



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE UN LABORATORIO PARA
SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE
ENERGIA ELECTRICA EN
BAJA TENSION**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N**

**RICARDO A. FUENTES SOTELO
P E D R O L O P E Z
ALBERTO MONDRAGON CASTILLO
JOSE D. MALDONADO ESPINOSA**

DIR. M. EN I. ALEJANDRO SOSA FUENTES

MEXICO, D. F.

MARZO DE 1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

PROLOGO

CAPITULO I

CARACTERISTICAS GENERALES Y ALCANCE DEL PROYECTO	1
I.1 Introducción	1
I.2 Desarrollo del trabajo	1
I.3 Alcance del proyecto.....	2

CAPITULO II

MANUAL DE PRACTICAS	4
II.1 Práctica 1. Características generales de un sistema de distribución. Descripción del tablero.....	8
II.2 Práctica 2. Demanda y demanda máxima	14
II.3 Práctica 3. Factor de demanda y factor de utilización	21
II.4 Práctica 4. Factor de diversidad y factor de coincidencia.....	25
II.5 Práctica 5. Factor de potencia	30
II.6 Práctica 6. Protección con relevadores de sobrecorriente	38
II.7 Práctica 7. Protección contra sobrecargas	44
II.8 Solución a preguntas	50

CAPITULO III

ESPECIFICACION DEL EQUIPO DE MEDICION	54
---	----

III.1	Amperímetro	54
III.2	Voltímetro	74
III.3	Wátmetro	79
III.4	Factorímetro	86

CAPITULO IV

	ESPECIFICACION DEL EQUIPO DE FUERZA Y CONTROL	91
IV.1	Interruptor termomagnético	91
IV.2	Contactores	98
IV.3	Arrancadores	102
IV.4	Relevadores de sobrecarga	118
IV.5	Fusibles	122
IV.6	Transformador de control	127
IV.7	Lámparas de señalización y alarmas	128
IV.8	Estación de botones y selectores	129

CAPITULO V

	PROYECTO ELECTRICO DEL TABLERO	132
V.1	Diagramas eléctricos	132
V.2	Simbología	133
V.3	Diagrama unifilar	141
V.4	Memoria de cálculo	141
V.5	Cálculo de los bancos reactivo y <u>capaci</u> tivo	155

CAPITULO VI

	PROYECTO MECANICO DEL TABLERO	166
VI.1	Normas	166
VI.2	Buses y accesorios	166
VI.3	Diseño del gabinete	173
VI.4	Diseño del panel	178

VI.5 Bus mímico	178
-----------------------	-----

CAPITULO VII

NORMAS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	180
VII.1 Instalación de gabinetes de tableros	180
VII.2 Instalación de tuberías y - alambrado	182
VII.3 Instalación del interior -- del tablero	182
VII.4 Instrucciones a seguir antes de la energización	184
VII.5 Energización del equipo	186
VII.6 Cuidado y mantenimiento	186

APENDICE A

LISTA DE NUMEROS Y FUNCIONES DE APARATOS ELECTRICOS MAS EMPLEADOS	192
--	-----

APENDICE B

SIMBOLOS DE DIAGRAMAS ELEMENTALES Y DE CONEXIONES	197
--	-----

BIBLIOGRAFIA	201
--------------------	-----

P R O L O G O

Todo proyecto nace para satisfacer una necesidad, en el caso particular de los conocimientos tecnológicos, esta necesidad se hace mas patente dado que la formación en este tipo de disciplinas tiene una aplicación inmediata.

En la cátedra de "Sistemas de Distribución" se ha venido contemplando la necesidad de contar con un laboratorio de sistemas de distribución de energía eléctrica, en el que los alumnos de la materia puedan realizar las prácticas necesarias para obte--ner un conocimiento más sólido de los temas tratados en teoría. Se hace énfasis en el conocimiento de la carga, que es el fac -tor más relevante al proyectar y operar sistemas de distribu --ción.

La elaboración de este trabajo está encaminada a satisfacer esta necesidad, mediante el diseño de un tablero de simulación en el cual el alumno obtenga conocimientos prácticos y útiles - que le den cierta experiencia y así, cuando se enfrente a pro--blemas reales, los pueda resolver de una manera fácil y eficaz. Esperamos que al realizar las prácticas el alumno adquiera cierta habilidad para saber operar equipos y sistemas eléctricos.

CAPITULO I

CAPITULO I Características generales y alcance del proyecto

I.1 Introducción

El alumno podrá medir los principales parámetros que determinan las características eléctricas de operación de un sistema de distribución de energía eléctrica, a partir de un tablero de simulación que será diseñado por los alumnos de este seminario, para que posteriormente forme parte del equipo del laboratorio eléctrico. En el tablero a diseñar se realizarán las siguientes funciones en diferentes puntos de la red de distribución:

- i) Medición
- ii) Protección
- iii) Control
- iv) Señalización

1.2 Desarrollo del trabajo

Se desarrollará un manual de prácticas (cap. II) para cumplir con los objetivos propuestos en el programa de la materia de sistemas de distribución de energía eléctrica. Estas prácticas nos determinarán la forma y los requerimientos del equipo a utilizar en el tablero.

El diseño del tablero comprende lo siguiente: Selección del equipo de medición (cap. III), especificación del equipo de fuerza y control (cap. IV).

Una vez definidos todos los elementos que constituyen el tablero, se procede al proyecto eléctrico y mecánico del mismo -

(caps. V y VI respectivamente).

Como todo sistema eléctrico es necesario que el tablero cuente con ciertas normas de seguridad y mantenimiento (cap. VII).

Se agrega como información (apéndice), una lista de números y funciones de dispositivos eléctricos.

1.3 Alcance del proyecto

Un sistema de potencia está constituido básicamente por tres etapas:

- i) Generación
- ii) Transmisión
- iii) Distribución

La etapa de distribución se considera a partir de la salida de la subestación de distribución y comprende todos los elementos del sistema hasta llegar a los servicios del usuario. Estos elementos son: Alimentadores primarios, transformadores de distribución y circuitos secundarios.

En este trabajo se diseña un tablero eléctrico en el que se podrá medir y comprobar los principales parámetros que se usan en un sistema de distribución de energía eléctrica en baja tensión y que se pretende sirva para realizar las prácticas de la materia de sistemas de distribución. El tablero simulará los alimentadores secundarios en baja tensión, así como las cargas y control de las mismas, que constituyen la parte final del sistema.

El proyecto comprende la elaboración de las prácticas y el diseño del tablero.

El conocimiento de las características eléctricas de un sistema de distribución y la aplicación de los conceptos fundamenta

les de la teoría de electricidad, son quizás los más esenciales requisitos para poder diseñar y operar un sistema de éste tipo. - Es necesario, por lo tanto, que el ingeniero, operador, supervi--sor o alguna otra persona cercana a los tópicos de circuitos eléc--tricos posea un conocimiento claro de las características de la carga del sistema que va a alimentar para diseñarlo y operarlo en forma óptima. Aunque el ingeniero de planeación tiene libertad - en la selección de muchos de los factores que intervienen en el - diseño del sistema, no la tiene sobre uno de los factores más im--portantes que es la carga, siendo definitivamente la variable - - más importante y decisiva tanto en el diseño como en la operación del sistema.

Un sistema de distribución debe atender a usuarios de energía eléctrica tanto los situados en las ciudades como en las zonas ru--rales. Por lo tanto, existe una división del área servida por el sistema de distribución en zonas tales como : Zona central, zona urbana y zona rural.

La carga de cada usuario será clasificada de acuerdo con su lo--calización geográfica. La magnitud de un sistema de distribución para cada una de las zonas mencionadas es de una complejidad con--siderable, por esta misma razón es difícil simular en el labora--torio cada zona y su sistema. Sin embargo independientemente de la complejidad y la zona que se estudie, la filosofía de la ope--ración de un sistema de distribución es la misma.

Enfocamos nuestro estudio a la distribución en baja tensión, - en donde se encuentra el mayor porcentaje de utilización de ener--gía eléctrica, tal es el caso de: Industrias, hospitales, escue--las, edificios, etc. La utilización óptima de esta energía de --pende en gran parte de una buena distribución.

CAPITULO II

CAPITULO II Manual de prácticas

Por medio de un conjunto de aparatos de medición debidamente -- instalados y sincronizados es posible obtener mediciones de algunas cantidades eléctricas que permitan definir adecuadamente una carga o un conjunto de cargas, así como determinar y aún predecir el efecto que puedan tener en el sistema de distribución.

En ingeniería eléctrica de distribución existen algunos térmi-- nos que explican claramente las relaciones de cantidades que pue-- den ayudar a definir las características de una carga, a continua-- ción se presenta brevemente la definición de las relaciones más - importantes y útiles que nos pueden servir para el diseño y com - prensión de un sistema de distribución.

Determinación de la carga. El conocimiento de la carga es su-- mamente importante para el ingeniero de sistemas de distribución, ya que ésto le permitirá elaborar un proyecto acorde a las necesi-- dades particulares de la misma. Al considerar las característi - cas de las cargas se involucran una serie de conceptos básicos -- que es conveniente examinar.

Densidad de carga. Es el cociente de la carga instalada entre el área de la zona considerada, se expresa generalmente en - - - KVA/Km² y MVA/Km².

Demanda. Es la potencia consumida por la carga, expresada en watts, voltamperes, amperes, etc. a un factor de potencia deter-- minado; Se toma en un intervalo de tiempo.

Demanda máxima. Es el valor más alto de demanda que se tiene en un período de tiempo, en un sistema o en una instalación.

Capacidad instalada. Es la potencia nominal máxima de que se dispone en un sistema eléctrico de distribución. Este valor se obtiene de la ampacidad del cable de acometida o bien, de la capacidad del transformador.

Carga conectada. Es la suma de las potencias nominales de todas las cargas (equipos conectados) del consumidor, que tienen probabilidad de estar en servicio al mismo tiempo. La carga conectada representa la demanda máxima de carga posible.

Factor de demanda. Es el cociente de la demanda máxima de un sistema entre la carga conectada al mismo.

Factor de utilización. Es el cociente de la demanda máxima entre la carga instalada.

Demanda diversificada o demanda coincidente. Es la demanda de un grupo compuesto de cargas, es decir la demanda del grupo como conjunto sobre un intervalo particular de tiempo.

Demanda máxima diversificada promedio. Es la demanda máxima de un sistema dividida entre el número de elementos que lo constituyen. La palabra diversificada se debe a que la curva de demanda del sistema, se obtiene al sumar las distintas demandas de los elementos que lo forman.

Factor de diversidad. Es el cociente de la suma de las demandas máximas individuales de los elementos de un sistema, entre la demanda máxima de todo el conjunto.

Factor de simultaneidad o coincidencia. Es el recíproco del factor de diversidad y es menor o igual a uno.

Factor de carga. Es la relación que hay de la demanda entre demanda máxima en un intervalo de tiempo.

Potencia. Es la razón a la cual el trabajo es efectuado en un circuito eléctrico. Esta definición introduce el elemento de tiempo, por lo que podemos decir que es la relación de la energía entre el tiempo.

Factor de Potencia. Se define como el coseno del ángulo de defasamiento de la corriente con respecto al voltaje, el cual se origina por la naturaleza de la carga.

$$fp = \frac{KW}{KVA}$$

también:

$$fp = \frac{R}{Z}$$

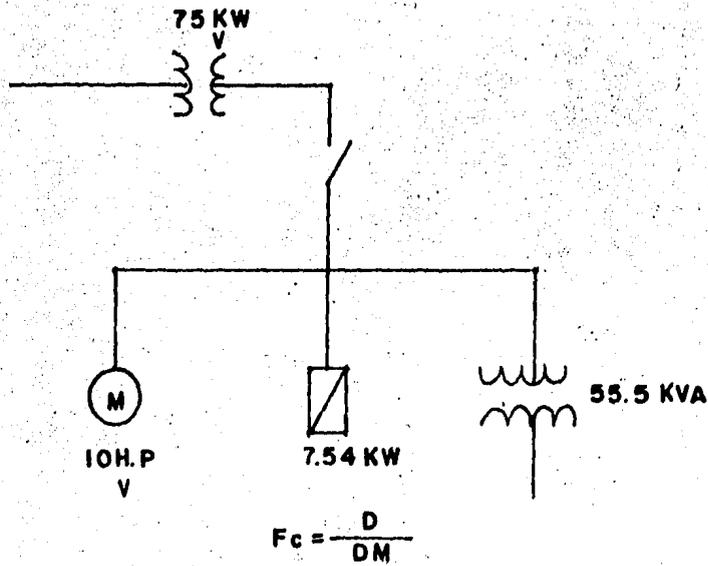
Ejemplo:

En un sistema tenemos conectadas las siguientes cargas:

Un motor de 10 H.P., un centro de carga de 7.54 KW y un transformador de 55.55 KVA, los cuales se conectan a un transformador de 75 KW. Considerando $fp = 0.9$, determinar:

i) Capacidad instalada en KW y KVA

ii) Carga conectada en KW y KVA



i) Como C.I. es la capacidad del sistema, entonces

$$C.I. = 75 \text{ KW} = \frac{75}{0.9} = 83.33 \text{ KVA}$$

ii) Carga conectada. Como la carga conectada es la suma de las potencias nominales, tenemos:

$$a) 10 \times 0.746 = 7.46 \text{ KW}$$

$$b) = 7.54 \text{ KW}$$

$$c) 55.55 \times 0.9 = \frac{50.00 \text{ KW}}{65.0 \text{ KW}}$$

Carga conectada es igual a 65 KW, equivalentes a 72.22 KVA

PRACTICA No. 1 Características generales de un sistema de distribución. Descripción del tablero

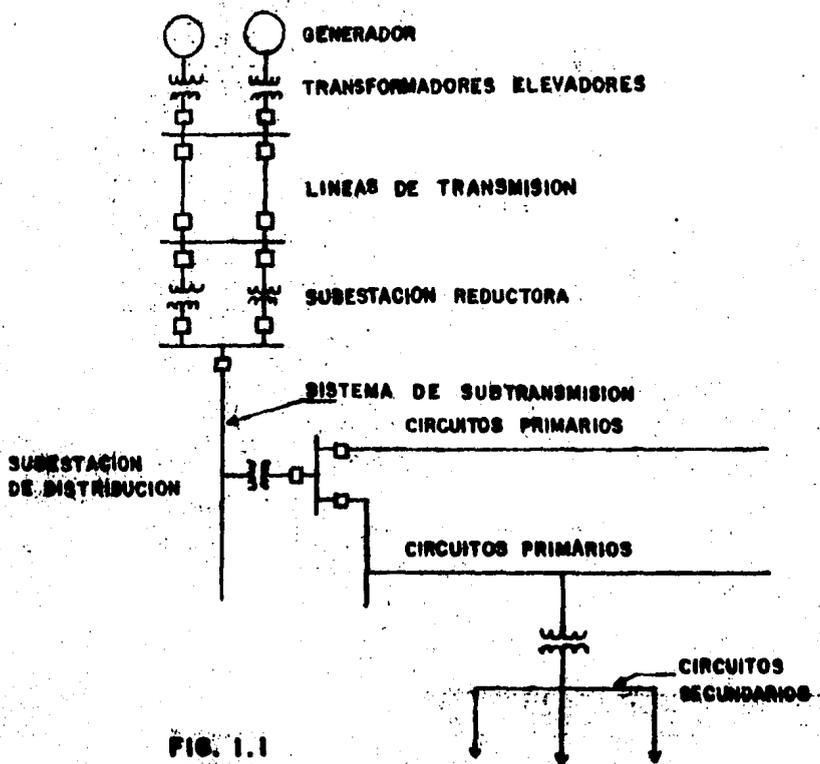
1.1 Objetivo

Conocer que es un sistema de distribución. Saber la operación y el manejo del tablero de distribución y su relación con un sistema real.

1.2 Teoría

Un sistema de distribución es el conjunto de cables, transformadores, interruptores y otros dispositivos eléctricos que hacen llegar la energía desde el sistema de subtransmisión, al usuario.

Para llegar al sistema de subtransmisión, partiendo desde el -



generador, se pasa por la subestación elevadora, las líneas de transmisión y la subestación reductora, como lo muestra la figura 1.1.

El sistema de distribución se inicia con una subestación de distribución de la que salen los alimentadores primarios, se pasa por un transformador y los alimentadores secundarios para así llegar a los servicios.

En el tablero se representa la parte final de un sistema de distribución. Los buses representan una parte de los circuitos secundarios y las cargas representan a los usuarios.

Descripción del tablero

El tablero de distribución se diseñó de tal forma que se pueden realizar las siguientes funciones (figura 1.2)

- i) Medición
- ii) Protección
- iii) Control
- iv) Señalización

En el módulo de medición (M), se encuentran alojados los instrumentos que nos permitirán medir los diferentes parámetros del sistema durante el desarrollo de las prácticas. Estos instrumentos son:

- Voltmetro
- Ampermetro
- Wátmetro
- Factorímetro

El voltmetro y el ampermetro operan a través de conmutadores.

El módulo de protección (P) está formado por interruptores (IP), relevadores de sobrecarga (SI) y simuladores (Si).

Debido a que las corrientes de corto circuito son muy altas la existencia de una falla será simulada por medio de simuladores que conectan los buses a tierra, pero solo permiten el paso de una corriente proporcional muy menor a la de cortocircuito.

Al existir las condiciones de falla, dependiendo de la coordinación de los relevadores, algún interruptor abrirá y cortará el paso de corriente. Esta operación se indica mediante el encendido de la lámpara del interruptor correspondiente.

Por medio del módulo de control (C), se arranca y detiene la operación de la carga. Además en este control se tiene la protección de sobrecarga para el caso de los motores.

La señalización (S) nos indica que equipo está operando --- (luz roja) y cual no (luz verde). Los interruptores (IP) también forman parte de la señalización, ya que mediante la luz encendida se indica cual de ellos se ha disparado.

La carga está compuesta por dos motores, un módulo de alumbrado, un banco de reactores y un banco de capacitores. Estas cargas representan a los usuarios y cada una se conecta a los buses a través de un interruptor termomagnético y un arrancador o contactor (A).

1.3 Instrumentos y componentes

Wátmetro

Vóltmetro

Ampérmetro

Factorímetro

Simuladores 1 y 3

Banco de reactores 6 KVAR

Banco de capacitores 10 KVAR

Módulo de alumbrado 1.8 Kw

Motor 5 HP

Motor 7.5 HP

1.4 Experimento

Cierre todos los interruptores termomagnéticos empezando por el principal.

Opere el selector de fases y vea que el voltaje sea de 220 - volts entre líneas.

Arranque el motor de 5 HP y tome su valor de corriente y --- potencia. Arranque el motor de 7.5 HP y tome los mismos valores. Vea cual es el valor del factor de potencia.

Opere el contactor 3, tome lecturas de I, P y fp.

Conecte los reactores al 50% y opere el contactor 4. Tome -- lecturas.

Conecte los capacitores al 50% y opere el contactor 5. Tome- lecturas, llene la TABLA 1.1.

Opere el simulador 3.

Opere el simulador 1.

Restablezca.

Equipos operando	V	I	KW	fp
1				
1,2				
1,2,3				
1,2,3,4				
1,2,3,4,5				

TABLA 1.1.

1.5 Preguntas

1. ¿Cuál es el valor de la corriente de cada una de las cargas?
2. Al entrar el banco de reactores y capacitores, que le pasa al factor de potencia?
3. Están bien coordinados los relevadores?

PRACTICA No,2 Demanda y demanda máxima

2.1 Objetivo:

Determinar e interpretar el concepto de demanda y demanda máxima. Calcular el factor de carga.

2.2 Teoría:

La demanda de una instalación o sistema es la carga en las terminales receptoras, tomada como un valor promedio en un determinado intervalo de tiempo. Entenderemos por demanda el consumo de energía entre una unidad de tiempo. Puede estar en unidades de potencia o de corriente.

El período durante el cual es tomado el valor promedio se denomina intervalo de demanda.

Se puede afirmar entonces que al establecer una demanda es requisito indispensable indicar el intervalo de demanda, ya que sin esto el valor establecido no tendría ningún sentido práctico. Si por ejemplo, quisieramos establecer el valor de demanda en amperes para la selección de fusibles o arrancadores, se usarían valores instantáneos de demanda.

La determinación de la capacidad de carga de algunos equipos, se basa en la elevación de temperatura que se pueda alcanzar dentro de los límites de seguridad y dado que el cambio de temperatura no es instantáneo, se requieren intervalos mayores de demanda, tales como 15, 30 o 60 minutos. Estos intervalos se usan cuando los equipos tienen una constante de tiempo térmico-elevada.

Normalmente los intervalos de 15 y 30 minutos, se usan para facturación o determinación de capacidad de carga del equipo.

En la figura 2.1 la curva de carga se eleva y cae abruptamente. Si en vez de mostrar los valores instantáneos, la curva fuera dibujada en base a sus demandas promedio (intervalos de 15 minutos), - la curva indicaría demandas menores e incluiría una demanda máxima menor. Por lo tanto, podemos afirmar que entre mayor sea el intervalo de demanda, la magnitud de la demanda será menor

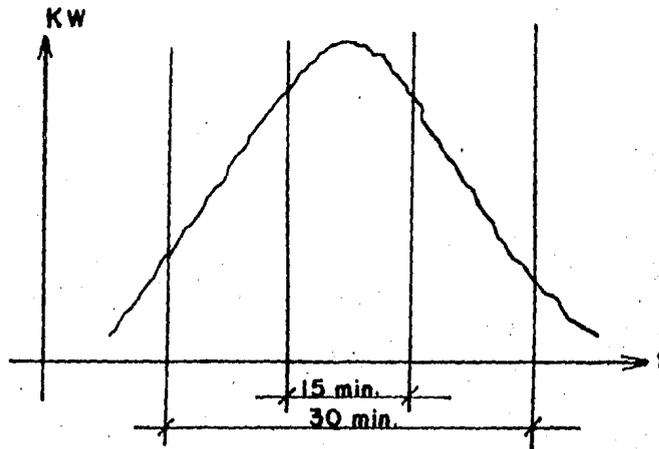


FIG. 2.1

Demanda máxima.

El valor más elevado dentro de la curva de demanda se denomina demanda máxima o pico de demanda, en el intervalo de tiempo que se especifique. Figura 2.2

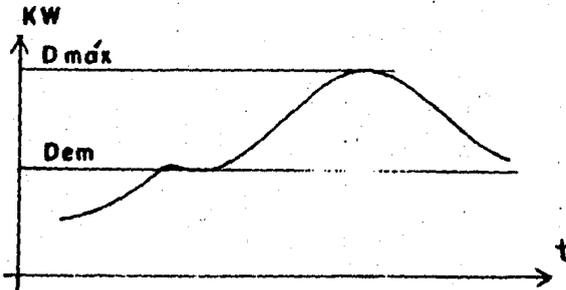


FIG. 2.2

Factor de carga.

Se define el factor de carga como la relación de la demanda en un intervalo de tiempo, entre la demanda máxima observada en el mismo intervalo.

Este factor debe ser específico para el intervalo de tiempo en el cual la demanda máxima y la demanda sean medidos.

Básicamente el factor de carga indica el grado en el cual el pico de carga es sostenido durante el intervalo de tiempo considerado. El factor de carga se hace menor si se alarga el intervalo de tiempo.

$$Fc = \frac{D}{DM}$$

Fc = Factor de carga

D = Demanda

DM = Demanda máxima

Fc \leq 1

2.3 Instrumentos y componentes.

Vóltmetro

Ampérmetro

Wátmetro

Banco de capacitores de 10 KVAR

Banco de reactores de 6 KVAR

Módulo de alumbrado de 1.8 KW

Motor de 5 H.P.

Motor de 7.5 H.P.

Es necesaria la determinación exacta del valor de demanda máxima para un sistema individual de cargas, ya que con éste valor la compañía suministradora determina la caída de voltaje y el posible sobrecalentamiento en los cables.

El conocimiento de la demanda máxima de un grupo de cargas y su efecto combinado con el sistema eléctrico es de gran importancia - dado que la demanda máxima del grupo determinará la capacidad requerida para el sistema, de manera similar la demanda máxima combinada de un grupo pequeño de consumidores, determinará la capacidad del transformador requerido.

El valor de la demanda máxima anual es el valor más frecuentemente usado para la planeación de la expansión del sistema.

$$D = \frac{\sum \text{cargas } i}{\Delta t}$$

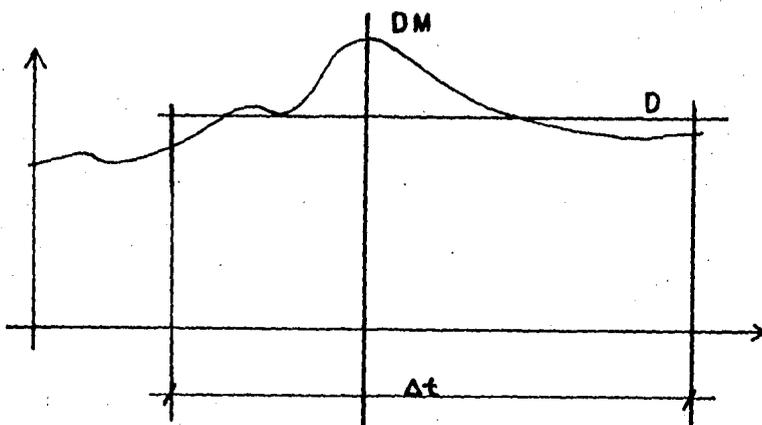


FIG. 2.3

donde:

D = Demanda

Δt = Intervalo de demanda

DM = Demanda máxima

2.4 Experimento

Verifique con el selector de fases que la alimentación al tablero sea la correcta (220 volts entre líneas)

Arranque el equipo en la secuencia indicada en la fig.2.4

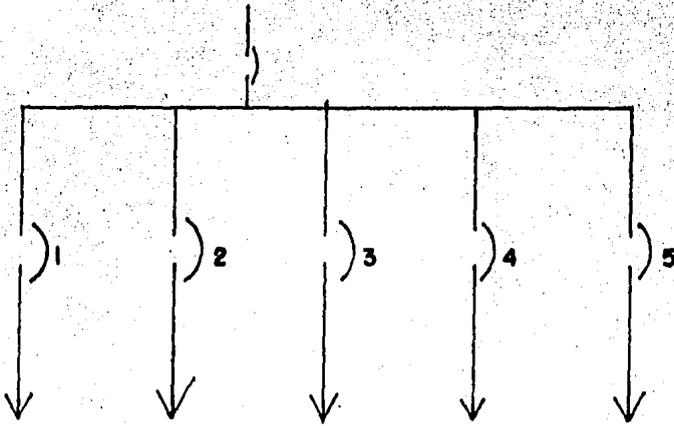


FIG. 2.4

Los bancos capacitivo y reactivo trabajan a un 50% de su capacidad.

Energice el arrancador 1, manténgalo así durante 2 minutos, tome la lectura de corriente que registre el equipo de medición general.

Repita la misma operación para cada una de las cargas mostradas en la figura 2.4 con intervalos de 2 minutos, tome las lecturas de corriente y voltaje para cada una de ellas.

Una vez que todas las cargas estén trabajando proceda a sacar del bus, una por una las cargas conectadas y registre la corriente de cada una de ellas en intervalos de 2 minutos, -- para cada carga desconectada.

Llene la tabla 2.1

	I	V	KW	KVAR
MOTOR 5 HP				
MOTOR 7.5 HP				
ALUMBRADO				
BANCO CAPACITIVO				
BANCO REACTIVO				

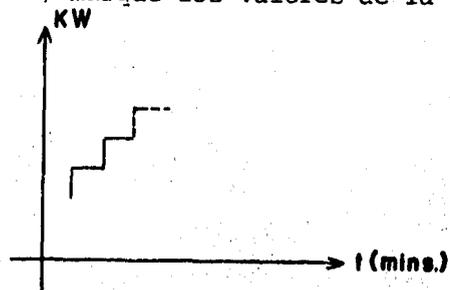
TABLA 2.1

De la tabla anterior, sumando los valores de corriente para cada intervalo, llene la tabla 2.2.

tiempo	2	4	6	8	10 ...	20
I						
V						
KW						

TABLA 2.2

En una gráfica tiempo-KW, marque los valores de la tabla -- 2.2 , como se muestra.



De la curva obtenga los valores de demanda y demanda máxima.

Calcule el factor de carga

2.5 Preguntas

1. ¿ En que caso el factor antes calculado sería unitario?
2. Calcule F_c para el intervalo de 2 minutos en que la demanda es máxima.
3. ¿ Porqué se obtuvieron estos resultados ?
4. ¿ Qué sucede con la demanda de los bancos capacitivo e inductivo?

PRACTICA No. 3 Factor de demanda y utilización

3.1 Objetivo

Calcular e interpretar el factor de demanda y el factor de utilización.

3.2 Teoría

Recordemos de la práctica pasada, la demanda máxima es el valor más alto dentro de la curva de demanda para un intervalo de tiempo determinado.

El factor de demanda expresa objetivamente el porcentaje de carga conectada que está siendo operada simultáneamente.

Definiendo, el factor de demanda en un intervalo de tiempo (Δt) de un sistema, es la relación entre la demanda máxima, en el intervalo de tiempo (Δt) , y la carga conectada.

$$F_d = \frac{DM}{CC}$$

F_d = Factor de demanda

DM = Demanda máxima en el intervalo (Δt)

CC = Carga conectada.

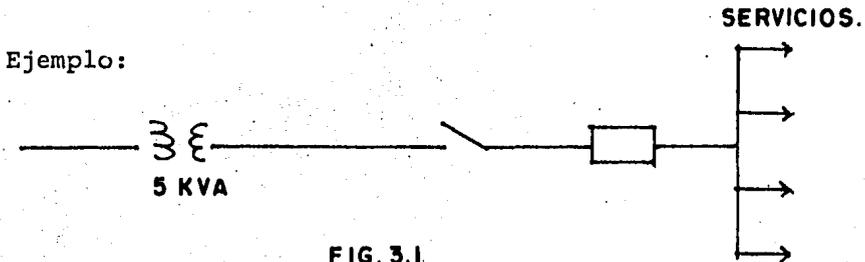
El factor de demanda es menor que la unidad.

El factor de utilización también es un parámetro adimensional que involucra la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema.

Este factor nos da un conocimiento objetivo referente al porcentaje de la capacidad del sistema que está siendo utilizado durante el pico de carga, con respecto a su capacidad total.

Definiendo, el factor de utilización de un sistema es la relación entre la demanda máxima y la capacidad del sistema.

Entenderemos por potencia nominal o capacidad del sistema a la capacidad suministrada por el alimentador o el transformador.



