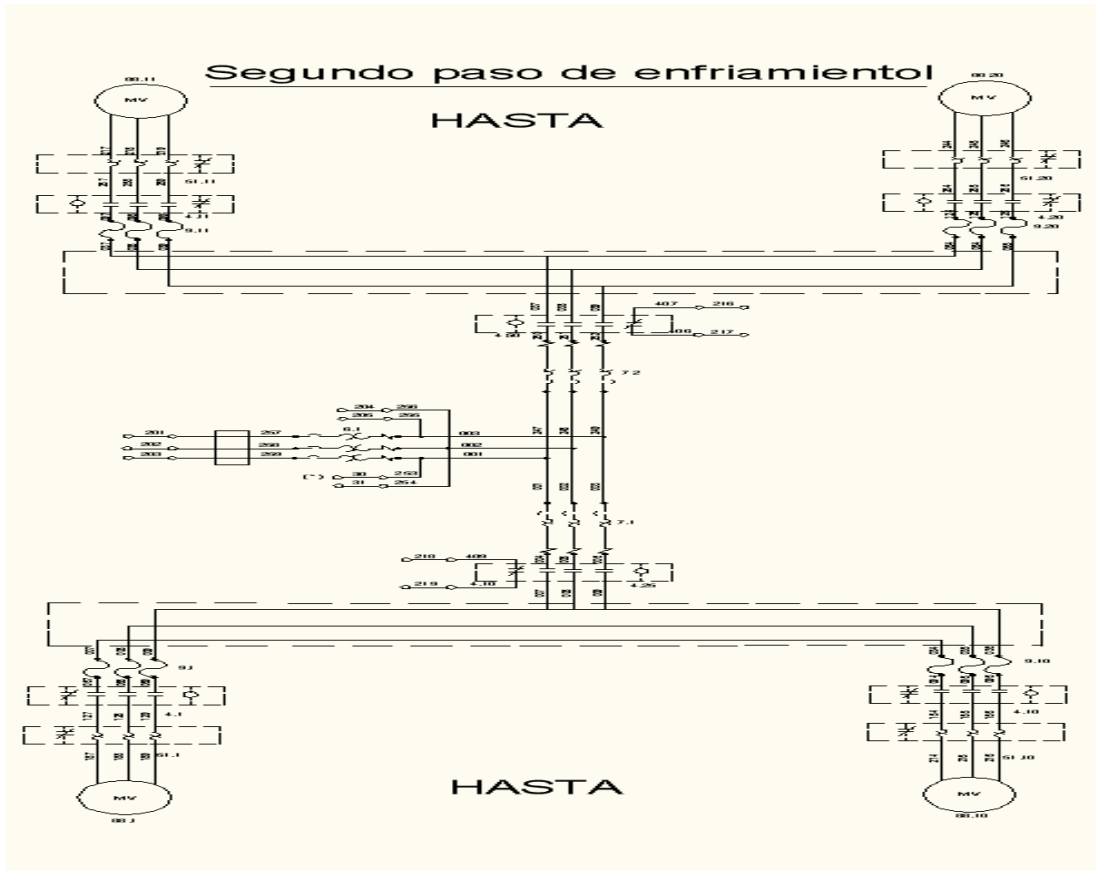


**Fig.3.1** Circuito de control del sistema de enfriamiento cortesía de PROLEC.

En el circuito de control se muestra como está conectado el transformador con el sistema de enfriamiento de aire forzado. En los cuales se encuentran los puntos donde están conectados a 440 VCA el cual es la alimentación del motor ventilador, en la cual se encuentra las señales de operación del sistema de enfriamiento que están conectadas en las terminales del transformador. En la figura 3.2 se muestra el diagrama de fuerza del segundo paso de enfriamiento.

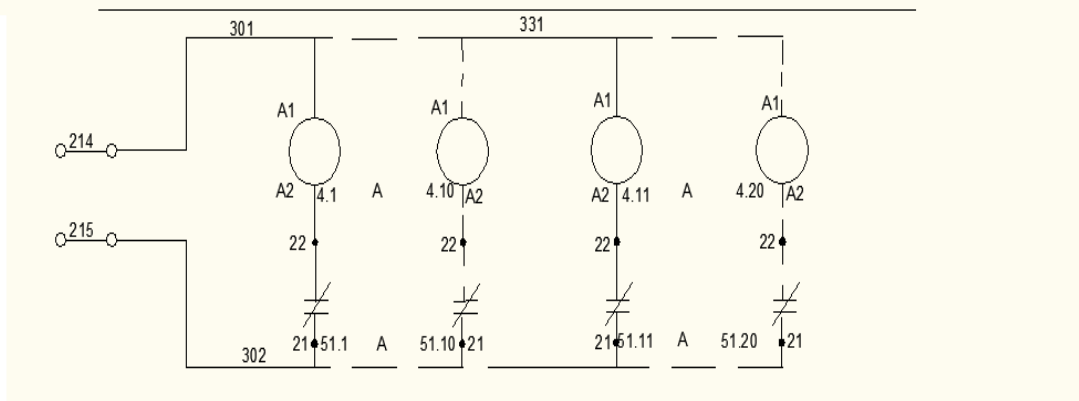
La cual cuenta con alimentación a los contactores individuales los cuales se encarga de accionar al motor ventilador, en la cual se encuentran alarmas por contacto, que se utilizaran para indicar cuando el sistema está funcionando mal. En la figura 3.3 se puede observar cómo están conectados los contactores individuales en el sistema de enfriamiento.

Los capacitores individuales están conectados en paralelo con las terminales del transformador, y en serie con las bobinas de accionamiento, estas se encuentran internamente con contactos normalmente cerrados las que les permite enclavarse a la hora de activar el sistema de enfriamiento.



**Fig.3.2** Diagrama de fuerza del segundo paso del sistema de enfriamiento cortesía de PROLEC.

## Alimentación de Contactores Individuales

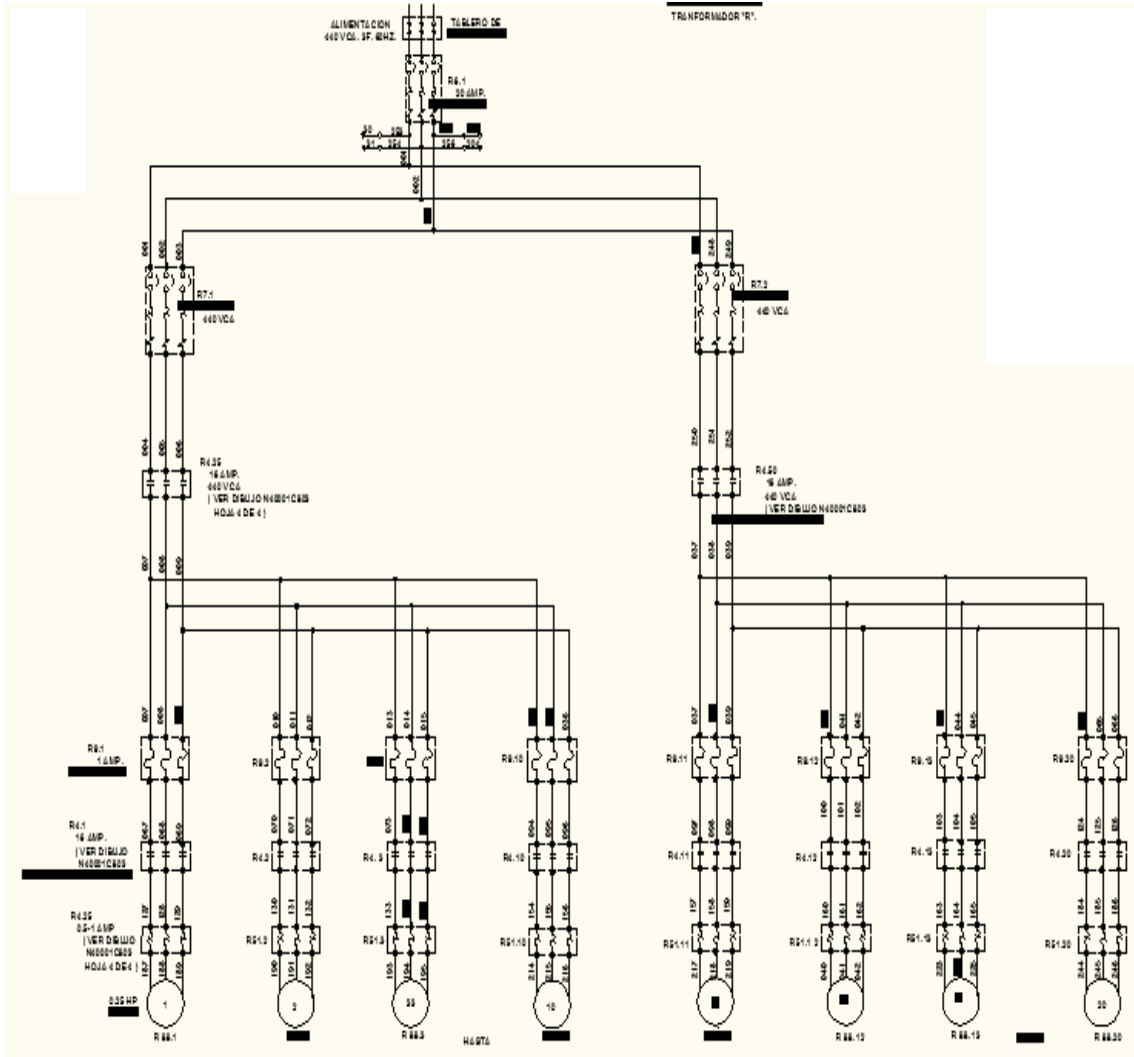


**Fig. 3.3** Diagrama de alimentación de contactores individuales cortesía de PROLEC.

En base al diagrama de la figura 3.2 nos damos cuenta que el sistema de enfriamiento está dividido en dos. Las cuales están interconectadas entre sí, que llega hasta un

interruptor principal que es el que se encarga de la protección de la alimentación. En la figura 3.4 se puede observar el diagrama esquemático del circuito principal del sistema de enfriamiento para la fase R.

