

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

EXTENSIÓN LATACUNGA



CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE VARIABLE DE
VOLTAJE MONOFÁSICA DE 5 KVA – 220 V, DE 0 A 440 V CON
MANDO LOCAL Y REMOTO”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

CAMACHO CAÑIZARES SANTIAGO ISRAEL

Latacunga, Julio 2010.

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de investigación fue desarrollado por **Santiago Israel Camacho Cañizares**, bajo nuestra supervisión.

Latacunga, Julio del 2010

ING. WILSON SÁNCHEZ
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. MARIO JIMÉNEZ
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO

ING. WILSON SÁNCHEZ (DIRECTOR)

ING. MARIO JIMÉNEZ (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE MONOFÁSICA DE 5 KVA – 220 V, DE 0 A 440 V CON MANDO LOCAL Y REMOTO**” realizado por el señor Santiago Israel Camacho Cañizares ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan al señor Santiago Israel Camacho Cañizares que lo entregue al Ing. Mario Jiménez, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Julio del 2010.

ING. WILSON SÁNCHEZ

DIRECTOR

ING. MARIO JIMÉNEZ

CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo

Santiago Israel Camacho Cañizares

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE MONOFÁSICA DE 5 KVA – 220 V, DE 0 A 440 V CON MANDO LOCAL Y REMOTO”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio del 2010.

Santiago Israel Camacho Cañizares

C.I. 180376476-8

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo

Santiago Israel Camacho Cañizares

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE MONOFÁSICA DE 5 KVA – 220 V, DE 0 A 440 V CON MANDO LOCAL Y REMOTO”** cuyo contenido, ideas y criterios es de nuestra responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2010.

Santiago Israel Camacho Cañizares

C.I. 180376476-8

DEDICATORIA

A Dios

A mi Madre Germania

A mi Padre Franklin

A mi Hermano Álvaro

A mi Hermano Franklin

Al Ing. Mario Jiménez

Al Ing. Wilson Sánchez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad para cumplir esta meta muy importante en mi vida junto a mi familia quienes han estado conmigo incondicionalmente y han sido motivo de inspiración y superación

Agradezco a mi madre Germania por haber llenado mi vida de amor y haberme hecho un hombre de bien lleno de valores, A mi padre Franklin por haber sido mi ejemplo a seguir, quien a más de ser un padre ejemplar ha sido y será mi tutor en el apasionante mundo de la Ingeniería Eléctrica

A mis hermanos Álvaro y Franklin por haber sido mis confidentes, mis compañeros, mis amigos en todas las situaciones que han rodeado a mi vida; A Soledad por haber sido mi compañera incondicional durante toda mi carrera universitaria y la persona que me ha ayudado a superarme como ser humano

A los Ingenieros quienes han sabido compartirme sus conocimientos, A los compañeros, A mis allegados amigos, y a todas las personas que han estado alrededor mío en las situaciones buenas y malas de la vida y han puesto su granito de arena para ayudarme a cumplir esta meta tan importante en mi vida.

INDICE DE CONTENIDOS

I.- CAPITULO: GENERALIDADES	- 1 -
1.1.- TRANSFORMADORES	- 1 -
1.1.1.- APLICACIONES DEL TRANSFORMADOR.....	- 2 -
1.1.2.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	- 2 -
1.2.- AUTOTRANSFORMADORES.....	- 5 -
1.2.1.- FUNCIONAMIENTO	- 6 -
1.2.2 TIPOS DE CONSTRUCCIÓN.....	- 6 -
1.2.3.- APLICACIONES.....	- 8 -
1.3.- AUTOTRANSFORMADOR VARIABLE (VARIAC)	- 8 -
1.3.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS VARIAC.....	- 9 -
1.3.2.- APLICACIONES DEL VARIAC.....	- 9 -
1.4.- ANALIZADORES DE ENERGÍA.....	- 10 -
1.5.- ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	- 11 -
1.5.1.- CORTACIRCUITOS FUSIBLES DE BAJA TENSIÓN	- 11 -
1.5.2.-INTERRUPTORES MAGNETO-TÉRMICOS.....	- 14 -
1.5.3.- INTERRUPTORES DE POTENCIA CON UNIDADES DE DISPARO.....	- 18 -
1.6.- ELEMENTOS DE MANIOBRA.....	- 20 -
1.6.1.- INTERRUPTORES	- 20 -
1.6.2.- PULSADORES.....	- 21 -
1.6.3.- FINALES DE CARRERA.....	- 21 -
1.7.- INTERFACE HOMBRE MÁQUINA	- 22 -
1.7.1.- TIPOS DE HMI.....	- 23 -
1.7.2.- FUNCIONES DE UN SOFTWARE HMI	- 24 -

1.8.- NORMAS DE SEGURIDAD Y MANEJO	- 25 -
II.- CAPITULO: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS	- 28 -
2.1.- ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DE LA FUENTE	- 28 -
2.2.- DISEÑO DE LA FUENTE	- 29 -
2.3.- SELECCIÓN DEL AUTOTRANSFORMADOR.....	- 32 -
2.4.- DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	- 34 -
2.5.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VOLTAJE VARIABLE	- 37 -
2.6.- DETERMINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS	- 38 -
2.7.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA ANÁLISIS DE ENERGÍA.....	- 39 -
2.8.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA CONTROL LOCAL Y REMOTO	- 40 -
2.8.1.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO LOCAL	- 42 -
2.8.2.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA MANDO LOCAL	- 42 -
2.8.3.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA MANDO Y MONITOREO REMOTO	- 43 -
III.- CAPITULO: IMPLEMENTACION DE LA FUENTE.....	- 47 -
3.1.- MONTAJE DEL VARIAC	- 47 -
3.2.- MONTAJE DEL SISTEMA PARA CONTROL DEL VARIAC.....	- 49 -
3.3.- MONTAJE DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	- 51 -
3.4.- MONTAJE DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA	- 53 -
3.5.- ACOPLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR VARIAC Y PROTECCIONES.....	- 54 -
3.6.- TOMAS DE SEÑAL.....	- 63 -
3.7.- MONTAJE DE UNIDAD DE TARJETA PARA CONTROL REMOTO.....	- 67 -

IV.- CAPITULO: PRUEBAS Y RESULTADOS.....	- 70 -
4.1.- VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VARIACIÓN DE VOLTAJE	- 70 -
4.2.- VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VARIACIÓN Y ACOPLAMIENTO AL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	- 72 -
4.3.- CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE PROTECCIONES.	- 74 -
4.4.- VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA.....	- 76 -
4.5.- PRUEBAS EN MANDO LOCAL	- 78 -
4.6.- PRUEBAS EN MANDO REMOTO	- 79 -
4.7.- PRUEBAS FINALES	- 81 -
4.8.- ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	- 83 -
V.- CAPITULO: PRUEBAS ELÉCTRICAS A REALIZARSE CON LA FUENTE	- 85 -
5.1.- TRANSFORMADORES	- 85 -
5.1.1.- PRUEBA EN VACIO - NTE 2114	- 85 -
5.1.2.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO - NTE 2114	- 86 -
5.2.- INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS	- 87 -
5.2.1.- PRUEBA DE APERTURA DE INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	- 87 -
VI.- CAPITULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 88 -
BIBLIOGRAFIA	- 90 -
ANEXOS	- 91 -

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – CONFIGURACIÓN DEL TRANSFORMADOR	1
FIGURA 1.2 – CIRCUITO MAGNÉTICO DEL TRANSFORMADOR	3
FIGURA 1.3 – AUTOTRANSFORMADOR	5
FIGURA 1.4 – AUTOTRANSFORMADOR REDUCTOR.....	7
FIGURA 1.5 – AUTOTRANSFORMADOR ELEVADOR	8
FIGURA 1.6 – VARIAC	9
FIGURA 1.7 – ANALIZADOR DE ENERGÍA.....	11
FIGURA 1.8 – FUSIBLES.....	12
FIGURA 1.9 – CURVA CARACTERÍSTICA DE UN FUSIBLE.....	13
FIGURA 1.10 – INTERRUPTOR MAGNETO-TÉRMICO.....	14
FIGURA 1.11 – CURVA DE DESCONEXIÓN INTERRUPTOR MAGNETO-TÉRMICO	15
FIGURA 1.12 – DESCRIPCIÓN DE UN MAGNETO-TÉRMICO	16
FIGURA 1.13 – RELE DE ESTADO SÓLIDO	18
FIGURA 1.14 – INTERRUPTOR ABIERTO	20
FIGURA 1.15 – INTERRUPTOR CERRADO.....	20
FIGURA 1.16 – PULSADOR NA	21
FIGURA 1.17 – PULSADOR NC	21
FIGURA 1.18 – FINAL DE CARRERA.....	22
FIGURA 1.19 – ESTRUCTURA DEL HMI	23
FIGURA 1.20 – AVISO DE SEGURIDAD DE RIESGO ELÉCTRICO	25
FIGURA 2.1 – DIAGRAMA DE CONEXIÓN AUTOTRANSFORMADOR - TRANSFORMADOR	32
FIGURA 2.2 – DIAGRAMA DE CONEXIÓN MOTOR DC	37
FIGURA 2.3 – ANALIZADOR DE ENERGÍA VIP396	39

FIGURA 2.4 – DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA HMI.....	45
FIGURA 3.1 – DIAGRAMA DE FUERZA FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE	47
FIGURA 3.2 – MONTAJE DEL VARIAC	48
FIGURA 3.3 – ESPECIFICACIONES DE LOS TERMINALES DE CONEXIÓN DEL VARIAC	49
FIGURA 3.4 – DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA DE VARIACIÓN DE VOLTAJE	50
FIGURA 3.5 – FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA.....	51
FIGURA 3.6 – TRANSFORMADOR	52
FIGURA 3.7 – TERMINALES DE CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR.....	52
FIGURA 3.8 – TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	53
FIGURA 3.9 – SEÑALES Y ALIMENTACIÓN DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA	54
FIGURA 3.10 – REFERENCIA PARA ACOPLAMIENTO TRANSFORMADOR – VARIAC - PROTECCIONES....	55
FIGURA 3.11 – SWITCH DE SERVICIO	56
FIGURA 3.12 – FUSIBLES Y PORTAFUSIBLES F1 Y F2.....	57
FIGURA 3.13 – CONTACTOR PRINCIPAL	58
FIGURA 3.14 – RELE DE SOBRECORRIENTE	59
FIGURA 3.15 – VARIAC	60
FIGURA 3.16 – FUSIBLES Y PORTAFUSIBLES F3 Y F4.....	60
FIGURA 3.17 – TRANSFORMADOR ELEVADOR.....	61
FIGURA 3.18 – FUSIBLES Y PORTAFUSIBLES F5 Y F6.....	62
FIGURA 3.19 – CONTACTOR DE SALIDA	63
FIGURA 3.20 – PLACA DE CONTROL	64
FIGURA 3.21 – TOMA DE SEÑALES PARA UNIDAD DE CONTROL.....	64
FIGURA 3.22 – TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TC2	65
FIGURA 3.23 – TRANSFORMADOR DE VOLTAJE TP	65

FIGURA 3.24 – DIAGRAMA DE CONEXIÓN VIP396	66
FIGURA 3.25 – SEÑAL DE VOLTAJE Y CORRIENTE PARA EL VIP396	66
FIGURA 3.26 – TARJETA PARA CONTROL REMOTO.....	67
FIGURA 3.27 – VISTA EXTERNA FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE.....	68
FIGURA 3.28 – ELEMENTOS ELÉCTRICOS FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE.....	69
FIGURA 4.1 – CONEXIÓN DE MULTÍMETRO A VARIAC.....	70
FIGURA 4.2 – CONEXIÓN DE MULTÍMETRO A TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO.....	72
FIGURA 4.3 – CORTOCIRCUITO A LA SALIDA DE LA FUENTE VARIABLE	74
FIGURA 4.4 – MEDICIÓN DE CORRIENTE VIP396	76
FIGURA 4.5 – MEDICIÓN DE VOLTAJE Y FRECUENCIA VIP396	77
FIGURA 4.6 – TRANSFORMADOR DE BAJA TENSIÓN PARA PRUEBAS.....	78
FIGURA 4.7 – CONEXIÓN DE COMPUTADORA HACIA MÓDULO DE CONTROL.....	80
FIGURA 4.8 – PRUEBA EN MANDO REMOTO MEDIANTE PC	81
FIGURA 4.9 – ALARMA VISUAL DE PARO DE EMERGENCIA	82
FIGURA 4.10 – ALARMA VISUAL DE SOBRECARGA	83

INDICE DE TABLAS

TABLA 4.1 – ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE	84
TABLA 5.1 – PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS	86

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de una fuente variable de voltaje monofásica a ser implementada en la empresa INEDYC, empresa dedicada a lo que concierne la Ingeniería Eléctrica, con el objetivo de realizar pruebas eléctricas a equipos de mayor potencia lo cual no era factible con el anterior equipo disponible en la empresa; además de innovar el manejo de las pruebas implementando un mando remoto mediante una computadora que constituye una herramienta útil y necesaria en la actualidad, brindando así la seguridad de efectuar una prueba a distancia protegiendo completamente al operador.

Este proyecto ha sido elaborado en la ciudad de Ambato en la empresa INEDYC y se divide en 6 capítulos que los detallo a continuación:

El Capítulo I, que detalla en general los principios de funcionamiento de los elementos usados en la fuente variable de voltaje, en especial al transformador y al autotransformador, los cuales son los más importantes dentro del diseño de la misma, y son los elementos a ser sometidos a prueba por la empresa INEDYC.

El Capítulo II, muestra las características específicas de todos los elementos que constituyen la fuente variable de voltaje, sus requerimientos para diseño y funcionamiento, así como los cálculos matemáticos efectuados para realizar un diseño eficaz y eficiente.

El Capítulo III, detalla paso a paso la construcción y montaje de los elementos que constituyen la fuente variable de voltaje, así como el acoplamiento y conexiones de los mismos mediante planos eléctricos detallados, diseñados con el objetivo de su fácil interpretación y lectura

El Capítulo IV, muestra el detalle de las pruebas y verificaciones realizadas del correcto funcionamiento de los elementos después de su montaje y acople, mediante procedimientos debidamente establecidos y revisados por la empresa INEDYC

El Capítulo V, detalla las pruebas que puede realizar la fuente variable de voltaje, enfocándose especialmente en los transformadores que es el principal interés de la empresa INEDYC

El Capítulo VI, muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas del diseño, construcción y pruebas de la fuente variable de voltaje.

I.- CAPITULO: GENERALIDADES

1.1.- TRANSFORMADORES

El transformador está basado en los fenómenos de inducción electromagnética. Consta de un núcleo de chapas magnéticas, al que rodean dos devanados, denominados primario y secundario. (Figura 1.1)

Al conectar el devanado primario a una red de c.a. se establece un flujo alterno en el circuito magnético que, a su vez, inducirá las ff. ee. mm. en él o los devanados secundarios

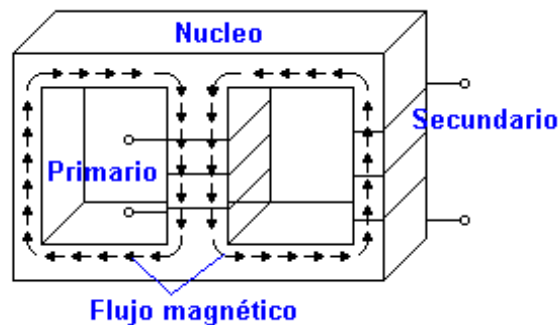


Figura 1.1 – Configuración del transformador

El primario recibe la potencia de la red, por lo tanto se debe considerar como un receptor o consumidor. Por el contrario, el secundario se une al circuito de utilización, pudiéndose considerar, por lo tanto, como un generador.

En resumen el transformador, es un aparato estático de inducción electromagnética destinado a transformar un sistema de corrientes variables en otro o varios sistemas de corrientes, cuyas tensiones e intensidades son generalmente diferentes, aunque de la misma frecuencia.

1.1.1.- APLICACIONES DEL TRANSFORMADOR

Usos industriales:

- Amplitud y frecuencia de entrada fijas.
- No hay ganancia en potencia (sino pérdidas, p. Ej. corrientes parásitas). Lo que puede haber es ganancia en tensión.
- Uso para grandes potencias.

Teniendo su principal aplicación como variador de tensión, es en las líneas de transporte de energía eléctrica donde su aplicación es fundamental, debido a su doble función tanto como elevador como reductor.

Elemento de circuito:

- Sistemas para acoplo magnético (P. Ej. Circuitos magnéticos)
- En sistemas electrónicos

Debido a la propiedad del transformador de reflejar impedancias se utiliza como:

- Adaptador de impedancias.
- Separador (Aislador de cargas de fuente).

Elementos de medida.