Capacidad del sistema = 5 KVA

Suponiendo que el pico de demanda es de 4 KVA,

$$Fu = \frac{4}{5} = 0.8$$

3.3 Instrumentos y componentes

Wátmetro

Vóltmetro

Amperímetro

Banco de inductancias

Banco de capacitores

Módulo de alumbrado

Motor de 5 H.P. y de 7.5 H.P.

3.4 Experimento

Verifique con el selector de fases que la alimentación al tablero sea la correcta (220 volts entre líneas).

Proceda a cerrar los interruptores termomagnéticos de acuerdo a la secuencia del circuito mostrado en la figura (3.2)

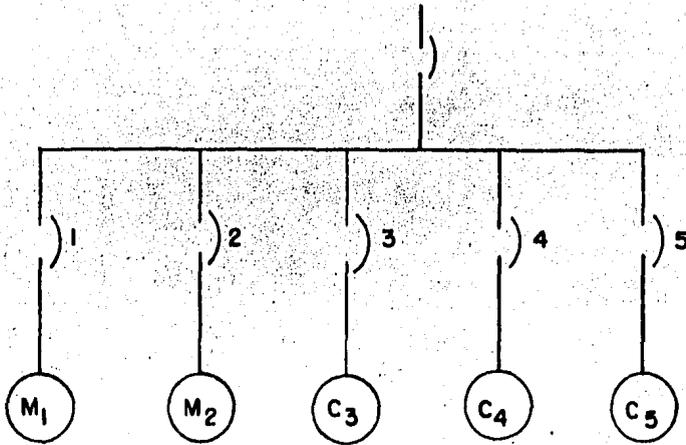


FIG. 3.2

Arranque el motor de 5 HP, manténgalo así durante 2 minutos, tome las lecturas del wátmetro, vóltmetro y ampérmetro.

Repita la misma operación para cada una de las cargas representadas en la figura 3.2, con intervalos de 2 minutos. Tome -- las lecturas correspondientes.

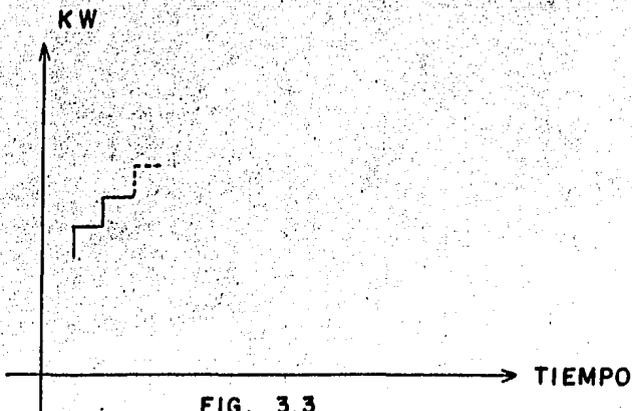
Una vez que todas las cargas estén trabajando, proceda a -- sacar del sistema, 2 de las cargas conectadas y registre las lecturas para el mismo intervalo. Empiece con los motores.

Con las lecturas obtenidas llene la TABLA 3.1

TIEMPO	2	4	6	8	10...	14
I						
V						
KW						

TABLA 3.2

Grafique los valores de carga contra tiempo, figura 3.3



De la gráfica obtenga la demanda máxima.

La capacidad instalada de nuestro sistema es de 47.8 KVA y - la carga conectada se obtiene de la tabla 2.1, para cuando todos los equipos están operando simultáneamente tomando en cuenta el factor de potencia respectivo.

Calcule el factor de demanda y el factor de utilización.

3.5 Preguntas

1. Explique en que condiciones el factor de demanda sería unitario.
2. Explique cuando el factor de utilización sería unitario.
3. Calcule el factor de utilización suponiendo una demanda de 33.5 KVA.

PRACTICA No. 4 Factor de diversidad y factor de coincidencia

4.1 Objetivo

Determinar e interpretar los conceptos de factor de diversidad y factor de coincidencia.

4.2 Teoría

Podemos definir el factor de diversidad como el cociente de la suma de las demandas máximas individuales de varias cargas de un sistema de distribución, entre la demanda máxima total del sistema.

Este factor es igual o mayor que la unidad. Si todas las demandas máximas individuales ocurren simultáneamente, el factor es unitario y se dice que las demandas máximas son coincidentes.

Un grupo de cargas en el que las demandas máximas no son coincidentes, tendrá una demanda máxima total menor que la suma de las demandas máximas individuales.

El factor de coincidencia es el cociente de la demanda máxima total, entre la suma de las demandas máximas individuales tomadas en el mismo intervalo de tiempo.

$$F_D = \frac{\sum D \text{ máx individuales}}{D \text{ máx total}}$$

$$F_C = \frac{1}{F_D}$$

4.3 Instrumentos y componentes

Wátmetro

Vóltmetro

Ampérmetro

Banco de reactores

Banco de capacitores

Módulo de alumbrado

Motor de 5 H.P. y de 7.5 H.P.

4.4 Experimento

Verifique con el selector de fases que la alimentación al tablero sea la correcta, 220 volts entre líneas.

Cierre el interruptor termomagnético del bus principal.

Conecte las cargas de acuerdo al diagrama de tiempo siguiente:

	TIEMPO (mins.)	0	4	8	12	16	20
1.	MOTOR 7.5 H.P.	///	///				
2.	MOTOR 5.0 H.P.			///	///		
3.	ALUMBRADO.		///	///			
4.	REACTORES.				///	///	
5.	CAPACITORES.	///	///				

DIAGRAMA. 4.1

El diagrama nos indica lo siguiente:

Al empezar a contar el tiempo se conectan las cargas 1 y 5, al minuto 4 se conecta la carga 3, al minuto 8 se desconectan las cargas 1 y 5 y se conecta la carga 2 simultáneamente. Al minuto 12 se desconecta la carga 3 y simultáneamente se conecta la carga 4, al minuto 16 se desconecta la carga 2 y al minuto 20 se desconecta la carga 4.

Proceda a hacer las mediciones necesarias para llenar la --
TABLA 4.1

	V	I	W
MOTOR 7.5 H.P			
MOTOR 5.0 H.P			
ALUMBRADO			
REACTORES			
CAPACITORES			

TABLA 4.1

De la teoría sabemos que necesitamos conocer, para cada intervalo de tiempo (cada punto de la curva de demanda), cual es el valor de la suma de las demandas máximas individuales en ese intervalo. Este valor se puede obtener del diagrama 4.1, sumando los valores de demanda que coinciden en cada intervalo de tiempo.

Llene la tabla 4.2

TIEMPO	Σ Dem máx.
0 - 4 min.	
4 - 8 min.	
8 - 12 min.	
12 - 16 min.	
16 - 20 min.	

TABLA 4.2

De la TABLA 4.2 requerimos el valor para el cual, en el intervalo de tiempo total (0-20 minutos), las cargas tienen un grado máximo de coincidencias, ya que este valor nos representa la demanda máxima del sistema.

Determine la suma de demandas máximas individuales. Calcule el factor de coincidencia.

Ahora haga una secuencia diferente de conexión, de acuerdo al diagrama 4.2

		4	8	12	16	20
MOTOR 7.5 H.P.	///	///	///			
MOTOR 5.0 H.P.		///	///	///		
ALUMBRADO			///	///	///	
REACTORES		///	///			
CAPACITORES	///	///				

DIAGRAMA 4.2

Llene la tabla 4.3

TIEMPO	Σ Dem máx
0 - 4 min.	
4 - 8 min.	
8 -12 min.	
12 -16 min.	
16 -20 min.	

TABLA. 4.3

4.5 Preguntas:

1. ¿ Cuanto vale el factor de diversidad?
2. ¿ Cuanto vale el factor de coincidencia?
3. ¿ Qué nos indica un factor de diversidad unitario?
4. ¿ Qué valor se usa para el estudio de la expansión de una red que tenga relación con los parámetros antes vistos?

PRACTICA N° 5 Factor de Potencia

5.1 Objetivo

Medición y corrección del Factor de Potencia.

Visualizar las consecuencias de un bajo factor de Potencia.

5.2 Teoría

En las instalaciones industriales se utilizan aparatos que para su funcionamiento necesitan una determinada cantidad de energía magnética, de un 10 al 20% de la energía realmente aprovechada, o en otras palabras, tienen un factor de potencia del 80 al 90%. En este caso se encuentran los transformadores, los motores, las máquinas de soldar, los reactores de las lámparas fluorescentes y otros aparatos.

Cuando las cargas en los transformadores es del 100% y cuando los motores tienen una capacidad igual a su carga, el factor de potencia será entre 80 y 90%. Habrá períodos en que los transformadores y motores están sobrecargados y en otros están casi trabajando en vacío, en estos últimos casos es cuando estos equipos ofrecen una reacción muy poderosa al paso débil de las corrientes eléctricas, de un 30, 50% o más de cargas reactivas comparadas con las efectivas y es cuando el factor de potencia bajará a 70, 60 ó 50%.

El bajo factor de potencia de una instalación industrial da motivo a un aumento de la intensidad de corriente y a caídas de voltaje en las líneas abastecedoras de la compañía suministradora de electricidad, que de persistir, la obligará a aumentar la capacidad de sus plantas generadoras, transformadores y líneas. Por esto se ha convenido que el industrial que por descuido, ---

falta de mantenimiento de su equipo o procesos de fabricación forzados, paguen un sobreprecio por bajo factor de potencia sobre su facturación normal.

En un circuito de corriente alterna, la tensión y la corriente no adquieren sus valores eficaces en el mismo momento, a menos que se trate de resistencias puras.

Cuando hay reactores, la corriente se atrasa y cuando hay -- capacitores, se adelanta. La combinación de cargas diversas hace que el valor de la corriente pueda aparecer antes o después de aplicada la tensión. Representados por vectores los valores eficaces de la tensión y de la corriente, tendrán un ángulo que los separe. El coseno de este ángulo, que generalmente se designa con la letra griega ϕ , es lo que se conoce como el factor de potencia. En la figura 5.1 se representa un circuito eléctrico con resistencia, capacitancia e inductancia. La combinación vectorial de las intensidades de corriente, nos da la corriente -- resultante con su ángulo ϕ correspondiente.

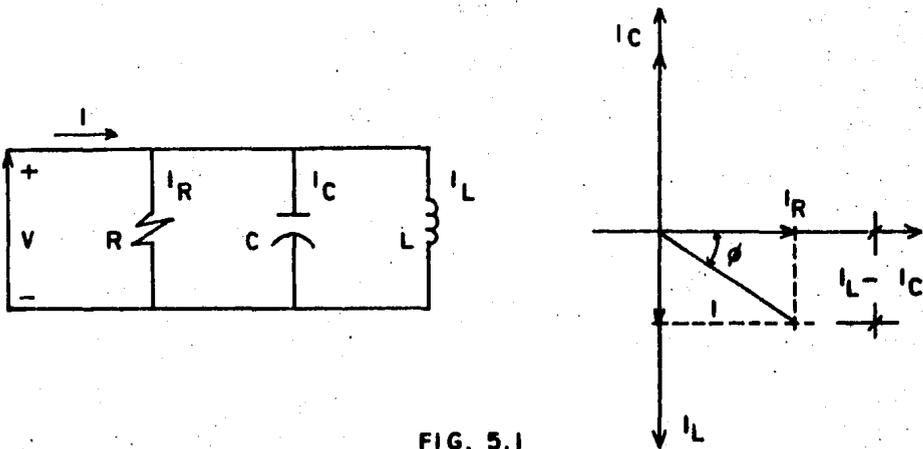


FIG. 5.1

En circuitos que contiene resistencias e inductancias, el ángulo de defasamiento es siempre menor de 90° , las cantidades relativas de resistencia e inductancia determinan los grados de defasamiento. El ángulo de defasamiento ϕ es mayor, cuando la inductancia es mayor con respecto a una resistencia dada. Prácticamente este ángulo nunca llega a 90° porque siempre existe resistencia en cualquier circuito.

El hecho de que a mayor inductancia mayor retraso, se refleja matemáticamente en el $\cos. \phi$, en trigonometría, el valor del coseno de cualquier ángulo entre 0° y 90° varía entre 1 y 0 respectivamente, cuando $\phi = 0^\circ$, $\cos \phi = 1$ (cto. resistivo puro).

Los capacitores corrigen un bajo factor de potencia debido a que la corriente adelantada, que se encuentra en un cto. capacitivo se opone a la corriente atrasada de un cto. inductivo. Si ambos circuitos se combinan en uno solo, los efectos de la capacitancia tienden a cancelar los de la inductancia.

Un capacitor correctamente escogido proporciona una cancelación perfecta. Debe tratar de evitarse o mucha, o poca capacitancia, dado que poca capacitancia no corrige el retraso y mucha provocaría un ángulo de defasamiento adelantado con los mismos efectos indeseables de un ángulo de defasamiento retrasado equivalente, sin corrección.

El uso de capacitores representa una positiva economía tanto en su instalación como en su mantenimiento. Carecen de partes móviles, que puedan deteriorarse o representan un riesgo para los empleados de la planta, también carecen de complicados motores de arranque o sistemas de ajuste.

La corrección del factor de potencia por medio de capacitores es un método altamente flexible ya que éstos se pueden instalar en cualquier lugar y en cualquier cantidad, se obtienen en tamaños que se ajustan a cualquier potencia y se pueden acondicionar en los puntos de la línea donde más se necesiten, no requieren de cimentación especial ya que no tienen partes móviles y tampoco vibran.

Las pérdidas en los capacitores son despreciables y si quedan conectados a la línea después de desconectar los motores su consumo de energía eléctrica sería insignificante. Se pueden obtener tanto para instalaciones interiores o a la intemperie y para cualquier voltaje.

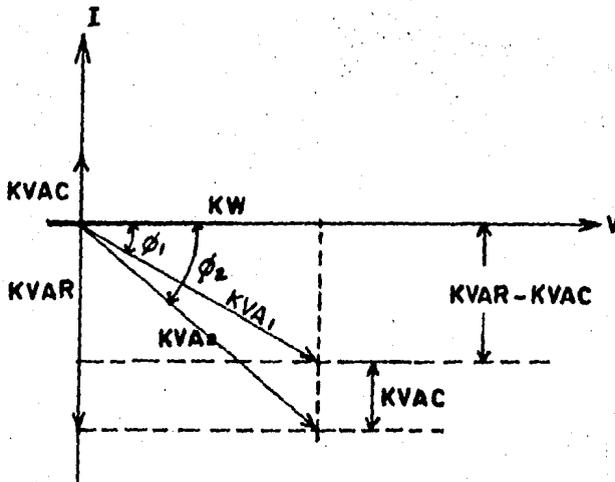


Fig. 5.2

KW Potencia real
 KWA Potencia aparente
 KVAR Potencia inductiva
 KVAC Potencia capacitiva

Con referencia a la figura 5.2, los siguientes valores pueden medirse directamente del sistema:

$$KW_2, KVA_2$$

$$KW_1 = KW_2 = KW \quad \dots 5.1$$

$$\cos \theta_2 = \frac{KW_2}{KVA_2} \quad \dots 5.2$$

Necesitamos conocer KVAC, para corregir el factor de potencia a un valor conocido $\cos \theta_1$, para lo cual utilizaremos la siguiente igualdad trigonométrica :

$$\tan \theta = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta}}{\cos \theta} \quad \dots 5.3$$

$$KVAC = KW(\tan \theta_2 - \tan \theta_1) \quad \dots 5.4$$

5.3 Instrumentos y componentes

Wátmetro

Vóltmetro

Ampérmetro

Factorímetro

Motores de 5 y 7.5 HP

Módulo de alumbrado

Banco de reactores

Banco de capacitores

5.4 Experimento

Verifique con el selector de fases que la alimentación al tablero sea la correcta, 220 V entre líneas.

Arranque los equipos M_1, M_2 y C_3 .

Tome las lecturas del ampérmetro y del wátmetro.

Con los valores leídos, calcule la potencia aparente :

$$KVA_1 = 10^{-3} \sqrt{3} I V$$

Calcule el factor de potencia del sistema, con las cargas mencionadas :

$$fp_1 = \frac{KW}{KVA_1}$$

Compárelo con el valor registrado por el factorímetro, si existe diferencia indique a que se debe.

Ajuste el banco de reactores a un 50% de su capacidad nominal y conéctelo. Incremente su capacidad hasta el valor total.

Tome lecturas del ampérmetro y del wátmetro.

Para la condición anterior (banco de reactores conectados al 100%), calcule el factor de potencia :

$$fp_2 = \frac{KW}{KVA_2}$$

Compare este valor con el registrado por el factorímetro.

Compare los valores de fp_1 y fp_2 . Explique a que se debe la -

la diferencia.

Para corregir el bajo factor de potencia al valor original, determine cual es la potencia reactiva que suministrará el banco de capacitores. Para ésto utilice las fórmulas 5.3 y 5.4 .

Ajuste el banco de capacitores al valor calculado. La capacidad del banco es de 10 KVAR.

Una vez hecho el ajuste, conecte el banco al sistema.

Tome lecturas del ampérmetro, wátmetro y factorímetro.

Verifique mediante cálculos y mediante el factorímetro, que fp_2 ha sido corregido.

Oprima el botón de paro de todos los equipos, empezando con -- los bancos de capacitores y de reactores.

V.5 Preguntas

1. ¿ Que desventajas tiene un bajo factor de potencia y por qué sucede?
2. ¿ Describa brevemente los métodos empleados, ventajas y desventajas de c/u, para corregir el factor de potencia.
3. Haga el triángulo de potencias (fig. 5.2)
4. Calcule el banco de capacitores para corregir el factor de potencia igual a 0.5

PRACTICA N° 6 Protección con relevadores de sobrecorriente

6.1 Objetivo

Que el alumno conozca la operación de los relevadores de sobrecorriente y sepa limitar sus zonas de protección. Que se familiarice con los tiempos de disparo de los mismos.

6.2 Teoría

Los relevadores de sobrecorriente proporcionan protección primaria de línea o protección de respaldo, contra fallas de fase o fallas a tierra. Tienen diferentes características de curvas de tiempo, que son diseñadas para operar más rápido a altos valores de corriente de falla.

Cuando se aplican correctamente estos relevadores, proporcionan una máxima continuidad de servicio disparando el mínimo posible de interruptores necesarios para desconectar una zona fallada.

En general, la aplicación indicará el uso de un relevador específico. Relevadores de tiempo corto, actúan rápidamente para evitar daños al equipo. Relevadores de tiempo largo mantienen desactivado el disparo en sobrecargas inicialmente fuertes.

A corrientes de falla más elevadas, los relevadores moderadamente inversos y de tiempo definido mantienen el tiempo de operación constante. Los relevadores de tiempo inverso y extremadamente inverso operan más rápido a corrientes de falla más altas.

Para mantener la máxima continuidad de servicio durante una

falla, será removida una sección tan pequeña como sea posible.

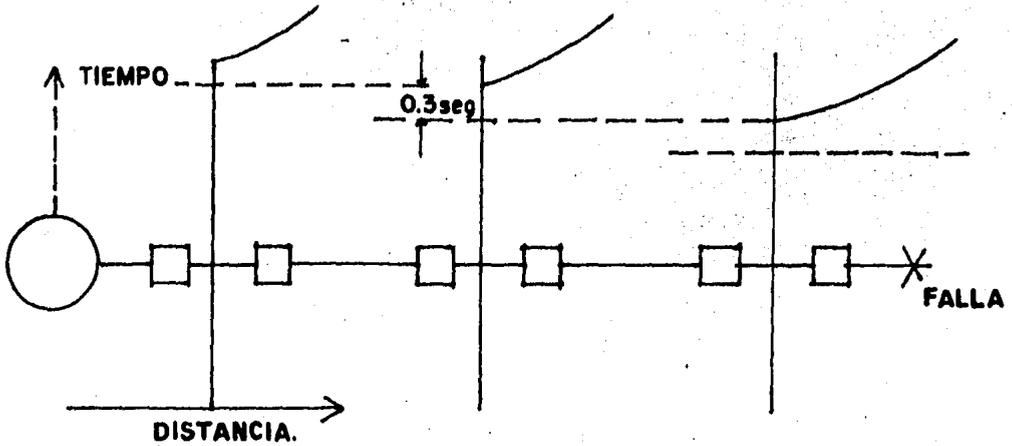


FIG. 6.1

En todas las secciones de las líneas, los relevadores deberán tener curvas de operación similares. De otra manera, las curvas pueden interceptarse lo que provoca una operación incorrecta del relevador.

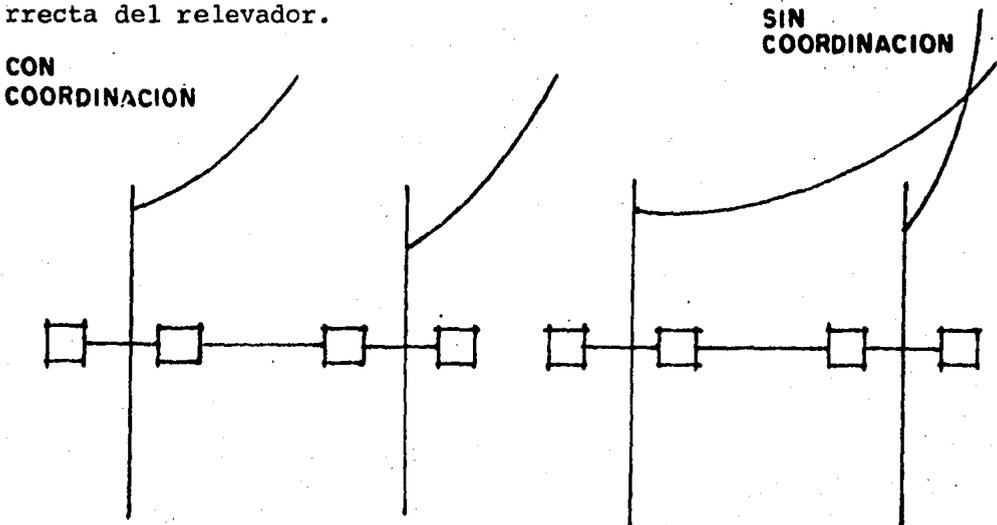


FIG. 6.2

La selección del rango de las derivaciones, depende de la corriente de falla vista por el relevador, la cuál es determinada por el transformador de corriente y sus características de operación bajo condiciones de falla.

Cuando se dispone de fuente de control de CD, se usan relevadores de cierre de circuito. Cuando no, se usan relevadores de apertura de circuito con disparo de CA, usando el secundario de un transformador de corriente para energizar la bobina de disparo del interruptor. Bajo condiciones normales los contactos normalmente cerrados del relevador se derivan a la bobina de disparo del interruptor.

6.3 Instrumentos y componentes

- Vólmetro
- Ampérmetro
- Simuladores de falla
- Interruptores
- Restablecedor
- Banco de inductancias
- Banco de capacitores
- Módulo de alumbrado
- Motores de 7.5 y 5 HP

6.4 Experimento

Ajuste el tiempo de disparo del interruptor 1 (t_1), a 8 segundos.

Para los interruptores de potencia colocados en los alimentadores, se ajusta un tiempo correspondiente a una corriente -

de 1000% la corriente nominal. En nuestro caso el relevador 3- tiene un tiempo (t_3) de 6 segs. El tiempo de los relevadores - 3 y 4 (t_3), (t_4) es igual a 4 segs.

Arranque los equipos según la figura 6.3

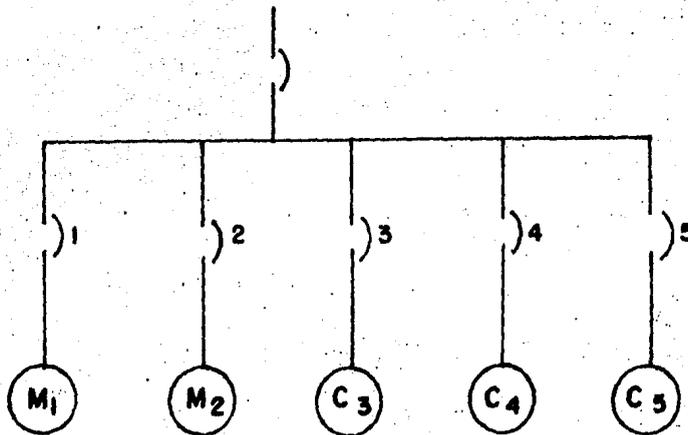


FIG. 6.3

Opere el simulador 2. En el bus mímico se indicará que interruptor se ha abierto, mediante el encendido de su lámpara representativa. Anote que equipo se paró y que interruptor se ha disparado. Opere el restablecedor.

Opere el simulador 3. Tome las anotaciones convenientes

Restablezca a condiciones iniciales

Opere el simulador 4. Tome nota

Restablezca a condiciones iniciales

Opere el simulador 1. Tome nota

Restablezca a condiciones iniciales.

Para observar la importancia de la coordinación de interruptores, se cambiarán los tiempos de disparo. Ajuste t_1 a 2 segs.

Opere S4. Tome nota

Restablezca

Opere S3. Tome nota

Restablezca

Opere S2. Tome nota

Restablezca

Ajuste t_1 , a 8 segs.

Pare el equipo

Llene la tabla 6.1

EQUIPO SIMULADOR OPERADO		FUERA	M ₁	M ₂	C ₃	C ₄	C ₅
T ₁ = 8 seg.	S ₂						
	S ₃						
	S ₄						
	S ₁						
T ₁ = 2 seg.	S ₂						
	S ₃						
	S ₄						
	S ₁						

TABLA 6.1

6.5 Preguntas

1.- Suponiendo una adecuada coordinación de los tiempos de -- operación de los relevadores, dibuje en un diagrama corriente-tiempo las curvas de los relevadores.

2.- En un diagrama unifilar dibuje las zonas de protección -- para cada interruptor.

3.- ¿ Qué pasa si ajustamos $t_1 = 4$ segs, $t_3 = 1$ seg, $t_2 = 2$ - segs. y operamos el simulador S_2 ?

4.- ¿ Para el caso anterior, que interruptores actúan de respaldo ?.

PRACTICA N^o 7 Protección contra sobrecargas

7.1 Objetivo

Proporcionar al alumno un conocimiento objetivo acerca de los dispositivos protectores contra sobrecargas en motores y la filosofía de los mismos.

7.2 Teoría

Un motor como máquina siempre llevará cualquier carga, aún si ésta es excesiva. Excluyendo la corriente de arranque o la de rotor bloqueado, un motor demanda una corriente cuando está en operación que es proporcional a la carga y que va desde la corriente sin carga, hasta la corriente a plena carga cuyo valor se encuentra indicado en la placa del motor.

Cuando la carga excede el par normal del motor, éste demanda una corriente más elevada que la corriente a plena carga y esta condición se considera como una sobrecarga. La sobrecarga máxima existe bajo las condiciones del rotor bloqueado, en las cuales la carga es tan excesiva que el motor se para o no puede arrancar y como consecuencia, demanda la corriente de rotor bloqueado.

Las sobrecargas pueden ser eléctricas o mecánicas en su origen. Trabajar un motor polifásico con una fase o línea con bajo voltaje, puede ser ejemplo de sobrecarga eléctrica.

El efecto de una sobrecarga es una elevación de temperatura en el motor. Mientras mayor sea la sobrecarga, más rápidamente se incrementará la temperatura a un punto tal que dañe los aislantes y la lubricación del motor. Por lo tanto una relación --

inversa existe entre corriente y tiempo, mientras mayor sea la corriente menor será el tiempo en el que el motor se dañe o se queme.

Todas las sobrecargas acortan la vida del motor y en general de cualquier instalación eléctrica, por deterioro del material--aislante. Relativamente, las pequeñas sobrecargas de corta duración causan un pequeño daño, pero si se sostienen harían tanto daño como las sobrecargas de magnitud mayor. La relación de sobrecarga y tiempo se ilustra en la figura siguiente:

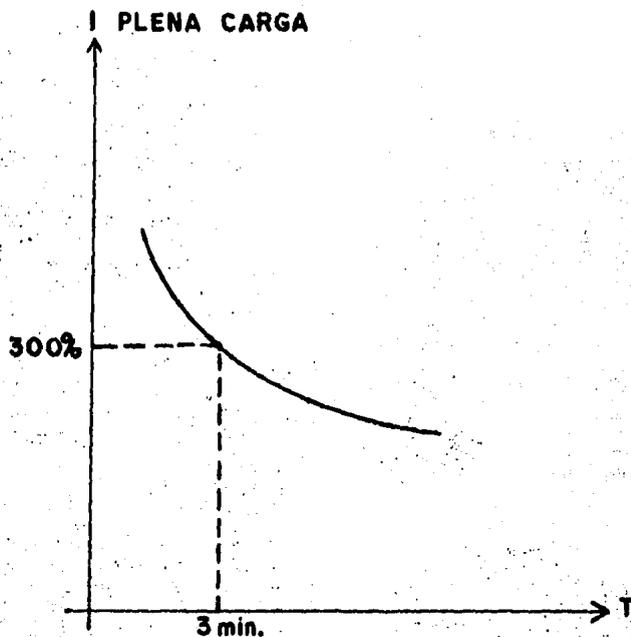


FIG. 7.1

En 300% de sobrecarga, el motor en particular para el cual - corresponde esta curva, podría llegar a su temperatura límite -- permisible en 3 minutos. El sobrecalentamiento o daño en el ---

motor ocurriría si la sobrecarga persistiera por un tiempo mayor que el mencionado.

La protección ideal para sobrecarga de un motor, sería un elemento con propiedades sensitivas a la corriente, muy similar a la curva de calentamiento del motor, cuando la corriente de carga plena se excediera. La operación del dispositivo protector será tal que al motor se le permite llevar sobrecargas por un tiempo muy corto, pero que rápidamente lo desconectará de la línea cuando la sobrecarga persiste por más tiempo.

El relevador de sobrecarga es el corazón de la protección del motor ya que tiene característica de tiempo inverso en su operación, permitiendo mantener la conducción durante el período de aceleración (corriente de arranque), pero dando protección en las pequeñas sobrecargas de la corriente de plena carga. Cuando el relevador ha operado, puede repetir la operación sin necesidad de ser reemplazado como los fusibles.

El relevador de sobrecarga no protege contra corto-circuito, esta función la ejecutan los fusibles, dado que la corriente de corto-circuito es instantánea.

7.3 Instrumentos y componentes

Vóltmetro

Ampémetro

Cronómetro

Motor de 7.5 HP

Banco de resistencias de 10 KW

7.4 Experimento

Verifique con el selector de fases que la alimentación al tablero sea la correcta (220 volts entre líneas).

Cierre el interruptor termomagnético mostrado en la figura 7.2.