En el diagrama de la figura 3.4 se observa como está conectado el sistema de enfriamiento en el gabinete de control del transformador y sus protecciones que este debe tener para que el sistema de enfriamiento cumpla con su funcionamiento de manera eficiente.



*Fig.3.4 Diagrama esquemático del circuito principal de sistema de enfriamiento cortesía de PROLEC.*

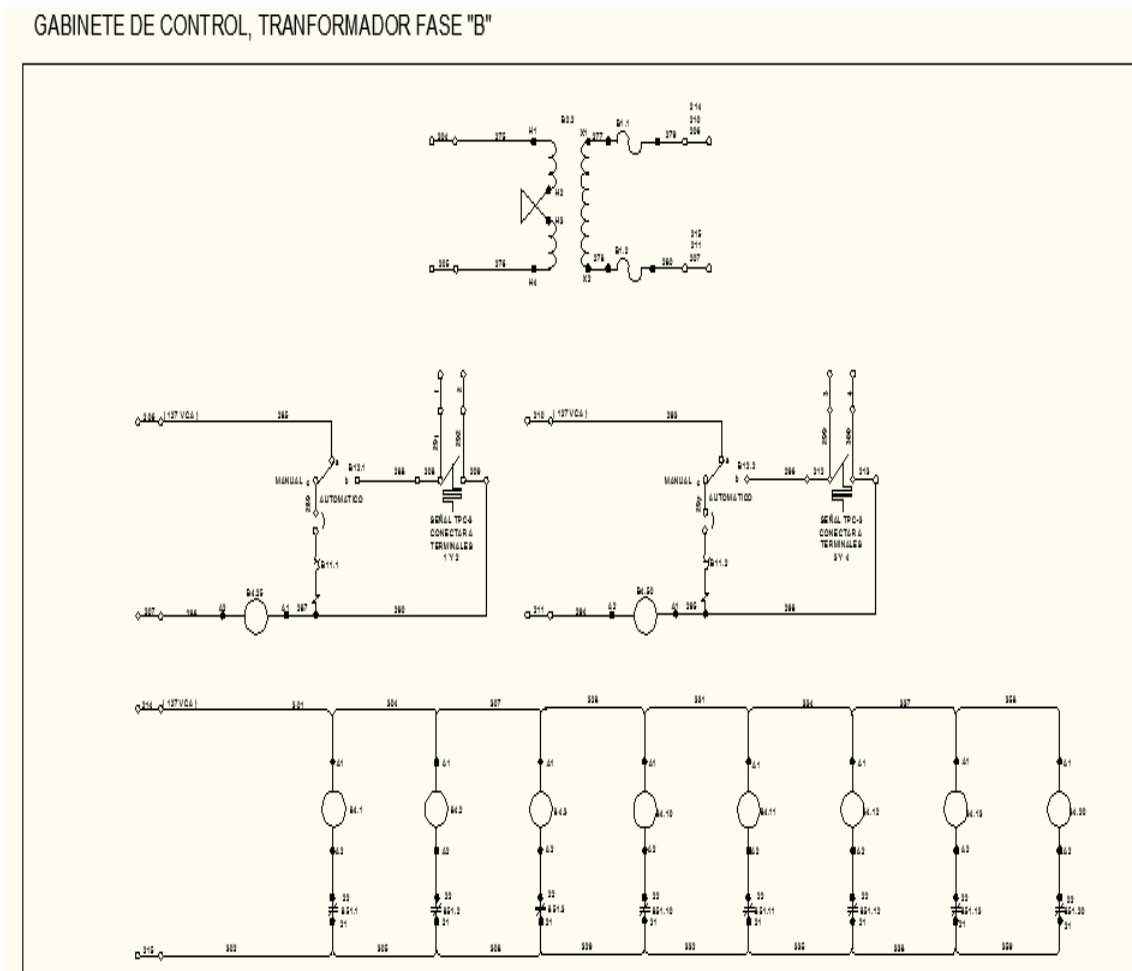
El control del sistema de enfriamiento en esta etapa consta de interruptores termomagnéticos que son los que se encargan de la protección contra sobrecarga que tenga las líneas que transportan la energía para su accionamiento, posteriormente nos encontramos con un contactor que es el que se encarga del accionamiento del control del sistema de enfriamiento.

Cada motor ventilador está conectado a un fusible como protección contra alguna sobrecarga, para que no afecte directamente al motor ventilador. También cuenta con un contactor individual para cada motor ventilador que son los que se ocupan de controlar a

estos mismos los cuales cuentan con un relevador bimetálico que funciona como una protección externa al contactor por si llegase a ocurrir algún problema en esta parte.

TPC-3 es un interruptor selector, su función es recibir la señal de operación en el equipo de enfriamiento que proviene del termómetro de punto caliente. También se encarga del control de ambos pasos del sistema de enfriamiento. El TPC-3 está conectado en las terminales del transformador de donde recibe las señales de temperatura del transformador.

En el sistema de control de enfriamiento cuenta con un transformador de control de 440/127 VCA. Todo este funcionamiento antes mencionado se encuentra en el gabinete de control donde se lleva a cabo el accionamiento del sistema de enfriamiento. En la figura 3.5 se muestra el diagrama del gabinete centralizado del sistema de enfriamiento.



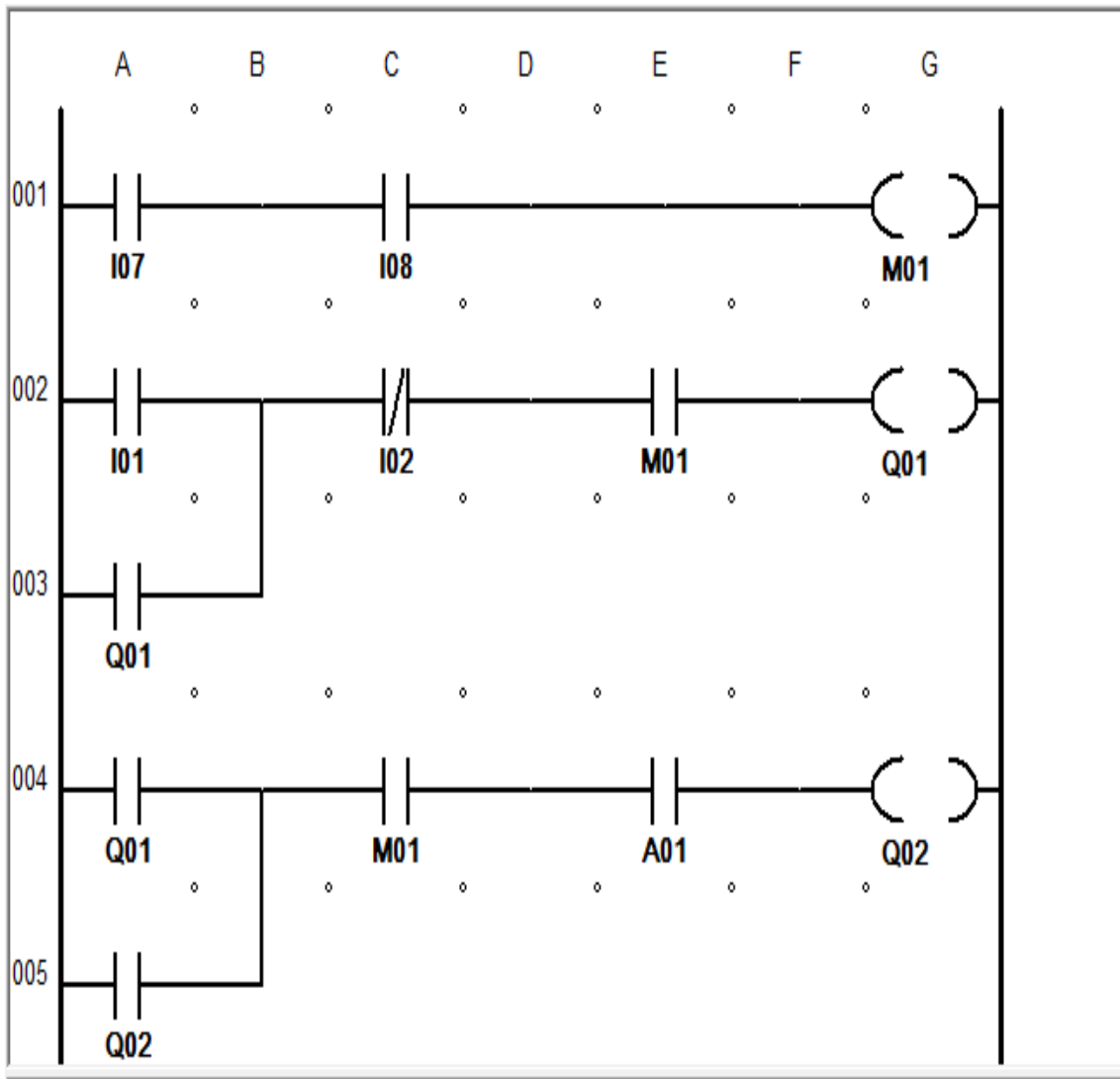
*Fig. 3.5 Gabinete centralizado de control del sistema de enfriamiento cortesía de PROLEC.*