A la vez se necesitan como elementos de adaptador para la instrumentación, como es el caso de los transformadores de potencial

1.1.2.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Sea un circuito magnético formado por chapas magnéticas, y rodeado por dos bobinas B1 y B2; se conecta la bobina B1 a los terminales de un generador de

corriente alterna, esta bobina se llama bobina primaria la que actúa como una inductancia y al ser atravesada por una corriente variable, produce un flujo.

Este flujo variable, abrazado por la bobina B2, llamada bobina secundaria, determina en esta la producción de una f.e.m. inducida de la misma frecuencia, si se conecta un receptor Z a los terminales de B2 la corriente alterna recorre el circuito llamado secundario; en consecuencia por imanación mutua, una potencia eléctrica alterna pasa de un circuito llamado primario a otro llamado secundario.

Así pues, un transformador puede ser considerado como el grupo de dos arrollamientos o grupo de arrollamientos, eléctricamente independientes y acoplados entre sí por medio de un circuito magnético. (Figura 1.2)

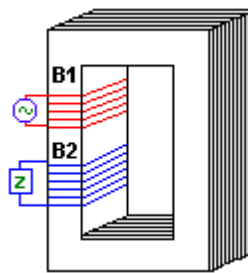


Figura 1.2 – Circuito magnético del transformador

Como se pretende que sea máximo el flujo que proporcionado por un arrollamiento atraviese a los demás, el circuito magnético suele ser de baja reluctancia

$$\phi = \frac{f.m.m}{\mathfrak{R}} = \frac{N.i}{\frac{l}{\mu_0 \cdot \mu}} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

ϕ = Flujo magnético

$f.m.m$ = Fuerza magnetotriz

\mathfrak{R} = Reluctancia

N = Número de espiras

i = Corriente de magnetización

μ_0 = Permeabilidad magnética del núcleo en el vacío

μ = Permeabilidad magnética del núcleo

l = Longitud del circuito magnético

s = Sección del circuito magnético

Se entiende por reluctancia la resistencia que opone un material al paso del flujo magnético por él. Por analogía se puede considerar la anterior fórmula como la ley de ohm aplicada a circuitos magnéticos. Las dos propiedades más importantes del transformador son:

La relación entre las tensiones del primario y secundario es sensiblemente igual a la relación entre el número de espiras de los arrollamientos primario y secundario

$$\frac{N1}{N2} = \frac{e1}{e2} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

$N1$ = Número de espiras circuito primario

$N2$ = Número de espiras circuito secundario

$e1$ = Tensión del circuito primario

$e2$ = Tensión del circuito secundario

La relación entre las corrientes del primario y el secundario es sensiblemente igual a la inversa de la relación de transformación con signo menos

$$\frac{N1}{N2} = -\frac{i2}{i1} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

N_1 = Número de espiras circuito primario

N_2 = Número de espiras circuito secundario

i_1 = Corriente del circuito primario

i_2 = Corriente del circuito secundario

1.2.- AUTOTRANSFORMADORES

Un autotransformador es una máquina eléctrica, de construcción y características similares a las de un transformador, pero que a diferencia de éste, sólo posee un único devanado alrededor del núcleo. Dicho devanado debe tener al menos tres puntos de conexión eléctrica, llamados tomas. La fuente de tensión y la carga se conectan a dos de las tomas, mientras que una toma (la del extremo del devanado) es una conexión común a ambos circuitos eléctricos (fuente y carga). Cada toma corresponde a un voltaje diferente de la fuente (o de la carga, dependiendo del caso). (Figura 1.3)

En un autotransformador, la porción común (llamada por ello "devanado común" del devanado único actúa como parte tanto del devanado "primario" como del "secundario". La porción restante del devanado recibe el nombre de "devanado serie" y es la que proporciona la diferencia de voltaje entre ambos circuitos, mediante la adición en serie (de allí su nombre) con el voltaje del devanado común.

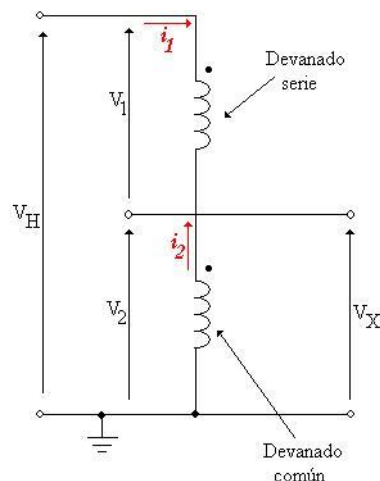


Figura 1.3 – Autotransformador

1.2.1.- FUNCIONAMIENTO

Al igual que los transformadores, los autotransformadores funcionan basados en el principio de campos magnéticos variantes en el tiempo, por lo que tampoco pueden ser utilizados en circuitos de corriente continua.

La transferencia de potencia entre dos circuitos conectados a un autotransformador ocurre a través de dos fenómenos: el acoplamiento magnético (como en un transformador común) y la conexión galvánica entre los dos circuitos (a través de la toma común). Por esta razón, un autotransformador resulta en un aparato más compacto (y a menudo más económico) que un transformador de la misma potencia y voltajes nominales. De igual manera, un transformador incrementa su capacidad de transferir potencia al ser conectado como autotransformador.

La relación de transformación de un autotransformador es la relación entre el número de vueltas del devanado completo (serie + común) y el número de vueltas del devanado común. Por ejemplo, con una toma en la mitad del devanado se puede obtener un voltaje de salida (en el devanado "común") igual a la mitad del de la fuente (o viceversa). Dependiendo de la aplicación, la porción del devanado que se utiliza sólo para el circuito de alta tensión se puede fabricar con alambre de menor calibre (puesto que requiere menos corriente) que la porción del devanado común a ambos circuitos; de esta manera la máquina resultante es aún más económica.

1.2.2 TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

Existen autotransformadores con varias tomas en el secundario y por lo tanto, con varias relaciones de transformación. De la misma manera que los transformadores, los autotransformadores también pueden equiparse con cambiadores de toma automáticos y utilizarlos en sistemas de transmisión y distribución para regular la tensión de la red eléctrica.

Con la incorporación de varias tomas, es posible obtener más de un valor para el voltaje secundario e incluso es posible obtener voltajes ligeramente mayores a los de la fuente -para ello, el devanado debe construirse para que su voltaje nominal sea ligeramente mayor que el del lado fijo o primario-. También existen autotransformadores en los que la toma secundaria se logra a través de una escobilla deslizante, permitiendo una gama continua de voltajes secundarios que van desde cero hasta el voltaje de la fuente. Este último diseño se comercializó en Estados Unidos bajo el nombre genérico de Variac y en la práctica funciona como una fuente de corriente alterna regulable en voltaje.

Autotransformador reductor

Si se aplica una tensión alterna entre los puntos A y B, y se mide la tensión de salida entre los puntos C y D, se dice que el autotransformador es reductor de tensión. (Figura 1.4)

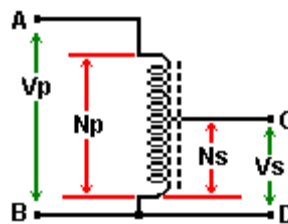


Figura 1.4 – Autotransformador reductor

Autotransformador elevador

Si se aplica una tensión alterna entre los puntos C y D, y se mide la tensión de salida entre los puntos A y B, se dice que el autotransformador es elevador de tensión. (Figura 1.5)

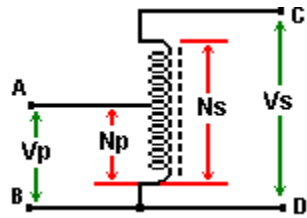


Figura 1.5 – Autotransformador Elevador

1.2.3.- APLICACIONES

Los autotransformadores se utilizan a menudo en sistemas eléctricos de potencia, para interconectar circuitos que funcionan a voltajes diferentes, pero en una relación cercana a 2:1 (por ejemplo, 400 kV / 230 kV ó 138 kV / 66 kV). En la industria, se utilizan para conectar maquinaria fabricada para tensiones nominales diferentes a la de la fuente de alimentación (por ejemplo, motores de 480 V conectados a una alimentación de 600 V). Se utilizan también para conectar aparatos, electrodomésticos y cargas menores en cualquiera de las dos alimentaciones más comunes a nivel mundial (100-130 V a 200-250 V).

1.3.- AUTOTRANSFORMADOR VARIABLE (VARIAC)

El VARIAC es un autotransformador en el cual uno de los terminales no es fijo sino que se mueve mediante un cursor. Esto permite variar la relación de transformación del autotransformador, y por lo tanto, obtener una tensión secundaria variable a voluntad. En ellos el circuito magnético de cada fase suele tener forma de toro alrededor del cual se bobina el arrollamiento que hace de primario y de secundario a la vez (Figura 1.6).

La variación de posición del terminal variable del autotransformador se hace mediante un elemento electromecánico que consta de un motor eléctrico, el cual

comandado por una tarjeta electrónica posiciona el terminal en los puntos exactos del bobinado donde se desea obtener la tensión deseada.

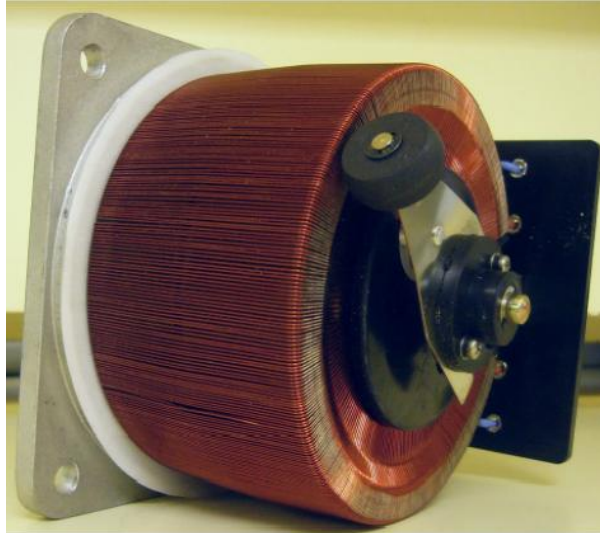


Figura 1.6 - VARIAC

1.3.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS VARIAC

- Eficiente: Transforma la potencia más eficientemente que los reóstatos
- Durable: Funciona en frío
- Capacidad de sobrecarga: Hasta 1000% en cortocircuito
- Independiente del tamaño de la carga y del factor de potencia
- Estable: No produce sonido ni inserta ruido en la línea
- Confiable

1.3.2.- APLICACIONES DEL VARIAC

Si el voltaje de línea disponible es solo la mitad del requerido por la carga, un Variac puede doblar el voltaje mientras provee un control completo del voltaje de salida, algunas de las aplicaciones son las siguientes:

APLICACIONES TÍPICAS PARA AUTOTRANSFORMADORES VARIAC	
TIPO DE CARGA	FUNCION CONTROLADA
Lámparas Incandescentes	Brillantez y Temperatura del color
Lámparas Fluorescentes	Brillantez
Dispositivos Calentadores (Calentadores Resistivos y lámparas infrarrojas)	Temperatura
Motores Motores AC Motores DC	Uso únicamente en cargas de ventilación o donde el torque es proporcional a la velocidad
Rectificadores	Uso con rectificador para control de velocidad de motores
Solenoides	Fuerza
Cargas de Prueba	Voltaje de prueba en alta y baja tensión, pruebas de cortocircuito

1.4.- ANALIZADORES DE ENERGÍA

Los analizadores de energía son instrumentos multifuncionales los cuales muestran las variables medidas en paneles digitales, son ideales para medir y visualizar las magnitudes eléctricas. (Figura 1.7)

Están dotados de displays (pantallas) con ciertos números de cifras led en variación cantidad de acuerdo al modelo de los mismos, así como también de leds indicadores de las magnitudes y exponentes de las medidas que son visualizadas, estos instrumentos pueden ser instalados en redes trifásicas equilibradas, en sistemas bifásicos o en sistemas monofásicos



Figura 1.7 – Analizador de energía

Estos tipos de analizadores pueden sustituir por si solos muchos instrumentos indicadores tradicionales, ocupando un espacio mucho más reducido, simplificando notablemente los cableados y ofreciendo prestaciones superiores en términos de fiabilidad y precisión a un precio muy interesante. Todos los parámetros pueden ser configurados desde el teclado con el instrumento ya instalado.

La precisión de las medidas eléctricas en este tipo de instrumentos es de alta fiabilidad, aun en presencia de fuertes distorsiones como la distorsión armónica, los transitorios de energía, picos altos de corriente, etc, el cual es el punto crítico de los instrumentos medidores tradicionales.

1.5.- ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

1.5.1.- CORTACIRCUITOS FUSIBLES DE BAJA TENSIÓN

Los cortacircuitos fusibles son el medio más antiguo de protección de los circuitos eléctricos y se basan en la fusión por efecto de Joule de un hilo o lámina intercalada en la línea como punto débil.

Los cortacircuitos fusibles o simplemente fusibles son de formas y tamaños muy diferentes según sea la intensidad para la que deben fundirse, la tensión de los circuitos donde se empleen y el lugar donde se coloquen. (Figura 1.8)

El conductor fusible tiene sección circular cuando la corriente que controla es pequeña, o está formado por láminas si la corriente es grande. En ambos casos el material de que están formados es siempre un metal o aleación de bajo punto de fusión a base de plomo, estaño, zinc, etc; fundamentalmente encontraremos dos tipos de fusibles en las instalaciones de baja tensión:

- gl (fusible de empleo general)
- aM (fusible de acompañamiento de Motor)



Figura 1.8 – Fusibles

Los fusibles de tipo gl se utilizan en la protección de líneas, estando diseñada su curva de fusión "intensidad-tiempo" para una respuesta lenta en las sobrecargas, y rápida frente a los cortocircuitos.

Los fusibles de tipo aM, especialmente diseñados para la protección de motores, tienen una respuesta extremadamente lenta frente a las sobrecargas, y rápida frente

a los cortocircuitos. Las intensidades de hasta diez veces la nominal (10 In) deben ser desconectadas por los aparatos de protección propios del motor, mientras que las intensidades superiores deberán ser interrumpidas por los fusibles aM.

La intensidad nominal de un fusible, así como su poder de corte, son las dos características que definen a un fusible; la intensidad nominal es la intensidad normal de funcionamiento para la cual el fusible ha sido proyectado, y el poder de corte es la intensidad máxima de cortocircuito capaz de poder ser interrumpida por el fusible. Para una misma intensidad nominal, el tamaño de un fusible depende del poder de corte para el que ha sido diseñado, normalmente comprendido entre 6.000 y 100.000 A.

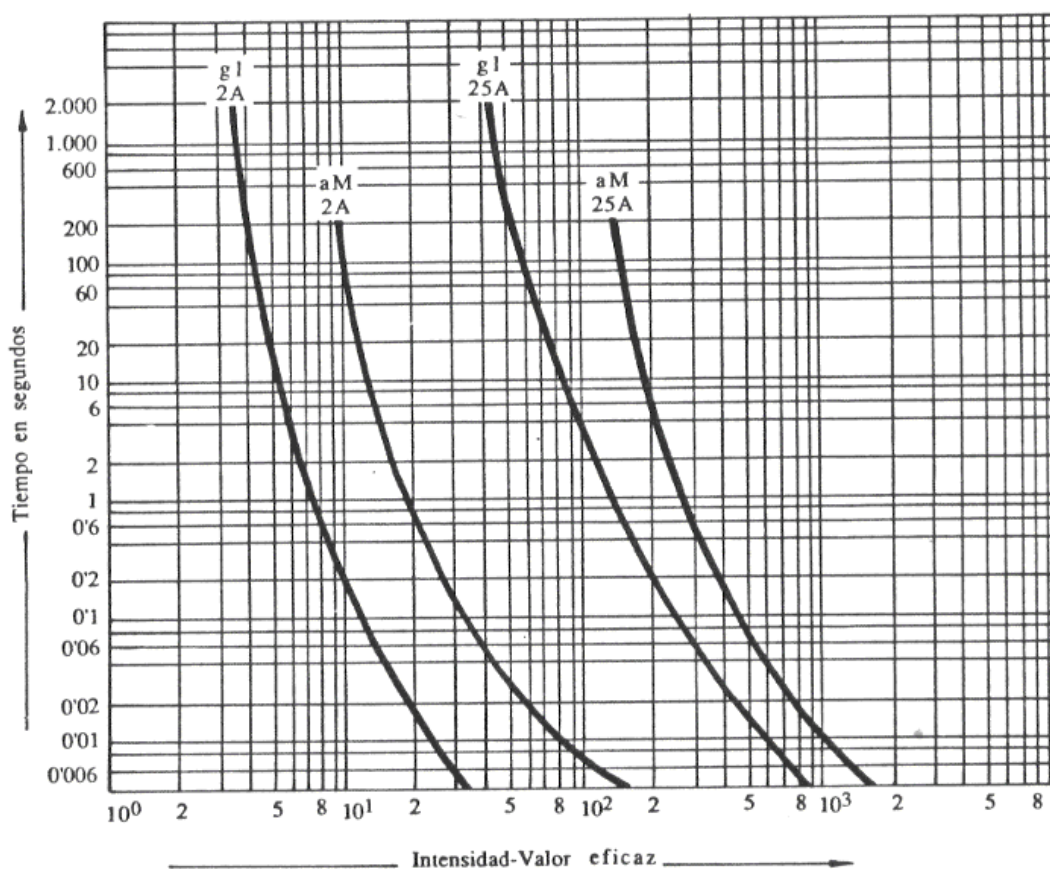


Figura 1.9 – Curva característica de un fusible

Un gran inconveniente de los fusibles es la imprecisión que tiene su curva característica de fusión frente a otros dispositivos que cumplen el mismo fin. (Figura 1.9), tales como los interruptores automáticos. Esto equivale a decir que la banda de dispersión de los fusibles es mayor que la de los interruptores automáticos, pese a que el fabricante solamente facilita la curva media de los fusibles.