Arranque el motor de 7.5 HP

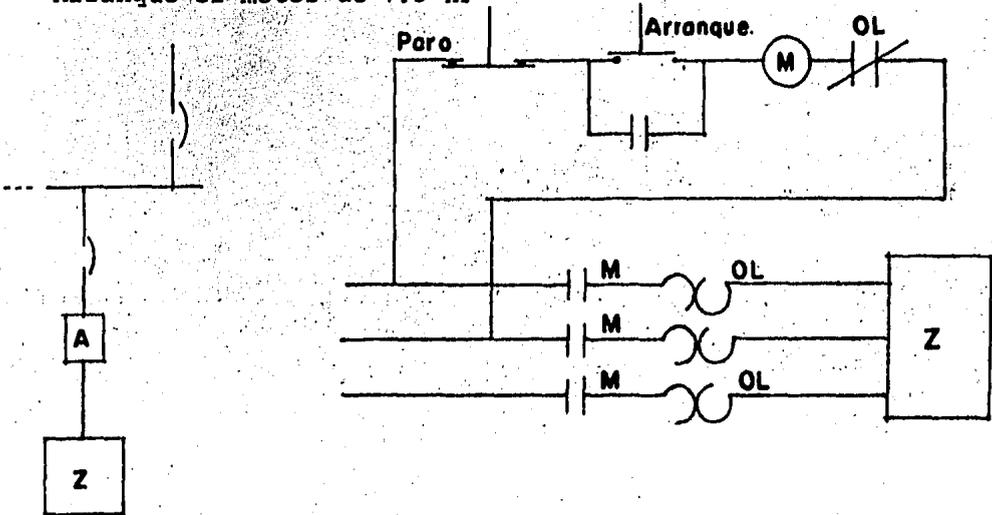


FIG. 7.2

El relevador seleccionado para esta práctica, forma parte de la protección del motor de 7.5 HP.

La práctica se iniciará con el valor de corriente de plena carga asentado en la placa del motor.

Incremente el valor de esa corriente en 50% mediante el banco de resistencias.

Tome el tiempo que transcurre a partir del incremento de corriente, hasta el disparo.

Espere 6 minutos para que el disparo térmico recupere su temperatura normal.

Restablezca físicamente, arranque nuevamente el equipo y ajuste la corriente a plena carga.

Ahora incremente la corriente en un 75%. Registre el tiempo que transcurra entre el tiempo y el disparo.

Espere como anteriormente, para poder restablecer. Arranque y ajuste a corriente de plena carga.

Incremente la corriente en un 100%. Registre el tiempo transcurrido hasta el disparo.

Restablezca después de 10 minutos.

Llene la tabla 7.1

INCREMENTO %	I RAMA	TIEMPO DE DISPARO
50		
75		
100		

TABLA 7.1

En un diagrama I-T, grafique la curva de operación del relevador.

7.5 Preguntas

1. Compare los valores obtenidos de tiempo de disparo y explique porque existe diferencia.

2. Explique que ocurre cuando al operar el relevador de sobrecarga, restablecemos inmediatamente y arrancamos de nuevo el equipo.

II.8 Solución a preguntas

PRACTICA 1

1.- $I_1 = 12.8 \text{ A}$

$I_2 = 19.2 \text{ A}$

$I_3 = 4.7 \text{ A}$

$I_4 = 15.7 \text{ A}$

$I_5 = 26.2 \text{ A}$

2.- Con el banco de reactores el factor de potencia se atrasa y con el banco de capacitores se adelanta.

3.- Sí

PRACTICA 2

1.- El factor de carga es unitario cuando la demanda máxima es constante.

2.- $F_c = 1$

3.- Porque la demanda es máxima

4.- Tiene que medirse en unidades de corriente, ya que los bancos consumen potencia reactiva que no registra el wátmetro.

PRACTICA 3

- 1.- Cuando toda la carga conectada está en operación.
- 2.- Cuando la capacidad instalada es igual a la demanda máxima.
- 3.- $F_u = 0.7$

PRACTICA 4

- 1.- $FD = \frac{\text{suma de las demandas máximas individuales}}{\text{demanda máxima total}}$
- 2.- $F_c = \frac{1}{FD}$
- 3.- Que todas las demandas máximas son coincidentes.
- 4.- La demanda máxima diversificada

PRACTICA 5

- 1.- Tiende a aumentar innecesariamente la capacidad del sistema. Sucede debido a que en el circuito considerado existen gran consumo de energía inductiva.
- 2.- Por medio de motores síncronos. La ventaja de este método es que puede variar fácilmente la potencia capacitiva que se necesite para corregir el factor de potencia. Tiene la desventaja que para potencias grandes el motor es muy voluminoso.

Por medio de bancos de capacitores, que son muy adecuados-
debido a su facilidad de manejo y poco volumen.

$$3.- K_w = K_{w_{\text{mot}}} + K_{w_{\text{alumb}}}$$

$$= 11.42 + 1.8 = 13.22 \text{ Kw}$$

$$4.- \text{KVAR} = 13.22 (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

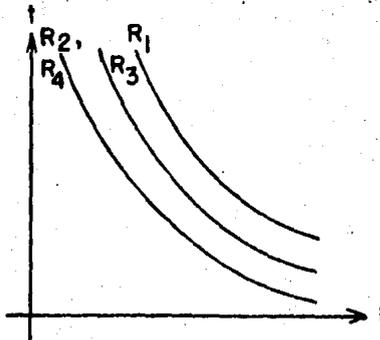
$$\theta_2 = \cos^{-1} 0.9 = 25.84^\circ$$

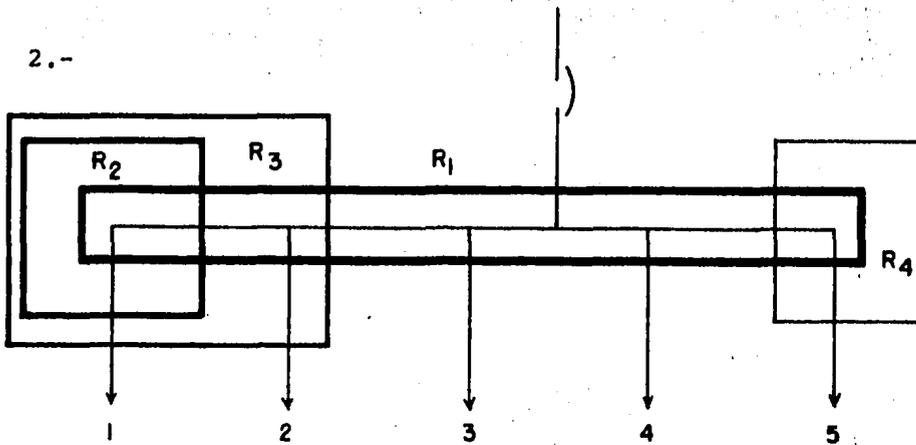
$$\theta_1 = \cos^{-1} 0.5 = 60^\circ$$

$$\text{KVAR} = 13.22 (1.732 - 0.484) = 16.49 \text{ KVAR}$$

PRACTICA 6

1.-





3.- No se libra únicamente la zona fallada, sino que también se afecta la zona correspondiente a la carga número 2 (M_2).

4.- El interruptor R_1 .

PRACTICA 7

1.- Existe diferencia por la característica de tiempo inverso del relevador de sobrecarga.

2.- Como el relevador de sobrecarga no ha recuperado sus características originales, el arrancador no logra mantener cerrados sus contactos.

CAPITULO III

CAPITULO III Especificación del equipo de medición

III.1 Amperímetro

III.1.1 Principios de los instrumentos de medición de corriente

Sabemos que si una carga puntual de q Coulombs que se mueve con una velocidad v , se localiza dentro de un campo electromagnético, la fuerza que actúa sobre ella es la suma de la fuerza eléctrica y la fuerza magnética y está dada por la relación :

$$F = q (E + v \times B) \quad \text{Newtons}$$

E es la intensidad de campo eléctrico (V/m)

v es la velocidad (m/s)

B es la densidad de flujo magnético (Webers/m²)

F es la fuerza total electromagnética, llamada de Lorentz

La dirección y módulo de F depende de la dirección en que se mueve la carga puntual. En todo instante F es perpendicular a v , además, en todo punto, F es siempre perpendicular a una dirección fija en el espacio dada por B . Ver figura III.1.1.

Si tenemos un conductor portador de corriente, que se localiza en un campo magnético de densidad de flujo B perpendicular al conductor y suponiendo la fuerza eléctrica despreciable, la intensidad de corriente i , es la rapidez de movimiento de la carga. De la figura III.1.2 tenemos :

$$i = dq/dt = nevA$$

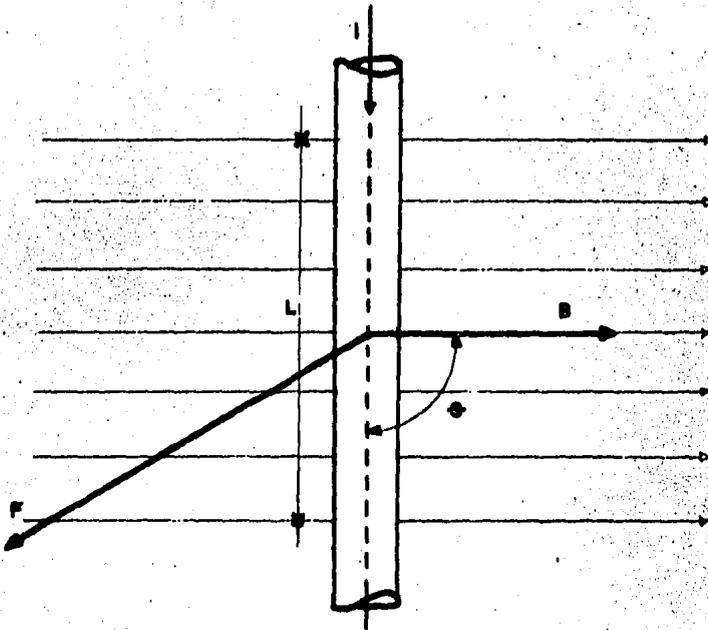


FIG. III.1.1

- dq carga total que atraviesa el área en el tiempo dt
- n número de electrones libres por unidad de volumen
- v velocidad de cada electrón
- A área de la sección del conductor
- e carga de cada electrón

La ecuación III.1.1 da la fuerza que actúa sobre una carga puntual. Si $E=0$, tenemos:

$$F = qv \times B \quad \text{III.1.3}$$

Esta ecuación representa la fuerza sobre una sola carga. El número de cargas en la longitud L del conductor es :

$$N = nLA \quad \text{III.1.4}$$

Por lo tanto, la fuerza resultante sobre el conductor de longitud L es:

$$F = nLA(qv \times B) \quad \text{III.1.5}$$

Reordenando :

$$F = nqvALB \quad \text{III.1.6}$$

Sustituyendo la ecuación III.1.2 en ésta última y tomando en cuenta que $q=e$, se tiene:

$$F = iLB \quad \text{III.1.7}$$

En el desarrollo seguido, se han supuesto despreciables los efectos en el extremo del conductor. Asimismo que la región L está definida de tal manera que el campo magnético fuera de ella es cero y constante dentro de la región.

De los principios mencionados, podemos construir un instrumento (galvanómetro), que nos mida intensidades de corriente, basándonos en la acción mutua entre un conductor portador de corriente y un campo magnético.

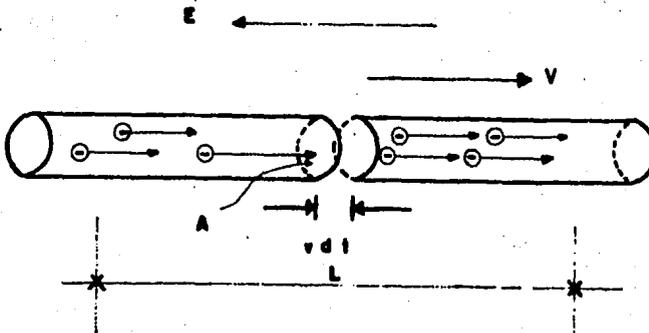


FIG. III.1.2

Si se construye una bobina con N vueltas y L longitud de -- cada vuelta, la fuerza que actúa sobre ella como resultado de la corriente eléctrica a medir, será según la ecuación III.1.3:

$$F = NiLB$$

III.1.8

La fuerza se mide observando la deflexión de un dispositivo restaurador de fuerza, como podría ser un resorte y es directamente proporcional a la corriente que circula por la bobina.

Si la deflexión se gradúa en una escala de corriente, tenemos un galvanómetro muy elemental.

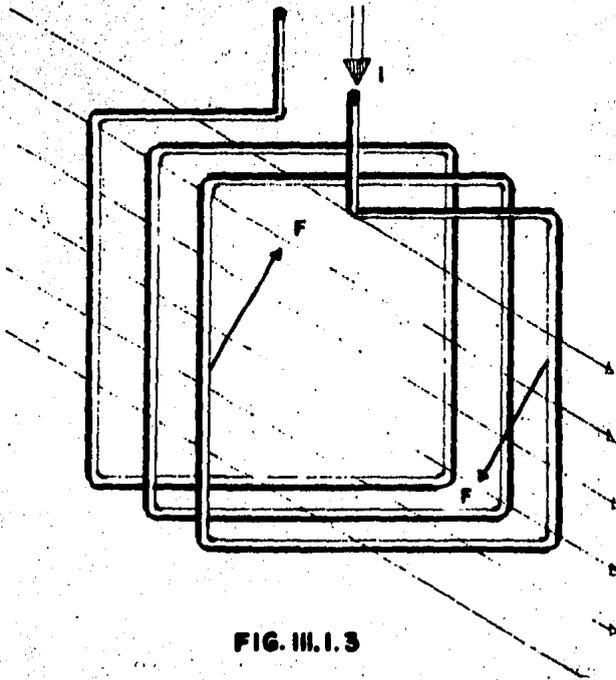


FIG. III.1.3

III.1.2 Medidor de D'Arsonval

Este medidor es un galvanómetro de bobina móvil.

En el año de 1882, Arsene D'Arsonval inventó el galvanómetro, dándole ese nombre en honor al científico italiano Galvani. El galvanómetro se constituía por un imán estacionario permanente y una bobina móvil.

Aunque el primer galvanómetro era muy preciso, solo podía medir cantidades muy pequeñas y era muy delicado. Actualmente tienen mayor rango de medición y estructuras más resistentes.

En la actualidad debido a que es muy preciso y su estructura muy sólida, este galvanómetro es el más usado. Puede medir corriente, tensión, resistencia y otras magnitudes eléctricas.

En su forma más sencilla, este dispositivo consta de una bobina de alambre muy fino (figura III.1.4), devanada sobre un marco de aluminio ligero.

Un imán permanente (figura III.1.5) rodea la bobina. El marco de aluminio está montado sobre pivotes que le permiten girar libremente. Los pivotes están montados en cojinetes de relojería. La distancia que gire el marco depende de la cantidad de corriente que circule a través de la bobina. Por lo tanto, al ajustar una aguja (figura III.1.7) al marco de la bobina y colocar una escala calibrada (figuras III.1.8,9) en unidades de corriente, puede medirse con exactitud la corriente que fluye a través del instrumento.

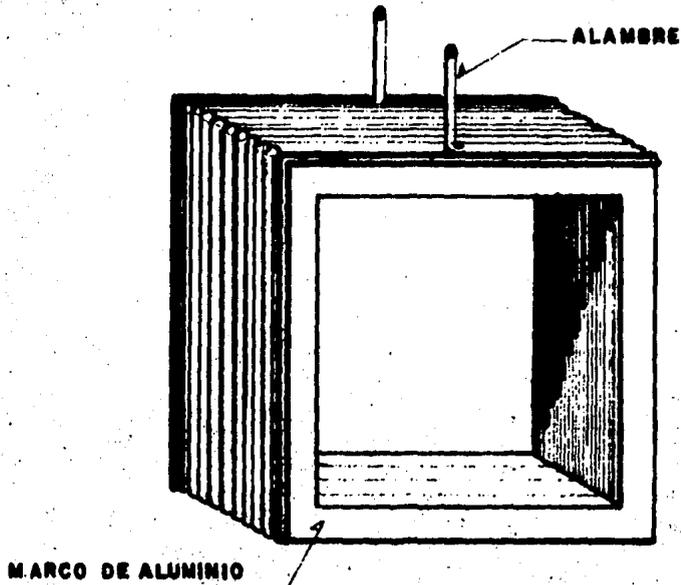


FIG. III.1.4

La bobina se hace lo más ligera posible, para lo cual se devana sobre un marco de aluminio, se construye con alambre muy delgado y tiene muy pocas espiras.

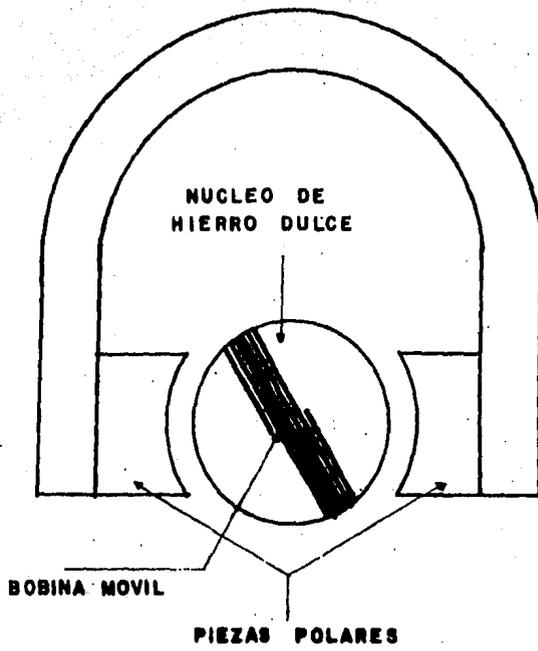


FIG. III.1.5

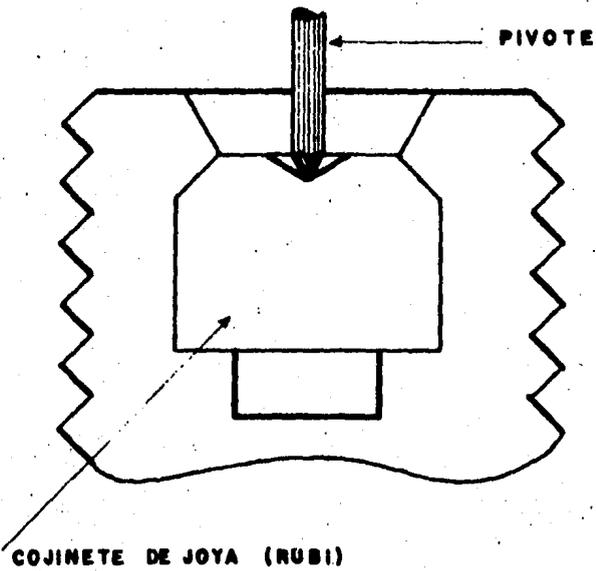


FIG. III.1.6

Las figuras de la página anterior muestran:

Figura III.1.5 muestra un imán permanente en forma de herradura, con piezas polares y un núcleo de hierro. Existe un campo magnético concentrado en el entrehierro por lo que la mayor parte de las líneas de fuerza cortan a la bobina móvil.

Figura III.1.6 muestra los pivotes de acero endurecido, que son montados en cojinetes de rubíes para reducir al mínimo la fricción, de manera que las partes rotatorias puedan girar fácilmente.

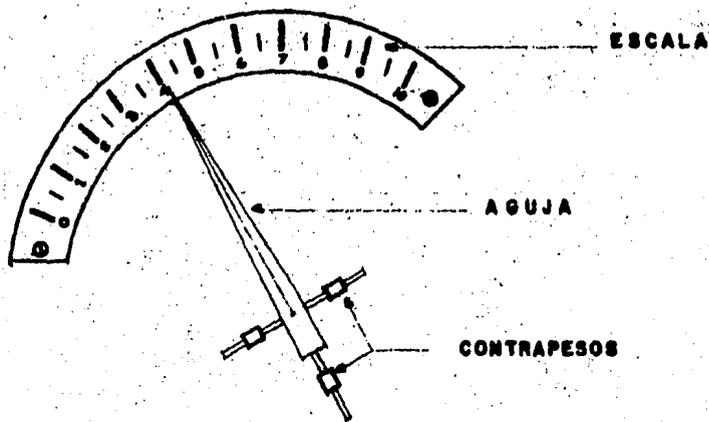


FIG. III.1.7

Como la aguja está montada sobre un eje común a la bobina, gira con el movimiento de ésta, por lo que debe ser lo más ligera posible. Generalmente se hace de aluminio muy delgado. Los contrapesos permiten balancear el mecanismo rotatorio del medidor.

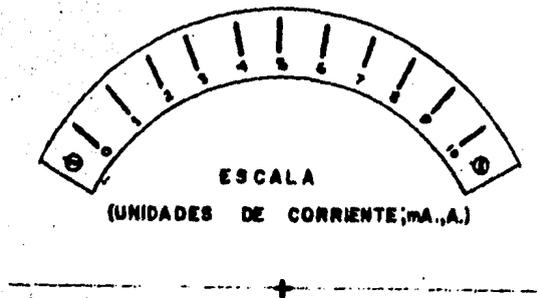


FIG. III.1.8

Los medidores de bobina móvil tienen una escala lineal debido a que la distancia que la aguja se desvía sobre la escala, es directamente proporcional a la corriente que circula en la bobina.

La figura III.1.9 de la página siguiente, muestra un medidor de D'Arsonval, con sus principales elementos como son : Resortes que proporcionan la fuerza restauradora (figura III.1.10); Tornillo de ajuste en cero (figura III.1.11) y pernos de retención (figura III.1.12).

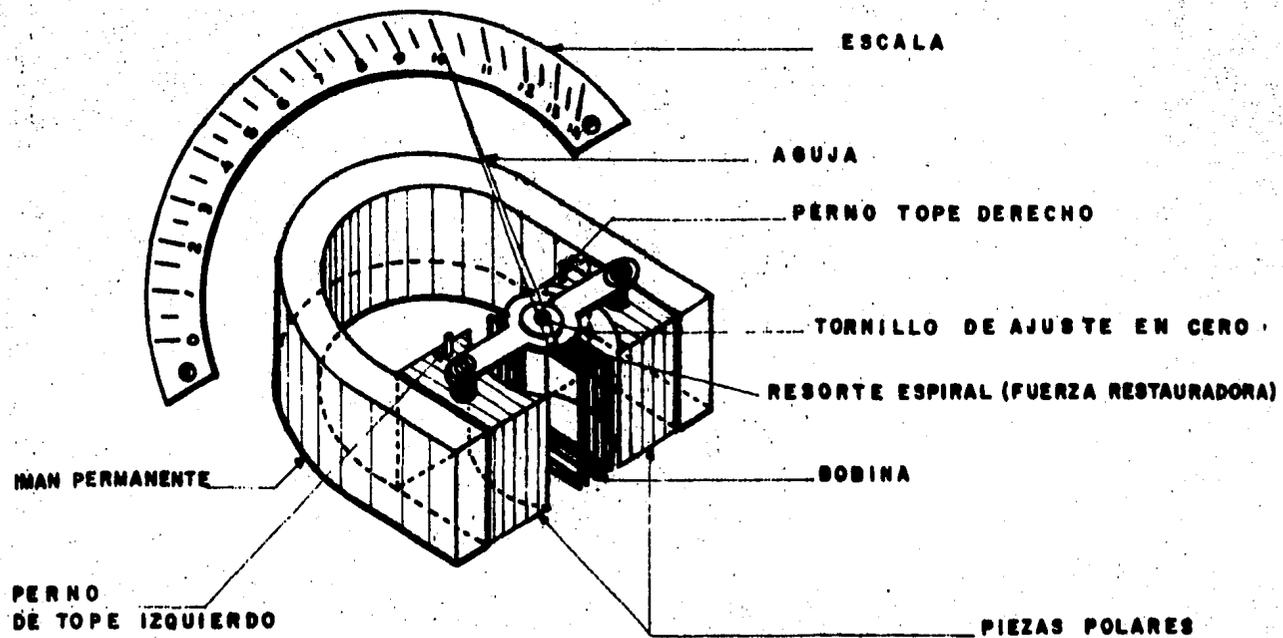
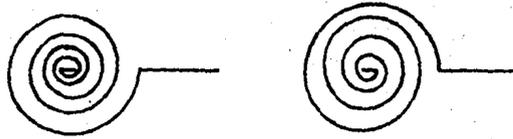


FIG. III.1.9



RESORTES CON ESPIRALES OPUESTAS

FIG. III.I.10

Cuando se desconecta un medidor de un circuito, la aguja debe regresar a cero. Esto se logra por medio de los resortes del medidor.

Los resortes con espirales opuestas mantienen la aguja en cero, cuando los resortes se alteran debido a cambios de temperatura.

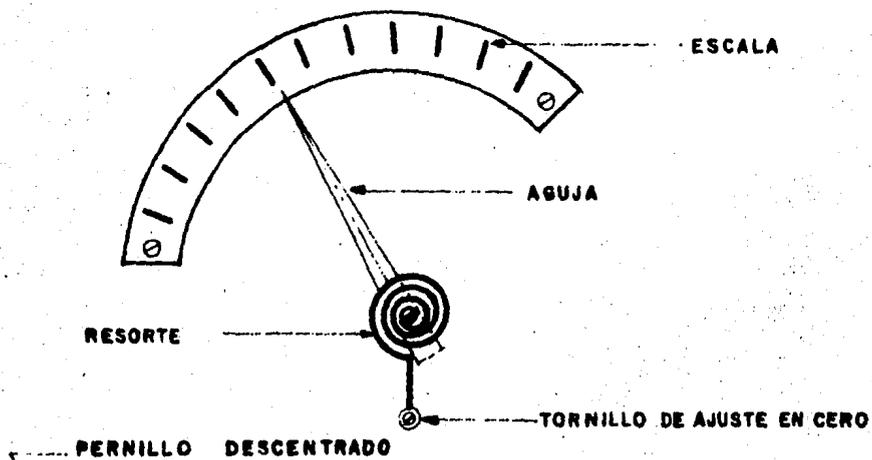


FIG. III.I.11

En la figura anterior (III.1.11), al girar el tornillo de ajuste en cero, aumenta o disminuye la tensión de uno de los resortes, según la dirección en que se gire. Por lo tanto la tensión de cada resorte se ajusta hasta que sea igual en ambos, - logrando así que la aguja permanezca en el cero de la escala.

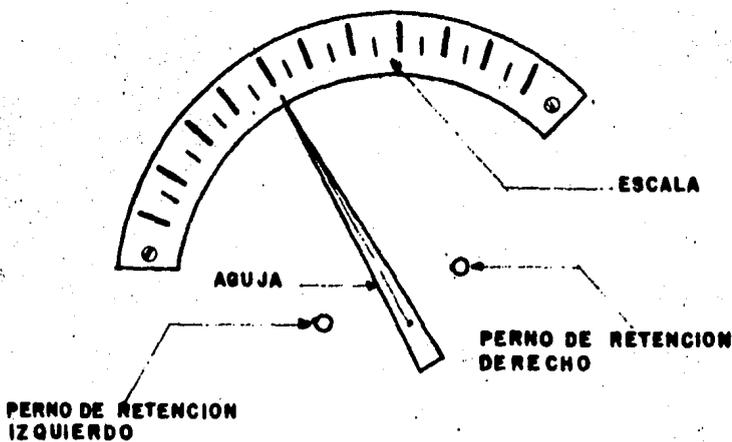


FIG. III.1.12

Los pernos de retención o de tope, evitan que la aguja del medidor se salga hacia la izquierda o derecha de la escala. Por lo cual estos pernos limitan la cantidad de movimiento de la aguja, así como de las demás partes rotatorias del medidor.

III.1.3 Rango de medición de los amperímetros

Los dispositivos de medición del tipo de bobina móvil no pueden por sí solos, medir corrientes elevadas. De los que se usan actualmente, hay pocos que pueden medir más de 10 mA.

La forma más sencilla de medir corrientes del orden hasta de 30 A, es dejar que solo una parte de la corriente a medir pase a través del medidor, drenando el resto. Esto se logra conectando varias resistencias (una a la vez), en paralelo con la resistencia de la bobina del medidor a través de un conmutador (figura III.1.13). El circuito se diseña de manera que un porcenta espe-

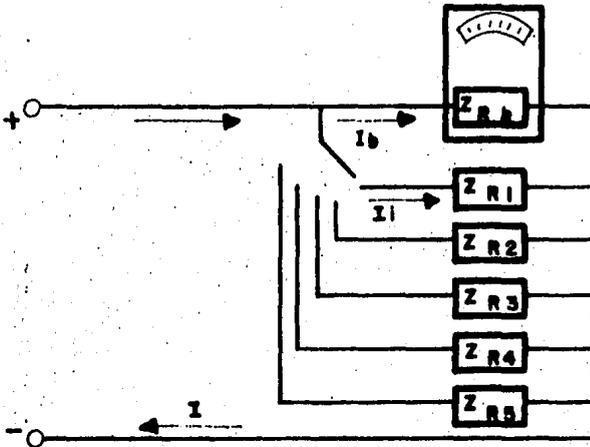


FIG. III.1.13

- $I = I_i + I_b$ Corriente total del circuito
 I_i corriente que se drena
 I_b corriente que circula por el medidor su rango está entre 0 y 10 mA
 Z_{Rb} resistencia de la bobina del medidor. Entre 5 ohms y un kilohm, dependiendo de sensibilidad y prec.

cífico de la corriente eléctrica total del circuito, pase a través de la bobina. Por lo tanto, la corriente total del circuito - se puede calcular fácilmente y además se puede marcar en la escala del medidor.

Por ejemplo, si el medidor conduce el 10% de la corriente total y el resto se drena por la resistencia Z_{Ri} , la corriente -- marcada en la escala será 10 veces mayor que la corriente que - pasa por el medidor.

Para el cálculo de Z_{Ri} , se tiene la figura III.1.14.

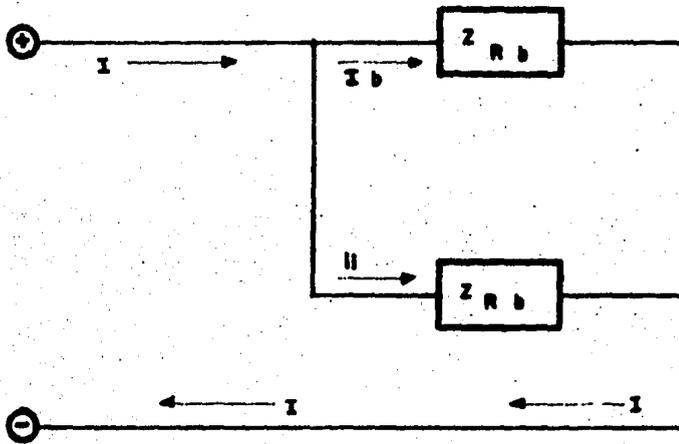


FIG. III.1.14

$$I_i = I - I_b$$

$$V_{Z_{Rb}} = V_{Z_{Ri}}$$

$$I_b \times Z_{Rb} = I_i \times Z_{Ri}$$

$$\therefore Z_{Ri} = \frac{I_b}{I_i} \times Z_{Rb}$$

Entonces con Z_{Ri} , se aumenta el rango de medición del mecanismo de D'Arsonval, conectándola en paralelo.