### 3.2 programación del funcionamiento del sistema de enfriamiento en PLC.

En la programación del funcionamiento del sistema de enfriamiento en PLC está dividida en partes las cuales se ejecutaran de acuerdo a las necesidades que requiera el transformador. Las simulaciones que se realizaron, fueron para ver como actuaran en determinados momentos y en qué situación son requeridas. Este tipo de control hace que el equipo utilice el sistema de enfriamiento de aire forzado se utilizado con mayor eficiencia.

La simulación de la programación de la variable de carga está compuesto con dos entradas analógicas que son las que se van a encargar de enviar cuanta carga están demandando, que van al relé interno la cual funciona como protección al equipo. Cuenta con un relé térmico que funciona como una entrada de protección extra al equipo y un botón de paro por motivos de seguridad y protección al personal en un momento dado.

Las salidas van directamente a un comparador que es en donde se lleva a cabo la comparación de las entradas analógicas que son las que mandan que cantidad de carga es la que se mantiene constante y que cantidad de carga es la que se está demandando, lo cual hace que se accione la función a realizar, la cual es si se demanda más carga de lo normal se acciona todo el sistema de enfriamiento y si esta entre el rango establecido se ignora este proceso. Lo cual se muestra en la figura 3.6.



*Fig. 3.6 Programación de la variable de carga.*

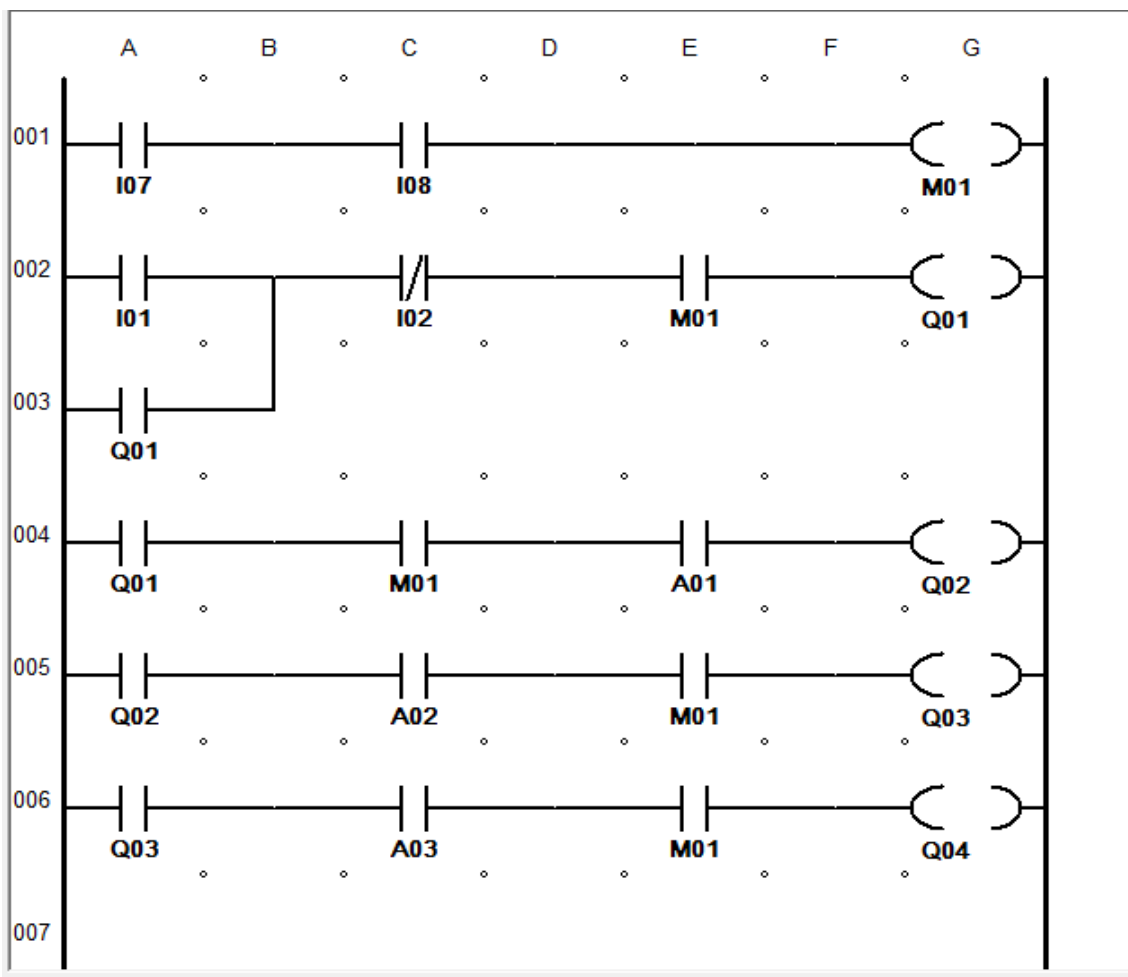
Los elementos que este programa utiliza son I1 que es un relé térmico, I2 es un pulsador de paro, I7 entrada analógica de constante de carga, I8 entrada analógica de carga demandada, M1 relé interno, Q1 salida para el comparador, A1 comparador analógico, Q2 salida para activación del sistema de enfriamiento.



La programación por variable de temperatura para el sistema de enfriamiento es que se representa en la figura 3.7 la cual esta con puesta por dos entradas analógicas las cuales van a ir comparando la temperatura que estas estas reciban del termómetro del punto caliente. Y de esa forma decidirán que etapa de motor ventilador va a funcionar o si va a funcionar en su totalidad el sistema de enfriamiento.

Los elementos que contiene la programación de variable temperatura para el sistema de enfriamiento son I1 que es un relé térmico, I2 es un pulsador de paro, I7 entrada analógica de temperatura establecida, I8 entrada analógica de temperatura en ese momento, M1 relé interno, Q1 salida para el comparador, A1 comparador primer paso de sistema de enfriamiento, A2 comparador segundo paso de sistema de enfriamiento.

A3 comparador para que funcione todo el sistema de enfriamiento, Q2 salida para el primer paso de sistema de enfriamiento, Q3 salida para segundo paso de sistema de enfriamiento, Q4 salida para todo el sistema de enfriamiento.

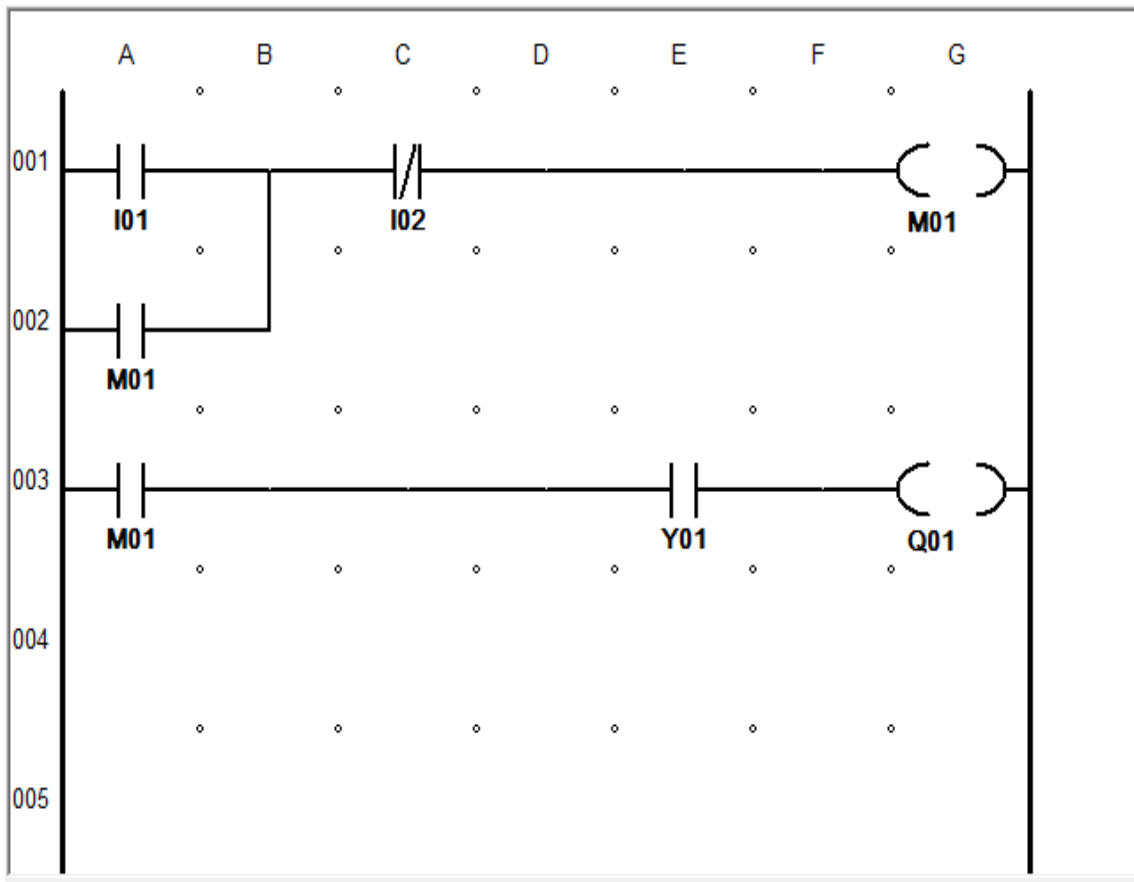


*Fig. 3.7 Programa con variable de temperatura para el control del sistema de enfriamiento.*