1.5.2.-INTERRUPTORES MAGNETO-TÉRMICOS

Generalmente, los interruptores automáticos combinan varios de los sistemas de protección descritos, en un solo aparato. Los más utilizados son los magneto-térmicos. (Figura 1.10)



Figura 1.10 – Interruptor magneto-térmico

Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético; cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica.

En la figura 1.11 se puede apreciar la curva de desconexión de un magneto-térmico, en la que se aprecia una zona A, claramente térmica, una zona B que corresponde a la reacción magnética, y la zona de solape C, en donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o térmico indistintamente.

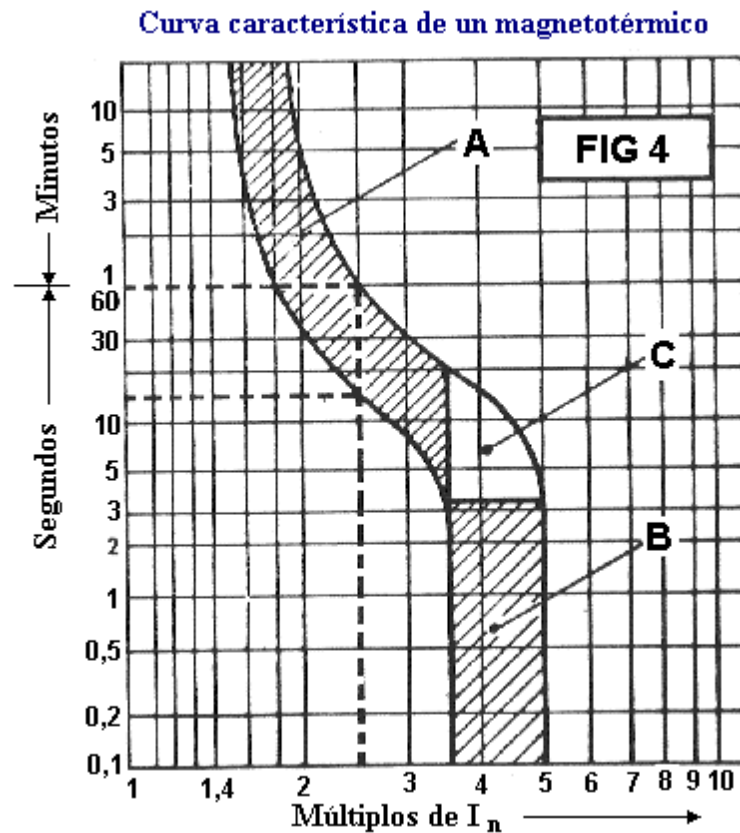


Figura 1.11 – Curva de desconexión interruptor magneto-térmico

En la figura 1.11 que se ilustra la curva característica de los magneto-térmicos, se concede el eje vertical a la escala de tiempos, graduada logarítmicamente, y el eje horizontal a la escala de intensidades, graduada también a escala logarítmica, y en múltiplos de la intensidad nominal; así, por ejemplo, un punto $3 I_n$ corresponderá a 30A, si el aparato es de 10A, o bien a 75A, si el aparato es de 25A, etc.

Como en casos anteriores, la zona de tolerancia delimita las dos zonas características de "no desconexión" y de "segura desconexión". Así, para una intensidad $2,5 I_n$ podría suceder la desconexión entre los 15 y los 60 seg, siendo correcto cualquier tiempo intermedio de disparo.

Mecánicamente, podemos decir que estos interruptores disponen de desconexión libre, es decir, que cuando se produce una desconexión, ya sea por sobrecarga o cortocircuito, el aparato desconecta aunque se sujete la manecilla de conexión.

Para los magneto-térmicos bipolares o tripolares, podemos decir también que cuando una fase es afectada en la desconexión, ésta se efectúa simultáneamente en todos los polos mediante transmisión interna, independiente de la pieza de unión entre manecillas (Figura 1.12)

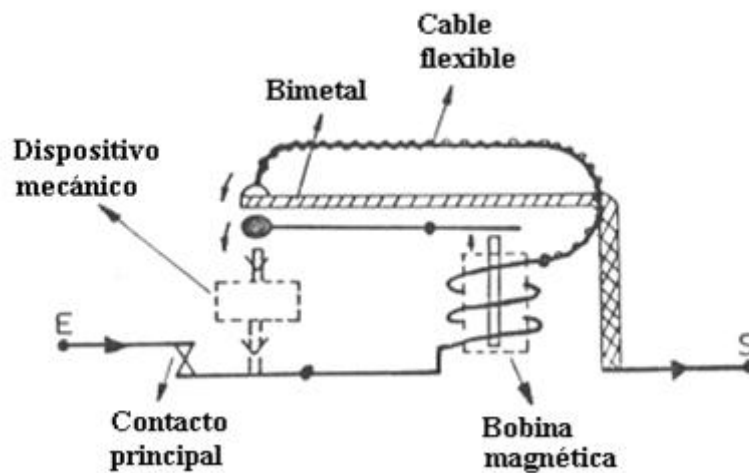


Figura 1.12 – Descripción de un magneto-térmico

1.5.2.1 Aplicaciones De Los Magneto-térmicos

Si comparamos los fusibles con los magneto-térmicos, veremos cómo estos últimos presentan una mayor seguridad y prestaciones ya que interrumpen circuitos con más

rapidez y capacidad de ruptura que los fusibles normales. Después, a la hora de restablecer el circuito, no se precisa ningún material ni persona experta, basta presionar un botón o mover un resorte que se halla perfectamente aislado y visible.

Por contra, un fusible requiere el gasto de compra de un cartucho nuevo, su colocación en la base, sometida a tensión y una persona lo bastante capacitada para efectuar estas operaciones. Estas molestias ocasionadas por la fusión de un fusible, llevan en muchas ocasiones a colocar cartuchos inadecuados, por personas inexpertas, ignorando el peligro que esto puede ocasionar a las personas y aparatos que con él van asociados.

Cuando se trata de magneto-térmicos tripolares, si una fase sufre perturbaciones, al disparar su polo arrastra a los otros dos y desconecta completamente el sistema. Si este circuito se hubiera protegido sólo con tres fusibles, se fundiría el correspondiente a la fase perjudicada y dejaría a todo el sistema en marcha con sólo dos fases, con los consiguientes peligros de averías que tal estado acarrea en determinados circuitos.

Con todo lo dicho anteriormente no se pretende descalificar los fusibles, pero sí podemos asegurar que su utilización se vio notablemente reducida después de la aprobación, en 1973, del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión 1, el cual regulaba la utilización de estos aparatos. La fabricación masiva de los magneto-térmicos hace que su actual precio sea realmente sugestivo, por lo que muchos proyectistas no tienen reparo en colocarlos donde hasta no hace mucho colocaban fusibles.

Nota 1 Referencia Bibliográfica

http://sie.fer.es/esp/Asociaciones/Servicios/AIER_Electricidad_Renovables_Telecomunicaciones/Decreto_24131973_Reglamento_Electrotecnico_Baja_Tension_Vigente_septiembre_2003/Reglamento_general_electrotecnico_Baja_Tension/Articulos_Reglamento_Electrotecnico_Baja_Tension/webDoc_3636.htm

Naturalmente los fusibles son imprescindibles en cuadros generales de protección y en todos aquellos casos en que se desee una protección adicional; otra aplicación muy interesante de los magnetotérmicos la tenemos en la posibilidad de su desconexión a distancia, ya que algunos modelos se fabrican con la particularidad de poder acoplarles una bobina llamada de emisión (accionada con la aparición de una tensión) o de mínima tensión (accionada cuando la tensión desaparece), encargada de accionar el resorte de desconexión del magnetotérmico.

1.5.3.- INTERRUPTORES DE POTENCIA CON UNIDADES DE DISPARO (RELÉS) DE ESTADO SÓLIDO



Figura 1.13 – Rele de estado sólido

Este conjunto se usa cuando los niveles de corriente no permiten el uso de dispositivos de acción directa. El conjunto requiere elementos de muestreo (transformadores de corriente) y elementos de control para el disparo del interruptor. Generalmente se emplean en los interruptores principales de las subestaciones o en interruptores para alimentadores de importancia. Los relés de estado sólido (Figura 1.13) presentan bastante exactitud en los umbrales de disparo y tienen curvas de

operación ajustables según la necesidad (Anexo 9). Generalmente estas unidades de disparo incluyen las siguientes funciones:

- Disparo instantáneo: el interruptor opera inmediatamente al ocurrir la falla. Se utiliza para zonas del circuito donde los cortocircuitos deben despejarse en forma rápida para evitar daños.
- Curva de retardo largo (L.T.D.): se utiliza para limitar las sobrecargas en el orden de segundos a minutos.
- Curva de retardo corto (S.T.D.): se provoca un retardo intencional de pocos ciclos de corriente con la finalidad de lograr coordinación con protecciones aguas abajo.
- Falla a tierra: se fija el umbral de corriente y el tiempo de retardo para la operación del interruptor en caso de cortocircuitos monofásicos. Para censar las corrientes de falla a tierra generalmente se colocan los transformadores de corriente en conexión residual que detectan el flujo de corriente por tierra (el relé censa la suma fasorial de las corrientes de fases más la del neutro por medio de la conexión en estrella de los transformadores de corriente. En condiciones normales la suma fasorial es cero). Esta función debe tener un ajuste en corriente y tiempo coordinado con protecciones falla a tierra aguas abajo.

Los tiempos de operación, de estos interruptores de potencia en bajo voltaje son esencialmente instantáneos una vez iniciada su operación, por lo tanto, para la selección de estos dispositivos solo es necesario realizar un cálculo de corriente de cortocircuito, la que existe $\frac{1}{2}$ ciclo después de producirse la falla, ya que la máxima corriente momentánea que debe soportar el interruptor y la que debe ser capaz de interrumpir, son en este caso prácticamente iguales.

1.6.- ELEMENTOS DE MANIOBRA

1.6.1.- INTERRUPTORES

Sirve para realizar operaciones de apertura o cierre de un circuito eléctrico. Lo podemos comparar con la función que realiza el grifo en el circuito hidráulico. Aunque su apariencia es muy variada, todos los interruptores tienen el mismo principio de funcionamiento: consisten en un mecanismo con dos partes conductoras (polos) y una pieza móvil de material conductor (contacto) que, al ser accionada, cambia de posición. (Figura 1.14 – 1.15)

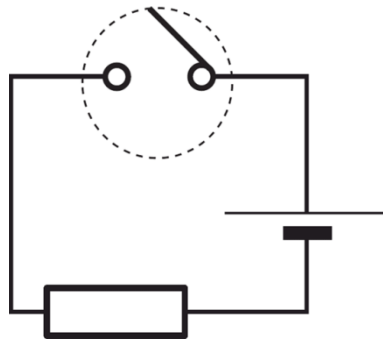


Figura 1.14 - Interruptor abierto no permite el paso de la corriente

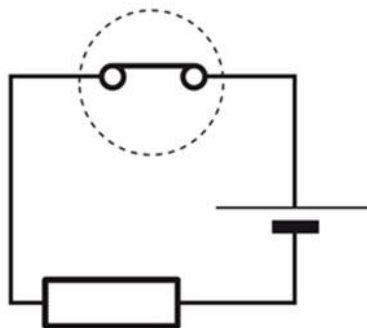


Figura 1.15 - Interruptor cerrado permite el paso de la corriente

1.6.2.- PULSADORES.

Se utiliza cuando queremos que un circuito esté accionado solamente un breve período de tiempo. Su especial característica es que solamente cierra el circuito cuando se presiona sobre él; el funcionamiento es el mismo que el del interruptor.

Los hay de dos tipos:

Normalmente abierto. En su estado de reposo no deja pasar la corriente eléctrica. Lo hace cuando pulsamos. (Figura 1.16)



Figura 1.16 – Pulsador NA

Normalmente cerrado. En su posición de reposo permite el paso de la corriente eléctrica. Se interrumpe el paso cuando actuamos sobre él. (Figura 1.17)

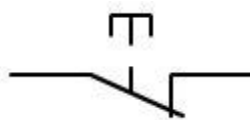


Figura 1.17 – Pulsador NC

1.6.3.- FINALES DE CARRERA.

También conocido como "interruptor de límite" o limit switch, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento

móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. (Figura 1.18) Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo.



Figura 1.18 – Final de carrera

1.7.- INTERFACE HOMBRE MÁQUINA

La sigla HMI es la abreviación en ingles de Interfaz Hombre Maquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's

(Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. (Figura 1.19)

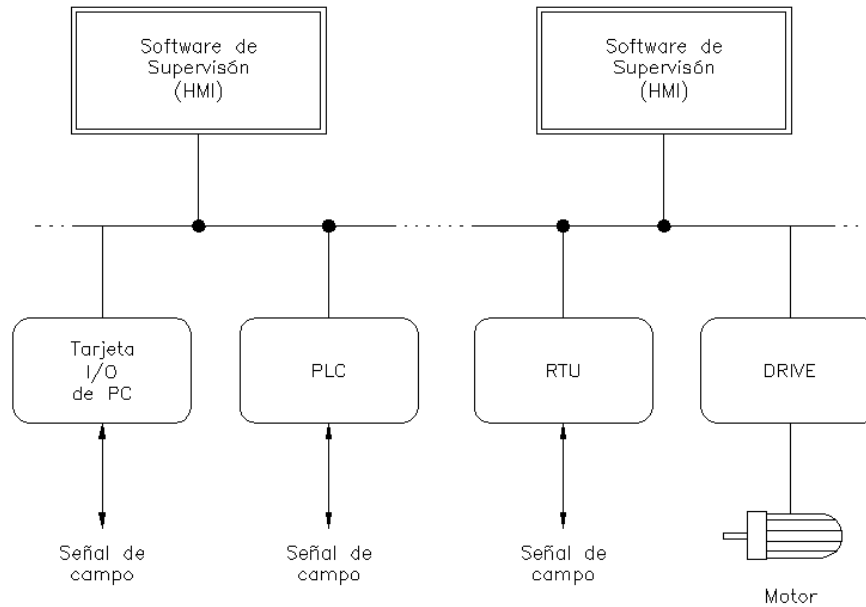


Figura 1.19 – Estructura del HMI

1.7.1.- TIPOS DE HMI

- Desarrollos a medida. Se desarrollan en un entorno de programación gráfica como: VC++, Visual Basic, Delphi, etc.
- Paquetes enlatados Interfaz Hombre Máquina. Son paquetes de software que contemplan la mayoría de las funciones estándares de los sistemas SCADA. Ejemplos son FIX, WinCC, Wonderware, etc.

1.7.2.- FUNCIONES DE UN SOFTWARE HMI

- **Monitoreo.** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- **Supervisión.** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- **Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.
- **Control.** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.
- **Históricos.** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

1.8.- NORMAS DE SEGURIDAD Y MANEJO

Para crear un ambiente de trabajo seguro se requieren prácticas de seguridad en el trabajo y la identificación de peligros comunes. Los siguientes procedimientos brindan una forma efectiva de reducir accidentes relacionados con la electricidad:

- Use procedimientos de cierre/etiquetado antes de comenzar a trabajar en circuitos u equipos eléctricos



Figura 1.20 – Aviso de seguridad de riesgo eléctrico

- Evite trabajar cerca de fuentes eléctricas cuando usted, sus alrededores, sus herramientas o su ropa estén mojadas
- Suspenda cualquier trabajo de electricidad al aire libre cuando comience a llover
- Ventile el área de trabajo para reducir peligros atmosféricos como polvo, vapores inflamables o exceso de oxígeno
- Mantenga un ambiente limpio y ordenado, libre de peligros

- Disponga ordenadamente las herramientas y equipos, colocando todo en su debido lugar después de cada uso
- Mantenga el área de trabajo libre de trapos, basura y otros escombros o desechos
- Limpie puntualmente los líquidos que se hayan derramado y mantenga los pisos completamente secos
- Use cables que son a prueba de agua al aire libre
- Asegúrese de que las tres patillas del enchufe estén intactas en todos los cables de extensión
- Proteja todos los cables eléctricos cuando los utilice en o alrededor de los pasillos
- Evite usar cables eléctricos cerca de calor, agua y materiales inflamables o explosivos
- Nunca use un cable de extensión con el aislante dañado
- Inspeccione los cables eléctricos e interruptores para determinar si tienen cortes, el aislante desgastado, terminales expuestos y conexiones sueltas
- Asegúrese de que las herramientas estén limpias, secas y libres de partículas grasosas o depósitos de carbón
- No cargue, almacene o cuelgue las herramientas eléctricas por el cable

- No sobrecargue los enchufes de las paredes o los cables de extensión
- Nunca quite la pata de tierra del enchufe de tres patas para colocarla en un Enchufe de pared para dos patas
- Use un buen par de zapatos de seguridad resistentes al aceite con suelas y Tacones antiresbalantes
- No use ropa que le restrinja el movimiento
- Use cascos protectores clase B cuando trabaje cerca de cables eléctricos elevados
- Evite los cinturones con hebillas grandes de metal

II.- CAPITULO: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

2.1.- ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DE LA FUENTE

El propósito de este proyecto es diseñar e implementar una fuente fija variable de voltaje que permita la obtención de voltajes de 0 – 440 V con una capacidad de 5 Kva en todo el rango de voltajes, con el objetivo de realizar varios tipos de pruebas eléctricas tales como: energización en vacío, variación de rangos de voltaje respecto al nominal, obtención de corrientes altas para la verificación de protecciones, lo que no es posible con la fuente actual de la empresa INEDYC por la corta capacidad de la misma, llegando a actuar frecuentemente la protección de sobrecorriente principal del equipo.