III.1.4 Medición de corriente alterna (CA) y corriente directa (CD)

El mecanismo de D'Arsonval (amperímetro), se puede usar para la medición de CA y CD.

Cuando este dispositivo se conecta a la corriente alterna, es posible que vibre o indicará cero si la frecuencia es muy grande, por lo cual no tiene una aplicación directa a la medición de CA.

El rectificador usado en un medidor de éstos, puede ser uno de media onda (figura III.1.15) o de onda completa (figura III.1.16). Por lo regular los rectificadores son de óxido de cobre.

MEDIDOR CON RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

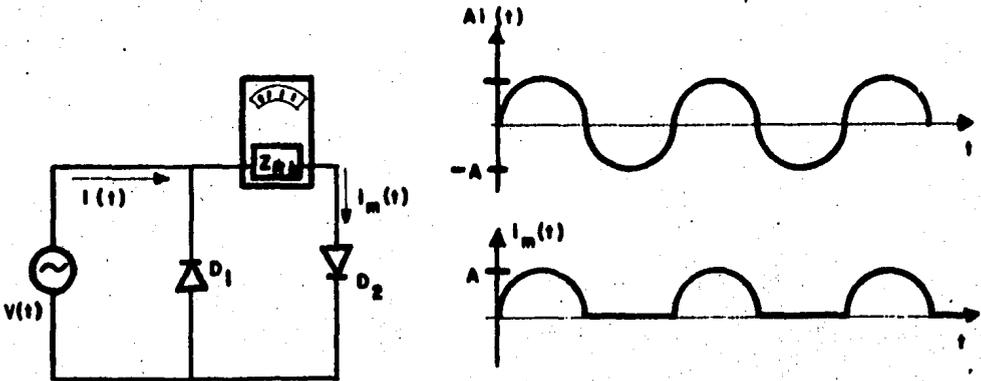


FIG. III.1.15

MEDIDOR CON RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

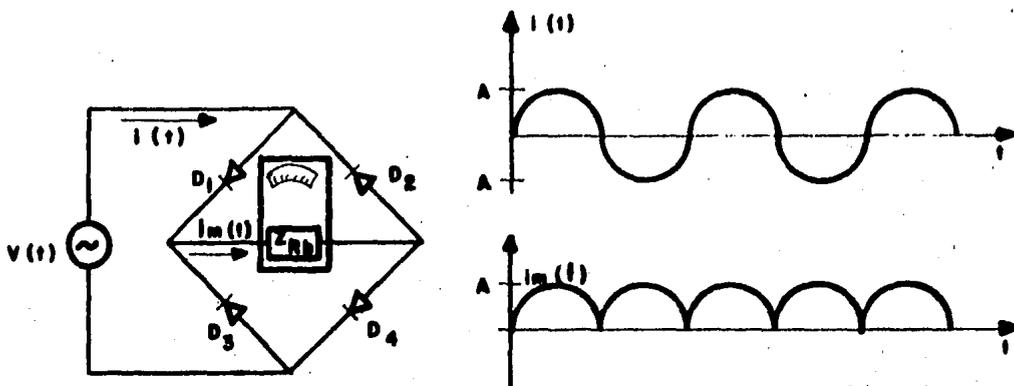


FIG. III.1.16

Para el semiciclo positivo de $v(t)$, D_1 y D_4 se polarizan en directa y conducen. En el semiciclo negativo, D_2 y D_3 se polarizan en directa y conducen.

Las unidades de corriente y voltaje, están basadas en corriente continua, por lo tanto es necesario relacionar CA con CD.

Antes de continuar, se mencionarán algunos conceptos y definiciones que se van a utilizar.

El valor medio de una función periódica $p(t)$ de periodo T , es por definición :

$$P = P_{\text{med}} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

En general el valor medio de funciones senoidales, cuyos semiperíodos son simétricos con respecto al eje del tiempo, es igual a cero. Para salvar esta dificultad, se suele tomar el valor medio P_{med} , del semiperíodo positivo. A este valor en ocasiones se le llama valor medio de un semiciclo.

El valor medio de las funciones $A \sin \omega t$ y $A \cos \omega t$, durante un semiperíodo* es $0.318A$. Este resultado se obtiene de :

$$I_{\text{med}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} A \sin \omega t \, d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} 0 \, d\omega t = 0.318A$$

$$T = 2\pi$$

El valor eficaz o raíz cuadrática media es por definición :

$$I_{\text{ef}} = I_{\text{rcm}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (i(t))^2 \, dt \right]^{1/2}$$

Este valor de las funciones $A \sin \omega t$ y $A \cos \omega t$ durante un período es $A/1.414$. Resultado que se obtiene de :

$$I_{\text{ef}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (A \sin \omega t)^2 \, d\omega t \right]^{1/2}$$

Se ha deducido una relación basada en los efectos del calentamiento. Este efecto se llama calentamiento por efecto Joule.

Al circular una corriente de intensidad $i(t)$ por un elemento con resistencia pura R , éste disipa una potencia $p(t)$ con un valor medio P . Pues bien, esta misma potencia P , la puede disipar una corriente constante de intensidad I circulando por dicha R . En estas condiciones diremos que $i(t)$, tiene un valor eficaz I_{ef} equivalente a la corriente constante I .

Por lo anterior, para un medidor con rectificador de media onda, como se indica en la figura III.1.15, su aguja se detendría en una posición que corresponde al valor medio de la corriente

* semiperíodo positivo, considerando que la función se rectifica como se indica en la figura III.1.15.

que fluye por él. Como se vió el valor medio para un semiciclo es 0.318A, pero para que la lectura tenga algún significado, la escala se calibra para que indique el valor eficaz equivalente. Por lo tanto los puntos de la escala están calibrados a:

$$A/1.414 = 0.7071 A$$

A es la amplitud de la función senoidal.

Para el medidor con rectificador de onda completa, el valor medio de la corriente que circula por él, será el doble que el de un medidor con rectificador de media onda. Esto puede apreciarse en la figura III.1.16. La corriente media es entonces:

$$2(0.318) = 0.636, \text{ debido a que ambos semiciclos de la onda fluyen a través del medidor.}$$

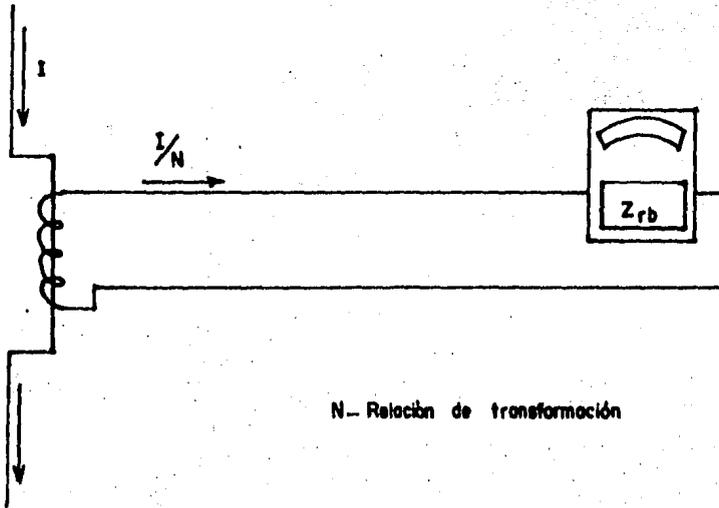
También en este caso, la escala se calibra de manera que indique valores eficaces (rcm), es decir 0.7071 A.

Como se mencionó, para la medición de corrientes del orden de cientos de amperes, no se puede realizar con los amperímetros vistos anteriormente, por lo cual estos amperímetros se conectan a través de un transformador de corriente (TC), como se indica en la figura III.1.17

Los TC's, proporcionan aislamiento contra la alta tensión del circuito de potencia y alimentan a los instrumentos de medición con corrientes proporcionales a las del circuito de potencia. Las corrientes que circulan por los TC's, son de magnitud baja, generalmente del orden de los 5 A para amperímetros y watorímetros.

Como sabemos, los amperímetros registran rangos de corriente de 0.30 A, pero su escala se calibra en rangos de 0-100 A, o más dependiendo de la relación de transformación del TC. Por lo tanto en el amperímetro se lee directamente el valor de la

corriente que pasa por el primario del T C . En el tablero utilizaremos un amperímetro con escala de 0-100 A, 220 V, 60 HZ, - conectado a través de un TC con relación 100/5 A.



N- Relación de transformación

FIG. III. 1.17

III.1.5. Amperímetro de gancho

Como se señaló en párrafos anteriores, un amperímetro debe conectarse en serie. Con frecuencia es inconveniente y muy difícil hacer esto. De aquí se tuvo necesidad de un amperímetro con capacidad de operación sin necesidad de abrir el circuito para hacer alguna conexión. Fue por esta necesidad que se originó la invención de un amperímetro de gancho (figura III.1.18).

El amperímetro de gancho consiste básicamente en un núcleo de hierro con una bobina devanada alrededor de él y un medidor de corriente con rectificador.

Un mecanismo de gatillo en el núcleo permite abrirlo, de manera que el conductor al que se va a medir la corriente, puede colocarse dentro del núcleo, como se ve en la figura III.1.18.-

Este dispositivo se comporta como un transformador, donde el conductor es el devanado primario de una espira y la bobina en el núcleo, actúa como devanado secundario. La corriente fluye a través del medidor el cual se conecta al devanado secundario, como se indica en la figura, para registrar la corriente que fluye en el conductor de un circuito de CA .

El amperímetro de gancho solo puede medir CA debido a que realiza la función del transformador. La intensidad del campo magnético alrededor del conductor es proporcional al número de

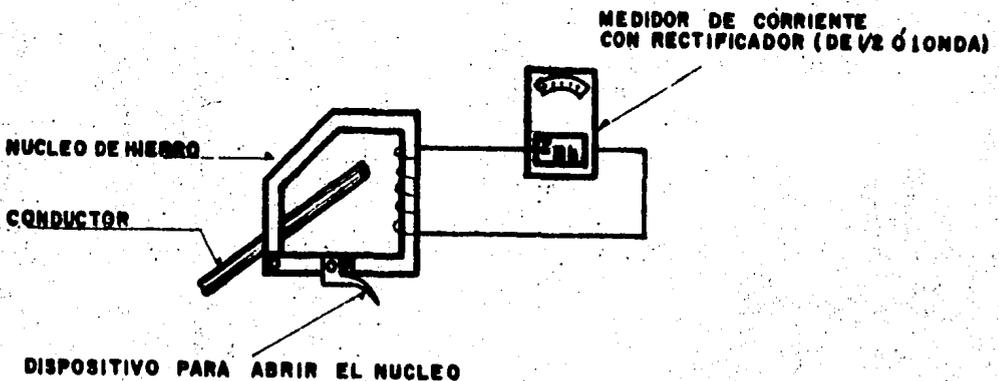


FIG. III.1.18

espiras y a la intensidad de corriente.

Como en este caso el conductor tiene solo una espira, en el lado primario del TC la corriente que circula debe ser de magnitud alta para producir un campo magnético suficientemente elevado, de tal forma que el medidor puede registrar la corriente.

Estos aparatos son especialmente utilizados para medir corrientes elevadas.

III.2 Voltímetro

Un voltímetro se puede construir modificando un medidor de corriente, del tipo D'Arsonval, (figura III.2.1.). Ya que la bobina de cualquier medidor tiene una impedancia Z_{Rb} fija, cuando fluye corriente a través de ella, se produce una caída de tensión. Según la ley de OHM, la caída de tensión es proporcional a la corriente que fluye a través de la bobina.

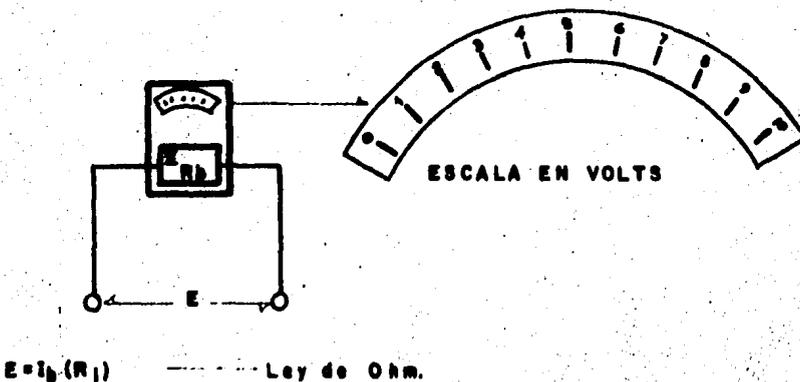
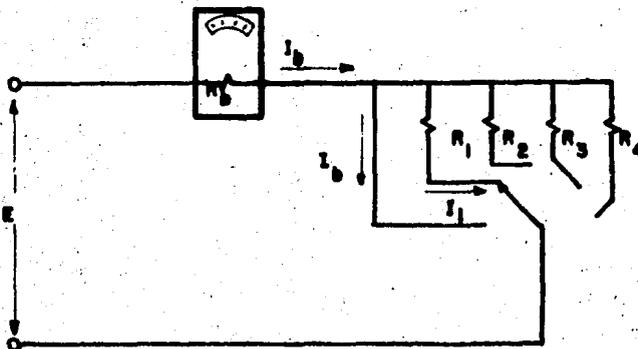


FIG. III.2.1

Por lo anterior, calibrando la escala del medidor en unidades de voltaje, en vez de corriente, se pueden medir los voltajes de un circuito.

Aunque un medidor de corriente, puede medir voltaje su utilidad es limitada debido a la corriente que maneja así como a su resistencia R_b que son muy bajas. Así, el voltaje máximo que se podría medir con un medidor de corriente de 1 mA y R_b igual a 1 Kilohm, es de 1 V.

Para ampliar el rango de medición de voltaje, al dispositivo anterior se conectan varias resistencias de gran valor (una a la vez) en serie, para tener así diferentes rangos de medición de voltaje. Se emplea un conmutador para conectar cada una de las resistencias, como se indica en la figura III.2.2. También se pueden obtener varios rangos de medición de voltaje empleando el circuito de la figura III.2.3.



DEL CIRCUITO, $I_b = I_1 = I_2, I_3, I_4$ YA QUE I_b ES LA CORRIENTE MÁXIMA QUE PUEDE CIRCULAR EN R_b .

FIG. III.2.2

En la figura anterior, para determinar el valor de R_i - - - -
 ($i = 1, 2, 3, 4$) se tiene presente la caída de voltaje de R_b . La corriente máxima que puede circular por R_b así como R_b son datos de diseño de mecanismo.

Por ejemplo, si tenemos el medidor de corriente mencionado - y deseamos ampliar el rango de medición a 10V, tendremos dos ca sos:

i) Empleando el circuito de la figura III.2.2:

$$I_b = 1 \text{ mA} \text{ corriente máxima en } R_b$$

$$R_b = 1 \text{ K} \text{ valor de la resistencia de la bobina móvil}$$

Rango de medición que se tiene: 0-1 V

Rango de medición deseado: 0-10V

Del circuito:

$$V_i = R_t \cdot I_b;$$

$$R_t = R_b + R_i, \quad V_i = 10 \text{ V}$$

$$R_t = \frac{V_i}{I_b}$$

$$\therefore R_i = \frac{10}{0.001} - 1000$$

$$= 10\,000 - 1000$$

$$R_i = 9\,000$$

ii) Empleando el circuito de la figura III.2.3 :

$$I_b = 1 \text{ mA} , \quad R_b = 1 \text{ K}$$

Los rangos de medición son los mismos.

$$V_i = R_t I_b$$

$$V_i = 10 \text{ V (rango que se requiere)}$$

$$R_t = R_n + R_i + R_b \quad , \quad i = 1, 4$$

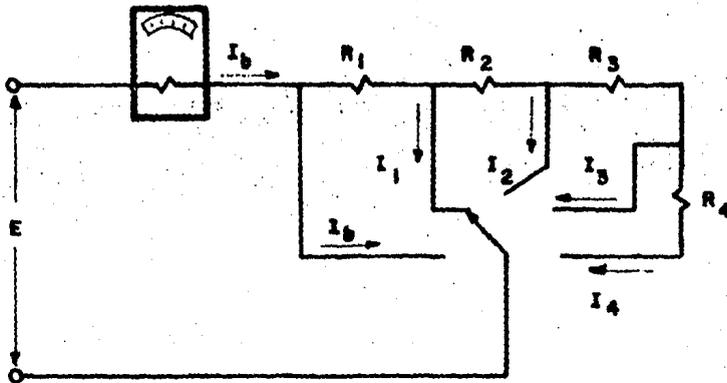
$$R_n = \frac{V_i}{I_b} - R_i - R_b \quad , \quad n = 1$$

$$R_1 = \frac{10}{0.001} - R_1 - 1000$$

$$= 10\,000 - 0 - 1000$$

$$R_1 = 9 \text{ K}$$

Podemos concluir que R_i varía de acuerdo a la escala a utilizar.



DEL CIRCUITO, $I_b = I_i$; $i = 1, 2, 3, 4$ YA QUE I_b ES LA CORRIENTE MÁXIMA QUE PUEDE CIRCULAR EN R_b .

FIG. III. 2.3

Por lo general los voltímetros se construyen para medir hasta 600 V. Para hacer mediciones mayores, se combinan con transformadores de potencial (TP), los cuáles proporcionan aislamiento contra la alta tensión en circuitos de potencia y transforman voltajes elevados, que pueden ser de transmisión (400 KV), a nive-

les de 110 volts en el secundario. Con este voltaje se pueden conectar voltímetros, wátmetros, relevadores y aparatos de control.

Los voltímetros registran rangos de voltaje de 0-600 V. Cuando se requiere medir voltajes más altos, se utilizan transformadores de potencial, cuya relación de transformación deberá seleccionarse de acuerdo a la escala del voltímetro. Esto permite leer directamente en el voltímetro, el voltaje del lado primario del TP.

En el tablero utilizaremos un voltímetro con escala 0 - 300 V 60 Hz, precisión 1.5, aislamiento 650 V, con protección de fusibles conectado directamente a la línea.

III.3 Wátmetro

III.3.1 Teoría del funcionamiento del wátmetro

• La potencia eléctrica es la relación entre la energía eléctrica y el tiempo durante el cual se consume dicha energía.

La potencia real se mide en watts. Sin embargo cuando la carga es resistiva pura, la potencia puede calcularse al tomar --- lecturas con un vóltmetro y con un ampérmetro.

Para el caso en que se quiere calcular la potencia para una carga que no es resistiva pura, la potencia que se calcula al utilizar un vóltmetro y un ampérmetro no es la correcta, puesto que el voltaje y la corriente no se encuentran en fase, por lo cual utilizamos un wátmetro para medir la potencia real.

El funcionamiento del wátmetro se basa en la teoría del electrodinámometro, que es un dispositivo tipo galvanómetro, en el que el campo magnético usual del imán permanente se sustituye por el campo producido por una corriente de una bobina auxiliar.

En este caso tenemos dos bobinas una móvil y otra fija. Ambas se colocan en serie o en paralelo de modo que las variaciones de corriente en ambas sean iguales. El campo magnético cambiará su sentido al mismo tiempo que la corriente en la bobina móvil, el par sobre ésta tiene el mismo signo de la corriente. Ya que el par es proporcional tanto a la intensidad de corriente que circula por la bobina móvil como al campo magnético que también depende de la intensidad de corriente, el par resulta proporcional al cuadrado de la corriente. Lo anterior resulta si relacionamos las ecuaciones de campo y de par magnéticos:

Campo magnético

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

Par magnético

$$\tau = iBA \sin \theta$$

Por consiguiente:

$$\tau = \frac{\mu_0}{2\pi r} A \sin \theta i^2$$

Aún cuando V e I no estén en fase, el aparato da la potencia directamente, puesto que el par es proporcional a $VI = I_0 V_0 \sin \omega t \sin (\omega t + \theta)$ y el valor medio de la expresión anterior es $(1/2) V_0 I_0 \cos \theta$. Según el siguiente análisis, vamos a examinar la influencia del ángulo de fase entre $I_0 V_0$ sobre la potencia.

En corriente continua la potencia suministrada a un circuito -- que tiene aplicada entre sus extremos una tensión V y por la -- que pasa una intensidad I , viene dada por $P = VI$. En corriente -- alterna si la intensidad y la tensión están en fase, vendrán -- dadas por: $V = V_0 \sin \omega t$; $I = I_0 \sin \omega t$ y la potencia será $P = VI = V_0 I_0 \sin^2 \omega t$ y su valor medio; $P = (1/2) VI$ según la figura III.3.1. -- El valor medio $\sin^2 \omega t$ es $1/2$.

Cuando existe un ángulo de fase θ entre V e I , de modo que :

$$I = I_0 \sin \omega t$$

$$V = V_0 \sin(\omega t + \theta)$$

La potencia está dada por:

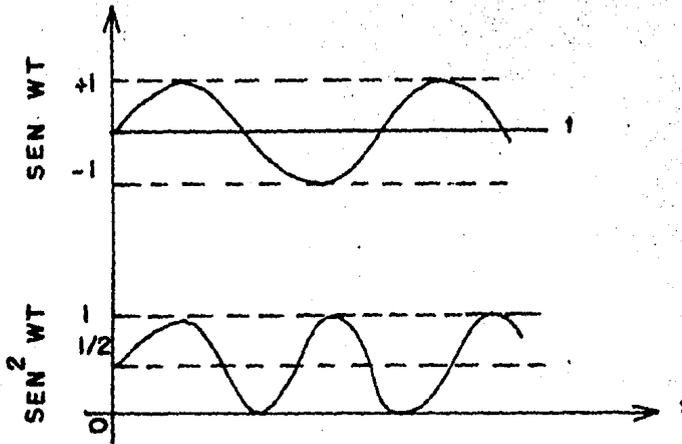


FIG. III.3.1

$$P = I_0 V_0 \frac{1}{T} \int_0^T \text{sen} wt \text{ sen}(wt+\theta) dt$$

Según la identidad trigonométrica:

$$\text{sen}(wt+\theta) = \text{sen} wt \cos\theta + \text{sen}\theta \cos wt$$

$$\therefore P = I_0 V_0 \frac{1}{T} \int_0^T (\text{sen}^2 wt \cos\theta + \text{sen} wt \text{ sen}\theta \cos wt) dt$$

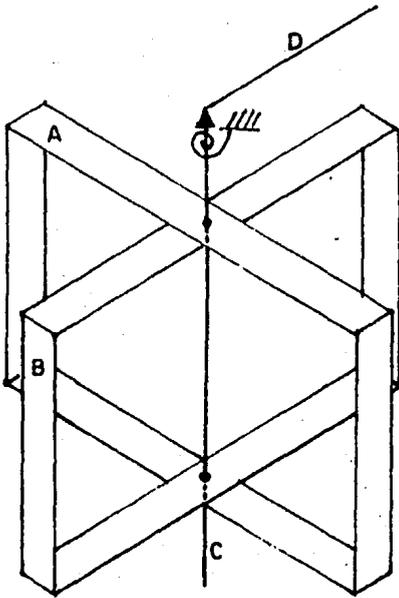
El término $\text{sen} wt \text{ sen}\theta \cos wt$, tiene un valor medio igual a cero. Además:

$$\text{sen}^2 wt = \frac{1-\cos 2wt}{2}; \quad \frac{\cos 2wt}{2} = 0$$

Finalmente:
$$P = \frac{1}{2} I_0 V_0 \cos\theta$$

En la figura III.3.2, se muestra el conjunto de 2 bobinas - una móvil y otra fija. En la bobina móvil tenemos un eje de rotación en el cual gira dicha bobina este eje también se encuentra unido con el brazo que va a la aguja que da las lecturas de potencia.

Cuando se conectan las dos bobinas, una deberá medir corriente, bobina móvil y la otra medirá tensión, bobina fija. Esto -- hace que el wátmetro mida directamente la potencia real. La figura III.3.3 nos muestra la conexión de este dispositivo.



- B. bobina móvil.
- A. bobina fija.
- C. eje de rotación de la bobina móvil.
- D. brazo que va a la aguja.

FIG. III.3.2.

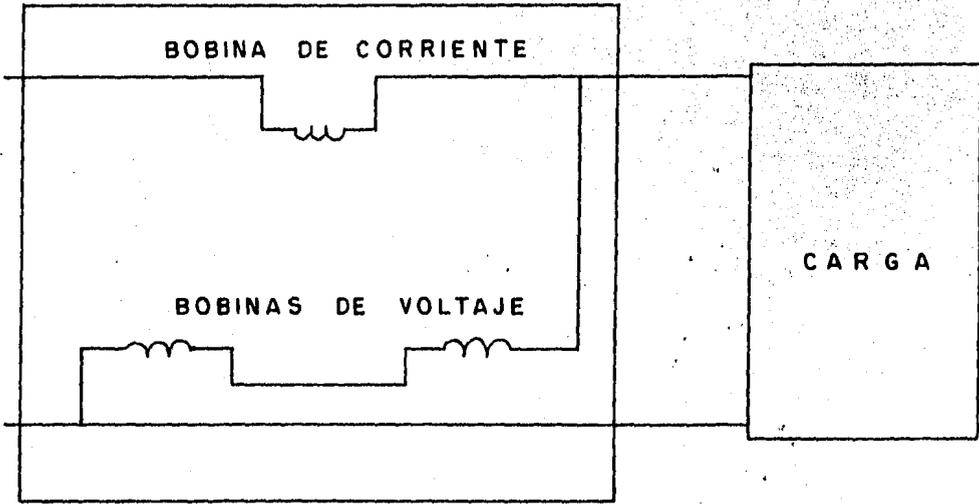


FIG. III. 3. 3

III.3.2 Wátmetro de escala central

En la figura III.3.4, tenemos el esquema de un wátmetro de escala central, graduado de 0 - 100 MW.

En la figura III.3.5, se muestra que para el caso de entrada de energía al circuito bajo medición, la aguja se moverá -- hacia la derecha.

En la figura III.3.6, se tiene el caso de salida de energía.

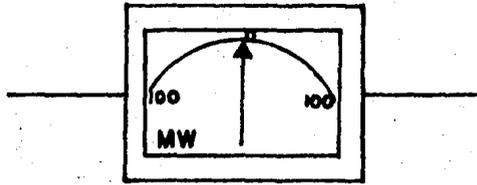


FIG. III.3.4

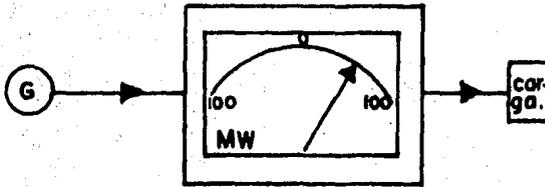


FIG. III.3.5

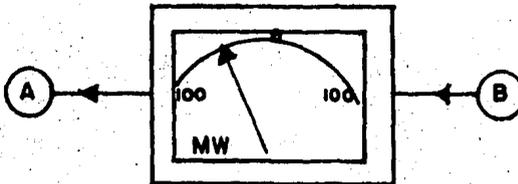


FIG. III.3.6

III.3.3 Wátmetro con marca cero a la izquierda

En la figura III.3.7 se muestran los esquemas que explican el funcionamiento de este instrumento.

Cuando el interruptor S está a la derecha del instrumento, la potencia fluirá hacia ese mismo lado y hacia la izquierda cuando el interruptor S esté en ese lado.

En el tablero que se está diseñando, utilizaremos un wátmetro de este tipo, escala de 0- 20 Kw, 220 V y 60 Hz.

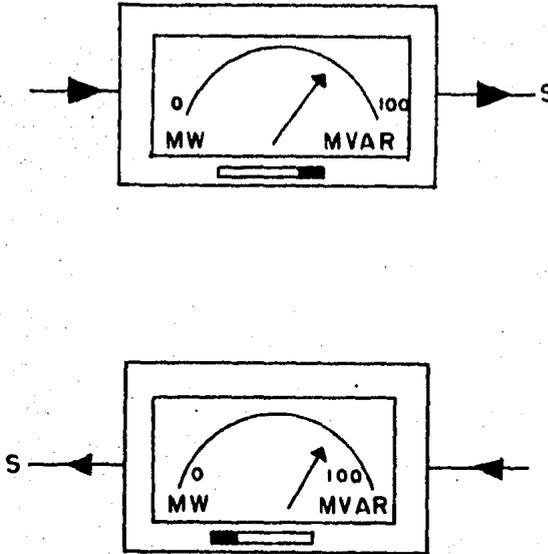


FIG. III. 3.7

III.4. Factorímetro

Es un instrumento de medición que nos indica el factor de potencia de un circuito directamente, a diferencia de los instrumentos con cuyas lecturas también se puede obtener este valor y que se hace dividiendo los wats entre los voltamperes del circuito.

Los factorímetros al igual que los wátmetros, tienen un circuito de corriente y otro de voltaje. La bobina de corriente se conecta en serie con el circuito al que se le va a medir el factor de potencia.

Generalmente el circuito de voltaje se divide en dos ramas, una inductiva y otra resistiva y la desviación depende de la diferencia de fases de la corriente mayor (I_F) y las corrientes de las dos ramas del circuito de voltaje (I_A , I_B), o sea del

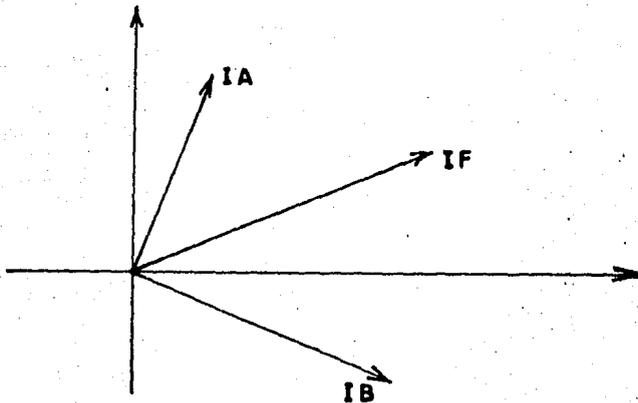


FIG. III. 4.1.

factor de potencia del circuito

III.4.1 Factorímetro de una fase tipo dinamómetro

En la figura III.5.2., las dos bobinas fijas FF, llevan la corriente del circuito bajo prueba. El campo magnético de estas dos bobinas es proporcional a la corriente mayor o principal (I_F) . Dentro de este campo se encuentran dos bobinas, A y B, que están separadas rígidamente por un ángulo de 90° , además tienen movimiento circular con el punto de apoyo situado en el centro del campo magnético de las bobinas FF.