La variable de fecha tiene como objetivo que en cierto tiempo del año actué todo el sistema de enfriamiento para tener una mejor eficiencia en el transformador para ello en la figura 3.8 se muestra la programación con variable por fecha la cual está ejecutada por un temporizador anual el cual se en carga de ejecutar todo el sistema de enfriamiento en determinada época del año.

En la programación se encuentra una entrada la cual funciona para activar la entrada del rete interno el que ira al temporizador anual y este se ejecutara cuando llegue el día y mes temporizado en el programa haciendo que todo el sistema de enfriamiento se accione en ese trascurso de días que tardara la temporización. Cuenta con un botón de paro por si en esas fechas ocurre algo al transformador o el clima n afecta la eficiencia del transformador.

La entrada de este variable estará a cargo de I1 la cual está conectado con el relé interno y con el botón de paro utilizándolo como una protección extra al equipo que será representado por I2 y el relé interno es M1 lo cual su funcionamiento es de una protección para el sistema de enfriamiento, Y1 es el temporizador anual el cual estará programado con un día y un mes específico del año en el que trabajara todo el sistema de enfriamiento, Q1 es la activación del sistema de enfriamiento en el día y mes del año.

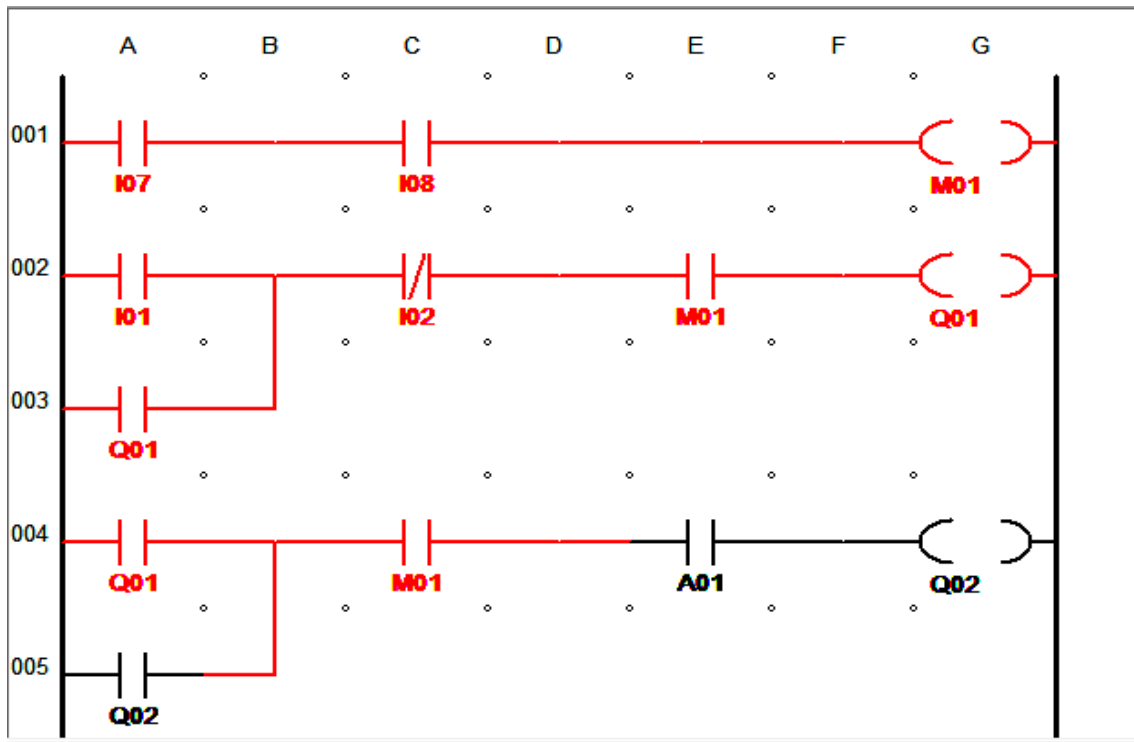


*Fig. 3.8 Programa con variable de fecha para el sistema de enfriamiento.*

## 4. Resultados Y Conclusiones

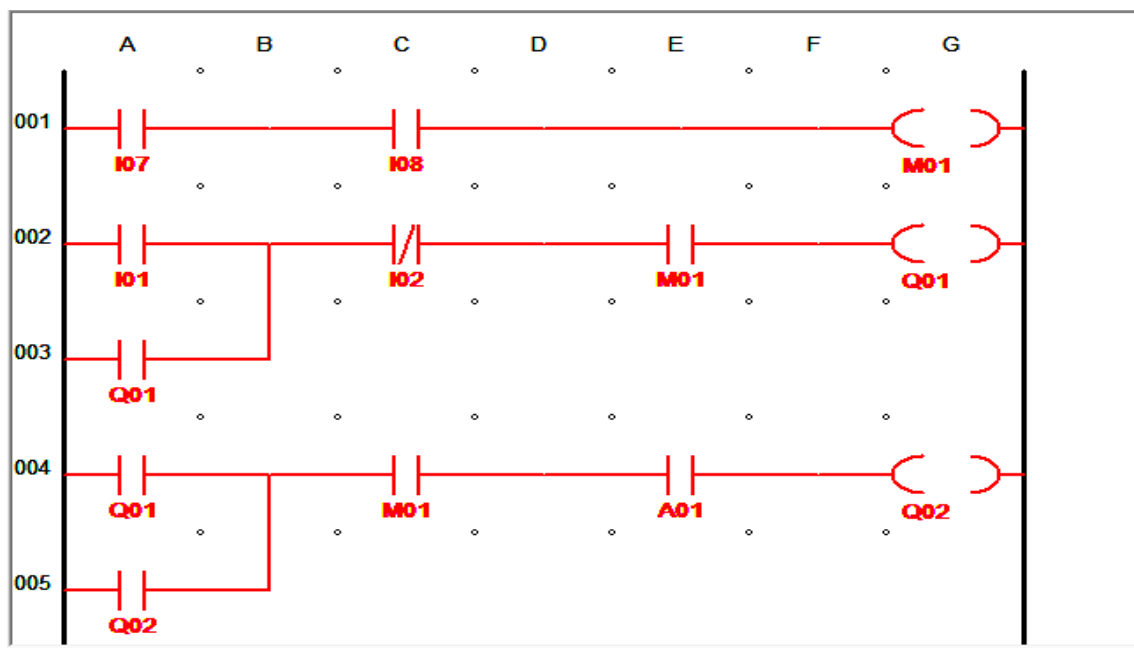
### 4.1 Resultados

En la figura 4.1 se muestra la simulación de la activación de las entradas analógicas que van a una salida, que es el que se encarga de mandar la señal al comparador el cual no está accionado por que las variable de carga se encuentra en el rango establecido, lo que hace que no se active todo el sistema de enfriamiento y se mantenga solo con lo requerido.