Además este proyecto incluirá un sistema de mando del voltaje y monitoreo de variables eléctricas de forma local por medio de un panel de control y un analizador de energía ubicados localmente en la fuente, así como también incluirá el control y monitoreo remoto de la fuente para lo cual se dispondrá de una interfaz hombre máquina con el fin de realizar las pruebas eléctricas que requieran niveles altos de seguridad guardando cierta distancia del objeto de prueba y de la fuente

Por lo tanto la fuente variable de voltaje debe cumplir con las siguientes especificaciones: Tener configuración monofásica con alimentación de 220 VAC; proporcionar una capacidad en potencia aparente de 5 KVA; proporcionar voltaje de salida variable desde: 0 V hasta 440 V; disponer de un transformador elevador con el objetivo de duplicar la tensión y mantener aislamiento por cuestiones de seguridad entre el equipo de prueba y el operador; proporcionar de un sistema eficiente de variación de voltaje con un mando electromecánico que lo ejecute de forma automática; proveer de protecciones eléctricas de sobrecorriente; proveer de la instrumentación necesaria para la medición de potencia, voltaje y corriente; proveer

de un interruptor principal para energización de la misma; proveer de un panel para mando local; proveer de una interface para mando remoto de voltaje; proveer de un paro de emergencia en casos de seguridad.

2.2.- DISEÑO DE LA FUENTE

Se pretende realizar pruebas de transformadores en cortocircuito con los siguientes parámetros:

Máxima potencia del transformador monofásico donde se efectuarán la pruebas

Potencia aparente:

$$S = 100\text{KVA}$$

Voltajes:

$$V_{\text{alta}}(\text{linea} - \text{neutro}) = 7620\text{V}$$

$$V_{\text{baja}} = 240\text{V} / 120\text{V}$$

Mínima potencia del transformador donde se efectuarán la pruebas:

Potencia aparente:

$$S = 25\text{KVA}$$

Voltajes:

$$V_{\text{alta}}(\text{linea} - \text{neutro}) = 7620\text{V}$$

$$V_{\text{baja}} = 240 / 120\text{V}$$

Para el diseño se toma en cuenta el transformador con mayor potencia a probar, entonces el cálculo de la corriente de la fuente se efectúa de acuerdo a los parámetros del transformador de 100KVA

$$I_n = \frac{S}{V_{ln}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

V_{ln} = Voltaje Línea – Neutro en el lado de alta del transformador ya que la prueba de cortocircuito se realiza por el lado alta tensión

S = Potencia Aparente del transformador

I_n = Corriente nominal del transformador

$$I_n = \frac{100000VA}{7620V}$$

$$I_n = 13,12Amp$$

Por lo tanto la fuente es diseñada para una corriente de 13,12 Amp

Para dimensionar el voltaje requerido por la fuente se usa como referencia el voltaje de cortocircuito del transformador:

$$V_{cortocircuito} = Z\% \times V_{ln} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde la impedancia promedio de un transformador es de:

$$Z\% = 4\% \underline{2}$$

$$V_{cortocircuito} = 0,04 \times 7620V$$

$$V_{cortocircuito} = 304,8V$$

2

Norma INCOTEC NTE 818 y NTE 819

Este voltaje es el requerido por la fuente para efectuar la prueba de cortocircuito de un transformador y por lo tanto es el voltaje de diseño de la fuente; los datos de diseño de la fuente en corriente y voltaje de acuerdo a los cálculos efectuados son los siguientes:

$$I_{fuente} = 13,12Amp$$

$$V_{fuente} = 304,8V$$

Con los cuales por criterios de normalización escogemos los siguientes:

$$I_{fuente} = 14Amp$$

$$V_{fuente} = 440V$$

La Potencia de la fuente se define de la siguiente manera:

$$S_{fuente} = V_{fuente} \times I_{fuente} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Para pruebas en transformadores de 100 KVA con un factor de cargabilidad del 80% a un voltaje de 440V; para definir el factor de cargabilidad del 80% del transformador se calcula con el 80% de la corriente nominal, por lo tanto la corriente de la fuente queda expresada de la siguiente manera:

$$I_{fuente} = I \times Fc \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

Fc = Factor de cargabilidad

$$I_{fuente} = I \times 0.8$$

$$I_{fuente} = 14Amp \times 0.8$$

$$I_{fuente} = 11,2 \text{ Amp}$$

$$S = 440V \times 11,2 \text{ Amp}$$

$$S = 4928 \text{ KVA}$$

Por criterios de normalización:

$$S_{fuente} = 5 \text{ KVA}$$

2.3.- SELECCIÓN DEL AUTOTRANSFORMADOR

En la selección del autotransformador partimos del diagrama de conexión del autotransformador hacia el transformador de aislamiento (Figura 2.1)

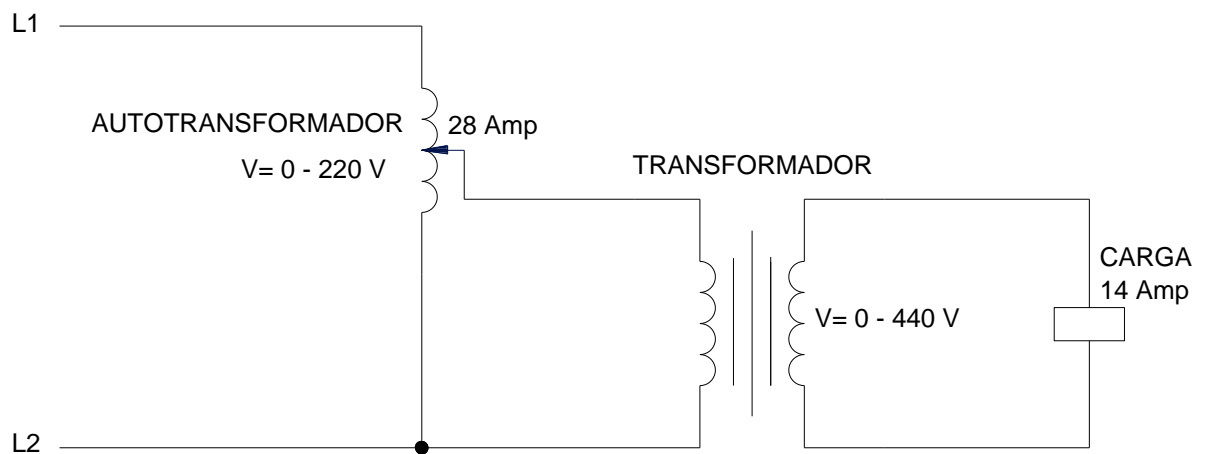


Figura 2.1 – Diagrama de conexión Autotransformador - Transformador

El voltaje requerido en la carga es de 0 a 440 V, el disponible en la red eléctrica es de 220 V por lo tanto de primera instancia se requiere un transformador con relación 1:2 que eleve la tensión de 220 V a 440 V y un autotransformador para conexión a 220V, por lo tanto:

$$V_{\text{autotransformador}} = 0 - 220V$$

La corriente calculada máxima en la carga es de 14 Amp es decir la corriente en el bobinado secundario del transformador, al usar un transformador con relación de transformación 1:2 calculamos la corriente en el primario la cual será la corriente del autotransformador utilizando la ecuación 1.3

$$\frac{N1}{N2} = -\frac{i2}{i1} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

$$i1 = \frac{2 \times 14 \text{ Amp}}{1}$$

$$i1 = 28 \text{ Amp}$$

Por lo tanto:

$$I_{\text{autotransformador}} = 28 \text{ Amp}$$

El autotransformador seleccionado de acuerdo a los cálculos realizados es:

Ventrada: 220V

Vsalida: 0 - 240 V

Marca: POWERSTAT

Modelo: 1256D

Corriente: 28 Amp

2.4.- DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

Los requerimientos del transformador de aislamiento son los siguientes:

Configuración: Monofásica

Voltajes: 220 / 440 V

Corrientes: 28 / 14 Amp

Por lo tanto el diseño se lo realiza de la siguiente manera:

Sección del núcleo del transformador 3

$$S_n = 1,1\sqrt{P_t} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Donde:

$\sqrt{P_t}$ = Potencia transformada – calculada en la sección 2.2

$$S_n = 1,1\sqrt{5000}$$

$$S_n = 77\text{cm}^2$$

Por lo tanto el núcleo requiere 77cm^2 de sección distribuyéndolo de la siguiente manera:

$$\text{Seccion} - \text{nucleo} = 11\text{cm} \times 7\text{cm} = 77\text{cm}^2$$

3

Calculo Industrial de Máquinas Eléctricas – Juan Corrales Martín

Para calcular el número de espiras necesarios en alta y baja partimos de la ecuación:

$$\text{voltios/espira} = 4,44 \times \beta \times s \times f \times 10^{-8} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

β = Inducción magnética = 15000 gauss 4

s = sección del núcleo = 77cm^2

f = frecuencia = 60 Hz

Por lo tanto

$$\text{voltios/espira} = 3,07$$

El número de espiras en el bobinado primario es:

$$N_p = \frac{220V}{3,07} = 71,5 \text{espiras}$$

$N_p = 72$ espiras

Se calcula nuevamente los voltios por espira:

$$\text{voltios/espira} = \frac{220\text{voltios}}{72\text{espiras}} = 3,055$$

El número de espiras en el bobinado secundario es:

$$N_s = \frac{440V}{3,055} = 144 \text{espiras}$$

4

Datasheet PowerCore C 120-27 curva para 60 Hz

La corriente en el bobinado primario para dimensionamiento del conductor es:

$$I_p = \frac{5000VA}{220V}$$

$$I_p = 22,72Amp$$

La sección del bobinado primario se calcula mediante la ecuación:

$$S_{cp} = \frac{I}{\eta} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde la densidad de corriente para transformadores secos es:

$$\eta = 2,5 \frac{Amp}{mm^2} \quad \underline{5}$$

$$S_{cp} = \frac{22,7Amp}{2,5 \frac{Amp}{mm^2}}$$

$$S_{cp} = 9,08 \text{ mm}^2$$

Conductor: 6 AWG

La corriente en el bobinado secundario para dimensionamiento del conductor es:

$$I_s = \frac{5000VA}{440V}$$

$$I_s = 11,36Amp$$

5

Calculo Industrial de Máquinas Eléctricas – Juan Corrales Martín

La sección del bobinado secundario es:

$$S_{cs} = \frac{11,36 \text{ Amp}}{2,5 \text{ Amp/mm}^2}$$

$$S_{cs} = 4,54 \text{ mm}^2$$

Conductor: 10 AWG

Con estos datos calculados se procede a la construcción del transformador

2.5.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VOLTAJE VARIABLE

Para el sistema de variación de voltaje se implementa un motor de 12 V de corriente continua el cual accionado por dos relés conectados de acuerdo al siguiente diagrama (Figura 2.2) permite la inversión de giro:

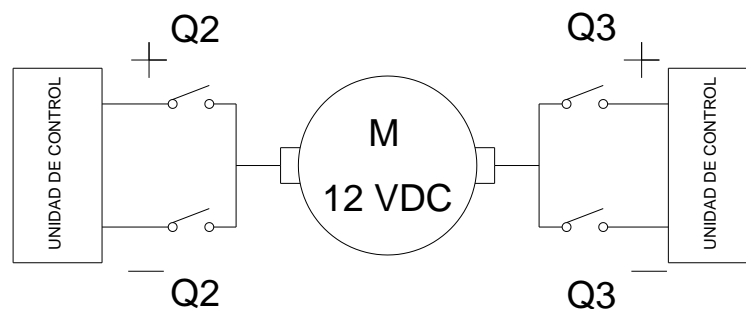


Figura 2.2.- Diagrama de conexión motor DC sistema de voltaje variable

Los contactores Q2 y Q3 son accionados por la tarjeta de control permitiendo así el desplazamiento de la escobilla del VARIAC para aumentar y disminuir el voltaje.

Al actuar Q2+ y Q3- el motor gira para aumentar voltaje

Al actuar Q2- y Q3+ el motor gira para disminuir voltaje

El sistema de variación de voltaje también dispone de dos velocidades catalogadas como: Rampa Alta, y Rampa Media; esto se logra mediante dos tipos de alimentación de voltaje al motor:

5Vdc: Rampa media

12Vdc: Rampa Alta

2.6.- DETERMINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

La fuente variable de voltaje debe disponer de tres tipos de protecciones eléctricas:

1. Un fusible de acción rápida que estará provisto en el VARIAC
2. Un relé de estado sólido en el que se puede calibrar tanto la corriente de actuación como el tiempo de respuesta, esto permite proteger de mejor manera al VARIAC; Sus características son:

Marca: ABB

Modelo: ECS60BG (Figura 3.14)

La señal de corriente para el relé de estado sólido se la toma de un transformador de corriente:

TC1: 50/5 Amp

Marca: ELCONTROL (Figura 3.8)

3. Programada en el módulo de control, el cual realiza una comparación de la medida de salida de corriente a la carga con el Set Point, permitiendo limitar los valores de corriente de acuerdo a la prueba que se solicita; el transformador usado para la medición de corriente en la unidad de control es de relación 50/5 Amp

2.7.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA ANÁLISIS DE ENERGÍA

Las variables a ser medidas por el analizador de energía son las siguientes:

Voltaje: 0 – 440 VAC

Corriente: 0 – 28 AC

Frecuencia: 60 Hz

Por lo tanto se selecciona el analizador marca VIP396 (Figura 2.3) el cual cuenta con las siguientes características:

Voltaje de alimentación: 220 VAC

Entrada voltimétrica: hasta 750 V

Entrada amperimétrica: TC = 50/5 Amp

Frecuencia: 35 – 400 Hz



Figura 2.3 – Analizador de energía VIP396

Las señales de corriente y voltaje necesarias para el funcionamiento del analizador de energía son las siguientes:

Alimentación: 220 V tomado de la línea principal por medio de dos fusibles F5 y F6 de características 1A, 500V

Corriente: Mediante un transformador de corriente TC2 de las siguientes características:

Relación de transformación: 50/5A

Marca ELCONTROL

Modelo MCT3

2.8.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA CONTROL LOCAL Y REMOTO

Para realizar el control local y remoto de la fuente variable de voltaje se definen los siguientes requisitos:

Se requiere una unidad de control que realice el control y monitoreo local y remoto mediante la adquisición de señales digitales y analógicas, así como la visualización y comunicación hacia la PC de las mismas, las características específicas de la unidad de control deberán ser las siguientes

Voltaje de alimentación:

+12 VDC – Gnd

+5 VDC – Gnd

Por lo que se requiere una fuente de Alimentación de 12 y 5 VDC/ 5Amp

Marca: Mean Well

Modelo: RD-50A

Entradas analógicas:

Una entrada analógica para medición de voltaje (Monitoreo y Control)

Un transformador de potencial 240/24 VAC

Una entrada para medición de corriente (Monitoreo y Control)

Un transformador de corriente TC1 50/5A

Entradas Digitales:

Se requieren cuatro entradas digitales de 12Vdc:

Parada de emergencia (Control)

Señal de sobrecorriente (Control)

Final de carrera Máximo voltaje (Control)

Final de carrera cero (Control)

Salidas Digitales:

Se requieren siete salidas digitales:

1. Variación de la velocidad del motor del VARIAC:

5Vdc Contacto NO

12 VDC Contacto NC

2. Q2+ control del motor sentido positivo

3. Q3- control del motor sentido positivo

4. Q2- control del motor sentido negativo
5. Q3+ control del motor sentido negativo
6. Contactor principal de entrada K1:
Características del Contactor: 2Px50A

7. Contactor Principal de salida K2
Características del Contactor: 2Px50A

Se ha seleccionado la siguiente unidad de control que cumple con las características descritas anteriormente:

Modelo: AVCPS – 01

2.8.1.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO LOCAL

El monitoreo local se lo hace a través del modulo de control AVCPS – 01, el cual es conectado al display descrito a continuación:

HMI con display LCD 2x16
6 botones para programación y control
Marca: SMELEKTRONIK

2.8.2.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA MANDO LOCAL

El mando local se lo hace a través del modulo de control AVCPS – 01, conectado al display HMI donde se usan los 6 botones de programación y control para efectuar el mando de la fuente

2.8.3.- SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA MANDO Y MONITOREO REMOTO

El mando y monitoreo remoto es comandado por el modulo de control AVCPS – 01.