Las bobinas A,B se mueven juntas y llevan una aguja que indica el factor de potencia directamente en la escala superior.

Tanto el número de vueltas, como las dimensiones de estas dos

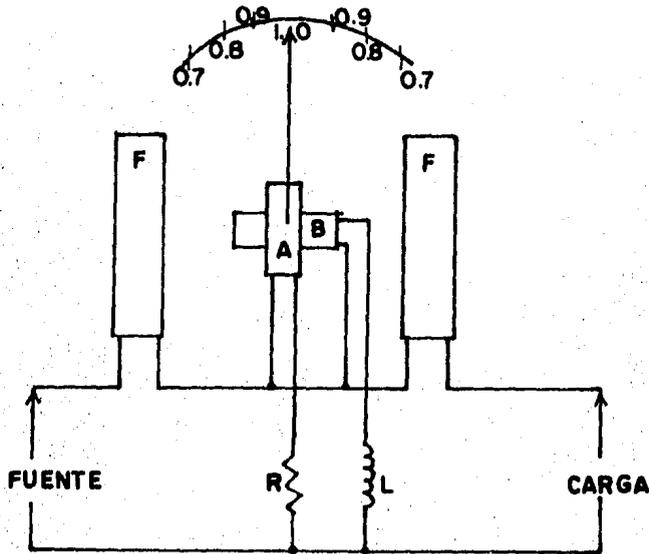


FIG. III. 4.2

bobinas son iguales, de tal forma que cuando pasan corrientes iguales a través de ellas, se producen campos magnéticos iguales defasados 90° .

Para entender el funcionamiento de este instrumento, supongamos que el campo de las bobinas fijas FF es uniforme y tiene la dirección señalada en la figura III.4.3.

El par en cada bobina A, B será máximo, cuando la bobina se coloque en dirección paralela al campo magnético CC. Cuando el ángulo del factor de potencia es ϕ , la bobinas se moverán a una posición de equilibrio desplazadas θ° de la vertical. En ese momento los pares de las dos bobinas A, B serán iguales y opuestos.

Debido a que la corriente en la bobina A está en fase con el voltaje del sistema y el campo en que se mueve es proporcional-

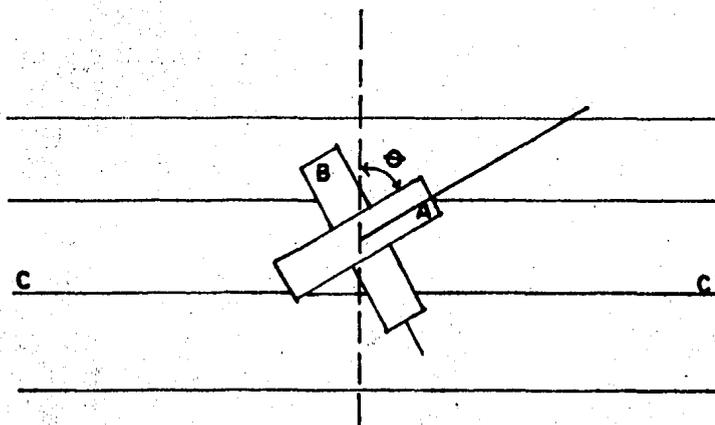


FIG. III.4.3

a la corriente del sistema, podremos decir que el par es:

$$T = KVI \cos\phi \cos(90-\theta)$$

K - constante

V - Voltaje de sistema

I - Corriente del sistema

La corriente en la bobina B está atrasada 90° con respecto al voltaje del sistema, por lo que el par de la bobina B es:

$$T = KVJ \sin\phi \cos\theta$$

Cuando el movimiento del instrumento está en equilibrio:

$$T = T$$

$$\cos\phi \cos(90-\theta) = \sin\phi \cos\theta$$

$$\tan\theta = \tan\phi$$

$$\therefore \theta = \phi$$

Por lo tanto la posición angular que toman las bobinas es -- igual al ángulo de fase del sistema. La escala del factorímetro se hace para que marque el coseno ϕ que es el factor de potencia del sistema.

III.4.2 Factorímetro trifásico

La figura III.4.4 muestra la conexión de un factorímetro trifásico. La lectura es válida solo para condiciones de carga -- balanceada.

Las dos bobinas móviles A, B están separadas 120° y se conectan a dos fases diferentes de circuito de alimentación.

Las dos bobinas fijas FF son conectadas a la fase restante - en serie con la corriente de línea.

Debido a la separación de 120° de las bobinas móviles, el ángulo que se desvía la aguja de la posición de factor de potencia unitario, es igual al ángulo de fase del circuito. La escala se calibra para que el instrumento mida directamente el factor de potencia del sistema. En el tablero utilizaremos un factorímetro trifásico con escala de 0.4 (-) a 0.4 (+), 220 V, 60 Hz.

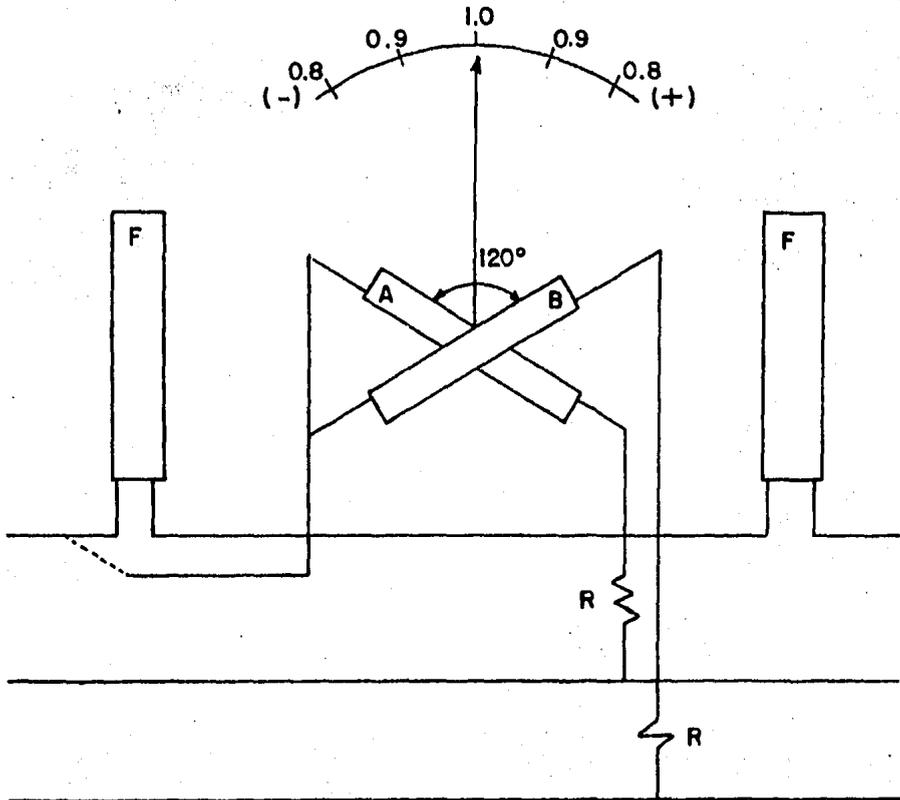


FIG. III.4.4.

CAPITULO IV

CAPITULO IV. Especificación de equipo de fuerza y control

IV.1 Interruptor termomagnético

Los interruptores termomagnéticos son los dispositivos que se usan para sensar y librar las sobrecorrientes.

Constan de un dispositivo para disparo magnético y otro para disparo térmico. Esto le permite proteger conductores, circuitos derivados, aparatos de control y a la carga.

La reglamentación eléctrica requiere de un medio para desconectar la carga y un dispositivo de protección para sobrecorriente, ambas necesidades las satisface este dispositivo.

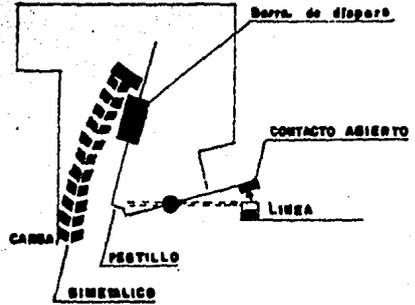
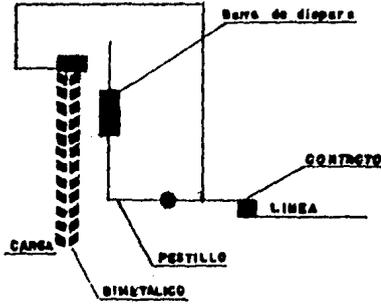
En la Fig. IV.1.1 se muestra el funcionamiento de sus mecanismos sensores y de disparo. En el disparo magnético, la corriente de corto-circuito excita al circuito magnético de disparo instantáneo, que atrae la armadura de modo que el desconectador se libera inmediatamente. Existen interruptores con disparo magnético ajustable en los cuales los elementos magnéticos se pueden calibrar sobre un rango amplio de valores de corriente, con solo variar el entrehierro.

Para el disparo térmico, el elemento bimetalico se hace de dos metales diferentes unidos entre sí y que tienen la propiedad de que uno de ellos se expande más rápido con el incremento de temperatura, el cual hace que se flexione el elemento bimetalico operando el disparo. Con esto se tiene la característica de tiempo inverso, es decir que cuanto mayor sea la sobrecarga, más corto será el tiempo necesario para que abra el circuito.

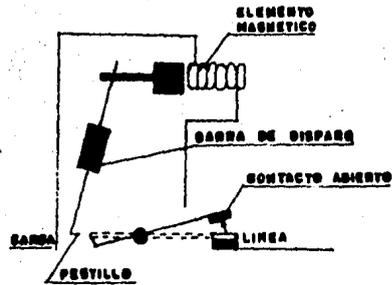
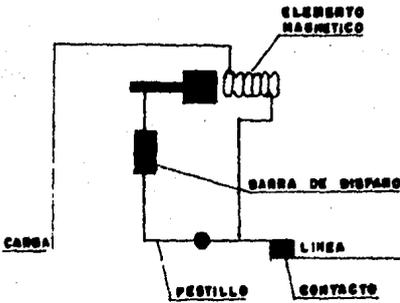
La Tabla IV.1.2 es una tabla de selección de interruptores, que nos muestra los tipos, las tensiones de aplicación, número

**INTERRUPTORES
TERMOMAGNETICOS**

ACCION TERMICA



ACCION MAGNETICA



PROTECCION TERMOMAGNETICA

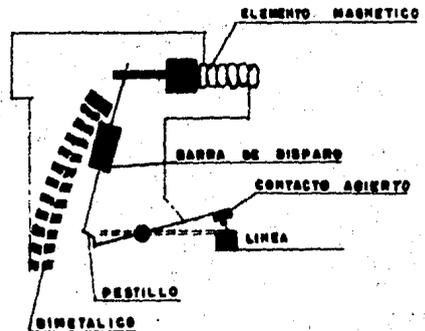
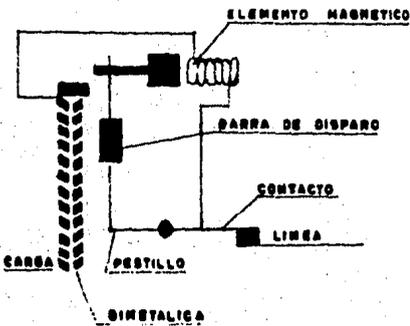


FIG. IV.1.1

de polos, corrientes nominales y de corto-circuito simétrico.

Los interruptores termomagnéticos son afectados en su calibración por varios factores que se consideran cuando se requiere precisión. En la práctica se toman calibraciones superiores a las cargas normales, sin embargo se dan los factores que afectan la calibración del interruptor. Estos factores son por temperatura ambiente (A), por tipo de carga (B), por frecuencia (C) y por altitud barométrica (D). Al usar estos factores se tiene una calibración exacta.

Los factores mencionados aparecen en la Tabla IV.1.3.

Ejemplo:

Corriente normal de 118 amperes corresponde a un interruptor de 125 amperes.

Temperatura = 35°C ; A = 1.18

Carga constante B = 1.0

Frecuencia = 50 Hz ; C = 0.99

Altura = 3000 m ; D = 1.04

$$\begin{aligned} \therefore I \text{ corregida} &= 118 \times 1.18 \times 1 \times 0.99 \times 1.04 \\ &= 143.5 \text{ A} \end{aligned}$$

correspondería a un interruptor de 150 A

TABLA IV.1.2

TABLA DE SELECCION POR CAPACIDAD INTERRUPTIVA															
MARCO	VOLTAGE MAXIMO Volts.	No. DE POLOS	GAMA EN Amps.	CAPACIDAD INTERRUPTIVA Rms. Amps. sim						DIMENSIONES mm.			PESO aprox. Kgs.		
				Volts c.d.		Volts c.a.				Polos	Alt.	Ancho		Fdo.	
				125	250	120	240	480	600						
QL	120/240 C.A.	1-2	15-50			5000 1Polo	5000 2Polo				1	75	25	73	0.12
	240 C.A.	3	15-50				5000				2	75	80	73	0.25
											3	75	105	73	0.40
FA	120 C.A. 125 C.D.	1	15-100	5000		10000					1 2	152 152	35 70	86 86	0.91 1.36
	240 C.A. 125 / 250 C.D.	2-3	15-100	5000	5000		10000				3	152	105	86	2.05
FB	600 C.A. 250 C.D.	2-3	15-150	10000	10000		18000	14000	14000		2 3	152 152	70 105	86 86	1.36 2.05
LB225	600 C.A. 250 C.D.	3	125-225		20000		25000	22000	18000		3	257	140	103	6.8
LB-400	600 C.A. 250 C.D.	3	250-400		20000		42000	30000	22000		3	257	140	103	6.8
LA	600 C.A. 250 C.D.	3	500-600		20000		42000	30000	22000		3	273	210	103	11.15
NB	600 C.A. 250 C.D.	3	700-1200		20000		42000	30000	22000		3	406	210	140	23.16
PB	600 C.A.	3	1400-3000		75000		125000	100000	100000		3	559	305	229	115.
HFB	240 C.A.	1	15-30 40-150				65000 25000				1 2	152 152	35 70	86 86	0.91 1.36
	600 C.A. 250 C.D.	2-3	15-150		20000		65000	25000	1800		3	152	105	86	2.05
HLB	600 C.A. 250 C.D.	3	125-400		20000		65000	35000	25000		3	257	140	103	6.8

TABLA: IV.1.2

TABLA DE SELECCION POR AMPERAJE											
Amp.	Marco	Voltaje		STOCK (REF.)			Amp.	Marco	Voltaje		STOCK (REF.)
	Tipo	CA	CD	1 Polo	2 Polos	3 Polos		Tipo	CA	CD	3 Polos
15	QL	240	125	341015	342015	343015	175	LB	600	250	323175
	FA	240	250	291015	292015	293015		HLB	600	250	324175
	FB	600	250		302015	303015	200	LB	600	250	323200
	HFB	600	250	311015	312015	313015		HLB	600	250	324200
20	QL	240	125	341020	342020	343020	225	LB	600	250	323225
	FA	240	250	291020	292020	293020		HLB	600	250	324225
	FB	600	250		302020	303020	250	LB	600	250	323250
	HFB	600	250	311020	312020	313020		HLB	600	250	324250
30	QL	240	125	341030	342030	343030	300	LB	600	250	323300
	FA	240	250	291030	292030	293030		HLB	600	250	324300
	FB	600	250		302030	303030	350	LB	600	250	323350
	HFB	600	250	311030	312030	313030		HLB	600	250	324350
40	QL	240	125	341040	342040	343040	400	LB	600	250	323400
	FA	240	250	291040	292040	293040		HLB	600	250	324400
	FB	600	250		302040	303040					
	HFB	600	250	311040	312040	313040	500	LA	600	250	333500
50	OL	240	125	341050	342050	343050	600	LA	600	250	333600
	FA	240	250	291050	292050	293050	700	NB	600	250	335070
	FB	600	250		302050	303050	800	NB	600	250	335080
	HFB	600	250	311050	312050	313050	1000	NB	600	250	335100
70	FA	240	250	291070	292070	293070	1200	NB	600	250	335120
	FB	600	250		302070	303070	1400	PB	600	250	336140
	HFB	600	250	311070	312070	313070	1600	PB	600	250	336160
100	FA	240	250	291100	292100	293100	1800	PB	600	250	336180
	FB	600	250		302100	303100	2000	PB	600	250	336200
	HFB	600	250	311100	312100	313100	2500	PB	600	250	336250
125	FB	600	250		302125	303125	3000	PB		250	336300
	HFB	600	250		312125	313125					
	LB	600	250			323125					
	HLB	600	250			324125					
150	FB	600	250		302150	303150					
	HFB	600	250		312150	313150					
	LB	600	250			323150					
	HLB	600	250			324150					

NOTA: ESPECIFICACION DEL FABRICANTE IEM.

TABLA IV 1.3

FACTORES DE CORRECCION				
A. POR TEMPERATURA AMBIENTE				
TEM. AMBIENTE °C	CAPACIDADES			
	15 - 100 A	70 - 400 A	250 - 800 A	450 - 1200 A
0	1.00	0.88	0.88	0.89
10	1.05	0.94	0.92	0.94
15	1.07	0.96	1.00	1.01
25	1.12	1.05	1.04	1.05
35	1.20	1.18	1.18	1.16
40	1.25	1.25	1.25	1.21
B. <u>POR CARGA</u>				
CARGA CONSTANTE		1.00		
CAPACITORES		1.35		
SOLDADORAS POR RESISTENCIA		3.00		
C. <u>POR FRECUENCIA</u>				
50 Hz		0.99		
60 Hz		1.00		
120Hz		1.02		
D. <u>POR ALTITUD BAROMETRICA</u>				
NIVEL DEL MAR A 2000m.		1.00		
2000 A 3000m		1.04		

TABLA IV.1.4

TABLA PARA SELECCION DE INTERRUPTORES TERMO MAGNETICOS

CAP. MAX.		CORR. NOR. AMPS.	INTERRUPTOR		ARRANCADOR TAMAÑO	CONDUCTOR TW (AWG O MCM)	DIAM. TUBO	
HP.	V		AMPS.	MARCO			M. M.	PULG.
1/4	220	1	15	TE	00	14	13	1/2
1/2	220	2	15	TE	00	14	13	1/2
3/4	220	2.8	15	TE	00	14	13	1/2
1	220	3.5	15	TE	00	14	13	1/2
	440	1.8	15	TEF	00	14	13	1/2
1 1/2	220	5	15	TE	00	14	13	1/2
	440	2.5	15	TEF	00	14	13	1/2
2	220	6.5	20	TE	00	14	13	1/2
	440	3.3	15	TEF	00	14	13	1/2
3	220	9	30	TE	0	14	13	1/2
	440	4.5	15	TEF	0	14	13	1/2
5	220	15	30	TE	1	12	13	1/2
	440	7.5	20	TEF	0	14	13	1/2
7 1/2	220	22	50	TE	1	10	19	3/4
	440	11	20	TEF	1	14	13	1/2
10	220	27	50	TE	2	10	19	3/4
	440	14	30	TEF	1	12	13	1/2
15	220	40	70	TE	2	8	19	3/4
	440	20	30	TEF	2	10	19	3/4
20	220	52	100	TE	3	6	25	1
	440	26	50	TEF	2	8	19	3/4
25	220	64	100	TE	3	4	32	1
	440	32	50	TEF	2	8	19	3/4
30	220	78	125	TFJ	3	2	32	1
	440	39	70	TEF	3	8	19	3/4
40	220	104	200	TFJ	4	0	51	2
	440	52	100	TEF	3	6	25	1
50	220	125	200	TFJ	4	0	51	2
	440	63	100	TEF	3	4	32	1 1/4
60	220	150	225	TFJ	5	3/0	51	2
	440	75	125	TFJ	4	2	32	1 1/4
75	220	185	300	TJJ	5	4/0	64	2 1/2
	440	93	150	TFJ	4	2	32	1 1/4
100	220	246	400	TJJ	5	300 MCM	64	2 1/2
	440	123	200	TFJ	4	0	51	2
125	220	310	400	TJJ	—	—	—	—
	440	155	225	TFJ	5	3/0	51	2
150	220	360	600	TKM	—	—	—	2 1/2
	440	180	300	TJJ	5	4/0	64	—
200	220	480	800	TKM	—	—	—	2 1/2
	440	240	400	TJJ	5	300 MCM	64	—

IV.2 Contactores

El contactor es un dispositivo empleado para la conexión y desconexión repetidas de circuitos eléctricos de potencia. Su operación puede ser manual o magnética. Está formado por un conjunto de contactos fijos o estacionarios, firmemente sujetos a una estructura o bastidor que en la mayoría de las veces está provista de cámaras de arqueo.

Los contactos fijos tienen puntos terminales, en los cuales se pueden conectar circuitos eléctricos externos. Además de los contactos fijos, se encuentra un grupo de contactos móviles que son accionados en forma manual o por acción magnética.

Para los contactores manuales el medio actuador puede ser un conjunto de mecanismos con varillas, en los magnéticos puede ser electroimanes y bobinas. Estos últimos son de particular interés por el desarrollo notable que han tenido los controles automáticos.

Ultimamente se han fabricado contactores con elementos de estado sólido para la conexión de motores pequeños, pero todavía no son competitivos con los magnéticos, aunque es de esperarse que en poco tiempo los desplacen en algunas aplicaciones.

Los contactos son la parte más delicada de un contactor, por lo cual su construcción y mantenimiento deben ser lo más adecuado posible. Están constituidos de aleaciones que mejoran su resistencia mecánica y que además minimizan el desgaste por el arco. Entre las aleaciones más utilizadas se tienen: Plata-Paladio, Plata-Cadmio y la más común Plata-Níquel.

Los contactores por lo regular están provistos de cámaras de arqueo o deionizadoras, cuya finalidad es reducir el arco y extinguirlo en el mínimo tiempo, evitando con ello el deterioro de

los contactos. El arco se produce por la limitación del aire -- entre los contactos, el calentamiento que produce es sumamente - peligroso, sobre todo en el caso de circuitos que conduzcan co- rrientes muy grandes.

Además de las cámaras de arqueo se tienen otros métodos para extinguir el arco, como son: Soplado a presión y baño de acei- te.

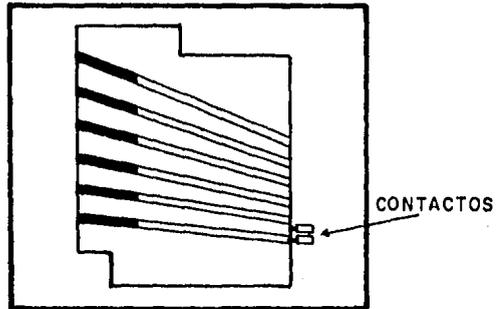
La Fig. IV.2.1. muestra el principio de ionización de la cáma- ra de arqueo.

Los contactores manuales son dispositivos muy sencillos de - operar ya que por medio de una palanca se controlan todas las - operaciones de conexión y desconexión.

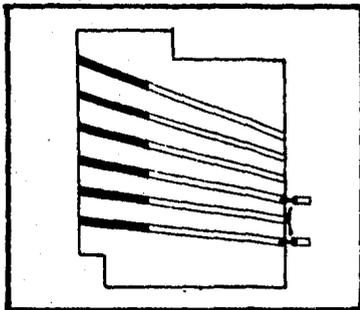
Los contactores magnéticos, Fig. IV.2.2, están formados básicamente de dos partes: Una fija, en donde se aloja la bobina y una parte móvil llamada armadura. Cuando se aplica una diferen- cia de potencia en las terminales de la bobina la corriente que circula por ella produce un campo magnético que hace que la par- te fija atraiga a la armadura, al moverse ésta, cierra o abre - los contactos.

La operación de un contactor puede ser efectuada a través de otro dispositivo, por ejemplo relevadores de control.

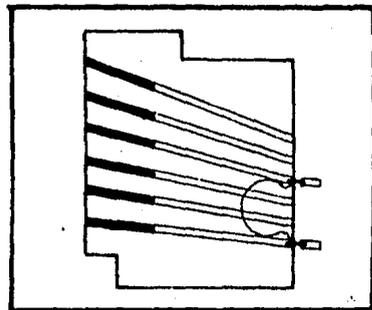
PRINCIPIO DE IONIZANTE DE LA CAMARA DE ARQUEO.



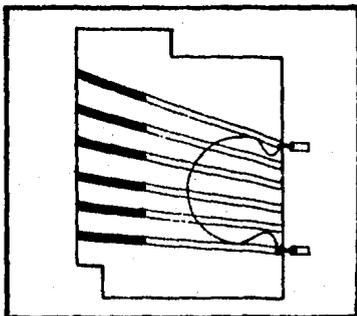
CONTACTOS CERRADOS.



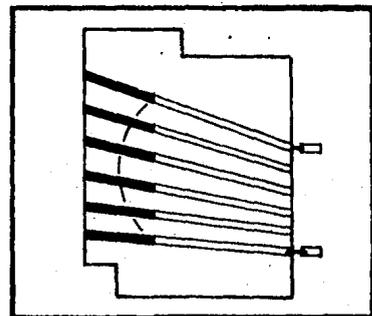
CONTACTOS EN APERTURA
FORMACION DEL ARCO.



EXTENSION DEL ARCO HACIA
LA GARGANTA DE LA CAMARA
DE ARQUEO.



ARCO A PUNTO DE ROMPERSE



ARCO EN SEGMENTOS ENFRIADO
Y EXTINGUIDO.

CONTACTOR MAGNETICO

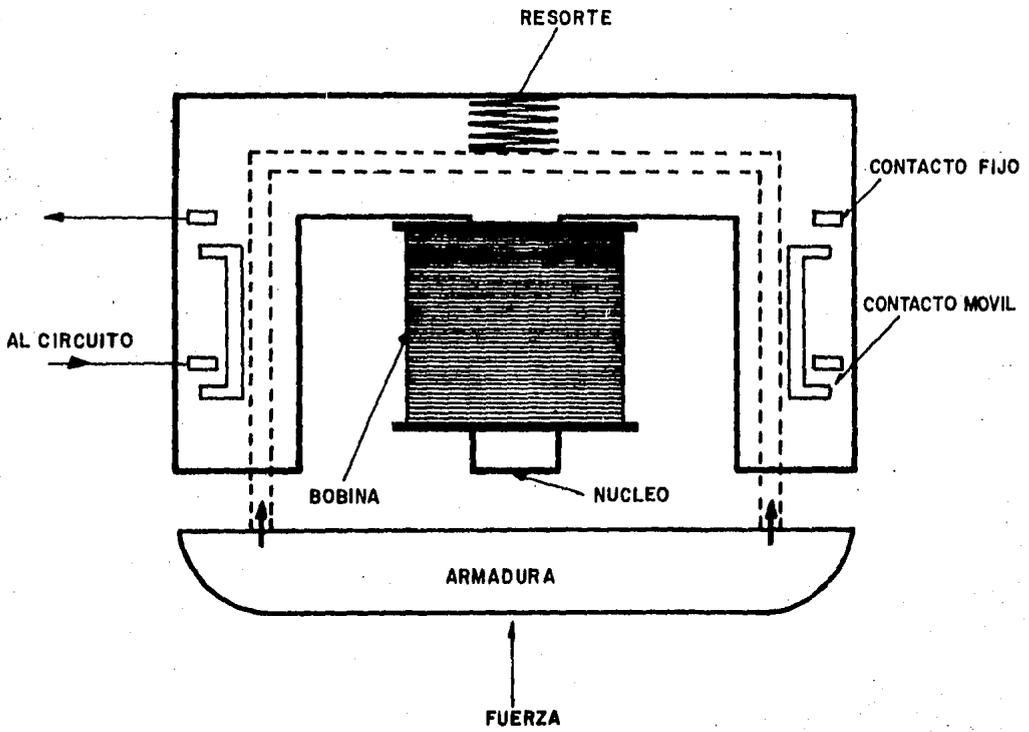


FIG. IV. 2.2

IV.3 Arrancadores

Los motores de inducción son máquinas con una impedancia en los devanados del estator, que permite su conexión directa a la red, - sin peligro de destruirlos. Aunque la corriente de arranque no perjudica al motor, si ocasiona perturbaciones en la red de alimentación, tanto por su intensidad como por el bajo factor de potencia con que es absorbida, este fenómeno es más significativo en -- motores mayores de 10 H.P.

Esta situación y el hecho de que el par pueda tener efectos no deseados en la carga, trae como consecuencia el empleo de métodos de arranque, en los cuáles la conexión del motor ya no se hace - directamente a la línea .