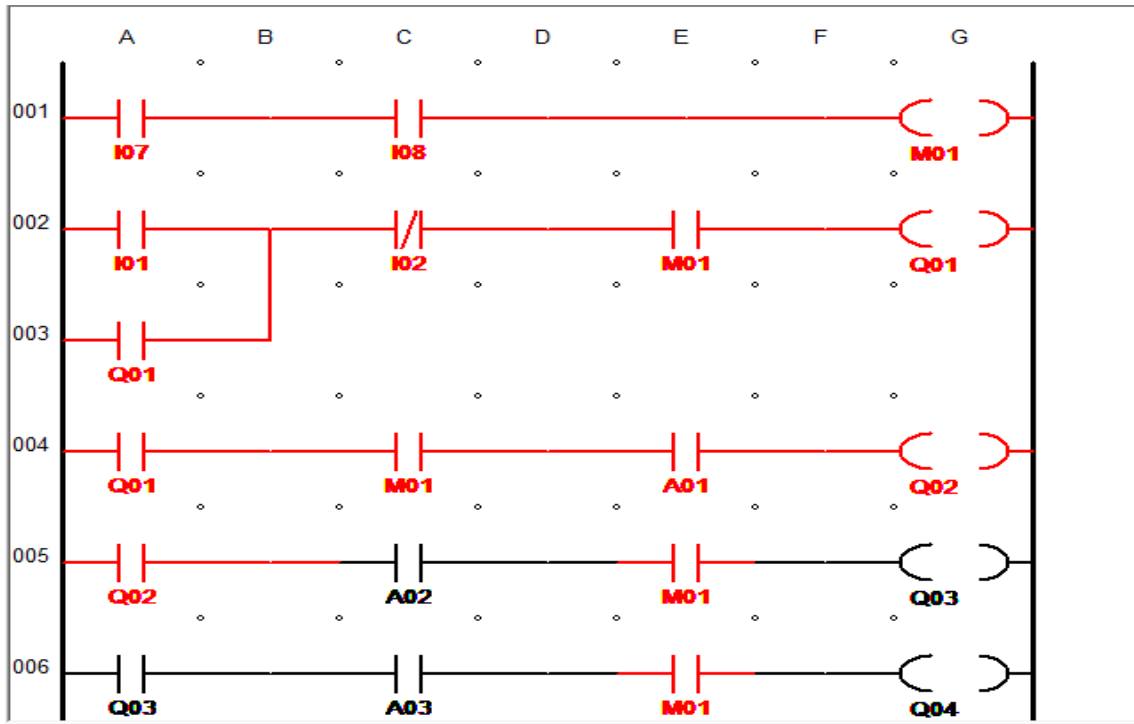
*Fig.4. Resultado de las entradas de carga cuando están en el rango establecido.*

Al no activarse el sistema de enfriamiento indica que la carga que están demandando está en el rango establecido para el transformador. Cuando la demanda de carga incrementa sobrepasando los rangos establecidos en ese momento se activa la salida indicando que todo el sistema de enfriamiento está funcionando para mantener la eficiencia del transformador. Como se muestra en la figura 4.2.



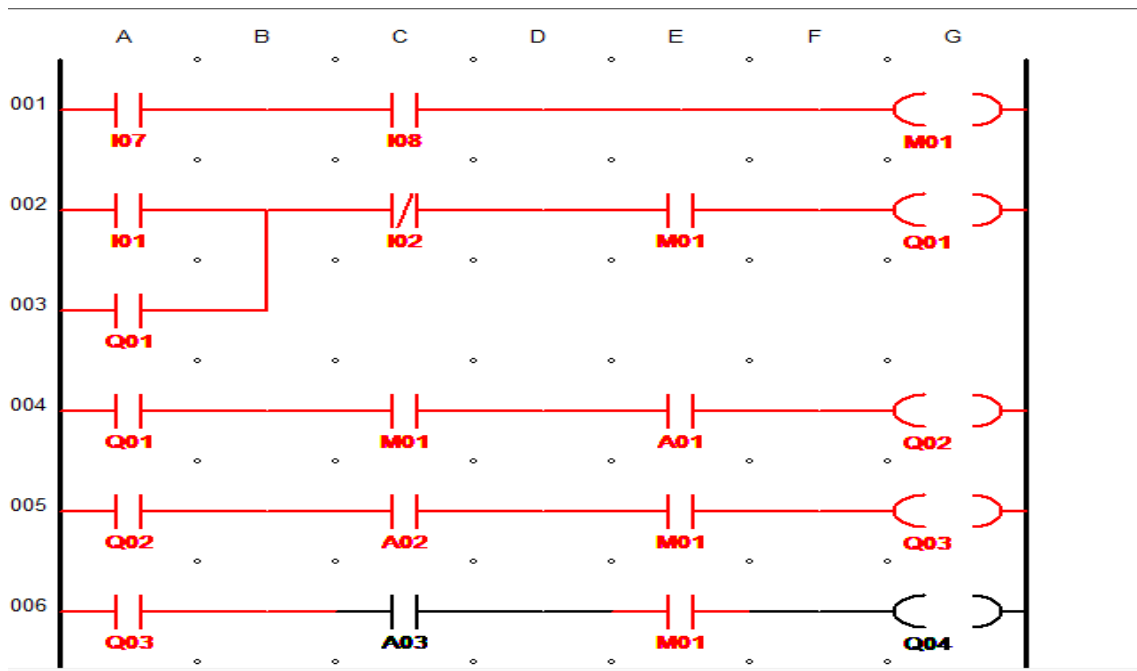
**Fig.4.2** Resultado de la simulación de la variable de carga cuando se demanda carga superior a lo establecido.

En la simulación del sistema de enfriamiento con la variable de temperatura se observa que al activar todas las entradas analógicas empieza la comparación para ver en que rango de temperatura se encuentra y que etapa de enfriamiento va a trabajar, como se muestra en la figura 4.3



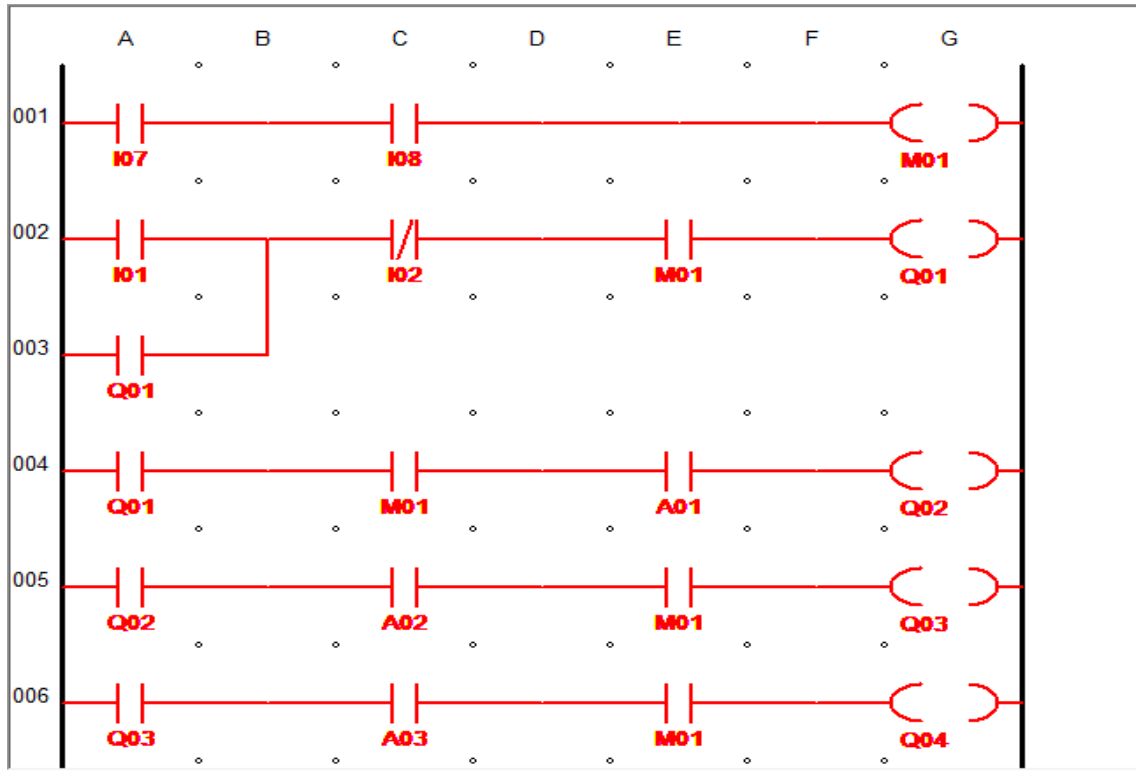
*Fig.4.3 Resultado de la simulación con variable de temperatura con rango bajo.*

En esta simulación la temperatura no esta tan alta se mantiene en un rango bajo. Cuando la temperatura empieza a subir a un rango medio se activa la otra etapa de enfriamiento como se muestra en la figura 4.4.



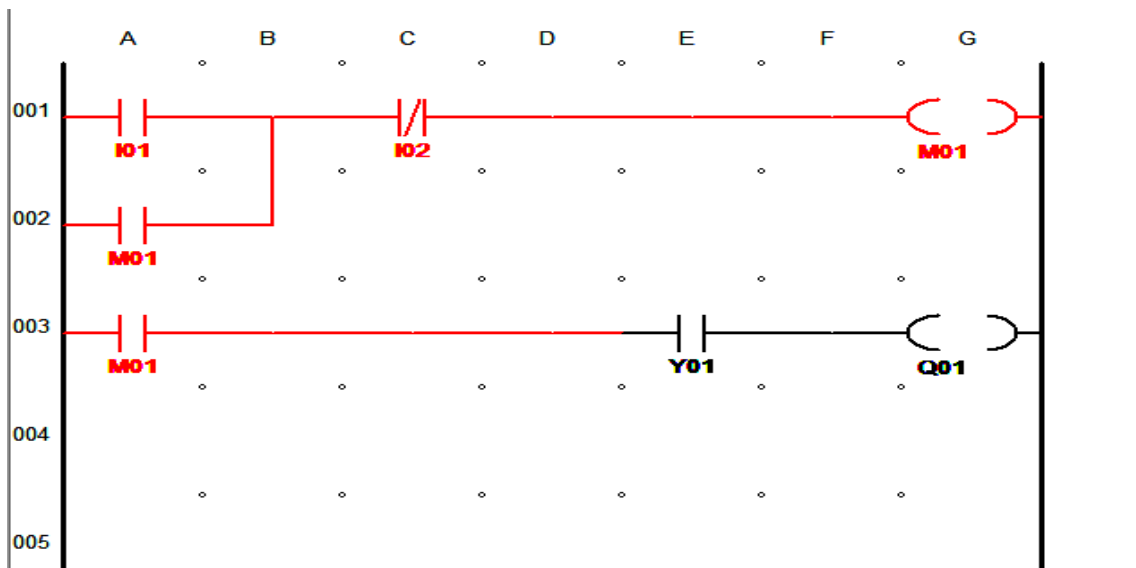
*Fig.4.4 Resultado de la simulación cuando la temperatura está en un nivel medio.*

En la figura 4.5 se muestra el resultado de la simulación del sistema de enfriamiento cuando la temperatura está en el rango alto. El cual hace que todo el sistema de enfriamiento este activado para no tener pérdidas en el transformador.