Los requisitos son los siguientes:

La comunicación entre el equipo y el computador se lo debe hacer empleando el conector RJ-45 que dispone la unidad de control de la fuente variable

Se requiere de un computador con entrada de conector de red

Se requiere un software que permita realizar la comunicación con interface HMI

2.8.3.1.- Selección del hardware

El hardware necesario para el mando y monitoreo remoto es:

Modulo de control AVCPS – 01

Computadora con interface Ethernet

Cable de Ethernet configuración Cruzada

Conector RJ-45

2.8.3.2.- Selección del software

El software necesario para el mando y monitoreo es:

Software Microsoft Visual Basic 2010

Software Tibbo

Programa VARIAC

2.8.3.3.- Selección de la interfaz de comunicación

La interface de comunicación se encuentra instalada dentro del Módulo de control AVCPS – 01 el cual transforma las señales de voltaje y Corriente, convirtiéndolas en datos para ser enviados por cable de comunicación hacia la PC por medio del protocolo TCP/IP, para posteriormente ser adquiridos por Visual Basic y desplegados en la pantalla para su monitoreo.

2.8.3.4.- Estructura del programa del controlador con HMI

El Programa del controlador se compone de una rutina de programación (Menú) y tres modos de trabajo como se muestra a continuación en el siguiente diagrama de flujo (Figura 2.4)



Figura 2.4 – Diagrama de flujo programa HMI

Menú:

Es el programa de configuración primario, sirve para escoger el modo de trabajo, que puede ser modo manual, automático o remoto.

Modo de trabajo manual:

En este modo de trabajo se escoge directamente el voltaje al que debe llegar el variac desde cero hasta el valor deseado mediante el teclado del HMI pudiendo ser modificado en cualquier momento según se necesite, la visualización del voltaje esta a cargo del LCD del HMI.

Modo de trabajo automático:

Para el modo de trabajo automático como se puede ver en el diagrama de flujo anterior se programa el tipo de medición de voltaje, la rampa de subida del voltaje y el voltaje deseado desde el teclado del HMI. El variac llega hasta el voltaje programado automáticamente, después toma las características del modo de trabajo manual pudiendo ser modificado en cualquier momento según sea la necesidad, en este modo de trabajo así como en el modo manual la visualización del voltaje esta a cargo del LCD del HMI.

Modo de trabajo remoto:

Se lo habilita en el menú y funciona de tal forma que el mando queda a cargo del computador siendo posible el control del voltaje la visualización del mismo y la programación del equipo mediante un Programa de Visual Basic, esto se logra gracias al módulo de comunicación TIBBO el cual convierte la comunicación serial del controlador a Ethernet.

III.- CAPITULO: IMPLEMENTACION DE LA FUENTE

3.1.- MONTAJE DEL VARIAC

En este capítulo nos referiremos al plano del diagrama de fuerza de la fuente variable (Figura 3.1) donde se indica la forma de conexión de los diferentes elementos a ser montados:

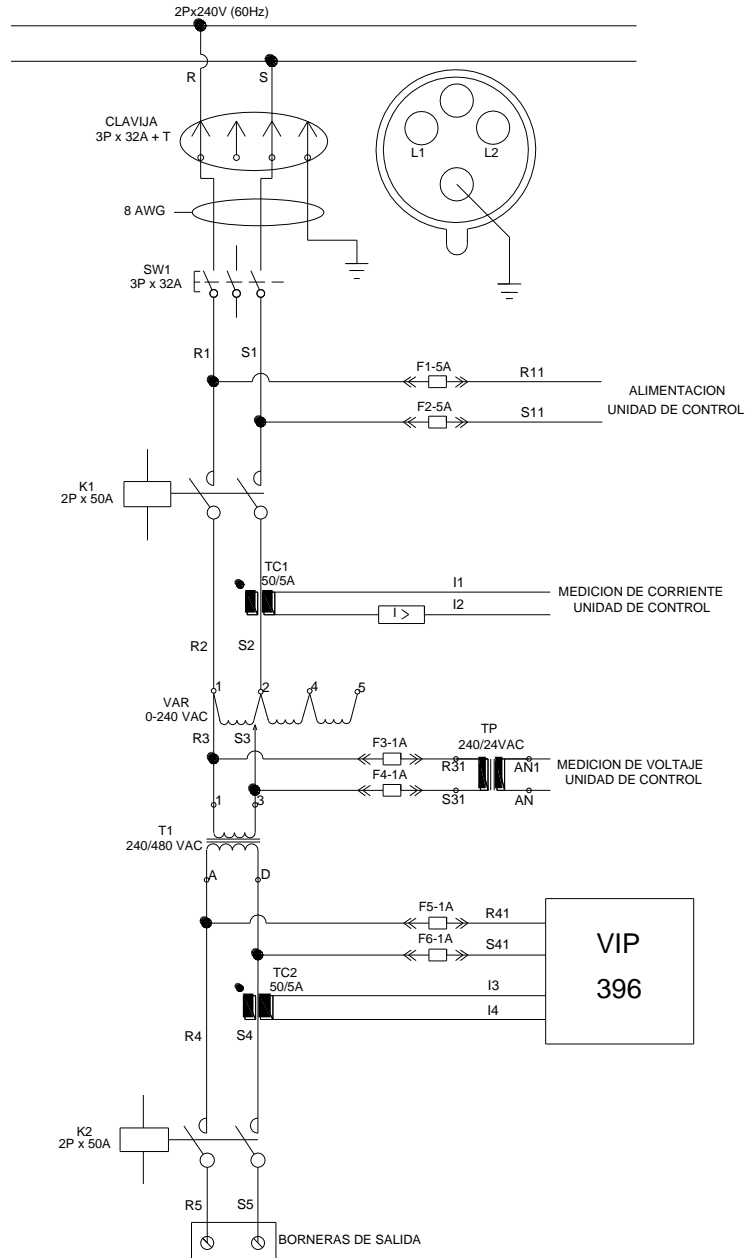


Figura 3.1 – Diagrama de fuerza fuente variable de voltaje

Como se puede observar en el plano la forma de conexión del VARIAC es a continuación del Contactor principal de entrada K1, una de las líneas de potencia que sale de K1 hacia el VARIAC pasa por medio de un transformador de Corriente TC1.

El Contactor K1 de entrada protege al VARIAC sus especificaciones son las siguientes:

Contactor 2Px50A / 220 VAC

En el VARIAC se usa los terminales 1 y 2 para la conexión lo cual corresponde a la entrada de: 240 V 60 Hz; la conexión se lo hace desde los cables marcados como R2 y S2 los cuales vienen de la salida del Contactor K1 al cual los mismos ingresan como R1 y S1; Los cables de salida del VARIAC se conectan a los terminales 1 y 3, que corresponden a la salida variable de 0 a 280 V, esta salida se la nombra como R3 y S3 respectivamente; En la figura 3.2 se explica de manera gráfica el montaje del VARIAC:

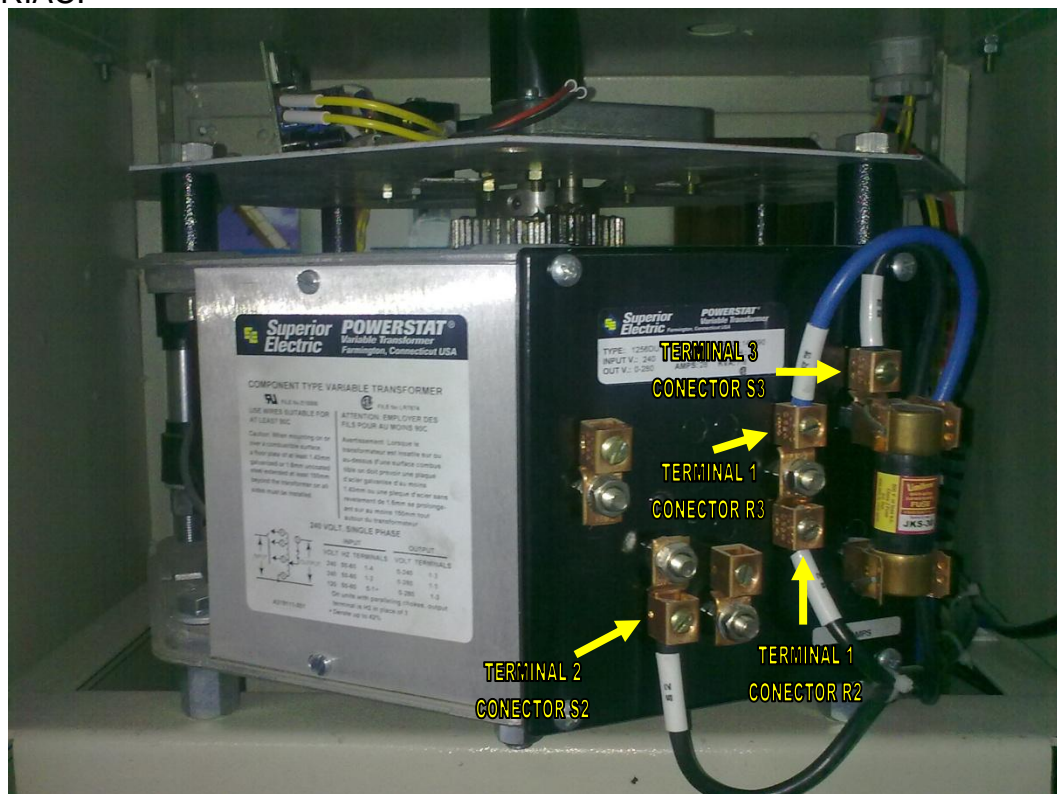


Figura 3.2 – Montaje del VARIAC

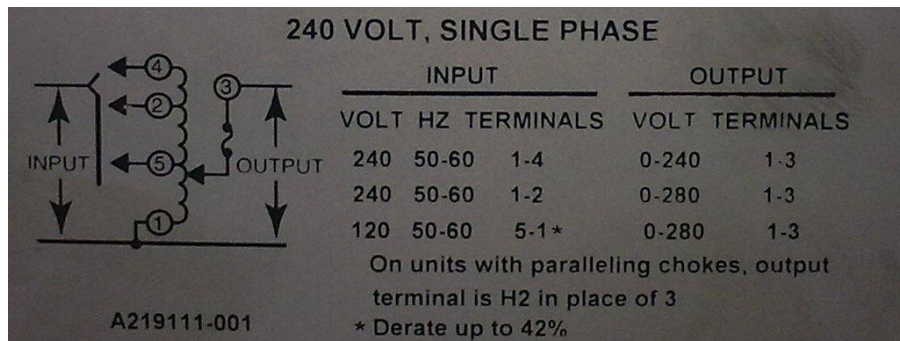


Figura 3.3 - Especificaciones de los terminales de conexión del VARIAC

Como se puede observar en la figura 3.3 la entrada se conecta a los terminales 1 y 2 mientras que la salida a los terminales 1 y 3, la alimentación para la fuente es de 220V y no de 240V como se especifica en las entradas, es por esa razón que se usa la entrada 1 y 2 para que entregue una salida de 0 a 240 V en los terminales 1 y 3.

3.2.- MONTAJE DEL SISTEMA PARA CONTROL DEL VARIAC

El sistema de variación de voltaje está constituido por un sistema electromecánico en el cual un motor de 12Vdc acoplado al VARIAC por medio de engranajes, permite el movimiento del mismo dando así un voltaje variable de 0 a 480V.

Se ha utilizado un motor de corriente continua debido a las características de torque constante y la sencilla conexión para inversión de giro; el motor usa una fuente independiente de voltaje de 12 y 5 VDC, la cual tiene un voltaje de alimentación de corriente alterna y la convierte a corriente continua; este motor es comandado por la tarjeta de control de la fuente de voltaje variable, permitiendo así el incremento o la disminución de voltaje, así como el control de la rampa media o alta de incremento de velocidad

A continuación se detalla el plano del diagrama de conexiones al motor de CC en la figura 3.4

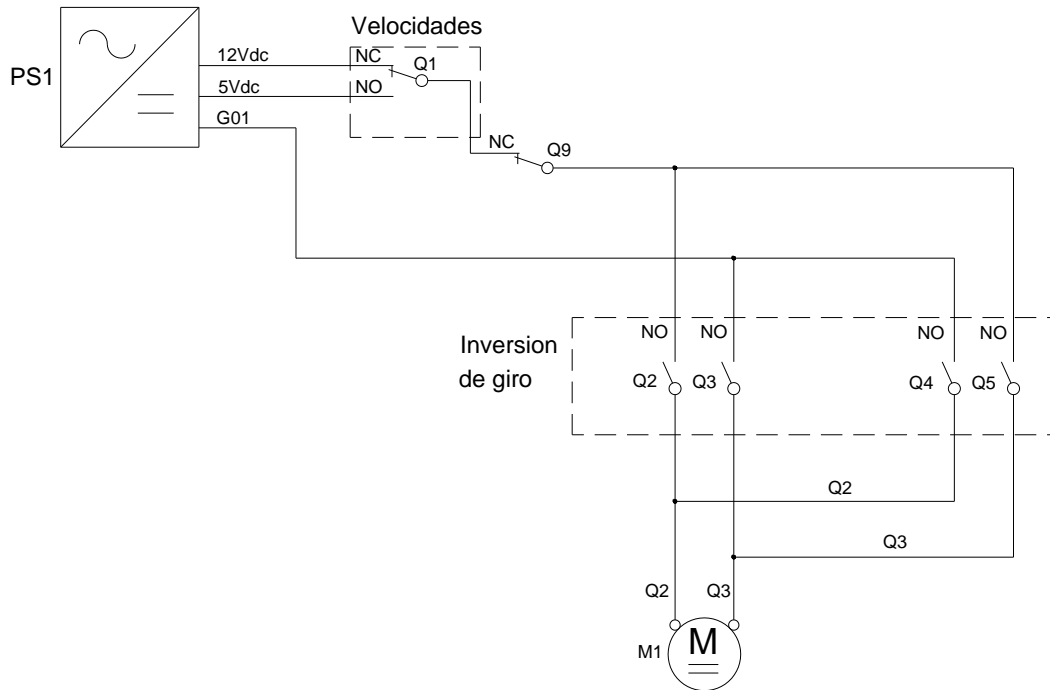


Figura 3.4 – Diagrama de conexión del sistema de variación de voltaje

Fuente de alimentación AC/DC

Esta fuente además de alimentar al motor se utiliza para alimentar a la unidad de control y también es usada para la alimentación de entrada a las señales digitales (Figura 3.5)

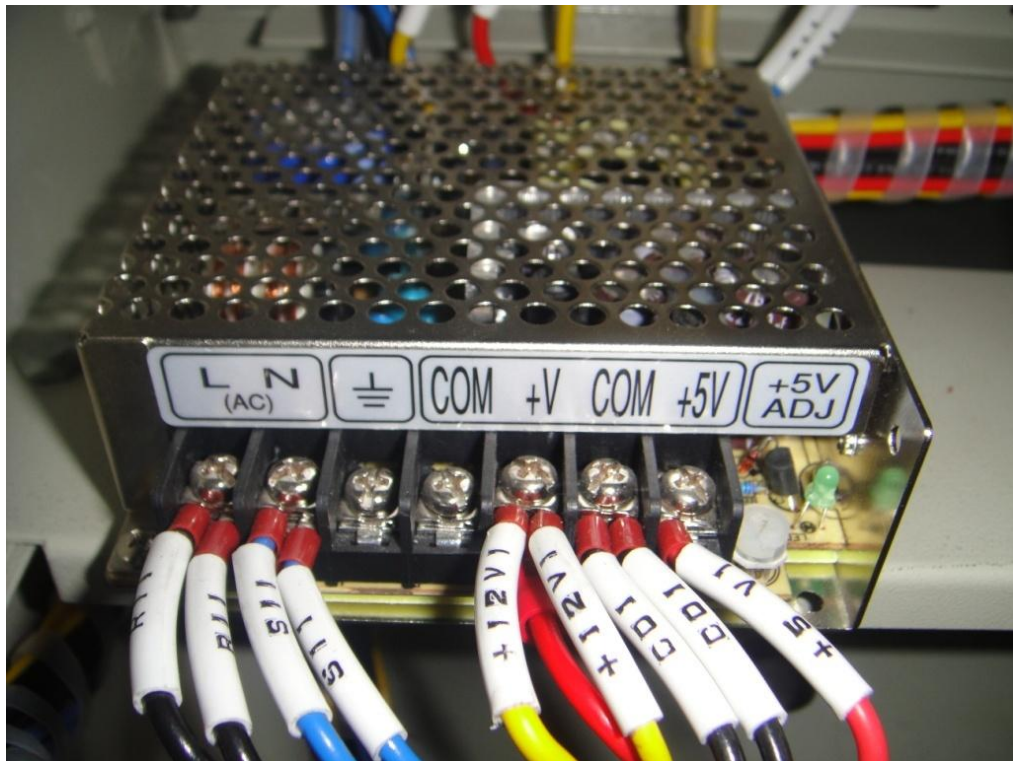


Figura 3.5 – Fuente de alimentación de corriente continua

3.3.- MONTAJE DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

El transformador (Figura 3.6) se encuentra conectado a continuación de la salida del VARIAC la cual se identifica con los cables R3 y S3.