La selección del tipo de arranque depende de:

- i) Corriente permisible de arranque
- ii) Par de arranque necesario

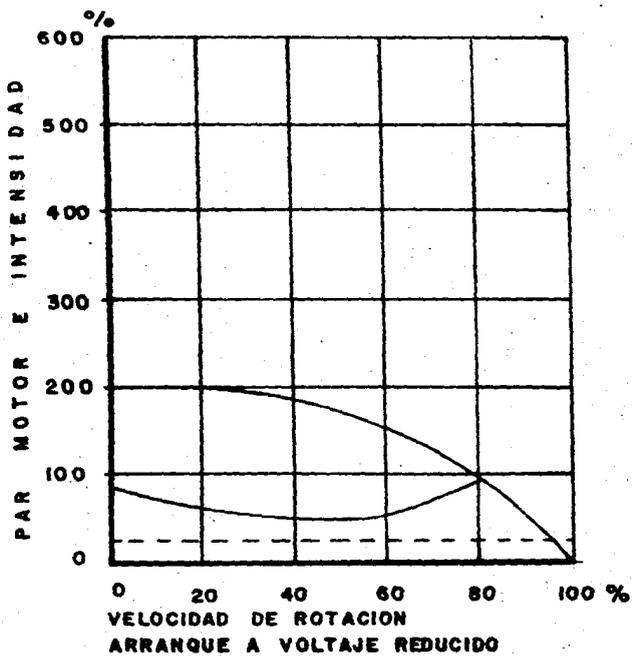
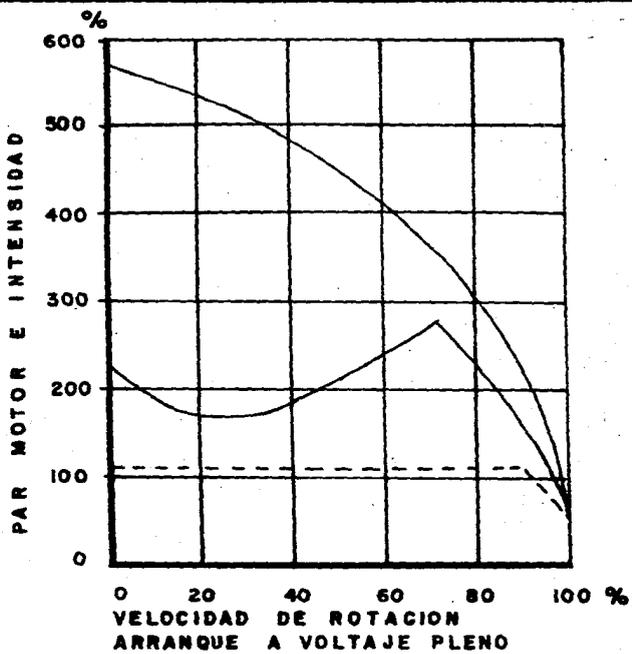
Existen dos tipos de arranque que son:

- i) Arranque a tensión plena
- ii) Arranque a tensión reducida

La diferencia entre éstos tipos de arranque se puede observar - en las curvas típicas Par-Corriente contra velocidad, que se muestran en la figura IV.3.1

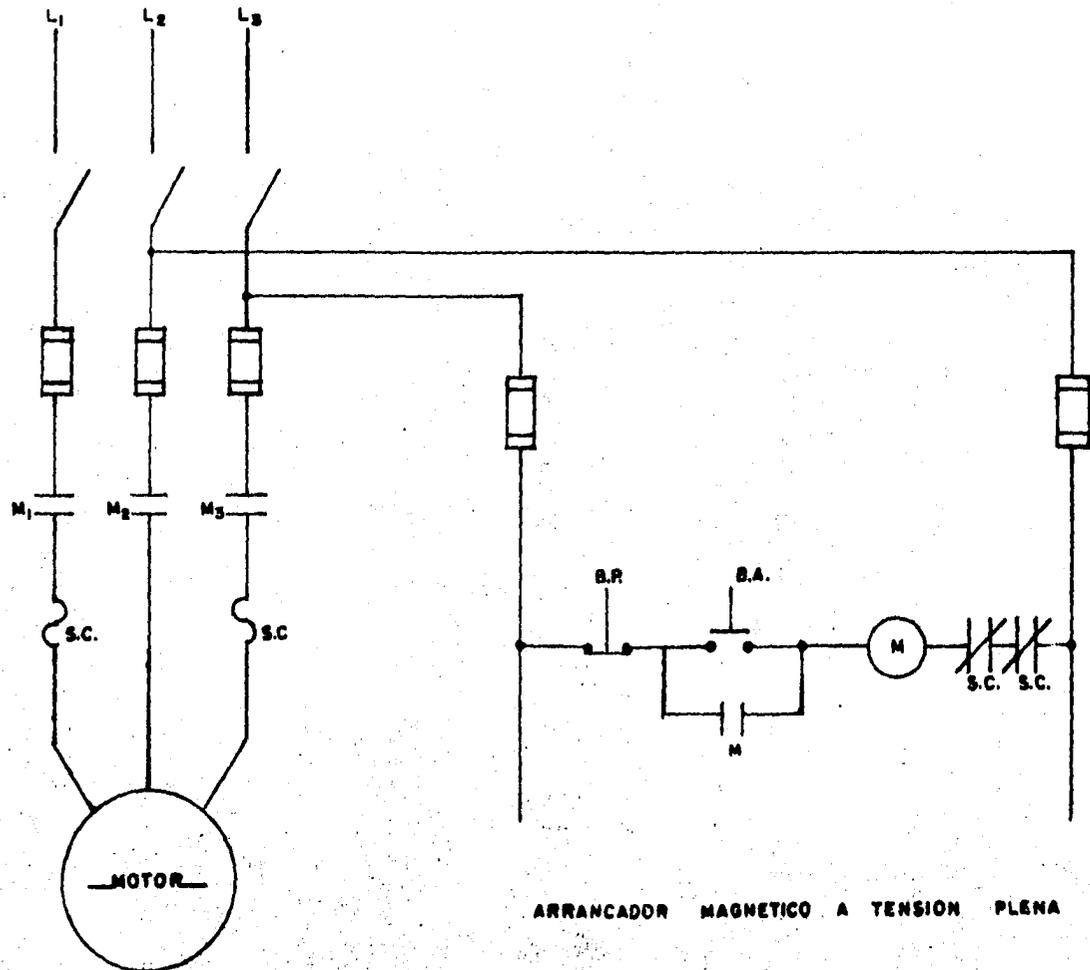
- i) Arranque a tensión plena.

El metodo más sencillo de arranque para el motor de inducción, es conectar la máquina directamente a la línea. Para ésto se pueden emplear dispositivos de arranque manual o magnéticos. Este mé-



----- PAR RESISTENTE DURANTE EL ARRANQUE

FIG. IV.3.1



ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION PLENA

FIG. IV. 3. 2

todo se emplea cuando la corriente de arranque no produce perturbaciones en la red y cuando la carga puede soportar el par de arranque. Es recomendable en motores hasta de 5 H.P. en 220 V, y 10 H.P. en 440 V.

El arranque magnético consiste en cerrar los contactos mediante la energización de una bobina que puede hacerse con una estación de botones de contacto momentáneo o bien con algún dispositivo piloto. Estos últimos pueden ser interruptores de límite, de flotador, termostatos, etc.

La figura IV.3.2. muestra el diagrama de un arrancador magnético a plena tensión.

Este tipo de arrancador tiene el mismo principio de operación de un contactor magnético, la diferencia existe en la protección contra sobrecarga dada por el relevador. Un arrancador magnético está formado por un contactor, una bobina y un relevador de sobrecarga, mientras que el contactor no cuenta con este último.

En el diagrama de la figura IV.3.2, al pulsar el botón de arranque (B.A.), se energiza la bobina M cerrando los contactos M_1 , M_2 , M_3 y M_4 . El contacto M_4 mantiene el circuito cerrado cuando se deja de pulsar B.A. Para parar el motor basta con pulsar el botón de paro (B.P.) y la bobina M se desenergiza abriendo los contactos M. En caso de una sobrecarga, el relevador de sobrecarga (S.C.) abre el circuito desenergizando la bobina M la cual abre sus contactos parando el motor.

Para restablecer el servicio al motor cuando ha existido sobrecarga, se tiene que presionar el dispositivo de restablecimiento y pulsar B.A.

ii) Arranque a tensión reducida.

La selección de este tipo de arranque obedece a las siguientes razones:

- Disminuir la corriente de arranque del motor
- Disminuir el par de arranque, o sea acelerar suavemente la carga.

Existen varias formas para lograrlo, entre las principales se hace por medio de:

- a) Resistencias primarias
- b) Reactancias
- c) Autotransformador
- d) Conexión estrella-delta
- e) Devanado bipartido

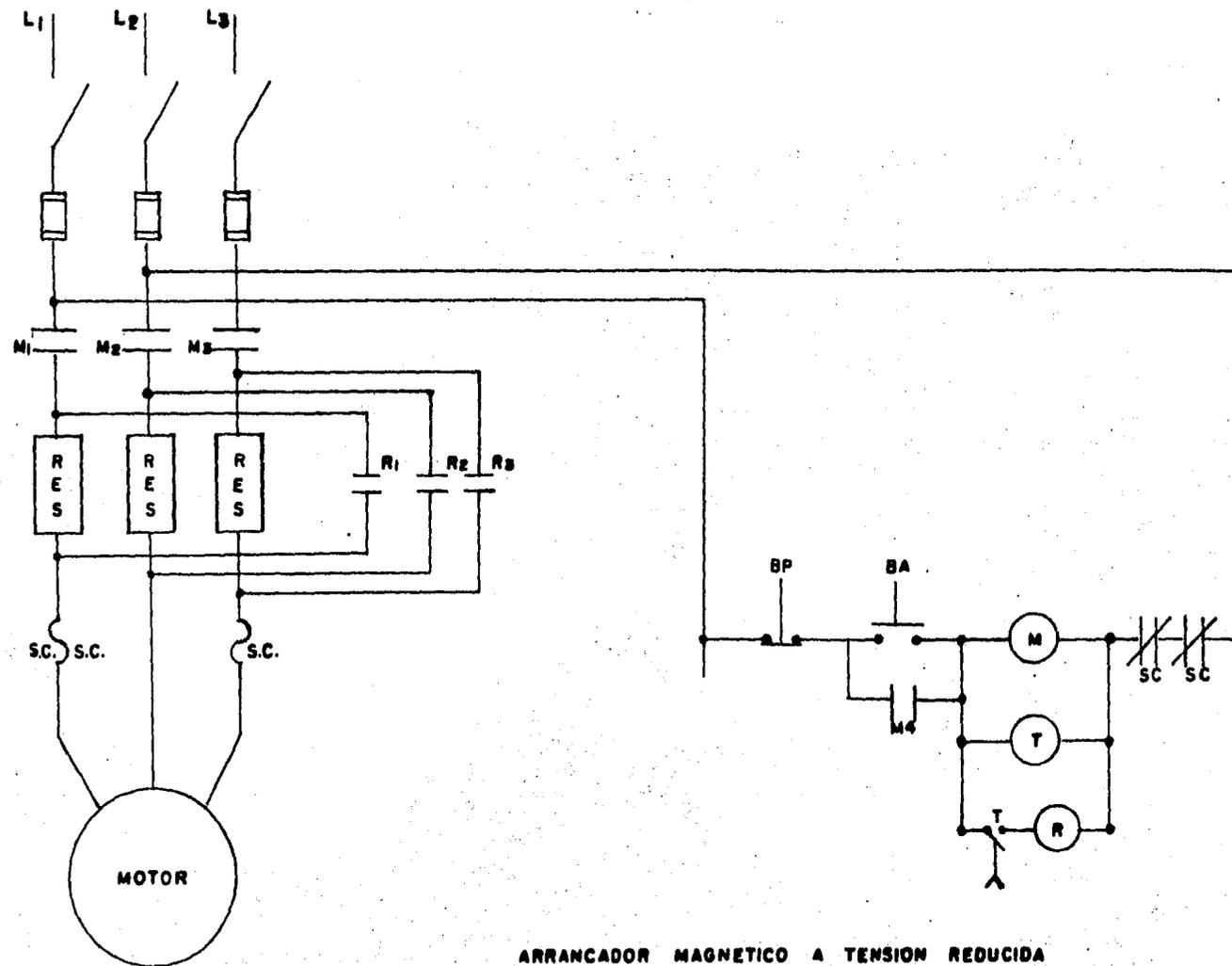
En cualquiera de estos métodos, la corriente en las puntas del motor se reduce en proporción directa de la tensión, en tanto que el par también se reduce con el cuadrado de dicha tensión.

$$I_{\text{reducida}} = \frac{V_{\text{reducido}}}{V_{\text{nominal}}} \times I_{\text{nom arranque}} \quad (\text{IV.3.1})$$

$$T_{\text{reducido}} = \frac{V_{\text{reducido}}^2}{V_{\text{nominal}}^2} \times T_{\text{nom arranque}} \quad (\text{IV.3.2})$$

- a) Resistencias primarias

El motor se conecta a la línea a través de un grupo o banco de resistencias, reduciendo una caída de tensión en ellas. Esta caída disminuye la tensión aplicada a las terminales de motor, reduciendo la corriente y el par durante el arranque. Una vez que el motor alcanza cierta velocidad, superior al 70% de la nominal, se desconectan las resistencias dejando al motor funcionando a tensión plena de alimentación. La figura IV.3.3 muestra el diagrama



ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION REDUCIDA
 CON RESISTENCIAS
 FIG. IV. 3.5

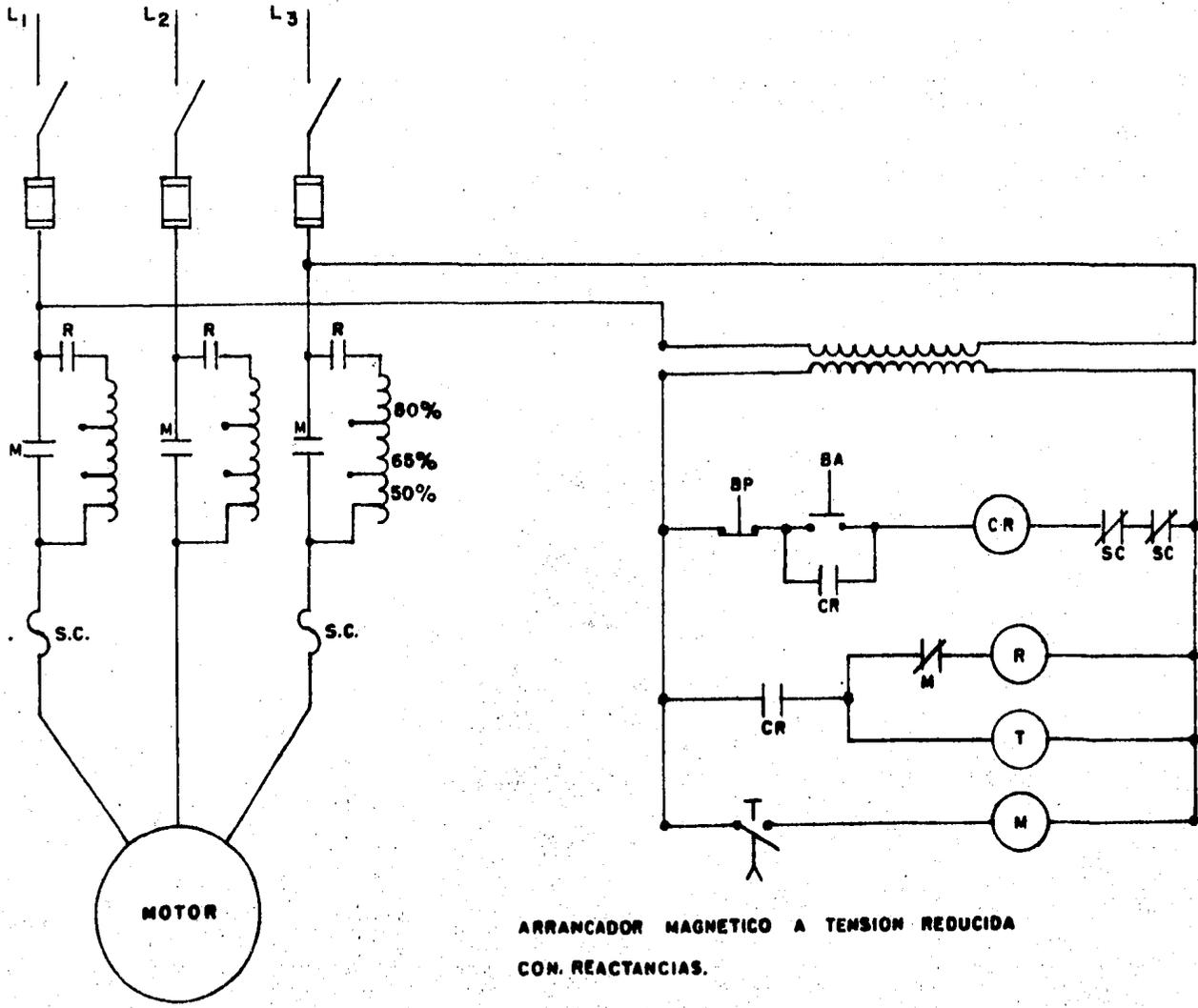
esquemático de este arrancador. Al pulsar B.A. se energiza la bobina M y la bobina T cerrando los contactos M, que a su vez -- arrancan al motor a través de las resistencias. Después de un -- cierto tiempo se cierra el contacto T, energizando la bobina R , cerrando a su vez los contactos R. Estos últimos ponen en cir -- cuito corto la resistencias y dejan al motor trabajando a plena tensión.

En caso de una sobrecarga opera el relevador S.C., desenergizando las bobinas que abren los contactos y paran el motor. Bas -- ta restablecer el relevador S.C. y pulsar B.A. para poner nueva -- mente en marcha el motor.

b) Reactancias

El motor se conecta a la línea a través de reactores colocados en cada una de las fases. El par de arranque es muy bajo, ade -- más el empleo de reactores disminuye aun más el factor de potencia durante el arranque. Estas características y su costo eleva -- do hacen que el arranque por resistencias sea más empleado, sin -- embargo en lugares donde se requieren bancos de resistencias de -- gran volúmen y se tienen problemas en la disipación de calor, se emplea el arrancador con reactancias.

Frecuentemente los reactores van provistos de derivaciones, -- para conseguir en las terminales del motor tensiones del 50, 65, y 80% de la tensión plena de alimentación, lo que permite reali -- zar ajustes en las relaciones par-corriente. En la figura IV.3.4 se muestra el diagrama simplificado de un arrancador por reactan -- cias. Observando el diagrama vemos que al pulsar el botón de -- arranque B.A., se energiza la bobina C.R.; al cerrar los contac -- tos C.R. se energizan las bobinas R y T. Cuando se cierran los -- contactos R, el motor queda conectado a la línea por medio de las reactancias, después de cierto tiempo cuando se cierra el contac --



ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION REDUCIDA
CON REACTANCIAS.

FIG. IV. 3.4

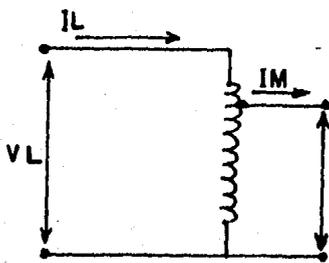
to T se energiza la bobina M, cerrando sus contactos. El contacto normalmente cerrado de M abre desenergizando la bobina R, en este instante el motor queda conectado a la tensión plena de alimentación.

NOTA: El transformador del diagrama unicamente es para control.

c) Arranque con autotransformador

Es conocido también como arranque por compensador. A pesar de ser más costoso que los anteriores, posee ciertas características que lo hacen preferido en el medio industrial.

En los arrancadores con resistencias o reactancias, la disminución de la corriente es proporcional a la disminución de la tensión mientras que el par disminuye con el cuadrado de la tensión. Así, si en un arrancador se tiene una caída de tensión en los bancos limitadores de un 20%, la corriente absorbida por el motor durante el arranque, será el 80% de la red. La corriente disminuye en la misma proporción. Sin embargo, por la acción transformadora, la corriente de la red está dada por la siguiente relación:



$$V_L I_L = V_M I_M$$

$$I_L = \frac{V_M I_M}{V_L} = \frac{80\%}{100\%} \times 80\% = 64\%$$

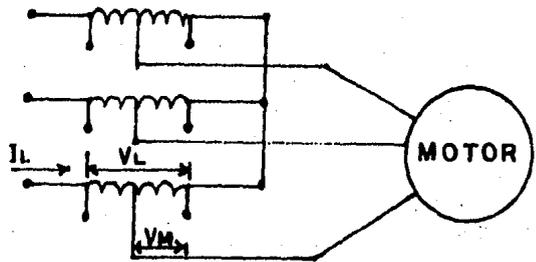
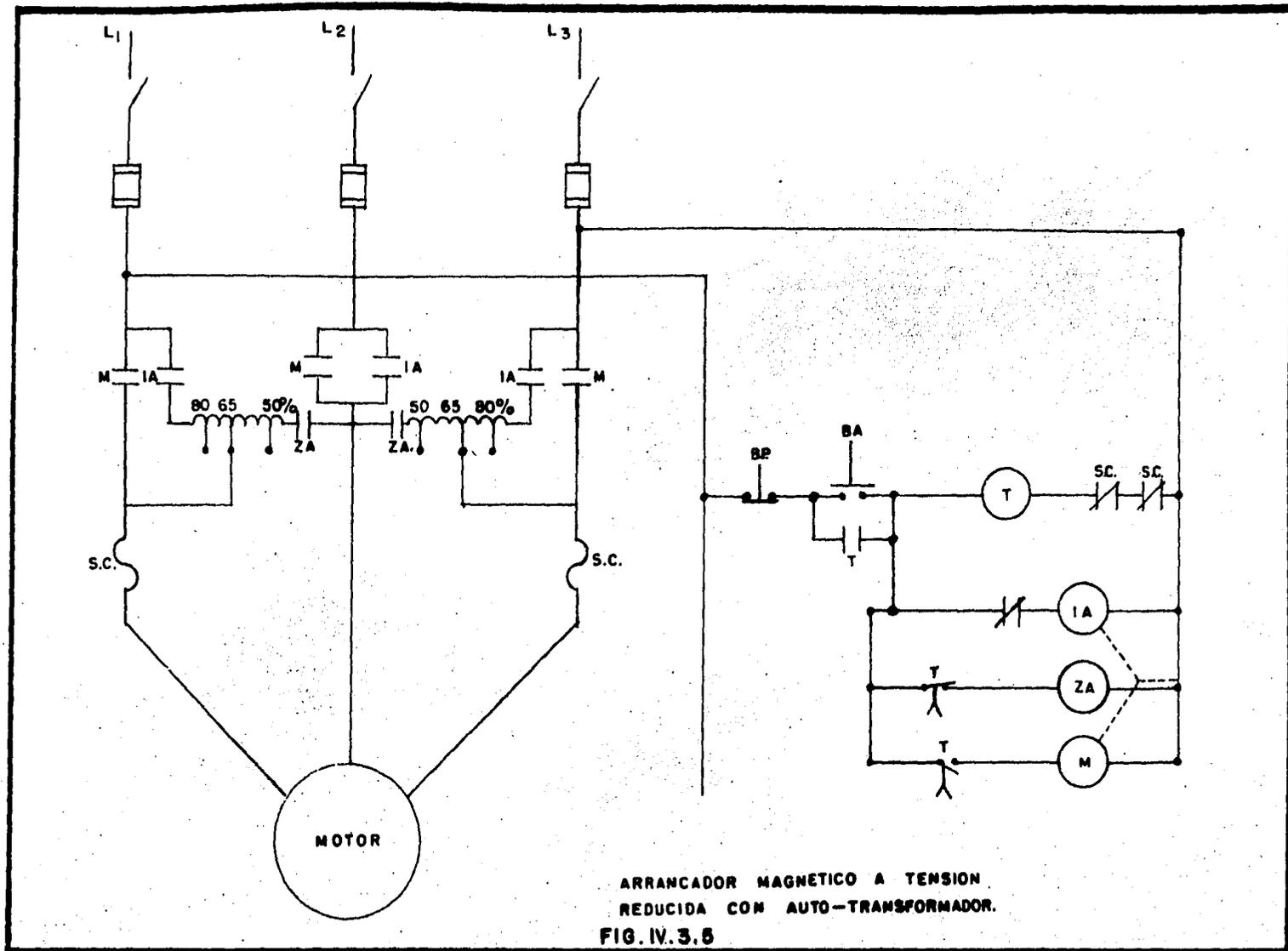


FIG. IV. 3. 5. a



ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION REDUCIDA CON AUTO-TRANSFORMADOR.
 FIG. IV. 3.8

Por lo anterior, la corriente resulta ser el 64% de la corriente que absorbería el motor si se conectara directamente a la línea durante el arranque.

Al 80% de la tensión nominal, el par durante el arranque se reduce a un 64%. De esta manera se puede observar que para el mismo par de arranque que el tipo autotransformador se produce una reducción de la corriente de línea, mayor que los arrancadores con resistencias o reactancias. La figura IV.3.5 muestra el diagrama simplificado de un arrancador con autotransformador.

Al pulsar B.A. se energiza la bobina T cerrando su contacto T al mismo tiempo se energiza la bobina 1A y 2A que al cerrar sus contactos, conectan el motor a la línea a través del autotransformador. Después de un tiempo se energiza la bobina M, desenergizando las bobinas 1A y 2A, en ese momento se desconecta el autotransformador y se deja al motor con la tensión plena de alimentación. En caso de sobrecarga, S.C. abre el circuito y restableciendo se puede volver a arrancar.

NOTA. La línea punteada entre las bobinas 1A y M, indica que existe un bloqueo mecánico entre ellas con el fin de que en caso de falla interna del control, no trabajen al mismo tiempo

d) Conexión estrella-delta

Este método consiste en conectar los devanados del motor en estrella durante el arranque y después conectarlo en delta. Se aplica en motores que funcionan normalmente con conexión delta.

Cuando el motor se conecta en estrella, la tensión en cada una de las terminales será :

Para la estrella :

La corriente en la estrella se mantiene igual o sea, corriente de línea es igual a la corriente de fase.

Sustituyendo los valores de voltaje y corriente para la estrella en la ecuación IV.3.1 :

$$I_{\text{reducida}} = \frac{I_L}{3}$$

La corriente disminuye el valor que tomaría si se arrancara en delta.

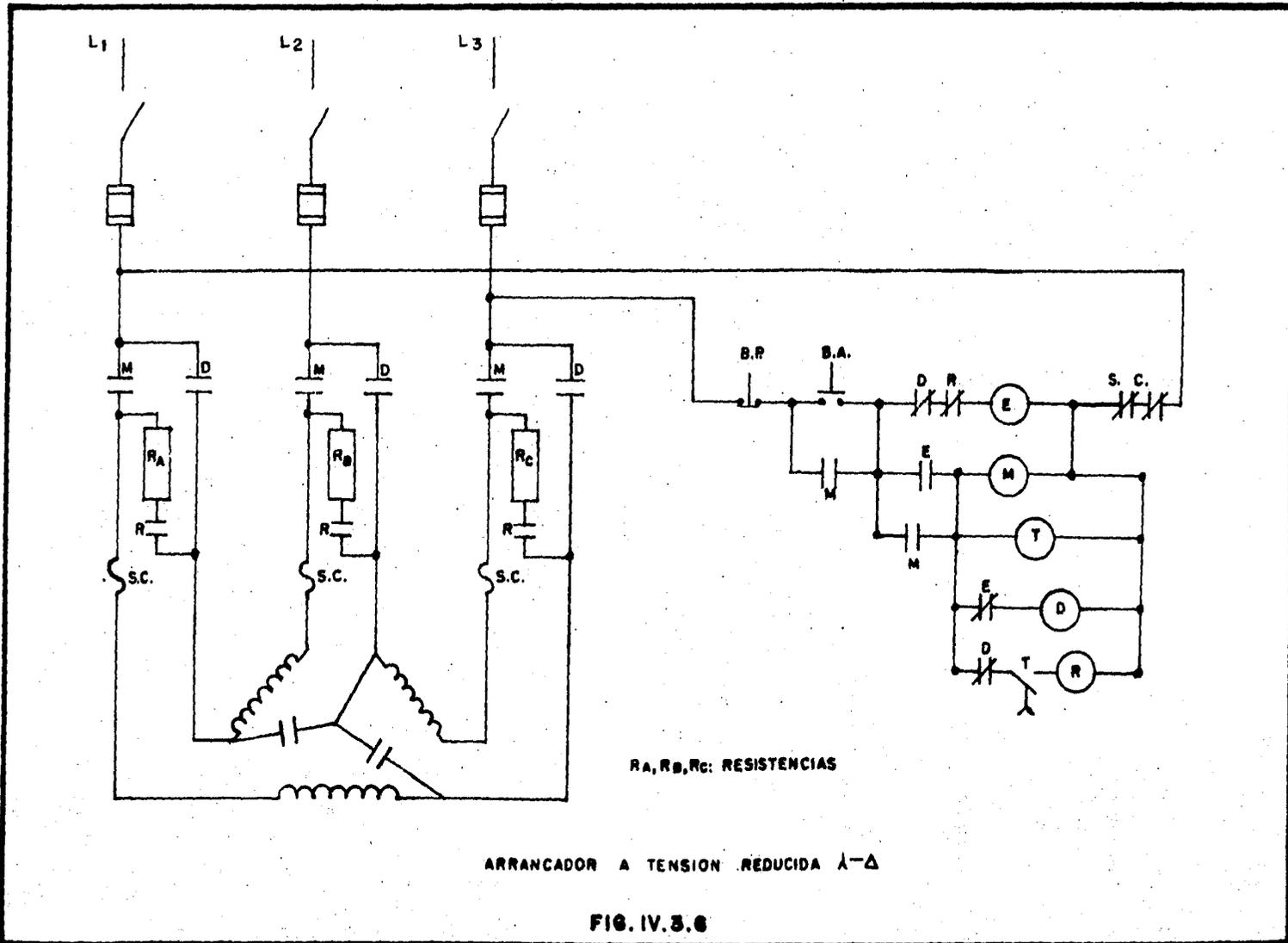
El par de arranque disminuye un tercio de su valor durante el arranque. Sustituyendo valores en la ecuación IV.3.2:

$$T_{\text{red}} = \frac{1}{3} T_{\text{nom arranque}}$$

Para lograr este tipo de arranque en muchas ocasiones se utilizan interruptores de cuchillas de dos tiros. tres polos o bien, interruptores de tambor.

En la figura IV.3.6 se muestra un arrancador a tensión reducida, conexión estrella delta.

Al pulsar B.A., se excitan las bobinas E, M y el relevador de tiempo T. Cuando los contactos de M y E cierran, el motor se conecta a la línea con sus devanados en estrella. Después de un cierto tiempo dado por el relevador T, se energiza la bobina R cerrando momentaneamente sus contactos, se energiza la bobina D, se desenergizan las bobinas E, T y R. Cuando cierran los contactos D, el motor queda conectado a la línea en delta.



RA, RB, RC: RESISTENCIAS

ARRANCADOR A TENSION REDUCIDA $\lambda-\Delta$

FIG. IV.3.6

Las resistencias R_A, R_B, R_C mantienen cerrado el circuito en el momento de la transición.