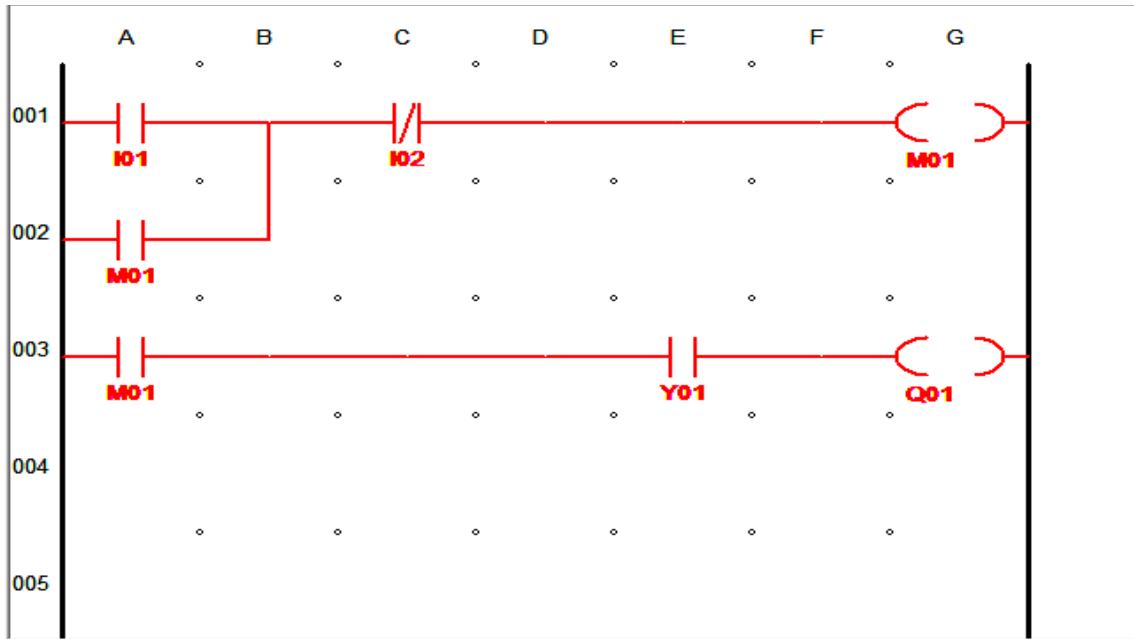
*Fig.4.5 Resultado del sistema de enfriamiento cuando la temperatura está en rango alto.*

En el resultado de la variable fecha de activación del sistema de enfriamiento en su totalidad se encuentra las entradas que son las que se encargan de mandar la señal indicando que día y mes de año estamos como se muestra en la figura 4.6



*Fig.4.6 Resultado de la simulación del sistema de enfriamiento con variable fecha cuando aún no ha llegado la fecha temporiza.*

En la simulación de sistema de enfriamiento con variable fecha, que se muestra en la figura 4.7, se observa que al llegar el día y mes temporizado se acciona todo el sistema de enfriamiento para dar mayor eficiencia al transformador en los meses don la temperatura son altas



*Fig.4.7 Resultado del sistema de enfriamiento, cuando el temporizador está en el día y mes que fue seleccionado para su activación.*

## 4.2 Conclusiones

La programación del sistema de enfriamiento permite que el control sea más eficiente ya que permite hacer diversos cambios automáticos en el sistema de enfriamiento, según lo requiera el transformador. al estar conectado vía Ethernet, será fácil monitorear las temperaturas que alcancen el transformador en el día y las cargas que le demanden al transformador haciendo que el sistema de enfriamiento funcione conforme lo requiera el transformador.

La programación está construida en PLC con lenguaje Ladder, y comprobado en el software picosoft que es donde se llevó a cabo la simulación del sistema de enfriamiento con sus diferentes variables ya que en este software contiene diversos PLC en el cual eran factibles, porque se puede tomar el PLC que requerido para llevar a cabo la simulación y tener un buen resultado.

Los resultados obtenidos muestran que al estar utilizando solo lo necesario del sistema de enfriamiento se tiene un ahorro de energía. Por qué solo utiliza lo necesario para el transformador. Lo que hace que la demanda de energía sea menor en comparación como cuando estaba conectado directo, que hacía que trabajara todo el sistema de enfriamiento aunque este no fuera requerido.

## Referencias Bibliográficas

[1] John J. Grainger; William D. Stevenson Jr; Análisis de sistemas de potencia.

- [2] Motores eléctricos, guía de especificaciones; WEG.
- [3] Manuel Alvares Pulido; Controladores lógicos.
- [4] Festo, Manual de PLC.
- [5] Guojin Chen; Ming Xu; Tingting Liu; Jing Ni; Dong Xie; Yanping Zhang Intelligent. Control System of Transformer Cooling Based on DCS and Dual PLC. 2013 Fifth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.
- [6] Minjing Xiao. MODBUS Protocol Converter Which Used in 220KV Main Transformer's Air-Cooled Control. 2010 2nd International Workshop on Database Technology and Applications.
- [7] Shu-Guang Liu; Xing-Li Sun. Research on transformer's forced-oil-air cooling control system based on PCC. 2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics.
- [8] J. A. Palmer; J. K. Nelson. Intelligent control of large power transformer cooling pumps. IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution.
- [9] B. Shahbazi; M. Savaghebi; M. Ashouri; M. Vadiati. Investigation of transformer cooling improvement utilizing online monitoring system. 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications.
- [10] Xiang Zhang; Zhongdong Wang; Qiang Liu. Prediction of Pressure Drop and Flow Distribution in Disc Type Transformer Windings in an OD Cooling Mode. IEEE Transactions on Power Delivery. Year: 2016, Volume: PP, Issue: 99.
- [11] Análisis de sistemas de potencia; John J. Grainger; William D. Stevenson Jr.
- [12] Stephen J. Chapman, maquinas eléctricas, tercera edición.
- [13] Instituto Politécnico Nacional, Centro de Estudios científicos y tecnológicos.
- [14] SCADA, Controlador de procesos.
- [15] Manuel Alvares Pulido, Controladores lógicos.
- [16] Macro Capacitación; controladores lógicos programables (PLC).
- [17] sistema de comunicaciones; Ethernet y protocolos TCP/IPv4.
- [A1] Doble Engineering Company. M4000, sistema analizador de aislamiento para Windows, guía de uso.
- [A2] IVASCO, S.A. de C.V., ingeniería, venta, servicio y consultorio. Teoría y aplicación en campo.
- [A3] CFE, manual de factor de potencia.

[A4] empresa Provisional de la Energía de Santa Fe, factor de potencia.

## Anexos

### Anexo A: Introducción a la prueba TTR

En 1989 la Doble Engineering Company desarrollo un procedimiento a alto voltaje para determinar la relación de vueltas del transformador, siendo estos resultados de pruebas comprables con la información de prueba en fábrica de la relación de voltaje, y dentro del + 0.5% de la información de placa. Este método usa un capacitor de alto voltaje, y comprende la medición de la capacitancia en forma independiente y su capacitancia aparente cuando es conectado en el lado del devanado de bajo voltaje [A1].

La prueba de relación de transformación es usada para determinar una falla mayor en el transformador, la falla vuelta a vuelta. La relación es el número de vueltas del devanado de alto voltaje al devanado de bajo voltaje es una consideración de diseño y es la relación que aparece en los datos de placa del transformador, es llamado relación de vueltas.

Tolerancia permisible, los estándares ANSI permiten una tolerancia de 0.5%. la relación de vueltas entre devanados debe de ser tal que , con el transformador sin carga y con voltaje aplicado sobre el voltaje de menor número de vueltas, los voltajes de todos los demás devanados y para todas las conexiones del tap deben de estar dentro de 0.5% de los voltajes de placa.

Error por temperatura, la variación de la capacitancia del capacitor auxiliar es una función de la temperatura cuando ha sido medido sobre el rango de -20°C a + 50°C. Se puede observar que la capacitancia se incrementa aproximadamente 0.25% por cada 10°C de incremento. Debe de ser realizado rápido cuando el capacitor sea expuesto directamente al sol en días calurosos.