En paralelo antes de la entrada al transformador salen dos líneas con la identificación R31 y S31 las cuales se conectan a un transformador de potencial para medir voltaje en la unidad de control, dicho TP tiene las siguientes características:

240/24 VAC

Ver figura (3.1)

El transformador tiene cuatro terminales de conexión, dos para la fase R de entrada y salida y dos para la fase S de entrada y salida, a los terminales de entrada se conectan las fases R3 y S3, y a los terminales de salida se conectan las fases identificadas como R4 y S4 (Figura 3.7)



Figura 3.6 - Transformador

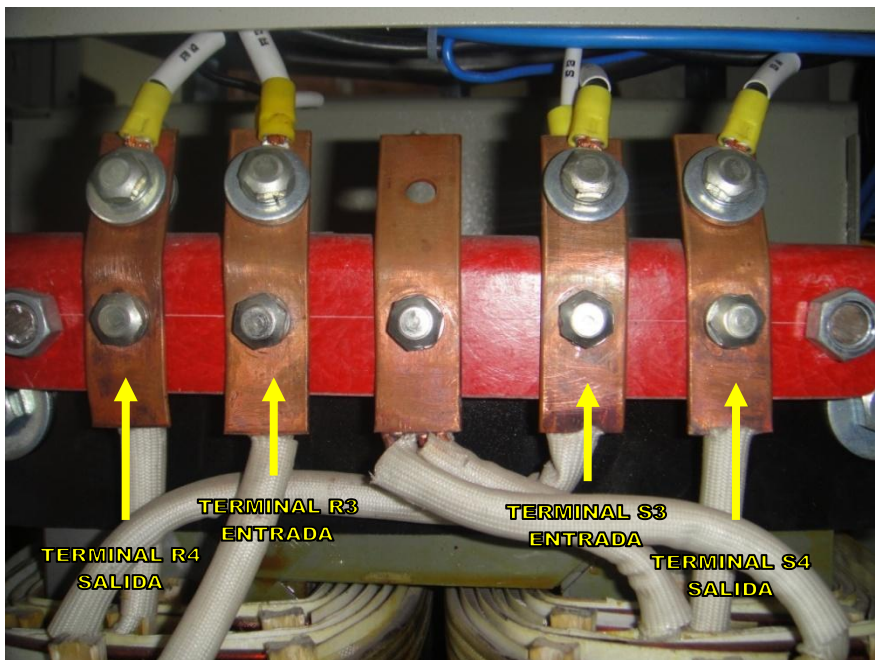


Figura 3.7 – Terminales de conexión del transformador

3.4.- MONTAJE DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA

El analizador de energía VIP396 se encuentra conectado a la salida del transformador relación 2 a 1 del lado de la carga, de tal manera que pueda manejar los parámetros directos; la señal de voltaje es directa tomada de la línea identificada como R41 y S41, esta pasa por dos fusibles de protección F5 y F6 de 1A 500V; la señal de corriente es tomada de un transformador de corriente TC2 (Figura 3.8) conectado a la línea identificada como S4, dicho transformador posee las siguientes características:

Relación: 50/5 A

Marca: El Control MCT3

Las líneas de salida del TC2 hacia el analizador de energía se identifican como I3 y I4 respectivamente

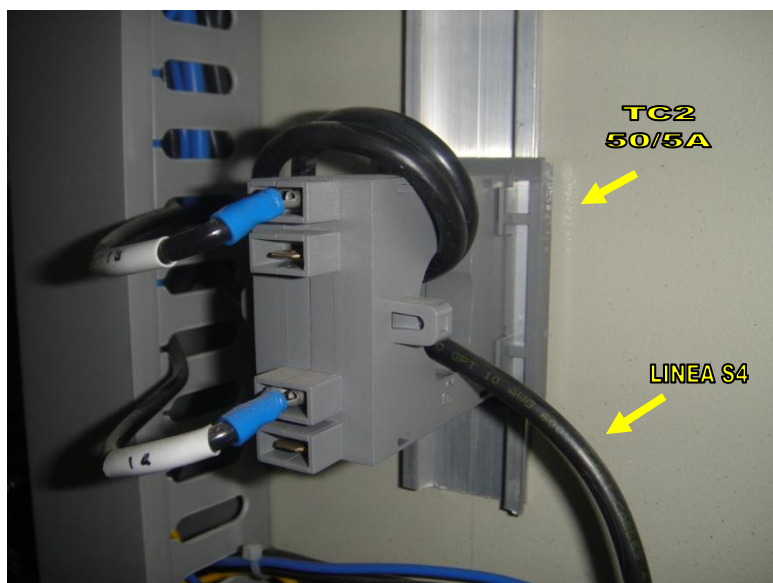


Figura 3.8 – Transformador de corriente

La alimentación para el analizador de energía es de 220 V, tomados de la línea principal R1 y S1, a través de dos fusibles F1 y F2 de 5A 250 V, la salida de las líneas a través de los fusibles se identifica como R11 y S11. Ver figura (3.1) (3.9)



Figura 3.9 – Señales y alimentación del analizador de energía

3.5.- ACOPLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR VARIAC Y PROTECCIONES

El acoplamiento de los elementos de la fuente variable de voltaje se lo realiza de acuerdo al diagrama de fuerza de la misma.

Se numerará los elementos para detallar los mismos (Figura 3.10)

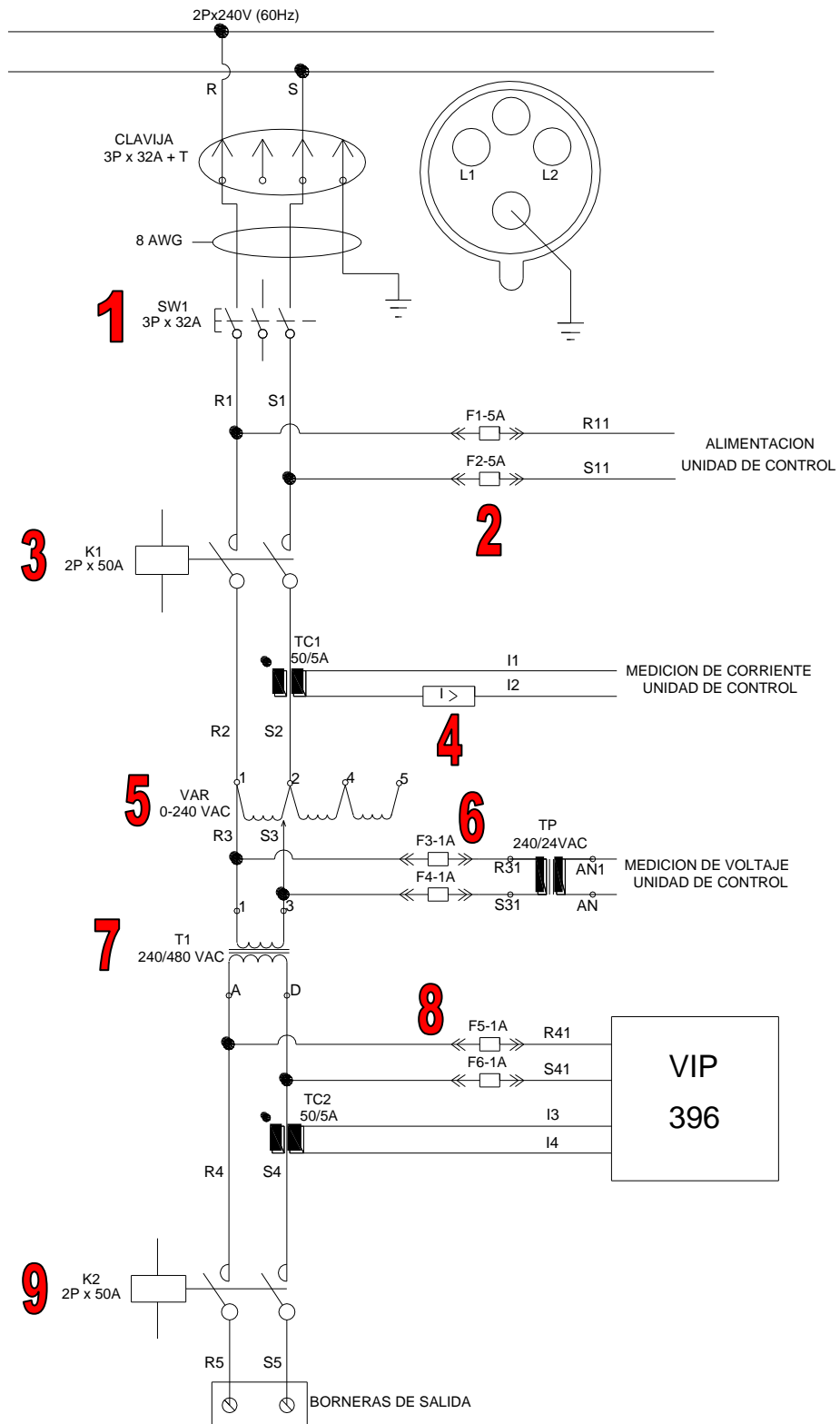


Figura 3.10 – Referencia para acoplamiento Transformador – Variac - Protecciones

1. Elemento de protección (Figura 3.11)

Detalle:

Switch de servicio SW1

3Px32A

600VAC

Legrand

Conexión:

Entrada R y S (salida de la clavija de línea)

Salida R1 y S1 (hacia K1)



Figura 3.11 – Switch de servicio

2. Elemento de protección (Figura 3.12)

Detalle:

Fusibles y Portafusibles F1 y F2

5A

250V

Conexión:

Entrada R1 y S1 (salida SW1)

Salida R11 y S11 (hacia unidad de control)



Figura 3.12 – Fusibles y Portafusibles F1 y F2

3. Elemento de maniobra (Figura 3.13)

Detalle:

Contactador principal K1

2Px50A

220VAC

Cutler Hammer

C25BNB230B

Conexión:

Entrada R1 y S1 (salida SW1)

Salida R2 y S2 (hacia VARIAC)

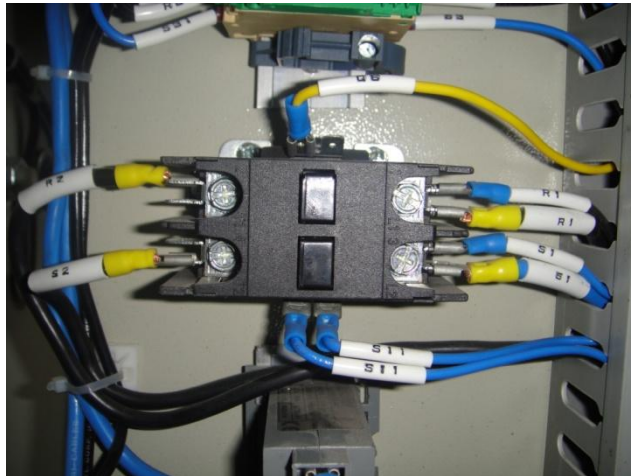


Figura 3.13 – Contactor principal

4. Elemento de protección (Figura 3.14)

Detalle:

Rele de sobrecorriente I>

ABB

ECS60BG

Conexión:

Entrada I2 (salida de TC2)

Salida I2 (hacia Placa de control medición de corriente)

Alimentación

220V

R11 y S11

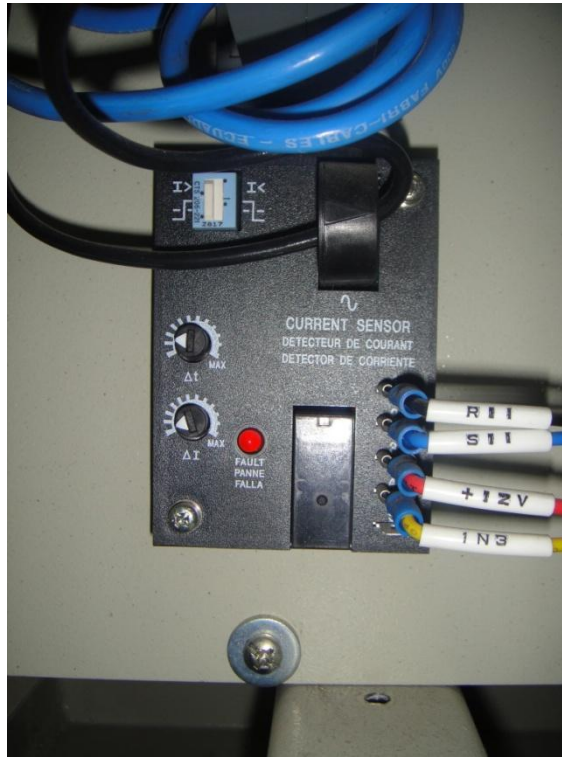


Figura 3.14 – Rele de sobrecorriente

5. VARIAC 0-240 VAC (Figura 3.15)

Conexión:

Entrada:

R2 y S2 (salida de K1)

Conectado a terminales del VARIAC 1 - 2

Salida:

R3 y S3 (hacia Transformador T1)

Conectado desde terminales del VARIAC 1 – 3

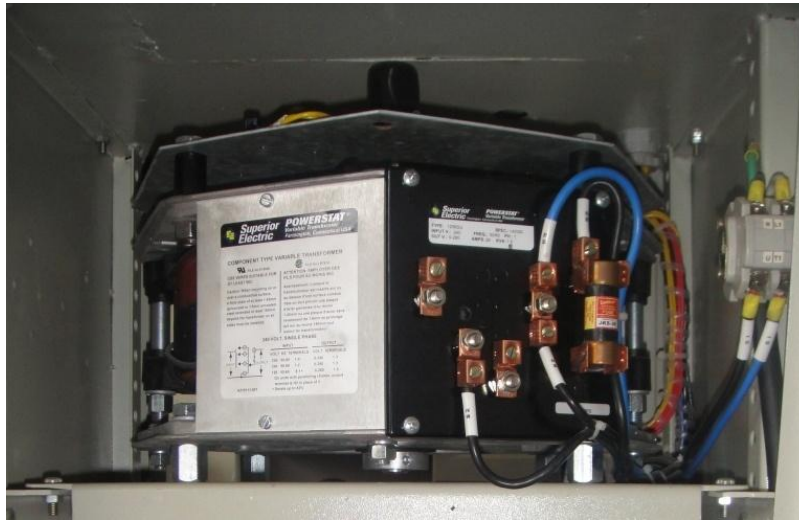


Figura 3.15 - VARIAC

6. Elemento de protección (Figura 3.16)

Detalle:

Fusibles y Portafusibles F3 y F4

1A

250V

Conexión:

Entrada R3 y S3 (salida VARIAC)

Salida R31 y S31 (hacia placa de control medición de voltaje)



Figura 3.16 – Fusibles y Portafusibles F3 y F4

7. TRANSFORMADOR (Figura 3.17)

Voltajes: 220 / 440 V

Corrientes: 28 / 14 Amp

Conexión:

Entrada:

R3 y S3 (salida de VARIAC)

Conectado a terminales del Transformador del primario

Salida:

R4 y S4 (hacia K2)

Conectado desde terminales del Transformador del secundario



Figura 3.17 – Transformador elevador

8. Elemento de protección (Figura 3.18)

Detalle:

Fusibles y Portafusibles F5 y F6

1A

500V

Conexión:

Entrada R4 y S4 (salida Transformador T1)

Salida R41 y S41 (hacia analizador de energía VIP396)



Figura 3.18 – Fusibles y Portafusibles F5 y F6

9. Elemento de maniobra (Figura 3.19)

Detalle:

Contactador de salida K2

2Px50A

220VAC

Cutler Hammer

C25BNB230B

Conexión:

Entrada R4 y S4 (salida de Transformador)

Salida R5 y S5 (hacia Borneras de salida)



Figura 3.19 – Contactor de salida

3.6.- TOMAS DE SEÑAL

Las señales son tomadas para:

1. Placa de control (Figura 3.20)

Se utiliza dos señales: una de corriente y una de voltaje

La señal de corriente se la toma de un transformador de corriente TC1 conectado en la línea S2 (Figura 3.10), dicho TC (Figura 3.22) tiene relación 50/5A, esta señal identificada como las líneas I1 y I2 ingresa a la placa de control

La señal de voltaje se la toma de un transformador de potencial TP conectado en paralelo a la línea R31 y S31 (Figura 3.10), dicho TP (figura 3.23) tiene relación 240/24 VAC, la señal llega a la unidad de control como AN1 y AN (Figura 3.21)

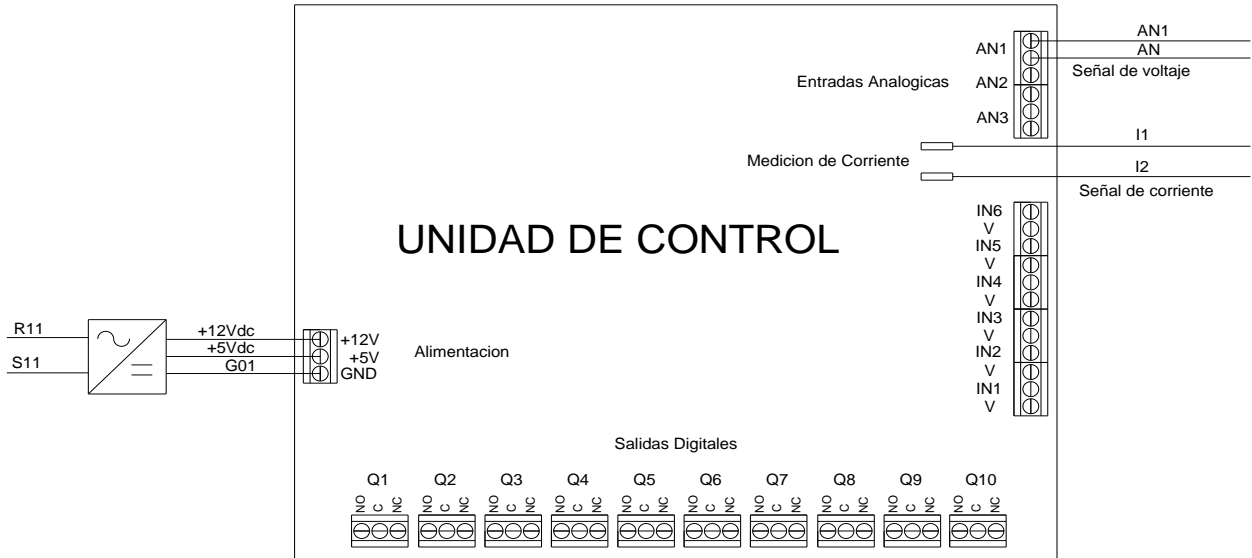


Figura 3.20 – Placa de Control

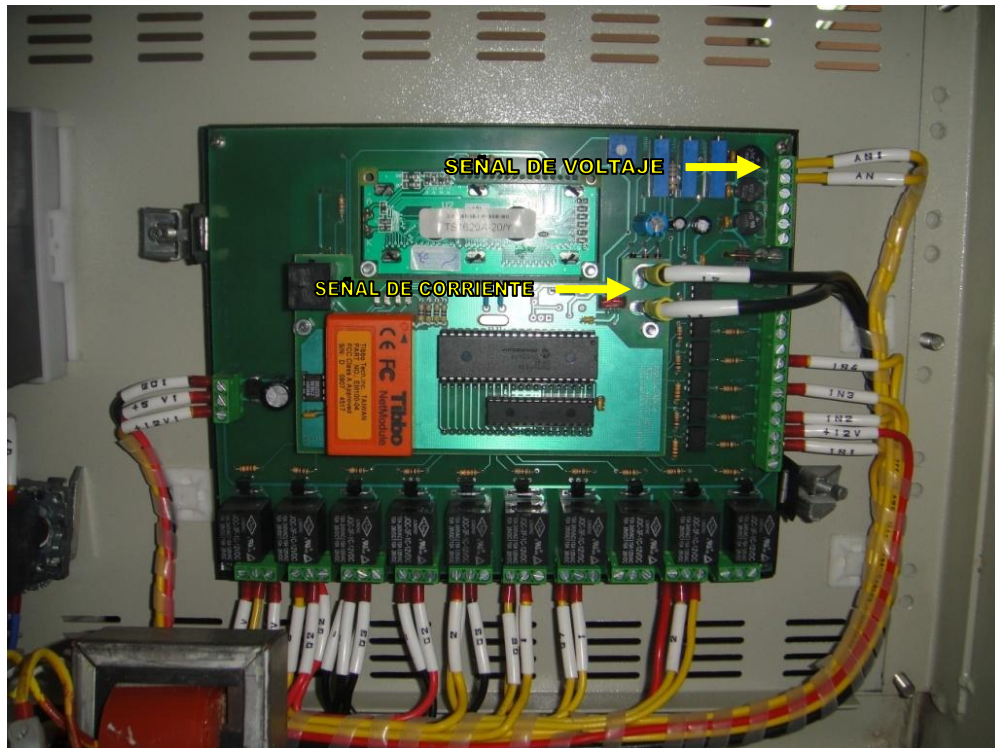


Figura 3.21 – Toma de señales para unidad de control



Figura 3.22 - Transformador de corriente TC2

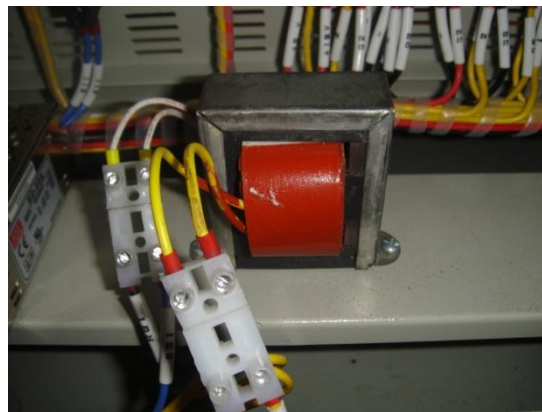


Figura 3.23 - Transformador de voltaje TP

2. Analizador de Energía VIP396

Se utiliza dos señales: una de corriente y una de voltaje (Figura 3.25)

La señal de corriente se la toma de un transformador de corriente TC2 conectado en la línea S4, dicho TC tiene relación 50/5A, esta señal identificada como las líneas I3 y I4 ingresa al analizador de energía

La señal de voltaje se la toma en paralelo directamente de las líneas R4 y S4 por medio de dos fusibles F5 y F6, la salida de los mismos se identifica como R41 y S41 las cuales ingresan al analizador de energía (Figura 3.24)

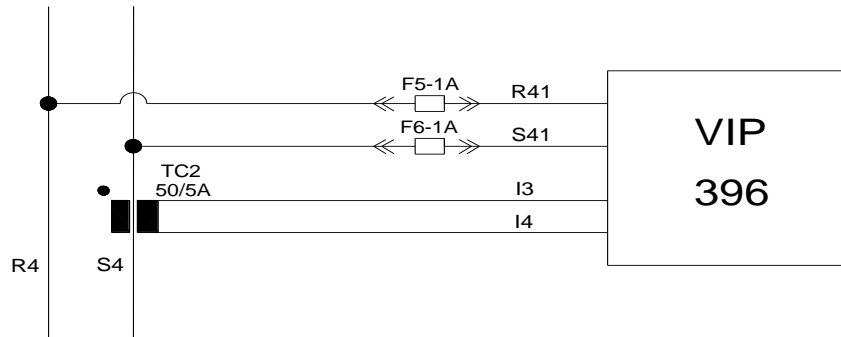


Figura 3.24 – Diagrama de conexión VIP396



Figura 3.25 – Señal de voltaje y corriente para el VIP396

3.7.- MONTAJE DE UNIDAD DE TARJETA PARA CONTROL REMOTO

La tarjeta para control remoto se encuentra integrada en la tarjeta de control de la fuente de voltaje variable, dicha tarjeta posee un conector RJ-45 para el cable que enlaza la computadora con la fuente de voltaje variable (Figura 3.26)

Las características con las siguientes:

Modulo de Red Tibbo

Modelo Em100-04

Puerto Ethernet 10baseT

Conector RJ-45

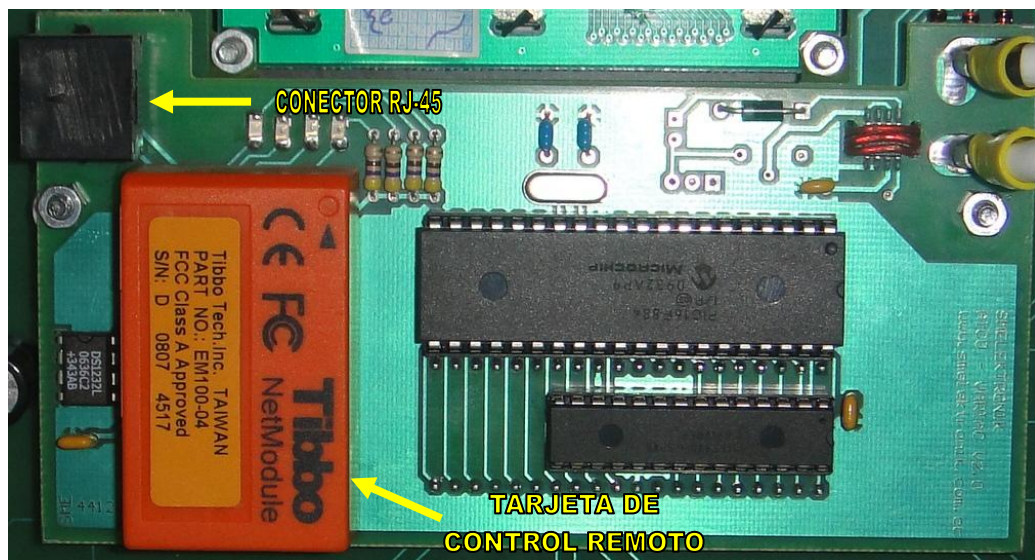


Figura 3.26 – Tarjeta para control remoto

Todos los elementos mencionados en este capítulo son montados en un gabinete tipo pedestal, dividido en tres secciones. La sección superior posee un panel frontal con todos los elementos de mando y señalización usados para operar el equipo. La sección intermedia tiene un compartimento con una puerta frontal inclinada con cerradura, en la que se puedan guardar documentos o herramientas. En la sección

inferior existe una puerta frontal y un panel posterior para dar acceso a los dispositivos que componen la fuente variable en caso de requerirse mantenimiento. De igual forma en el costado de la sección inferior se hallan las borneras de salida, control de encendido/apagado del equipo y entrada de alimentación de energía. (Figura 3.27)

El gabinete que contiene al equipo eléctrico es tipo NEMA 12 y está fabricado en lámina de acero galvanizado de 1,4mm de espesor según la norma ASTM 526. Toda la estructura están terminadas por un proceso de desengrasado y aplicación de pintura en polvo epoxi-poliéster color BEIGE curado al horno a 200 grados centígrados

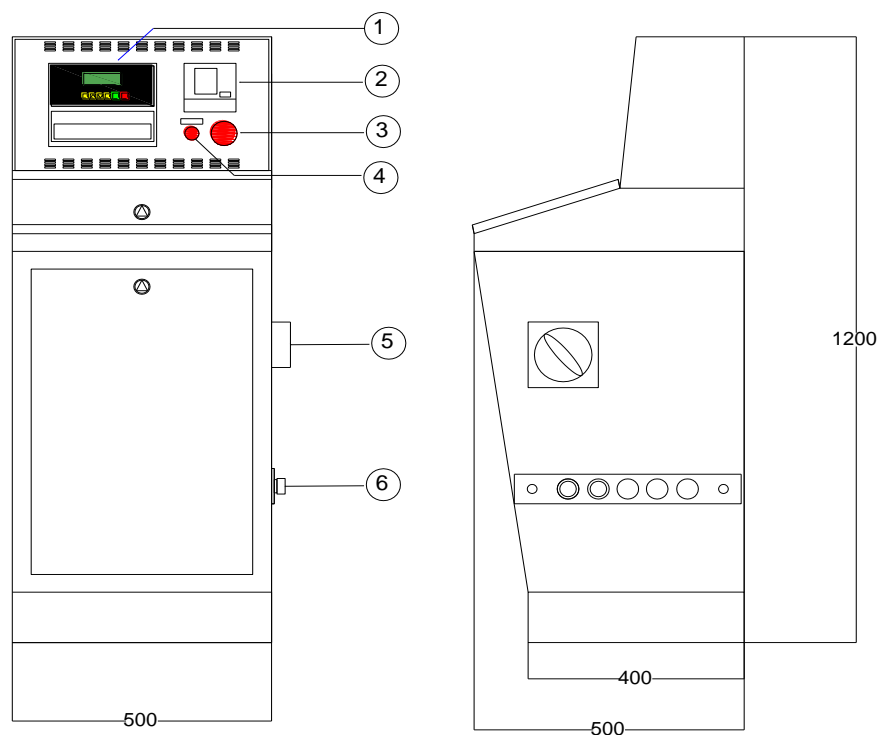


Figura 3.27 – Vista externa fuente variable de voltaje

DESCRIPCION ELEMENTOS ELECTRICOS		
ITEM	DESCRIPCION	Cat.
1	Interface de control	—
2	Analizador de energía	El Control VIP-396
3	Boton de parada de emergencia	Telemecanique XB4-BS542
4	Luz piloto ϕ 22 mm, roja	Telemecanique XB4-BV64
5	Switch de servicio	—
6	Bornera de salida	—

Figura 3.28 – Elementos eléctricos fuente variable de voltaje

IV.- CAPITULO: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.- VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VARIACIÓN DE VOLTAJE

Para verificar el sistema de variación de voltaje de la fuente variable, se procedió de la siguiente manera:

1. Se energiza la fuente variable de voltaje con un voltaje de alimentación de 220V bifásico
2. Se cambia de posición el switch SW1 a ON para proporcionar energía a los componentes de la fuente
3. Se conecta un multímetro a los terminales 1 y 2 en el VARIAC, que corresponden a la salida variable del mismo. (Figura 4.1)



Figura 4.1 – Conexión de multímetro a VARIAC

4. Se energiza el contactor K1 presionando el botón ENT del módulo de control y se lee el voltaje del multímetro, el cual corresponde al voltaje mínimo de la salida del VARIAC
Vmedido= 3,7 V

5. Variamos el voltaje en el módulo de control y tomamos cinco medidas intermedias entre el voltaje mínimo y el voltaje máximo del VARIAC, comprobando así el funcionamiento del mismo
Vmedido1= 40 V
Vmedido2= 80 V
Vmedido3= 120 V
Vmedido4= 160 V
Vmedido5= 200 V

6. Variamos el voltaje en el módulo de control al máximo hasta que actúe el final de carrera y medimos el voltaje en el multímetro, el cual corresponde al voltaje máximo de la salida del VARIAC
Vmedido= 252 V

7. Apagamos el contactor K1 presionando el botón ESC del módulo de control, el voltaje de salida de la fuente regresara a cero automáticamente

8. Cambiamos de posición el switch SW1 para desenergizar los componentes de la fuente variable de voltaje

9. Damos por finalizado la verificación del sistema variable de voltaje

Estas pruebas se detallan en el Anexo 2

4.2.- VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VARIACIÓN Y ACOPLAMIENTO AL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

Para verificar el sistema de variación y acoplamiento al transformador de aislamiento de la fuente variable, se procedió de la siguiente manera:

1. Se energiza la fuente variable de voltaje con un voltaje de alimentación de 220V bifásico
2. Se cambia de posición el switch SW1 a ON para proporcionar energía a los componentes de la fuente
3. Se conecta un multímetro a los terminales del secundario del transformador de aislamiento, los cuales están identificados como R4 y S4 (Figura 4.2)



Figura 4.2 – Conexión de multímetro al transformador de aislamiento

4. Se energiza el contactor K1 presionando el botón ENT del módulo de control

5. Variamos el voltaje en el módulo de control y tomamos tres medidas intermedias entre el voltaje mínimo y el voltaje máximo de la fuente variable, estas medidas deben ser aproximadamente el doble de la calibrada en el módulo de control debido a la relación del transformador, comprobando así el acoplamiento y el funcionamiento del mismo

V1set= 40 V

V(R4-S4)= 84 V

V2set= 80 V

V(R4-S4)= 166 V

V3set= 120 V

V(R4-S4)= 259 V

6. Apagamos el contactor K1 presionando el botón ESC del módulo de control, el voltaje de salida de la fuente regresara a cero automáticamente

7. Cambiamos de posición el switch SW1 a OFF para desenergizar los componentes de la fuente variable de voltaje

8. Damos por finalizado la verificación del sistema de variación y el acoplamiento al transformador de aislamiento.

Estas pruebas se detallan en el Anexo 3

4.3.- CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE PROTECCIONES.