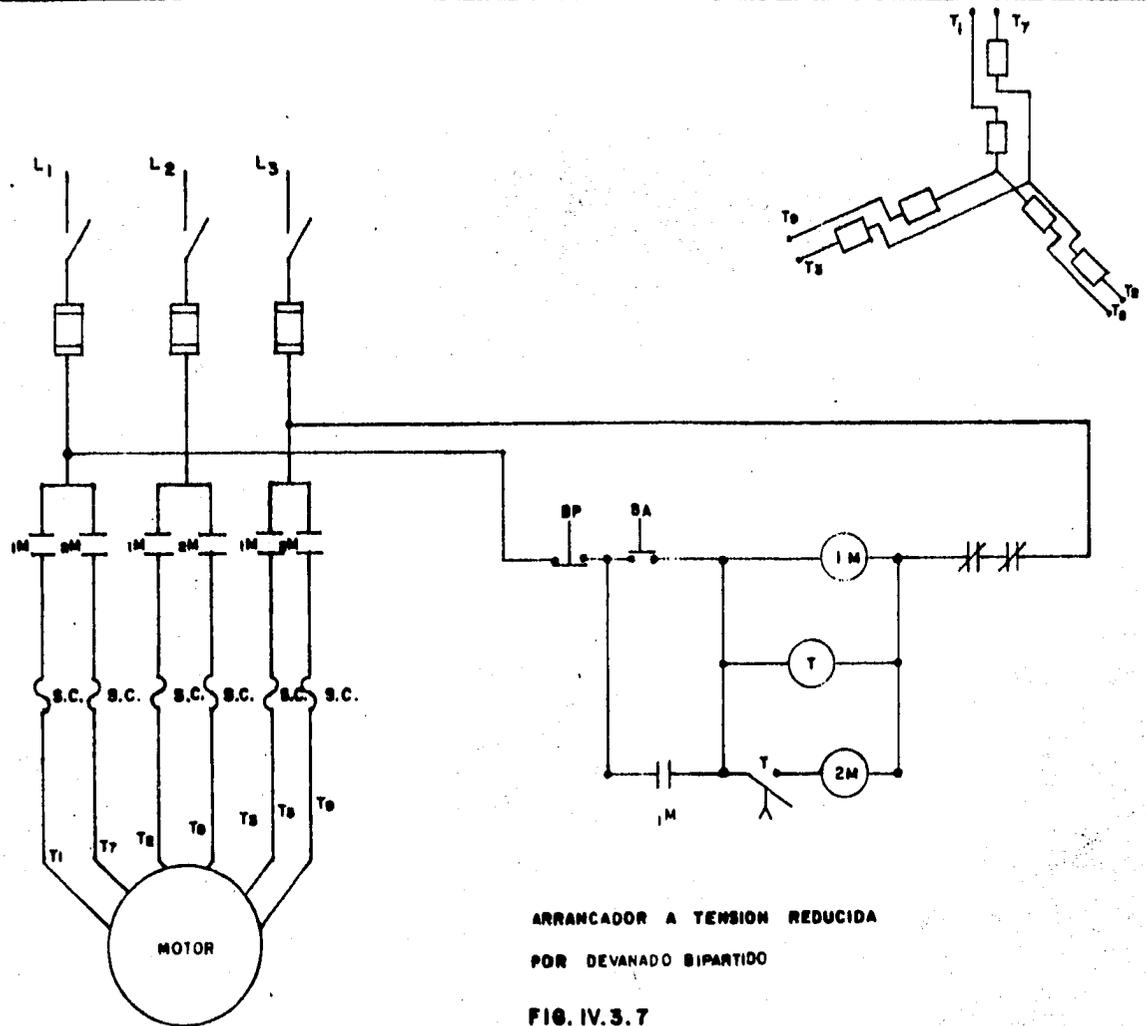
e) Devanado bipartido

Con frecuencia los motores trifásicos son construidos para operar a dos tensiones, por ejemplo 220 y 440V. Esto se logra em bobinando el estator en dos secciones idénticas. Cuando estas secciones están en estrella y se conectan en paralelo durante la operación normal del motor, el arranque por devanado parcial puede ser empleado para limitar tanto la corriente como el par de arranque. Inicialmente se conecta a la alimentación una mitad del devanado del estator y cuando el motor se encuentra cerca de su velocidad nominal, se conecta la segunda mitad del devanado en paralelo con el anterior.

En la figura IV.3.7 se muestra el diagrama de un arrancador con devanado bipartido.

Al pulsar B.A., se energizan las bobinas 1 M y T. Al cerrar los contactos 1 M, queda la mitad del devanado del motor conectado a la línea, después de un cierto tiempo, cuando cierra el contacto T, la bobina 2 M se energiza, los contactos 2 M cierran y conectan la otra mitad del devanado quedando el motor trabajando con los dos embobinados a la tensión plena de alimentación.

La tabla IV.3.1 muestra las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de arrancadores.



ARRANCADOR A TENSION REDUCIDA
 POR DEVANADO BIPARTIDO

FIG. IV.3.7

METODOS DE ARRANQUE

TABLA IV. 3.1

TIPO	TENSION EN EL MOTOR	CORRIENTE EN EL MOTOR	CORRIENTE EN LA LINEA	%PAR	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
TENSION PLENA	100	100	100	100	<p>MAXIMO PAR DE ARRANQUE. RELATIVAMENTE SIMPLE.</p> <p>LA CORRIENTE DEMANDADA PUEDE OCASIONAR DISTURBIOS EN LA RED.</p>
RESISTENCIAS	80	80	80	64	<p>DISPONIBILIDAD DE VARIOS PASOS PARA UN ARRANQUE SUAVE. TRANSICION EN CIRCUITO CERRADO.</p> <p>BAJO PAR DE ARRANQUE POR AMPER DEMANDADO.</p>
	65	65	65	42	
	50	50	50	25	
REACTANCIAS	80	80	80	64	<p>DE MENOR TAMAÑO QUE EL DE RESISTENCIAS PARA POTENCIAS ELEVADAS TRANSICION CERRADA.</p> <p>VOLUMINOSO EN RANGOS PEQUEÑOS DE POTENCIA. BAJO FACTOR DE POTENCIA EN EL ARRANQUE.</p>
	65	65	65	42	
	50	50	50	25	
AUTOTRANSFORMADORES	80	80	64	64	<p>MAYOR PAR POR AMPER DEMANDADO</p> <p>EN ALGUNOS MODELOS MAGNETICOS Y EN LOS MANUALES, DE TRANSICION ABIERTA.</p>
	65	65	42	42	
	50	50	25	25	
ESTRELLA - DELTA	100	33	33	33	<p>ALTO PAR DE ARRANQUE/amp. AUNQUE ESTE ES RELATIVAMENTE BAJO. NO NECESITA EQUIPO EXTRA PARA REDUCIR LA CORRIENTE.</p> <p>EN ALGUNOS MODELOS, TRANSICION ABIERTA.</p>
DEVANADO BIPARTIDO	100	70	70	50	<p>EL TIPO MAS BARATO. TRANSICION CERRADA</p> <p>EL TIEMPO DE ARRANQUE ES LIMITADO (APROX. 4 Seg). REQUIERE PROTECCION EN EN C/A DE LAS PUNTAS DEL MOTOR</p>
	100	55	55	50	

IV.4 Relevadores de sobrecarga

IV.4.1 Relevadores de sobrecarga utilizados en la protección de motores

Consisten en una unidad sensible a la corriente, conectada en serie con el motor y un mecanismo que responde a dicha unidad. Este mecanismo sirve para interrumpir el circuito.

La ventaja de estos relevadores, es que tienen una característica de operación de tiempo inverso muy similar a la curva de calentamiento del motor. Esta razón les permite mantener la conducción durante el período de aceleración.

En un arrancador manual, una sobrecarga dispara una especie de aldaba mecánica que causa que el arrancador abra sus contactos y desconecte el motor.

En los arrancadores magnéticos una sobrecarga abre unos contactos que se encuentran en el mismo relevador. Al ocurrir esto se para el motor, ya que esos contactos están conectados en serie con la bobina del arrancador.

Los relevadores se clasifican en térmicos y magnéticos. Los térmicos pueden subdividirse en los tipos de aleación fusible y los tipo bimetalicos.

En los tipos de aleación fusible, la corriente del motor pasa por un pequeño calefactor, el calor que produce éste durante una sobrecarga provoca que se funda la flecha de una rueda -- trinquete. Al liberarse el trinquete, se abren unos contactos -- que desenergizan el circuito de control y paran el motor.

Los tipo bimetalicos emplean una tira bimetalica en forma de U que está en contacto con un elemento calefactor. El calor producido durante una sobrecarga, desvía al elemento bimetalico --

que abre unos contactos del circuito de control y para el motor.

Para seleccionar las unidades térmicas de sobrecarga, se debe considerar la corriente nominal de placa, el tipo de motor y la diferencia de temperatura ambiente del motor y el controlador.

IV.4.2 Relevadores de sobrecarga utilizados en sistemas de potencia y de distribución.

La función de la protección por relevadores es suspender el servicio a cualquier elemento de un sistema, cuando existe un corto circuito o cuando funciona en forma anormal, que pueda originar daño al equipo.

Aunque la función principal de la protección por relevadores es reducir los efectos de los cortos circuitos, existen otras condiciones anormales de funcionamiento que también necesitan esta protección, como cuando se trata de generadores y motores.

Una función secundaria de la protección por relevadores, es indicar el sitio y el tipo de falla en un sistema de distribución. Dichos datos no solo ayudan en la reparación oportuna, sino que también, por comparación con las observaciones humanas y con los registros de oscilógrafos automáticos, proporcionan medios estadísticos para el análisis y la prevención de la falla.

Considerando únicamente el equipo de protección de corto circuito, existen dos grupos de estos equipos, uno que llamaremos de protección primaria que es la primera línea de defensa y el segundo que llamaremos de respaldo, que actúa solamente cuando la protección primaria no opera.

Los términos usados para describir las características funcionales de cualquier equipo de protección por relevadores son:

- i) Sensibilidad
- ii) Selectividad
- iii) Velocidad

Estas características deben considerarse en la protección primaria y de respaldo.

Un equipo de protección debe ser suficientemente sensible para que funcione en forma segura cuando sea necesario.

Asimismo, debe ser capaz de seleccionar entre aquellas condiciones en que se requiere de un funcionamiento rápido o cuando se requiere funcionamiento lento, o que no funcione.

También debe funcionar a la velocidad requerida.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de la protección por relevadores es desconectar un elemento con falla lo más rápido posible. La sensibilidad y la selectividad son esenciales para asegurar que operen los relevadores apropiados. Lo más importante de la protección es la velocidad de operación, ya que con ésta se logra la coordinación de interruptores. Es de primordial importancia que el equipo de protección sea confiable y que su instalación, operación y mantenimiento aseguren su eficiencia.

En contraste con la mayoría de los elementos de un sistema de potencia, los dispositivos de protección se mantienen inactivos la mayor parte del tiempo. En algunas ocasiones, la protección llega a permanecer inactiva en varios años. Los relevadores de líneas de transmisión tienen un funcionamiento más frecuente, pero aún así es mínima su operación. No obstante debe asegurarse que el equipo de protección operará cuando sea requere-

rido.

Un sistema de potencia moderno no podría funcionar sin la -- protección por relevadores. Sin embargo, debido al alto costo del equipo, a menudo es necesario evaluar los beneficios que van a -- lograrse.

La evaluación podría hacerse sobre la base de que la protec- ción hace que el sistema funcione con la eficacia y efectividad posibles frente a la falla, disminuyendo el daño cuando ocurre.

La protección por relevadores reduce :

- i) El costo de la reparación del daño
- ii) La probabilidad de que la falla pueda extenderse a otro equipo
- iii) El tiempo que el equipo está fuera de servicio
- iv) La pérdida de ingresos y la tirantez de las relaciones públicas debido a que el equipo está parado.

Con el regreso oportuno del equipo al servicio, la protección por relevadores ayuda a reducir la cantidad del equipo de re--- serva requerido, ya que existe menor probabilidad de que suceda otra falla antes de que la primera pueda repararse.

IV.5 Fusibles

Los fusibles son dispositivos de protección contra corto circuitos. Por lo tanto un fusible debe realizar las siguientes funciones:

- i) Sensar cuando existe un corto circuito.
- ii) Abrir el circuito antes de que se dañe.
- iii) Tener la capacidad suficiente para conducir y abrir la corriente de corto circuito sin sufrir daño propio.
- iv) No debe afectar al circuito durante la operación normal ni cuando existen sobrecargas.

Básicamente un fusible es un tramo de conductor o elemento de metal suave, contenido dentro de algún recipiente. Se conecta en serie con la carga y la fuente de energía, de tal manera que toda la corriente que fruye hacia la carga pasa a través del fusible. Este dispositivo tiene muy poca resistencia óhmica, que es despreciable en condiciones normales.

Cuando ocurre una falla de corto circuito, la magnitud de la corriente aumenta rápidamente, lo que produce una elevación de temperatura proporcional a I^2R . Esta última energía es la que funde al elemento del fusible.

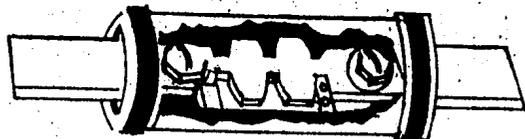
Otra característica de los fusibles es que tienen un punto de fusión más bajo que de los conductores de circuito, lo cual significa que al ocurrir un corto circuito el incremento de temperatura fundirá primero al fusible y abrirá el circuito antes de que se dañen las componentes localizadas después del fusible.

La corriente que puede soportar un fusible antes de fundirse, depende del material que se use para el elemento y de su área -- transversal, que son características del diseño.

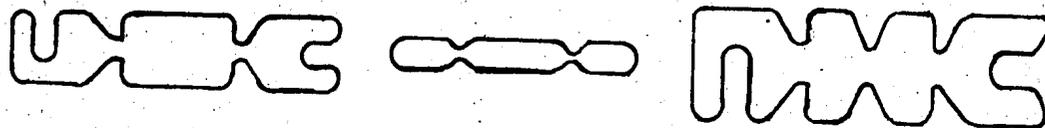
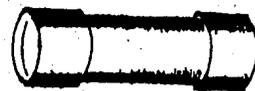
Cuando un fusible no opera adecuadamente, los resultados suelen ser de graves consecuencias. Esta mala operación puede ser -- resultado de una falla del material. Cuando el elemento se funde a un punto inferior al normal, el circuito se abre innecesaria -- mente, lo cual puede no ser muy grave. Sin embargo, un fusible que se quema muy por arriba del punto esperado, provocará el paso de corrientes muy elevadas que pueden dañar la carga, la fuente de -- energía e incluso provocar un incendio.

CARTUCHOS REGENERABLES

DESDE 75 HASTA-600
AMPERES INCLUSIVE



DESDE 3 HASTA-60
AMPERES INCLUSIVE



TIPOS DE ESLABONES FUSIBLES

FIG. IV. 5.1

TABLA IV.5.1

TABLA PARA SELECCION DE FUSIBLES												
250 VOLTIOS						Emp.	600 VOLTIOS					
No. DE CAT.	Amp.	DIM. EN mm.		Kgs. Peso Emp. Normal	Kgs. Peso Pieza Neto	Normal 250y 600V.	No. DE CAT.	Amp.	DIM. EN mm.		Kgs. Peso Emp. Normal	Kgs. Peso Pieza Neto
		Largo	Ancho						Largo	Ancho		
CF-202	3	49	13	0.230	0.020	10	CF-262	3	125	19	0.770	0.065
203	5						263	5				
204	6						265	6				
206	10						266	10				
207	15						267	15				
208	20						268	20				
209	25						269	25				
210	30						270	30				
214	35						74.3	19				
215	40	275	40									
216	45	276	45									
217	50	277	50									
220	60	280	60									
224	75	149	27	1.590	0.140	10	284	75	202	32	2.400	0.220
226	90						286	90				
230	100						290	100				
234	125	181	38	0.410	0.345	1	294	125	243	45	0.570	0.470
236	150						296	150				
238	175						298	175				
240	200						300	200				
244	225	219	51	0.810	0.710	1	304	225	290	64	1.230	1.060
246	250						306	250				
248	300						308	300				
250	400						310	400				
256	500	263	64	1.230	1.110	1	316	500	340	76	1.960	1.710
260	600						317	600				

TABLA IV.5.2

TABLA DE SELECCION DE FUSIBLES										
250 VOLTIOS				EMPAQUE		600 VOLTIOS				
NUMERO DE CATALOGO	AMPERES	LARGO EN MILIMETROS	Kgs. PESO Emp. Nor.	NORMAL		NUMERO DE CATALOGO	AMPERES	LARGO EN MILIMETROS	Kgs. PESO Emp. Nor.	
				250	600 V.					
FS-2	3	86	0.005	50	50	FS-32	3	138	0.035	
" 3	5		0.010			" 33	5		0.035	
" 4	6		0.010			" 34	6		0.035	
" 5	10		0.015			" 35	10		0.105	
" 6	15		0.015			" 36	15		0.125	
" 7	20		0.015			" 37	20		0.125	
" 8	25		0.020			" 38	25		0.125	
" 9	30		0.025			" 39	30		0.210	
" 10	35		89			0.125	" 40		35	0.330
" 11	40					0.125	" 41		40	0.360
" 12	45	0.125		" 42	45	0.380				
" 13	50	0.140		" 43	50	0.410				
" 14	60	0.140		" 44	60	0.430				
" 15	75	76		0.155	" 45	75	0.490			
" 16	80		0.160	" 46	80	0.540				
" 17	90		0.170	" 47	90	0.590				
" 18	100		0.230	" 48	100	0.650				
" 19	110	82	0.375	25	" 49	110	0.700			
" 20	125		0.410		" 50	125	0.870			
" 21	150		0.550		" 51	150	1.040			
" 22	175		0.600		" 52	175	0.730			
" 23	200		0.900		" 53	200	1.140			
" 24	225		0.950		" 54	225	1.150			
" 25	250	82	0.500	25	" 55	250	1.150			
" 26	300		0.745		" 56	300	1.500			
" 27	350		0.850		" 57	350	1.700			
" 28	400		0.900		" 58	400	1.900			
" 29	500	83	0.480	10	" 59	500	1.080			
" 30	600		0.760		" 60	600	1.890			

IV. 6 Transformador de control

Existe un riesgo considerable en utilizar voltajes arriba de los 230V para circuitos de control, aunque se usen estación de botones u otros dispositivos que son generalmente diseñados hasta para 600V, los corto circuitos o fallas en el aislamiento del alumbrado pueden hacer que el operador sufra un accidente grave. El control a un voltaje bajo reduce la magnitud de este riesgo, por lo tanto es recomendable diseñar el circuito de control a un voltaje menor que el del circuito de fuerza. Para lograr esto es indispensable emplear transformadores de control.

Los transformadores diseñados para propósitos generales no son recomendables para el trabajo de control ya que estan diseñados para cargas constantes. Cuando un contactor es energizado, la corriente inicial puede ser de 15 a 20% la corriente que circula después de haber cerrado. El transformador de control debe ser capaz de proporcionar la corriente que se requiera y la caída de voltaje no debe ser mayor del 5%.

La selección del transformador para control involucra el análisis de todo el circuito de control para determinar el tamaño del transformador, el cuál debe proporcionar el pico de corriente para un tiempo determinado.

El control de un circuito de potencia por medio de una tensión más baja en el circuito de control, puede también obtenerse conectando el circuito de control a una fuente separada, en lugar de un transformador.

En la figura IV.2.1. se muestra el diagrama de control para un motor empleando un transformador de control.

Relación de transformación para transformadores de control en baja tensión:

480	-	240/120
460	-	230/115
440	-	220/110

IV.7 Lámparas de señalización (pilotos) y alarmas

Este tipo de señalización consta de focos luminosos que se encienden para indicar en un centro de control, tablero de control o en algún otro lugar la marcha de un motor, proceso, nivel, presión o cualquier otra situación que convenga ser conocida por el operador.

La capacidad de las lámparas de señalización, varia de acuerdo al voltaje y tipo de corriente, normalmente se utilizan focos de 6 w para 6, 12 y 24 V de C.C., y para 127.5V de C.A., para conexión directa a la línea.

Cuando se utilizan circuitos de control de 220, 440 V o más altos es indispensable usar un transformador de control que permita reducir el voltaje para utilizar la capacidad de las lámparas mencionadas.

El capuchón o cubierta del foco se usa en diferentes colores: rojo, verde, ambar, azul, blanco y en ocasiones transparente. -- También se fabrican pilotos integrados a la estación de botones -- para estos casos se utilizan focos de 1 w, a tensiones de 6, - - 127.5, 220 y 440 V.

Existe una gran variedad de tipos de modelos de lámparas de señalización que al combinarse deben satisfacer las necesidades del sistema o proceso a controlar.

En ocasiones cuando el sistema o el proceso a controlar así lo requiere, además de los focos pilotos, se instalan dispositivos -

sonoros llamados alarmas. Estos dispositivos forman parte de la señalización y cumplen con la misma función que la señalización luminosa.

IV. 8 Estación de botones y selectores

Son dispositivos de control que tienen por objeto poner en funcionamiento un proceso o sistema, por lo tanto son indispensables para el control ya sea manual o automático. Se accionan mecánicamente, para que a su vez cierren o abran (o realicen ambas cosas) circuitos auxiliares que eventualmente accionan controles u otros elementos de los sistemas de distribución. Existen dos tipos de botones pulsadores: de contacto momentáneo y de contacto sostenido, fabricados para dos clases de servicios, normal, para la aplicación usual y el de servicio pesado para uso frecuente. Con frecuencia los pulsadores se combinan con otros elementos (pilotos, alarmas), formando las estaciones de botones, realizando en algunas ocasiones operaciones verdaderamente complejas.

La envolvente de una estación de botones, se fabrica usualmente de plástico moldeado o de lámina metálica y los contactos de los pulsadores, de plata, cobre o de algunas aleaciones especiales.

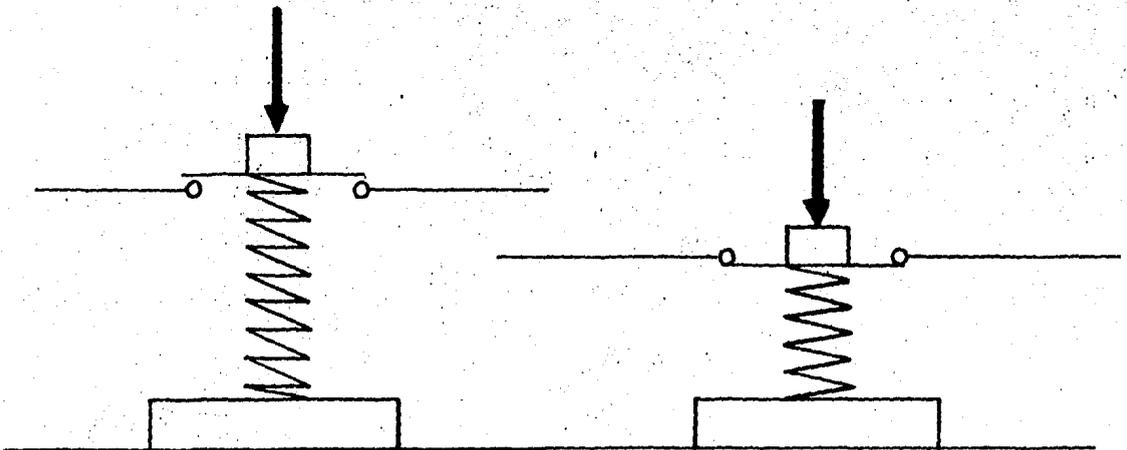
Se pueden obtener diversas envolventes aparte de las de tipo general, como son para condiciones extraordinarias, ya sean a prueba de agua, polvo, explosiones, sumergibles etc. Los botones se someten a altas tensiones momentáneas causadas por el efecto inductivo de las bobinas a las que se conectan, por esta razón se proporciona un espacio conveniente entre los contactos y el aislamiento a tierra.

En la figura IV.3.1., se muestran botones de acción momentánea

T A B L A IV. 8. I.

T I P O	V O L T S (M A X)	A M P E R E S			
		C O N T I N U O S	C O N T A C T O M O M E N T	A P E R T U R A	
				C. A.	C. C.
M I N I T U R I Z A D O	1 3 0	5	3 0	3 0	1.1 0
U S O N O R M A L	1 3 0	1 0	3 0	3 0	1.1 0
	2 5 0	1 0	2 0	2 0	0.5 5
	4 8 0	1 0	7.5	7.5	0.2 0
U S O R U D O	1 3 0	1 0	6 0	6 0	2.2 0
	2 5 0	1 0	3 0	3 0	1.1 0
	4 8 0	1 0	1 5	1 5	0.4 0

FIGURA IV. 8. I.



BOTONES O CONTACTOS
DE ACCION MOMENTANEA

En el contacto normalmente abierto, al presionarlo la corriente fluye de A a B. Al desaparecer la presión, el resorte lleva al botón a la posición original separando los contactos. En el normalmente cerrado la operación es inversa y al soltarse el botón se vuelven a cerrar los contactos.

Los botones de contacto sostenido se distinguen de los anteriores porque una vez llevados a una posición, se mantienen en ella mientras no se les accione nuevamente.

Los selectores tienen una apariencia exterior diferente a los botones, pero con frecuencia los grupos de contactos son los mismos. Se usan para seleccionar un circuito de control previo a la operación del equipo de proceso, por ejemplo operación manual (por botones) u operación automática (por acción de un interruptor de límite) o para interrumpir cualquiera de los circuitos anteriores.

Como los botones, los selectores pueden clasificarse por su función, su capacidad y comodidad de manejo.

Por su función existen de contacto momentáneo, en que un resorte se encarga de regresar la palanca a su posición original y los hay de contacto sostenido en que la palanca se queda en la posición en que se deja.

Por su capacidad son iguales a los botones y para su selección puede utilizarse la tabla IV.8.1.

Por su comodidad o uso especial de manejo, los hay normales con una manija con flecha indicadora, los de llave, los operados solo por persona autorizada, etc.

CAPITULO V

CAPITULO V. PROYECTO ELECTRICO DEL TABLERO

V.1 Diagramas eléctricos

Se usan como una referencia en el diseño posterior de equipos similares. Los técnicos de prueba usarán los diagramas como instructivos de ingeniería para checar el funcionamiento del equipo. El electricista seguirá los diagramas al instalar el alambrado externo de las diferentes unidades del equipo.

Se usan también para el mantenimiento correctivo o al hacer modificaciones para operar el equipo en diferentes condiciones.

V.1.1 Diagrama elemental o esquemático

Muestra todos los circuitos y dispositivos de un equipo con sus aparatos asociados. Hace énfasis en los dispositivos del circuito y sus funciones. Los circuitos que funcionan en una secuencia determinada, son arreglados para indicarla.

Un diagrama o tabla de la secuencia de control que muestra -- las posiciones de contacto para cada paso sucesivo de la acción de control, da una mayor claridad de funcionamiento.

V.1.2 Diagrama de alambrado o de conexiones

Localiza e identifica los dispositivos eléctricos, terminales y el alambrado que los conecta. Los diagramas de alambrado pueden ser:

- 1) En una forma que muestra el alambrado por líneas o indicando el alambrado de interconexión solo por números de terminal.
- 2) Una tabla de alambrado.
- 3) Una carta de cómputo.
- 4) Tarjeta o cintas de comando de una máquina.

Por convención, en los equipos magnéticos de CA se usan cables negros para los circuitos de fuerza y cables rojos para los circuitos de control.

V.1.3 Diagrama de interconexión

Muestra solamente las conexiones externas entre el controlador y su equipo asociado.

V.2 Simbología

Los símbolos gráficos se usan como medios rápidos y fáciles de ilustrar y definir los elementos y funciones de un circuito eléctrico.

Existen dos tipos: Los usados en diagramas elementales y los usados en diagramas de conexiones.

Los primeros representan los elementos básicos de un circuito como son: Relevador, bobina, fusible, etc. Los de conexiones muestran dispositivos compuestos por los anteriores, como son interruptores, arrancadores, etc.

En el apéndice B se presentan los símbolos eléctricos más empleados de ambos tipos.

V.2.2 Preparación de diagramas

Los diagramas que se usan en un equipo de control complejo, se hacen de acuerdo al siguiente orden:

- 1) Diagrama elemental
- 2) Tabla de secuencia de control
- 3) Diagrama de conexiones
- 4) Diagrama de interconexión

Este orden es lógico porque cuando un ingeniero comienza a diseñar un controlador, debe trabajar el diseño del circuito elemental para cumplir con las especificaciones y funciones requeridas.

La siguiente operación es analizar el diagrama elemental para determinar las componentes eléctricas necesarias para construir el equipo.

El diagrama elemental se usa también como una guía para determinar un arreglo óptimo de las componentes en un panel para llevar a cabo alambrados cortos y simplificados.

Después de que ha sido determinado el arreglo físico y mecánico de las componentes, se hacen los dibujos para la manufactura de los paneles de control, tableros de conmutación, consolas de operador, etc.

Con estos dibujos como referencia, el dibujante eléctrico hace el diagrama de conexiones y la tabla de alambrado para cada unidad del equipo. Estos diagramas muestran un símbolo eléctrico para cada componente eléctrica y son arreglados en la posición relativa a su localización física real en el panel.

En el diagrama de conexiones el dibujante hace líneas representando alambres entre las terminales respectivas de los símbolos que serán conectados juntos.

En lugar de dibujar con líneas todos los alambres se puede --

escoger un diagrama de conexiones sin alambres en el que todas las terminales son identificadas con marcas y todas las terminales marcadas se conectan juntas por el alambrador. Algunas veces estas marcas son tabuladas en una lista llamada de alambrado.

El alambrado de circuitos que van a otros gabinetes y que llegan a los tableros de terminales, se hace al conectar el alambrado externo cuando se instala el equipo. Si el diagrama es de un controlador más simple el alambrado externo a estación de botones, motores, etc. es incluido en el diagrama de conexiones.

Para equipos de sistemas complejos que consisten de múltiples panels, el dibujante hace un diagrama de interconexión que muestra solamente la conexión externa o de campo entre los panels y todos los demás accesorios.

V.2.3. Codificado para diagramas complejos

El tamaño usual para planos eléctricos es de 22 x 34 pulgadas llamado tamaño D. Esta limitación ha forzado la adopción de diagramas múltiples para grandes sistemas de control. En tanto un diagrama se vuelve más grande y complejo, la selección de un sistema de numeración se vuelve más importante, ya que es el único medio de asistir al usuario del diagrama para que encuentre un camino a través de los circuitos, desde el diagrama elemental al diagrama de conexiones y al alambrado del panel.

El numeramiento de dispositivos y circuitos por algún método definido, se denomina numeramiento codificado, el cual puede relacionarse con el arreglo físico de panels y componentes de los mismos o bien, con la localización de un circuito dentro del diagrama elemental.

En diagramas de conexiones y de interconexiones, estos símbolos son agrupados para representar gráficamente una componente eléctrica completa, como un contactor tripolar.

Para dispositivos que tienen terminales en sus lados, así -- como en el frente, se usan proyecciones de dibujo para representar al dispositivo en un plano.

En un diagrama de conexiones, un conmutador maestro con diez contactos sería dibujado como aparece físicamente incluyendo -- una tabla que muestra las posiciones en las que cada contacto abre o cierra. En el diagrama elemental, el símbolo sería separado en 12 contactos, cada uno en su respectivo circuito funcional.

Para cubrir la simbología necesaria para nuevos dispositivos, se usan símbolos de forma uniforme, que son un rectángulo al -- que entran y salen alambres. Estos alambres son numerados por -- fuera del rectángulo y la función del dispositivo es designada por una palabra dentro del rectángulo.

Las designaciones de dispositivo son usadas en diagramas para marcar cada uno de los símbolos gráficos de un circuito. Se forman por la asignación de una letra o letras que representan la principal función realizada por el dispositivo. Las letras -- son las iniciales de las palabras que describen la función.

Cuando un panel contiene un número múltiple de dispositivos -- realizando la misma función, las designaciones del dispositivo -- serán prefijadas o sufijadas con números adecuados o letras. Pa -- ra sistemas grandes que tienen paneles múltiples, es útil enumerarlos y usar el número de panel como prefijo de todas las de -- signaciones para sus componentes.