En estos casos se recomienda que durante las condiciones ambientales descritas la medición de la capacitancia real sea realizada al inicio y al final de cada serie de pruebas y su valor promedio sea utilizado para calcular la relación. Se espera que el error debido a la variación de la capacitancia deberá de ser menor al 0.1%. El voltaje de prueba no debe de exceder el rango de voltaje del devanado. Para devanados que operan de línea a neutro, el voltaje de prueba no debe de exceder el rango de línea a neutro.

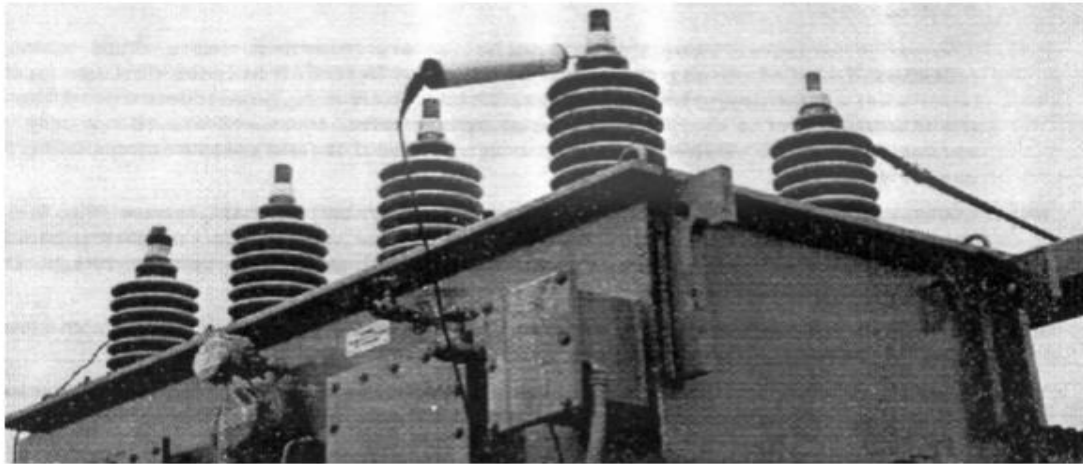
Observaciones a la hora de realizar prueba con el equipo Doble. El voltaje de prueba no debe exceder el rango de voltaje del devanado. Para devanados que operan en línea a neutro, el voltaje de prueba no debe de exceder el rango de línea a neutro. Todas las mediciones de la relación de transformación usan el método Doble son relacionado con el devanado de alto voltaje y el devanado del terciario [A2].

La medición de la relación usando el método Doble no se debe de intentar con el devanado de bajo o el devanado del terciario energizado. Actualmente, en muchas cosas no se posible aplicar a esto dos aplicar el voltaje requerido por medio del equipo de prueba Doble. Opere el equipo de prueba de memoria normal. La corriente de carga total y las pérdidas de watts no son importantes.

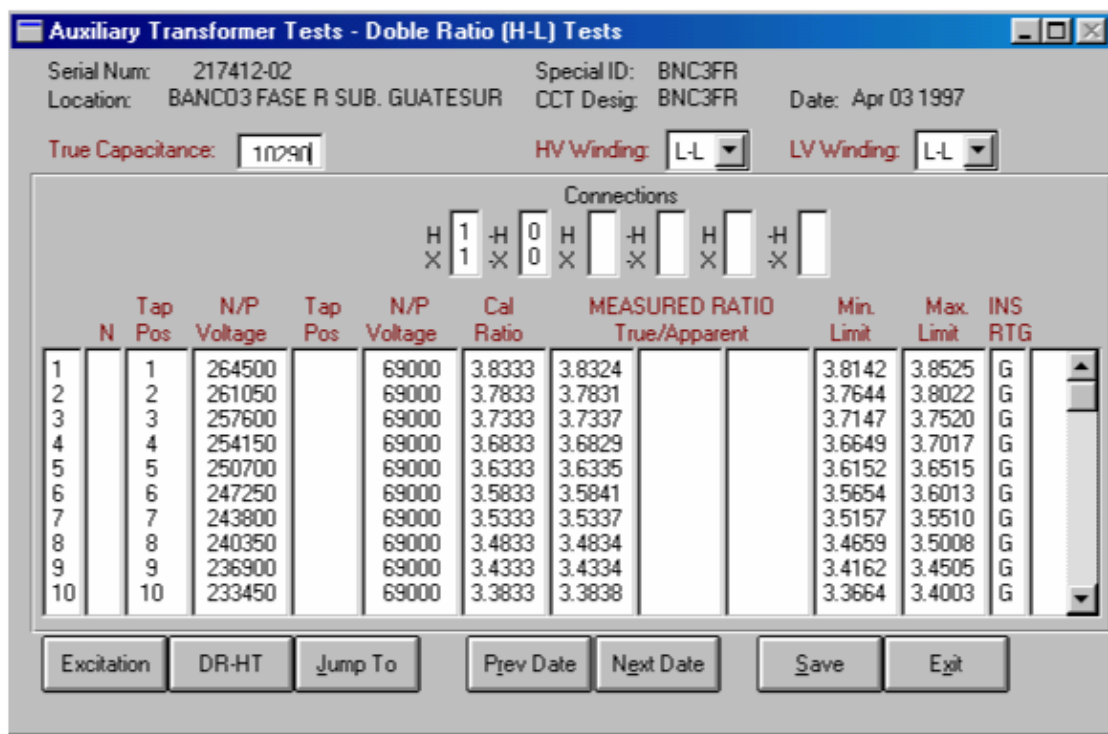
La medición de la capacitancia verdadera C1 y capacitancia aparente C2, son los únicos parámetros de importancia. Por esta razón se debe prestar estricta atención en la



obtención de la misma lectura en el medidor de watt para la lectura del día de capacitancia sea lo más exacto posible.



*Fig.A.1 Aplicación para la prueba de campo, con el equipo Doble.*



*Fig.A.2 Formato de prueba Doble Ratio M4000.*

**Calculo de resultado para pruebas de 10 KV.**

$$\%FP = Watts \times 10 / \text{miliamperios} \tag{A1}$$

Capacitancia

$$\text{Capacitancia (PF)} = 265 \times \text{miliamperios} \quad (60\text{Hz})$$

$$\text{Capacitancia (PF)} = 318 \times \text{miliamperios} \quad (50\text{Hz}) \tag{A2}$$

Resistencia paralela CA

$$RP(\text{Megaohms}) = 100/Wats \quad (A3)$$

Dieléctrico, el material utilizado tiene propiedades medibles, como absorción, constante dieléctrico, pérdidas dieléctricas y factor de potencia. Medición de la capacitancia.

$$\text{capcitancia} = \frac{A\varepsilon}{d} \quad \text{con } \varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_r \quad (A4)$$

Aproximación de la capacitancia. La capacitancia C es directamente proporcional a la corriente total medida  $It$ .

$$Xc = \frac{1}{2\pi fc} = \frac{V}{It} \quad (A5)$$

Aislamiento es mayormente capacitivo

$$2\pi fcv = It \quad (A6)$$

Equivalente en 10 KV

$$C = \frac{It}{2\pi fv} = k * It \quad (A7)$$

Capacitancia en PF –  $It$  en  $mA$

$$c \cong 265 * It \quad (f = 60Hz) \quad (A8)$$

$$c \cong 318 * It \quad (f = 50Hz)$$

Perdidas dieléctricas, es la razón por lo que la energía eléctrica es transformada en calor cuando un dieléctrico es sometido a un campo eléctrico. El calor generado es dado en términos de watts.

$IR \approx$  watts (del diagrama vertical)

Watts = EIR (del modelo dieléctrico, circuito R/C paralelo)

Watts = contaminación + deterioro

Contaminación = agua + deterioro

Deterioro = carbón + corona

Factor de potencia usando las pruebas Doble

La relación del ángulo de fase entre el voltaje aplicado y corriente total a través del espécimen. La proporción de la potencia real o el promedio de la potencia aparente. La eficiencia de un sistema de potencia en término de los flujos de la potencia real y reactiva.

$$\text{Factor de potencia} = \frac{W}{It * E} = \frac{\text{potencia real}}{\text{potencia aparente}} \quad (A9)$$

Para expresar el factor de potencia en porcentaje

$$\%FP = \frac{W}{mA \times 10^{-3}} \times 100 \quad (A10)$$

Valores equivalentes 10 KV

$$= \frac{W \times 10}{mA}$$

### Principios básicos de la prueba Doble

La prueba de factor de potencia mide la conducción promedio del sistema de aislamiento. La contaminación puede afectar parcial o totalmente los aislamientos. Cuando examinamos el aislamiento de cerca vemos pequeños vanos. Estos vanos desarrollan un potencial electrostático en la superficie y se ionizan dando lugar a descargas parciales/corona.

Debe de existir una diferencia de potencial entre dos puntas para que fluya una corriente y pueda ser realizado una medición. La corriente siempre regresa a su fuente de origen. La corriente siempre seguirá el camino de menor resistencia.