Teniendo en cuenta que la corriente máxima en el VARIAC es de 28 A, cortocircuitando la salida medimos 14 A en el lado de 440 V y calibramos para que se dispare en esa corriente; se sigue los siguientes pasos:

1. Se energiza la fuente variable de voltaje con un voltaje de alimentación de 220V bifásico
2. Se cambia de posición el switch SW1 a ON para proporcionar energía a los componentes de la fuente
3. Conectamos un analizador de energía en la salida del VARIAC, con el fin de medir la corriente del mismo
4. Cortocircuitamos la salida de la fuente variable de voltaje (Figura 4.3)



Figura 4.3 – Cortocircuito a la salida de la fuente variable

5. En el módulo de control partiendo de 0 V subimos el voltaje hasta medir una corriente de aproximadamente 14 A en el analizador de energía VIP y 28 A en el analizador conectado a la salida del VARIAC.
6. Calibramos el relé de sobrecorriente para que actúe la protección en estos valores.

Los ajustes quedan de la siguiente manera:

Delta I: 6ta línea del ajuste

Delta t: 2da línea del ajuste

Switch: Posición I>

Ver (Anexo 1)

7. Verificamos que la protección actúe correctamente, el modulo de control emite la alarma visual de Falla y Sobrecarga, se apaga la salida y los voltajes medidos en los analizadores son 0 V
8. Apagamos el contactor K1 y reiniciamos el estado de falla presionando el botón ESC del módulo de control, el voltaje de salida de la fuente regresar a cero automáticamente
9. Cambiamos de posición el switch SW1 a OFF para desenergizar los componentes de la fuente variable de voltaje
10. Damos por finalizado la calibración y verificación de las protecciones de la fuente variable de voltaje

Estas pruebas se detallan en el Anexo 4

4.4.- VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA

Para verificar el funcionamiento del analizador de energía se procedió de la siguiente manera:

1. Se energiza la fuente variable de voltaje con un voltaje de alimentación de 220V bifásico
2. Se cambia de posición el switch SW1 para proporcionar energía a los componentes de la fuente
3. Cortocircuitamos la salida de la fuente variable de voltaje para medir una corriente considerablemente alta en el analizador de energía, desde 0 V subimos el voltaje hasta alcanzar un valor antes de los 10 A de lectura en el analizador de energía VIP 396, verificando de esta manera que el mismo adquiere y mide la señal de corriente de la carga.(Figura 4.4)



Figura 4.4 – Medición de corriente VIP396

- Retiramos el cortocircuito a la salida de la fuente variable de voltaje y ahora subimos el voltaje hasta un valor cualquiera con el fin de medir en el analizador el voltaje y la frecuencia a la salida de la fuente variable de voltaje, verificando de esta manera que el analizador adquiere y mide la señal de voltaje y frecuencia. (Figura 4.5)



Figura 4.5 – Medición de voltaje y frecuencia VIP396

- Apagamos el contactor K1 presionando la tecla ESC en el módulo de control, el voltaje de salida de la fuente regresara a cero automáticamente
- Cambiamos de posición el switch SW1 para desenergizar los componentes de la fuente variable de voltaje
- Damos por finalizado la verificación del funcionamiento del analizador de energía

Estas pruebas se detallan en el Anexo 5

4.5.- PRUEBAS EN MANDO LOCAL

Para efectuar esta prueba se usa un transformador de baja tensión (Figura 4.6) con las siguientes características:

Relación de transformación 15/1

Potencia: 2,5 KVA

Voltajes: 220/15 V

Corriente Secundaria: 166 A

Corriente primaria: 11,36 A



Figura 4.6 – Transformador de baja tensión para pruebas

Se cortocircuita el secundario del transformador y se incrementa el voltaje de tal manera que tengamos la corriente nominal primaria, se toman los valores de voltaje de impedancia y corriente nominal

Los valores de voltaje de impedancia y corriente son los siguientes:

$$V_z = 20,4 \text{ V}$$

$I_{\text{primario}} = 11,6 \text{ A}$

Este proceso se lo efectúa en forma manual, con el objetivo de controlar la corriente en el primario que no sobrepase de la nominal; para efectuarlo en forma automática, se presetea el voltaje de impedancia, el cual fue medido cuando se efectuó la prueba en forma manual, los datos obtenidos son los mismos.

Estas pruebas se detallan en el Anexo 6

4.6.- PRUEBAS EN MANDO REMOTO

Para efectuar la prueba en mando remoto, se usa el mismo transformador de la prueba en mando local, con los mismos datos obtenidos de voltaje de impedancia y corriente del secundario:

$V_z = 20,4 \text{ V}$

$I_{\text{secundario}} = 11,6 \text{ A}$

Se conecta la computadora al modulo de control por medio del cable de Ethernet, en los conectores RJ-45 de la computadora y el módulo. (Figura 4.7)

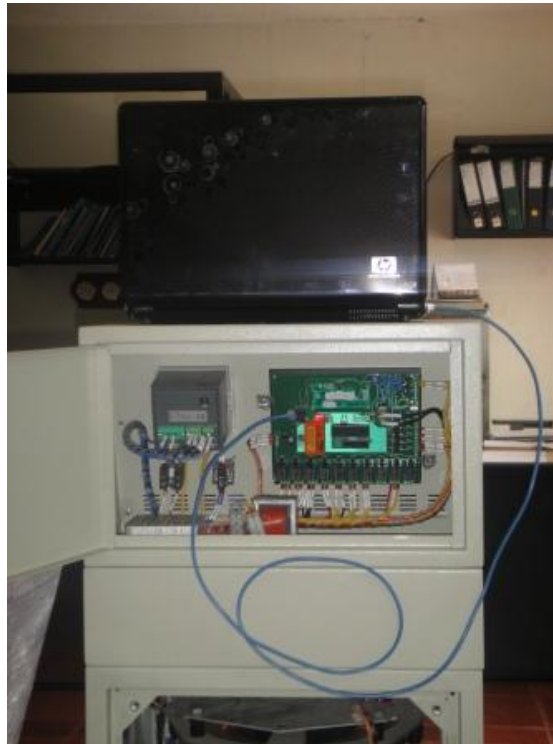


Figura 4.7 – Conexión de computadora hacia módulo de control

Para cambiar el modo local a remoto en el módulo de control se debe presionar la tecla ESC + Flecha abajo simultáneamente. De esta manera se habilita a la computadora para realizar el control.

En la computadora se ejecuta el programa “BzEmulador”, dentro del mismo se efectúa el control necesario para realizar la prueba de voltaje de impedancia en el transformador (Figura 4.8), la misma igualmente puede ser efectuada en forma manual o en forma automática, ya que la lógica de funcionamiento del programa en la PC es la misma que la del módulo de control de la fuente variable de voltaje (Figura 2.4)



Figura 4.8 – Prueba en mando remoto mediante PC

Estas pruebas se detallan en el Anexo 7

4.7.- PRUEBAS FINALES

Como pruebas finales del funcionamiento de la fuente variable de voltaje se realizan las siguientes:

1. El paro de emergencia mientras la fuente está suministrando energía al transformador usado en las pruebas anteriores.

Con la fuente energizada, conectada al transformador en cortocircuito, se ajusta para que de modo automático incremente voltaje hasta el de impedancia medido en las pruebas anteriores, durante el transcurso del incremento de voltaje se actúa el botón de paro de emergencia. Automáticamente se apaga la salida de la fuente variable, por lo tanto se desenergiza el transformador, y además el voltaje ajustado regresa a cero, el módulo de control despliega la alarma visual de paro de emergencia. (Figura 4.9)



Figura 4.9 – Alarma visual de paro de emergencia

2. En la segunda prueba final se pretende incrementar la corriente sobre la nominal de la fuente para que esta se desconecte en forma automática por sobrecarga.

Con el mismo transformador en cortocircuito usado en las pruebas anteriores, conectado a la fuente variable de voltaje, se ajusta la misma para que de modo automático incremente voltaje hasta que sobrepase el voltaje de impedancia del transformador, es decir, sobrepase los 11,6 A y suba hasta los 15 A, donde el relé de sobrecorriente sensa esta corriente y actúa apagando

automáticamente la salida y desenergizando el transformador, el voltaje ajustado regresa automáticamente a 0 V, y el módulo de control despliega la alarma visual de fallo y sobrecarga. (Figura 4.10)

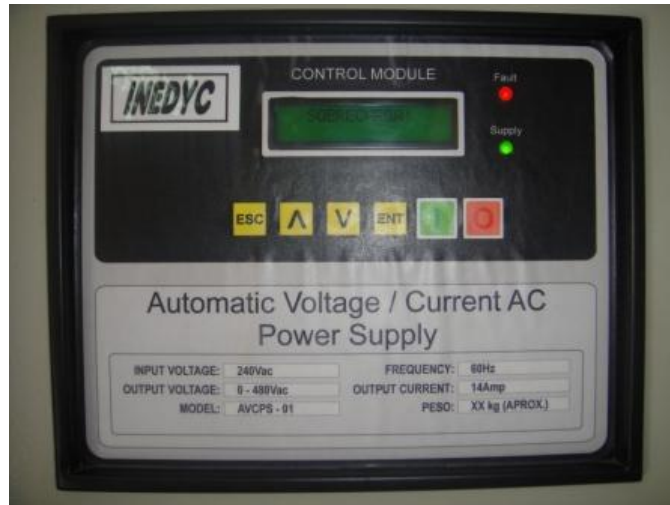


Figura 4.10 – Alarma visual de sobrecarga

Estas pruebas se detallan en el Anexo 8

4.8.- ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

El costo normal para una fuente de estas características es de 18000 USD, el costo de la fuente armada localmente según la tabla 4.1 es de 11750 USD, por lo que se justifica su construcción desde el punto de vista económico

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR(USD)
1	1	Variac	5800,00
2	1	Transformador aislamiento	1500,00

3	1	Sistema de control motorizado	1300,00
4	1	Sistema para mando remoto	800,00
5	1	Protecciones	650,00
6	1	Sistema de control	400,00
7	1	Mueble	900,00
8	1	Varios	400,00
TOTAL			11750,00

Tabla 4.1 – Análisis técnico – económico fuente variable de voltaje

El número de pruebas promedio que se realizan con esta fuente en la empresa INEDYC es de cuatro por mes, a un costo promedio de cada prueba de 175 USD. Por lo tanto el tiempo requerido para el retorno de la inversión es de 16,79 meses. Sin contar que no se requiere de endeudamiento bancario para el financiamiento del mismo, y tomando en cuenta un tiempo de 10 años de vida útil como equipo de laboratorio, el proyecto resulta técnica y económicamente factible para la empresa INEDYC

V.- CAPITULO: PRUEBAS ELÉCTRICAS A REALIZARSE CON LA FUENTE

5.1.- TRANSFORMADORES

5.1.1.- PRUEBA EN VACIO - NTE 2114

Para efectuar esta prueba se debe conectar el transformador a los terminales de la fuente variable de voltaje, el transformador debe estar en configuración para ser efectuado la prueba de vacío.

La fuente variable de voltaje es capaz de realizar esta prueba a transformadores de hasta:

300 KVA

13,2 KV

Para cumplir esta prueba los transformadores deben cumplir con los valores de la tabla 5.1

Transformadores monofásicos de 3 a 333 kVA

Clase medio voltaje $\leq 25 \text{ kV}_{f-f}$ / clase bajo voltaje $\leq 1,2 \text{ kV}_{f-f}$ referidos a 85° C

Potencia Nominal kVA	I_o (% de I_n)	P_o (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
3	2,5	21	70	91	3,0
5	2,5	31	91	122	3,0

10	2,5	52	142	194	3,0
15	2,4	68	192	260	3,0
25	2,0	98	289	387	3,0
37,5	2,0	130	403	533	3,0
50	1,9	160	512	672	3,0
75	1,7	214	713	927	3,0
100	1,6	263	897	1 160	3,0
167	1,5	379	1 360	1 739	3,0

Tabla 5.1 – Pérdidas en transformadores monofásicos

Ver Anexo 10

5.1.2.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO - NTE 2114

Para efectuar esta prueba se debe conectar el transformador a los terminales de la fuente variable de voltaje, el transformador debe estar en configuración para ser efectuado la prueba de cortocircuito.

La fuente variable de voltaje es capaz de realizar esta prueba a transformadores de hasta:

300 KVA

13,2 KV

Para cumplir esta prueba los transformadores deben cumplir con los valores de la tabla 5.1

Ver Anexo 10

5.2.- INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS

5.2.1.- PRUEBA DE APERTURA DE INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO - PROCEDIMIENTOS INTERNOS DE INEDYC

Para efectuar la prueba de apertura del interruptor termomagnético se debe proceder de la siguiente manera

1. Instalar a la salida de la fuente un transformador de cortocircuito
2. Conectar en el lado de cortocircuito del transformador el interruptor termomagnético
3. Subir el voltaje en la fuente hasta que nos de la corriente nominal del interruptor
4. Establecer diferentes sobrecargas para medir tiempos de disparo

Ésta prueba se detalla en el Anexo 11

En el Anexo 12 se indica el manual de operación de la fuente

VI.- CAPITULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La fuente de voltaje cumple con el requerimiento de proporcionar un voltaje variable desde 0V hasta 440V, con ajustes finos dentro del rango especificado, y proporcionando la potencia necesaria para cumplir con los objetivos establecidos en el proyecto de tesis, dentro de los cuales la empresa INEDYC realizará pruebas en su laboratorio en transformadores monofásicos con potencias sobre los 100 KVA, lo cual no era factible con la anterior fuente variable de voltaje que disponía la empresa.

El panel de control instalado en la fuente variable de voltaje es de gran ayuda para el operador, ya que dispone de una interface amigable tanto en control como monitoreo, permitiendo al operador configurar en poco tiempo la actuación de la fuente en forma automática o manual, y la fácil detección de errores mediante la visualización de las alarmas emitidas en la misma.

Todas las pruebas realizadas con la fuente pueden ser ejecutadas a una distancia segura del objeto de prueba, protegiendo así al operador de cualquier evento no programado, esto es logrado mediante la interface HMI que dispone la fuente, la que conectada a la una computadora permite el control y monitoreo de las variables en forma remota.

El transformador instalado en la fuente variable de voltaje, a más de ser elevador de tensión, sirve como aislante de la carga con el operador, pues por medidas de seguridad si alguna falla ocurriese en la carga, la persona que está manejando el equipo de manera local estará protegido ya que se encuentra hacia el lado primario del transformador. Es por esta razón que no se uso directamente un Variac de 440 V

RECOMENDACIONES

En todas las pruebas eléctricas que se realicen con la fuente variable de voltaje se recomienda seguir las normas de seguridad y manejo especificadas en la sección 1.8, con el objetivo de proteger al operador y al equipo, se debe estar completamente seguro del funcionamiento del objeto de prueba y de la fuente, así como sus correctas formas de conexión antes de realizar cualquier tipo de prueba.

En lo que se refiere al montaje de los elementos de la fuente variable de voltaje es altamente recomendado identificar todos los cables de conexión entre los mismos, con las marcas detalladas en los planos eléctricos, esto ayuda para posteriormente identificar cualquier posible falla que ocurra con la fuente, y para dar acceso a un fácil mantenimiento de la misma.

En la conexión de la fuente variable de voltaje con la computadora para la operación en mando remoto es recomendado usar un ordenador con el sistema operativo Windows XP, y configurar cualquier antivirus que este instalado para deshabilitar la protección de red, ya que esto podría crear conflictos al momento de la comunicación y no permitimos hacer uso de la misma.

BIBLIOGRAFIA

- D. José Ramírez Vázquez. “Medidas Eléctricas” primera edición 1984
- Donald G. Fink / H. Wayne Beaty. “Manual de Ingeniería Eléctrica” Decimo Tercera edición 1995
- Gilberto Enríquez Harper. “Transformadores y Motores trifásicos de Inducción” Segunda Edición 1980
- Gilberto Enríquez Harper. “Curso de Transformadores y Motores de Inducción”.
- Gilberto Enríquez Harper. “Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores” Primera Edición 1981
- Superior Electric. “Manual de funcionamiento del Variac”
- Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón – Universidad de Oviedo. “Instrumentación Electrónica”
- I.L.Kosow. “Máquinas Eléctricas y Transformadores”
- A.E. Fitzgerald, Charles kingsley. “Máquinas Eléctricas” Quinta edición 1992
- Stephen J. Chapman. “Máquinas Eléctricas” Cuarta edición 2005

ANEXOS

Planos eléctricos de la fuente

Procedimientos de pruebas

Normas INEN

Curvas del rele de sobrecorriente

ELABORADO POR:

SANTIAGO ISRAEL CAMACHO CAÑIZARES

APROBADO POR:

ING. MARIO JIMÉNEZ.
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CERTIFICADO POR

DR. EDUARDO VÁSQUEZ ALCÁZAR
SECRETARIO ACADÉMICO