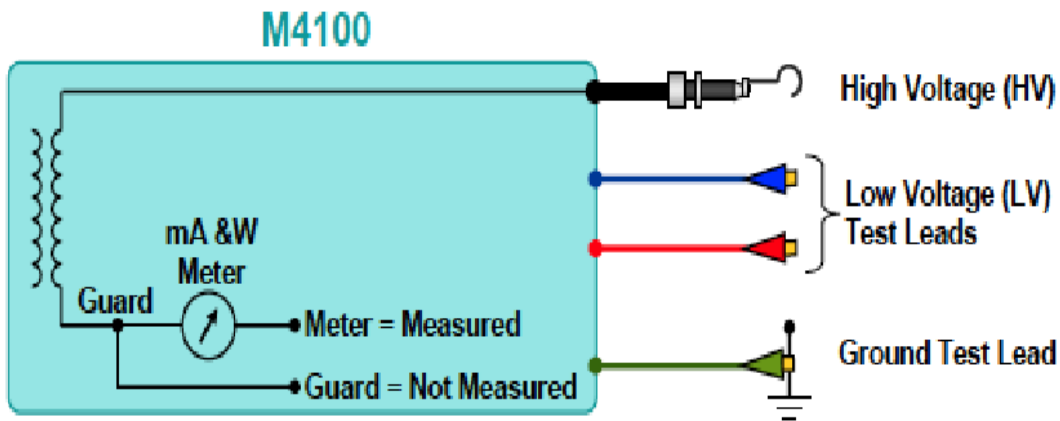


Fig.A.3 Configuración del modo de prueba con el M4100

Internamente en el M4100, los cables de prueba que se conectan al medidor se medirán, y los cables que están conectados a la guarda no se medirán. Nosotros podemos optar por medir el cable rojo, cable azul, el cable de tierra o cualquier combinación, especificando el método de prueba correcto. El modo de prueba se especifica en el software DTAF. Es una instrucción que le dice al M4100 cual cable de prueba se conecta al medidor y cuales cables de pruebas se conectan al circuito de guarda.

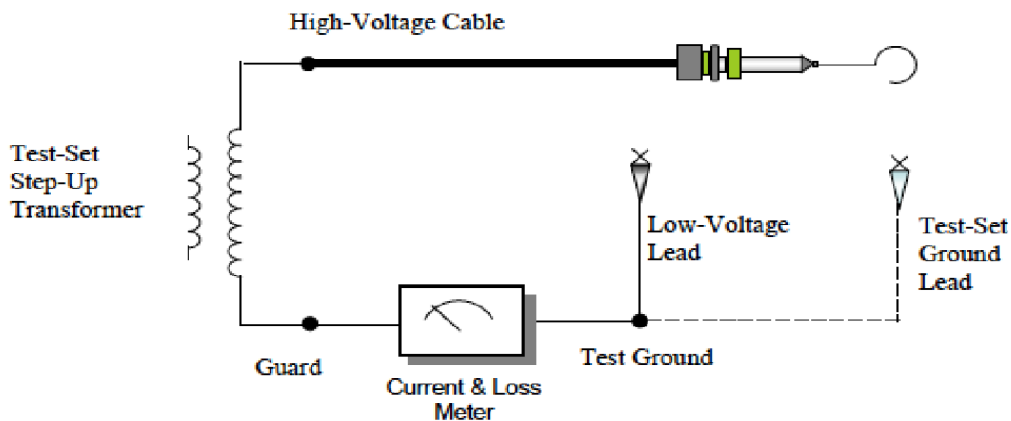
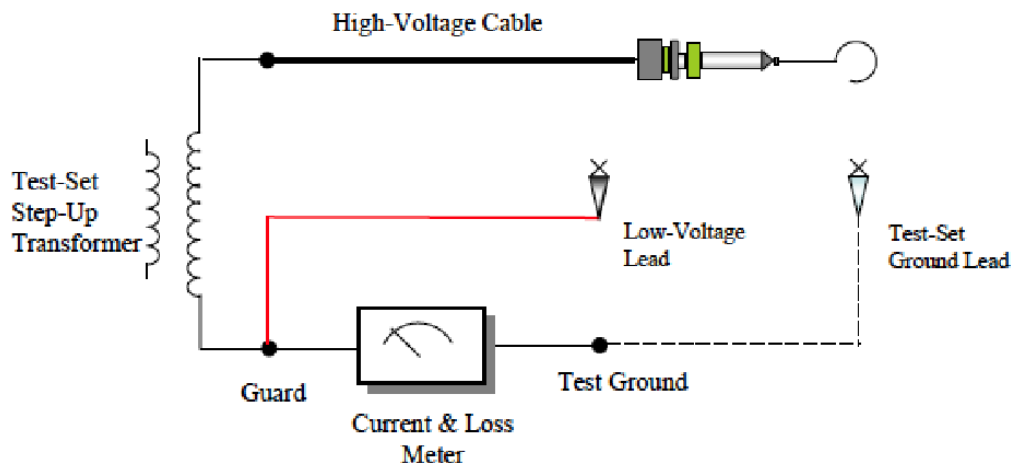
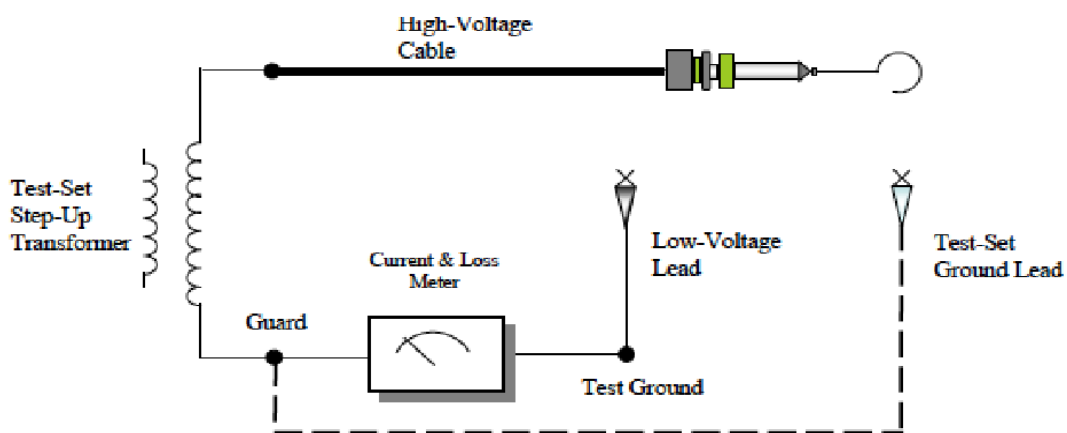


Fig.A.4 GST, mide cualquier cosa conectada a tierra, mide el aislamiento aterrizado.



*Fig.A5 GST, describe la conexión de los cables LV, esto si esta conectado al punto de tierra o al punto de guarda.*



*Fig.A6 UST, no mide nada conectado a tierra, mide el aislamiento no aterrizado. Describe la conexión de los cables LV, ya sea conectado al medidor o el punto de tierra.*

## Anexo B: Factor de potencia

El factor de potencia es el indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general s la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. También es el indicador de correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. En caso que el factor de potencia sea inferior a 0.95, implica que los artefactos tienen elevado consumo de energía reactiva respecto a la energía activa [A3].

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil. El factor de potencia por debajo del 90% significa energía desperdiciada por su empresa y en consecuencia un incremento necesario en el importe de su facturación.

La mayoría de los equipos eléctricos utilizan potencia activa o real que es lo que hace el trabajo real y utilizan la potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos. La cual no produce un trabajo físico directo en los equipos. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de un gran número de motores.

Un bajo factor de potencia también deriva problemas como mayor consumo de corriente, aumento de las pérdidas en conductores, desgaste prematuro de los conductores, sobrecarga de transformadores y líneas de transmisión. El bajo factor de potencia se origina por la carga inductiva, que algunos equipos los requieren para su funcionamiento.

La potencia es la capacidad de producir o demandar energía de una máquina eléctrica, equipo o instalación por unidad de tiempo. En todo circuito eléctrico, por el funcionamiento de los diferentes equipos y máquinas se encuentran presente las potencias aparente, potencia reactiva y potencia activa. La potencia aparente, es la potencia que determina la prestación en corriente de un transformador y considerar la tensión aplicada al consumo por la corriente que esta demanda [A4].

$$S = \sqrt{3}xUxI \quad (B1)$$

Potencia activa, es la que se aprovecha como potencia útil en el eje del motor, la que se transforma en calor. Es la potencia realmente consumida por el cliente y por lo tanto paga por el uso de la misma.

$$P = \sqrt{3}xUxIx \cos j \quad (B2)$$

Potencia reactiva, es la potencia que los campos magnéticos rotantes de los motores o balastos de iluminación intercambian con la red eléctrica sin significar un consumo de potencia útil o activa.

$$Q = \sqrt{3}xUxIx \sin j \quad (B3)$$

Para determinar la potencia capacitiva faltante, para compensar el factor de potencia a valores requeridos por los distribuidores, se debe proceder, medir el consumo de distancia, medir la corriente por fase del circuito, calcular la máxima potencia activa del suministro, calcular la tangente  $\phi$  actual, calcular la potencia capacitiva necesaria o faltante.

$$Q_{faltante} = (tgj_{actual} - tgj_{deseada}) \quad (B4)$$