Enseguida se describe un sistema de código general que es -- aplicable a sistemas complejos de control. El sistema tiene dos métodos de numeración. Uno para las designaciones de dispositivos y otros para los números de alambre del circuito.

El numeramiento codificado de los dispositivos se realizará con la localización física del dispositivo dentro del control.- Cada componente mayor del equipo de control, como es un panel, - será asignado a un número básico. Entonces cada dispositivo de ese panel llevará el número de panel como prefijo a su designación de dispositivo. Si un subpanel es montado en el panel ---- principal, le puede ser asignada una letra adicional en su prefijo, que irá en todos sus dispositivos.

El numeramiento codificado de los números de alambre del circuito se relacionará con la localización del circuito en el diagrama elemental. Esto se complementa con el numeramiento de todos los circuitos del diagrama elemental en el orden secuencial en que se encuentren. Si el diagrama elemental consiste de planos múltiples, entonces cada plano tiene el mismo número de dibujo seguido de un sufijo que indica el número de plano. Cada línea horizontal de circuitería es asignada a un número secuencial prefijado con su respectivo número de plano. Cada punto -- del circuito a través de la línea de izquierda a derecha, es -- asignado al número de línea más un sufijo dígito secuencial.

Esto se ilustra en el diagrama elemental de la Fig. V.2.1. El circuito correspondiente del diagrama de conexiones, se muestra en la Fig. V.2.2

Si una persona que da servicio al equipo, observa la operac-- ción del contactor 7M y se hace la pregunta del funcionamiento-- del circuito del interbloqueo 7M normalmente cerrado, simplemen-

te checaría un número de alambre en el interbloqueo, 3201.

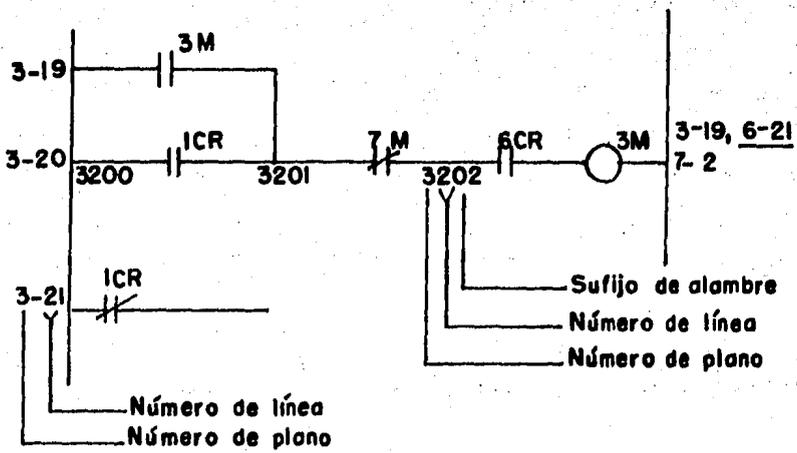


DIAGRAMA ELEMENTAL.

FIG. V.2.1

El circuito para el interbloqueo podría encontrarse fácil y rápidamente interpretando el número de alambre del plano 3 del diagrama elemental en la línea 20. El uno es el segundo punto --

desde la izquierda en esa línea. En diagramas de sistemas complejos que pueden tener 100 o más planos de diagramas elementales, este método es el más ventajoso. Esta técnica de codificado minimiza la búsqueda laboriosa del contacto del interbloqueo 7M en cualquiera de los múltiples planos de diagramas.

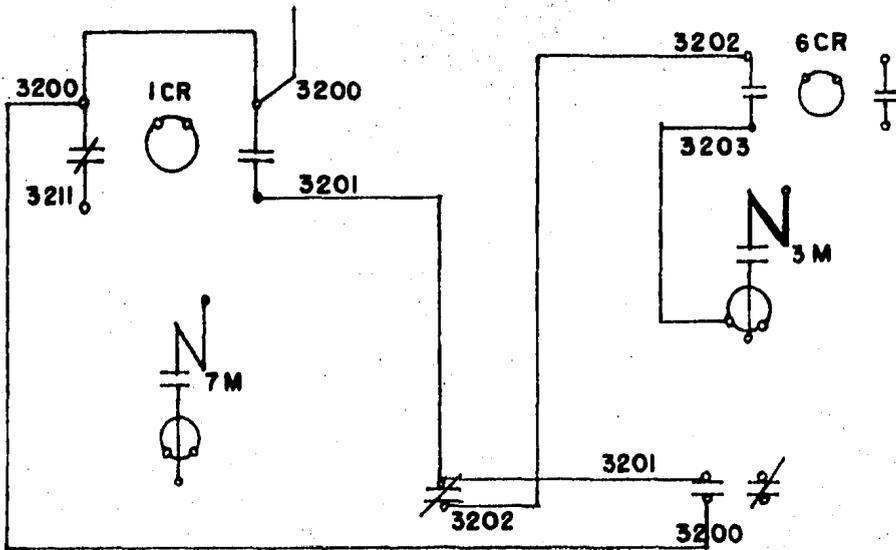


DIAGRAMA DE ALAMBRADO

FIG. V. 2.2

Otro Código que puede ser usado en diagramas, da información de la localización del contacto. En la Fig.V.2.1 hay tres grupos de números justo a la derecha de la bobina 3M, estos números muestran la localización de los diagramas elementales de --

los tres contactos del contactor 3M. Así 3-19 indica que hay un contacto normalmente abierto en el plano 3, línea 19 y 6-21 indica que hay un contacto normalmente cerrado en el plano 6 línea 21. El otro contacto esta en el plano 7 línea 2. Analizando las funciones del circuito, este código es más útil al localizar los circuitos que serán afectados al energizarse la bobina-3M.

V.3 Diagrama unifilar

El diagrama unifilar nos muestra el circuito con la distribución de cargas en una forma sencilla y clara. Al representar mediante un hilo un circuito trifásico, queda en el diagrama - espacio suficiente para anotar los siguientes datos que son de primera importancia:

- | | |
|------------------------|--|
| a) Acometida | Potencia nominal, voltaje nominal, número de fases, número de hilos por fase, frecuencia. |
| b) Interruptores | Marco, número de polos, corriente nominal, corriente de corto-circuito. |
| c) Barras | Voltaje nominal, número de barras por fase, material, medidas, corriente nominal, corriente de corto-circuito, frecuencia. |
| d) Cables | Voltaje nominal, número de fases, número de hilos por fase, calibre, tipo. |
| e) Arrancadores | Voltaje nominal, tamaño, tipo. |
| f) Transformadores | Potencia nominal, relación de transformación. |
| g) Fusibles | Voltaje nominal, corriente nominal. |
| h) Estación de botones | Voltaje nominal, tipo. |
| i) Carga | Tipo, potencia nominal, voltaje nominal. |

V.4 Memoria de cálculo

V.4.1) Acometida

El voltaje de acometida deberá ser el voltaje del lado de baja tensión del transformador. La capacidad del sistema está limitada por el transformador y por el cable que va del lado de -

baja tensión del transformador, al interruptor principal.

En el tablero el voltaje de alimentación será de 220 V. El cable alimentador es calibre 1/0. La capacidad inst. es 47.8 KVA.

La carga conectada es la suma vectorial de las potencias individuales de las cargas.

El cálculo es como sigue :

$$\text{Motor 5 HP} \quad \text{KW} = \frac{5(0.746)}{0.85} = 4.38 \quad \text{kw}$$

$$\text{Motor 7.5 HP} \quad \text{KW} = \frac{7.5(0.746)}{0.85} = 6.58 \quad \text{kw}$$

$$\text{Banco de alumbrado} \quad \text{KW} = 1.8 \quad \text{kw}$$

$$\text{Banco de reactores} \quad \text{KVAR} = 6 \quad \text{kvar}$$

$$\text{Banco de capacitores} \quad \text{KVAR} = 10 \quad \text{kvar}$$

Carga conectada en kva :

$$\text{KVA}^2 = \text{KW}^2 + \text{KVAR}^2$$

$$\text{KVA}^2 = 12.77^2 + 16^2$$

$$\text{KVA} = 20.5 \text{ kva}$$

V.4.2) Cálculo de interruptores termomagnéticos

Los interruptores son unos de los dispositivos más importantes en el funcionamiento adecuado de un sistema de distribución.

En el tablero utilizaremos del tipo termomagnético, los cuales se ven afectados en su calibración por los siguientes factores :

- A).- Temperatura ambiente
- B).- Por carga
- C).- Por altitud sobre el nivel del mar.

A).-

Temp. amb. °C	Capacidad	
	15-100A	70-400A
0	1.0	0.88
10	1.05	0.94
15	1.07	0.96
25	1.12	1.05
35	1.20	1.18
40	1.25	1.25

B).-

Carga constante	1.0
Capacitores	1.35
Soldadoras por resistencia	3.0

C).-

Nivel del mar a 2000 m.	1.0
2000 a 3000	1.04

Para nuestro caso los factores adquieren los siguientes valores:

$$A = 1.12$$

$$B = 1.1$$

$$C = 1.04$$

$$A \times B \times C = 1.28$$

Cálculo de corrientes nominales:

CARGA	CORRIENTE NORMAL
Motor 5 HP	$I_1 = \frac{5 \cdot (746)}{1.73 \cdot (220) \cdot (0.9) \cdot (0.85)} = 12.8 \text{ A}$
Motor 7.5 HP	$I_2 = \frac{7.5 \cdot (746)}{1.73 \cdot (220) \cdot (0.9) \cdot (0.85)} = 19.2 \text{ A}$
Alumbrado	$I_3 = \frac{1800}{1.73 \cdot (220)} = 4.7 \text{ A}$
Inductores	$I_4 = \frac{6000}{1.73 \cdot (220)} = 15.7 \text{ A}$
Capacitores	$I_5 = \frac{10\ 000}{1.73 \cdot (220)} = 26.2 \text{ A}$
	Total <u>78.6 A</u>

	CORREGIDA	CALIBRACION
Corriente rama 1	$12.8 \times 1.28 = 16.4$	20 A
Corriente rama 2	$19.2 \times 1.28 = 24.6$	30 A
Corriente rama 3	$4.7 \times 1.28 = 5.9$	15 A
Corriente rama 4	$15.7 \times 1.28 = 20.1$	30 A
Corriente rama 5	$26.2 \times 1.28 = 33.5$	40 A

Para el interruptor principal:

Suma de corrientes de carga = 78.6 A

Considerando un 20% de reserva por posibles cargas futuras

$$78.6 \times 1.2 = 94.3 \text{ A}$$

Corriente interruptor principal	Calibración
$94.3 \times 1.28 = 120.7$	125 A

V.4.3) Cálculo de corto-circuito

El fenómeno de corto-circuito está clasificado en los sistemas de potencia dentro de los fenómenos transitorios rápidos --

(10-100 mseg.). Se dividen en los siguientes tipos:

- i) Corto-circuito trifásico a tierra
- ii) Corto-circuito entre 2 fases
- iii) Corto-circuito de 1 fase a tierra

Estos 3 tipos pueden ser sólidos (metálicos) o bien, a través de una impedancia. El caso más severo de todos es el corto-circuito trifásico sólido a tierra. Para el tablero de distribución simularemos esta falla y el cálculo se hace para la misma.

Los dispositivos de protección deben tener las siguientes características.

- i) Construcción mecánica para soportar los esfuerzos ocasionados al interrumpir la corriente de corto-circuito.
- ii) Conducir la corriente nominal en condiciones normales y en caso de sobrecarga, interrumpir de acuerdo a su curva I-T.
- iii) Tener selectividad, esto es deberán estar coordinadas -- sus curvas I-T para que al existir falla, se aisle en -- forma rápida únicamente la parte fallada.

La capacidad interruptiva de cada interruptor es basada en el valor de la corriente de corto-circuito (I_{cc}) simétrica.

Las fuentes de la corriente de corto-circuito se clasifican en 4 categorías.

- i) Compañía suministradora o sistema
- ii) Generadores síncronos
- iii) Motores y condensadores síncronos
- iv) Motores de inducción

Diagrama unifilar

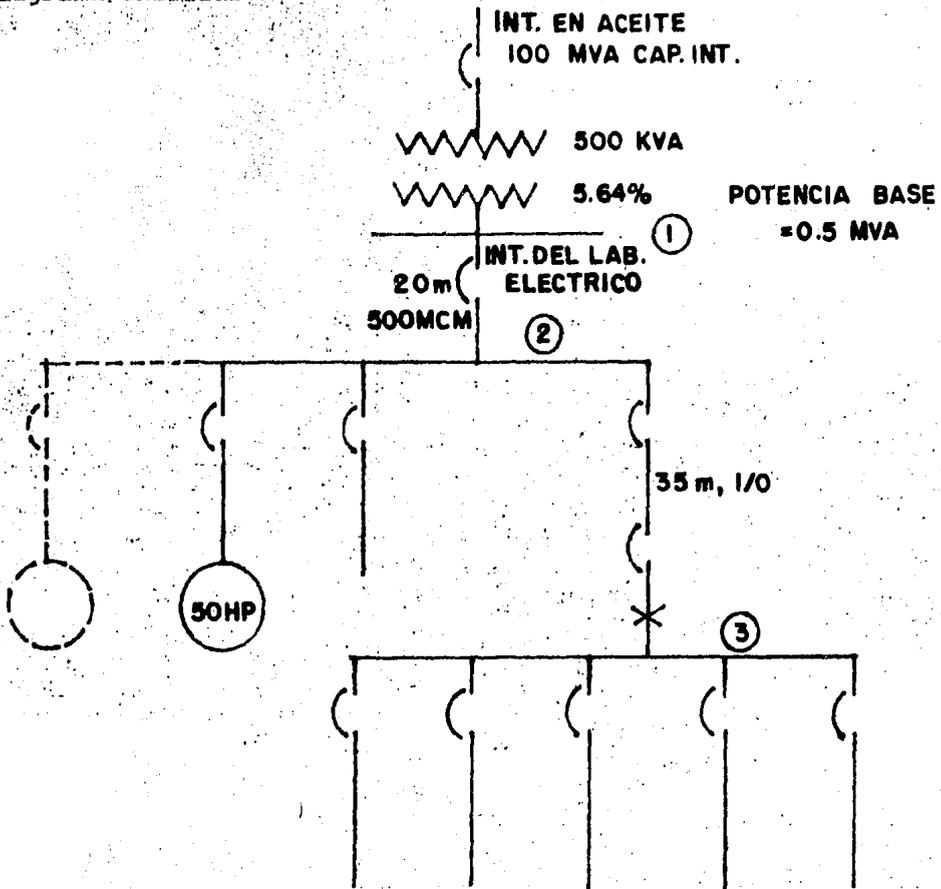


Fig. V.4.3.1

Cálculo de impedancias:

Reactancia del interruptor del lado de alta tensión del transformador.

$$x = \frac{500}{100000} = 0.005$$

impedancia equivalente de los motores conectados al bus 2.

$$\text{Hp mot} = 50$$

$$\text{a f.p.} = 0.8 \Rightarrow \text{KVA} = 50$$

Al tomar en cuenta la contribución de los demás motores, se incrementa este valor del motor más grande, en un 25%.

$$\text{KVA} = 62.5$$

La reactancia típica para un motor de inducción de menos de 600 V es 0.25

$$x = 0.25 \frac{500 \text{ KVA}}{62.5 \text{ KVA}} = 2 \text{ p.u.}$$

Transformador

De la placa de la subestación que da servicio a la Facultad de Ingeniería:

$$X_t = 5.64$$

$$S_t = 500 \text{ KVA}$$

Sistema

$$X_{\text{sis}} = \frac{S_b}{S_{\text{sistema}}} = 0 \quad \text{Se considera bus infinito}$$

Impedancia del cable del bus 1 - 2

De tablas del libro "Industrial Power System", Beeman;

$$Z = R + i x \quad /100 \text{ pies Para } 500 \text{ MCM} = 0.00359 + i0.0045$$

Corrigiendo para ductos no metálicos

$$Z/l = (fc) Z = 0.83 (0.00359 + j0.0045) = 0.002979 + j0.003735$$

fc = Factor de corrección

Con la longitud del cable de 20 m:

$$\begin{aligned} Z &= Z/l \times \frac{\text{long}}{0.3048} \times \frac{1}{100} = (0.002979 + j0.003735) \frac{20}{0.3048} \frac{1}{100} \\ &= 0.00195 + j 0.00245 \end{aligned}$$

Es necesario pasar Z a valores p u

$$\begin{aligned} Z_{pu} &= Z \times \frac{S_b}{V_b^2} = Z \times \frac{0.5 \text{ MVA}}{0.22^2} = (0.00195 + j0.00245) 10.33 \\ &= 0.02 + j 0.025 \\ &= 0.032 \angle 51.3^\circ \end{aligned}$$

La impedancia del bus 2 - 3. Cable calibre 1/0

$$Z = 0.0131 + j0.00495 \text{ omhs/100 pies}$$

Para una longitud de 35 m.

$$\begin{aligned} Z &= (0.0131 + j0.00495) \frac{0.35}{0.3048} = 0.015 + j0.0056 \\ Z_{pu} &= (0.015 + j0.0056) \frac{0.5}{0.22^2} = 0.155 + j 0.058 \end{aligned}$$

El diagrama de impedancias nos queda entonces :

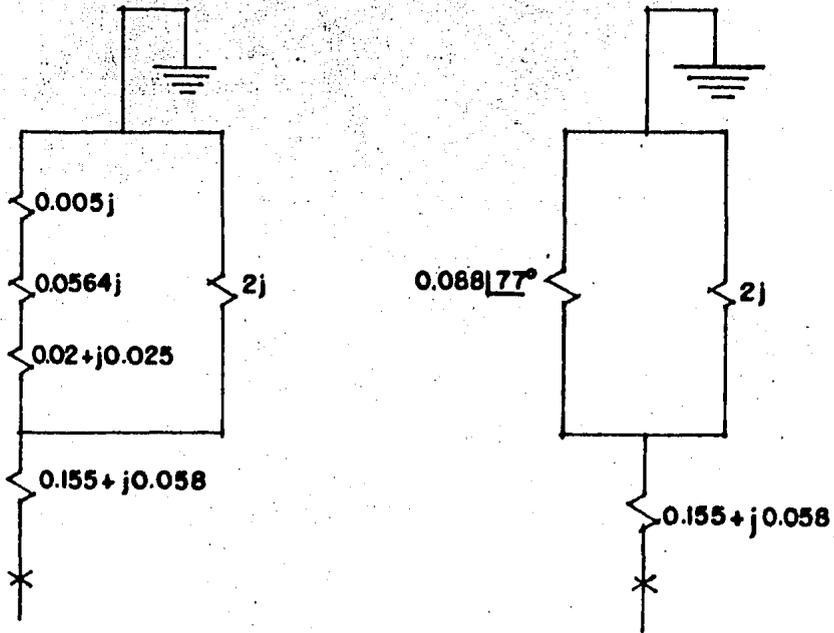


Fig. V.4.3.2

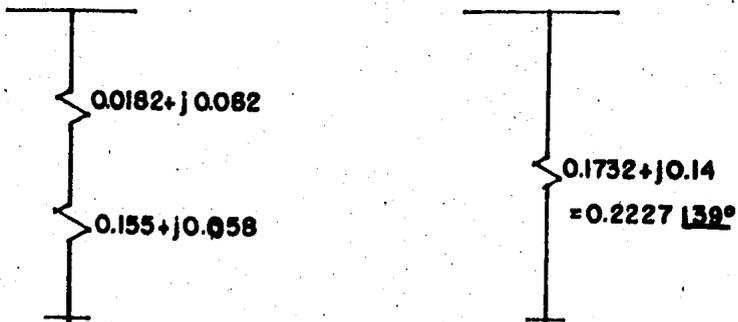


Fig. V.4.3.3

$$I_{cc} 3 \phi = \frac{1}{0.2227} \frac{500}{0.22 \sqrt{3}} = 5891.87 \text{ A rms.}$$

V.4.4 Diseño de barras

El diseño de barras en los tableros está relacionado con dos aspectos: la elevación de temperatura en las mismas y su comportamiento ante los esfuerzos dinámicos de corto-circuito.

Consideración de temperatura:

Las barras se diseñan tomando en cuenta que el incremento de temperatura debido a la circulación de corriente, no debe rebasar un determinado límite.

De pruebas hechas en el National Physical Laboratory en Teddington Inglaterra, se obtuvo la siguiente tabla:

CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BARRAS DE COBRE

Tamaño de Barra pulg.	Capacidad Corriente A	pulg.	A
		1/4 x 1	370
		1/4 x 2	650
1/8 x 1	250	1/4 x 3	970
1/8 x 1 - 1/2	350	1/4 x 4	1230
1/8 x 2	450	1/4 x 5	1480
		1/4 x 6	1700

* Barras con posición de canto, 30°C de elevación de temperatura, 40°C ambiente.

La corriente en una barra plana colocada en posición "acostada" es alrededor del 90% de la barra en posición "de canto".

Consideración de corto-circuito

De acuerdo con el manual CADWELD, la fuerza máxima entre conductores está dada por:

$$F_{\text{máx}} = 4.5 K I^2 \frac{L}{S} (10)^{-8}$$

I - Corriente efectiva de corto circuito = $10000 \sqrt{2} = 14142.136$

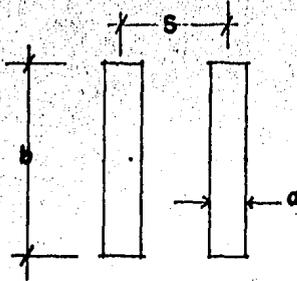


FIG. V.4.4.1

I = Corriente efectiva = $\sqrt{2}$ 5892

K = 1 L = 63"

F máx = $4.5 \times 2 \times 5892^2 \times \frac{63}{2} \times 10^{-8} = 98.41$ libras

F máx = $\frac{98.41}{2.2} = 44.73$ Kg.

Los soportes deberán colocarse cada 50 cm. entonces el bus - constará de 4 soportes.

Por lo tanto

F = $\frac{44.73}{4} = 11.18$ Kg/soporte

Se recomienda usar soportes de ángulo de fibra epóxica de -- vidrio.

El esfuerzo cortante que soporta un ángulo de 1" de lado y - $\frac{1}{4}$ " de espesor es, de acuerdo a datos de fabricante, 900 Kg/cm^2 .

Las soleras se fijan al soporte mediante tornillos de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, por lo que estos tornillos producirán un esfuerzo -- cortante sobre el ángulo de fibra de vidrio en un área igual a:

A = $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = 0.4 \text{ cm}^2$

El esfuerzo

$$T = \frac{F}{A} = \frac{11.18}{0.4} = 27.9 \text{ Kg/cm}^2$$

Como 27.95 es menor que 900 Kg/cm^2 , el soporte no se dañará - en estas condiciones.

Resistencia a la deformación

De acuerdo al manual del ingeniero electricista, el máximo - esfuerzo T en una barra plana debido a una fuerza lateral F está dado por:

$$T = \frac{9FL}{a^2b} \quad (\text{lb/pulg}^2)$$

F = fuerza en libras = $32.175 \times 2.2 = 70.785$

L = longitud en pies = $55 \text{ cm} = 1.8 \text{ pies}$

a = dimensión de la barra, tomada en una dirección paralela a - la fuerza aplicada = $1/4''$

b = dimensión de la barra, tomada en una dirección perpendicu-- lar a la fuerza aplicada = $1''$

Sustituyendo:

$$T = \frac{9 \times 70.785 \times 1.8}{(0.25^2)} = 6376.32 \text{ lb/pulg}^2$$

El cobre laminado en barras tiene un límite de elasticidad - de 12000 a 15000 (lb/pulg^2) por lo que las barras no se defor-- marán.

V.4.5 Cálculo de calibres

Para el cálculo que van de los interruptores a las cargas -- se deberá tomar en cuenta el voltaje (220V) el número de fases-

(3) y la corriente que cada carga demanda. Tomando como base -- las "Normas técnicas para instalaciones eléctricas"

CARGA	CORRIENTE	CALIBRE
Motor 5 HP	12.8	12
Motor 7.5 HP	19.2	10
Tab. Alumbrado	4.7	12
Bco. Induct.	15.7	12
Bco. Capacitores	26.2	10

V.4.6 Cálculo de Arrancadores

Para los arrancadores utilizaremos el mismo criterio que con los cables o sea recurriremos al reglamento de instalaciones -- eléctricas.

	CORRIENTE	TAMAÑO
Motor 5 HP	12.8	1
Motor 7.5 HP	19.2	1
Tablero alumbrado	4.7	0
Bco. Induct.	15.7	1
Bco. Capacitores	26.2	1

V.4.7 Cálculo de transformadores de control

El dato que nos sirve para seleccionar un transformador es -- su potencia nominal. Deberá tomarse en cuenta también los vol-- tajes de alta y baja, la relación de transformación y el número de fases.

Tamaño Arrancador	Relación	Pot. Trans. (VA)
1	220/110 V	50
0	220/110 V	50

V.4.8 Lista de materiales

- 1 Vóltmetro a-300 V,60 Hz,precisión 1.5,aislamiento 650 V
- 1 Ampérmetro 0-100 A,60 Hz,precis. 1.5,aislamiento 650 V
- 1 Wátmetro 0-20 KW,60 Hz
- 1 Factorímetro 0.4 ind a 0.4 cap ,60 Hz
- 1 Conmutador de vóltmetro con ángulo de maniobra de 60°
- 1 Conmutador de ampérmetro con ángulo de maniobra de 90°
- 2 Transformadores de corriente 100/5 A,precisión 1.5,aislamien-
to 650 V
- 6 Transformadores de control 50 VA,220/110 V,aislamiento 650 V
- 18 Fusibles 3 A,110 V
- 3 Fusibles 8 A.220 V
- 5 Estaciones de botones con lámpara roja y verde,110 V
- 4 Lámparas ámbar tipo piloto
- 1 Interruptor termomagnético (I.tm.) 3P/125A,10 000 A r.m.s.,
marco FA 3125
- 2 I. tm. 3P/30A,10 000 A r.m.s.,marco FA 3030
- 1 I. tm. 3P/40A,10 000 A r.m.s.,marco FA 3040
- 1 I. tm. 3P/20A,10 000 A r.m.s.,marco FA 3020
- 1 I. tm. 3P/15A,10 000 A r.m.s.,marco FA 3015
- 2 Arrancadores maqnéticos a tensión plena,NEMA 1
- 2 Contactores magnéticos a tensión plena,NEMA 1
- 1 Contactor magnético a tensión plena,NEMA 0

V. 5 Cálculo de los bancos reactivo y capacitivo

Un reactor consiste de conductores enrollados abiertamente en cualquier devanado magnético o no magnético. Este dispositivo -- almacena energía en estado electromagnético durante períodos de aumento de corriente y libera esta energía al circuito, durante períodos de disminución de corriente. Debido a esta característica impiden fluctuaciones de energía.

V.5.1. Reactores de núcleo de hierro

Estos reactores también se especifican como filtros de suministro de potencia. Son diseñados en base a la inductancia, corriente permitida y la resistencia. Estos reactores se encuentran disponibles en tamaños que van desde fracciones de 1 henry - a más de 50 henrys y bajo órdenes especiales pueden ser obtenidos en cualquier tamaño razonable. La corriente permisible es limitada principalmente por la saturación del núcleo magnético y por la caída en el conductor (IR).

V.5.2. Reactores de núcleo de aire.

Debido a que el aire tiene una permeabilidad mucho más baja - que el hierro, el flujo y por lo tanto la inductancia de un reactor de núcleo de aire es considerablemente más baja que la inductancia de un reactor de núcleo de hierro del mismo número de vueltas y del mismo tamaño del núcleo.

Estos reactores tienen su aplicación en circuitos sintonizadores, lineales de retardo constante, circuitos de pico y filtros - de R.F.

Para nuestro diseño, escogemos un reactor de núcleo de hierro puesto que son los utilizados en potencia.

V.5.3 Inductancia

La inductancia es la relación de la variación del flujo magnético con el tiempo, entre la variación de la corriente que circula por un conductor.

La definición de inductancia en valor absoluto:

$$L = \frac{\phi}{I} \quad \text{--- V.5.1}$$

ϕ - flujo magnético

I - corriente

L - inductancia

Recordando la definición de flujo magnético :

$$\phi = BS \quad \text{--- V.5.2}$$

B - campo magnético

S - superficie por donde atraviesa ϕ

El campo magnético :

$$B = \frac{\mu_0 N^2 I}{l_n} \quad \text{--- V.5.3}$$

μ_0 - permeabilidad magnética

N - número de vueltas

l_n - longitud núcleo

I - corriente producida por el campo

De las ecuaciones anteriores:

$$\phi = \frac{u_o N^2 IS}{l_n} \quad \dots \text{V.5.4}$$

$$S = A \quad \dots \text{V.5.5}$$

$$L = \frac{u_o N^2 A}{l_n} \quad \dots \text{V.5.6}$$

La ecuación en que interviene el calibre y la longitud del conductor :

$$I = \frac{VA}{rl} \quad \dots \text{V.5.7}$$

I - corriente del conductor

V - tensión aplicada

r - resistividad del conductor

A - área transversal

V.5.4 Determinación de la potencia reactiva

El banco de reactores se diseña en base a los requerimientos de la práctica 5 (Factor de potencia), de tal forma que al conectarlo se aprecie el cambio de valor del factor de potencia, de la carga comprendida por los motores y el alumbrado.

El factor de potencia que se desea obtener al conectar el banco de reactores es :

$$fp = 0.72$$

Tomando como referencia la figura 5.2 :

$$KW_1 = KW_{\text{motor 5 HP}} + KW_{\text{motor 7.5 HP}} + KW_{\text{alumb.}}$$

$$KW_1 = 4.36 + 6.54 + 1.8 = 12.7$$

Utilizando la fórmula para determinar KVAR :

$$KVAR = KW_1 (\tan \theta_2 - \tan \theta_1)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} 0.72 = 43.94^\circ$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} 0.9 = 25.84^\circ$$

$$KVAR = 12.7(0.963 - 0.484)$$

$$\therefore KVAR = 6.0 \text{ KVAR}$$

El banco de reactores será variable y al conectarlo a toda su capacidad, el fp bajará a 0.7

Para corregir este valor de fp, se deberá conectar al tablero un banco de capacitores del mismo valor de potencia reactiva. Sin embargo, como no existen bancos comerciales de 6 KVAR, se especifica un banco variable de capacitores de 10 KVAR, el cual deberá conectarse al 60% de su capacidad total, para corregir el factor de potencia de 0.72.

A continuación se deduce el valor de la inductancia del banco de reactores, en base a la potencia reactiva calculada.

Utilizando las siguientes ecuaciones:

$$V_n = \frac{V_l}{\sqrt{3}} \quad \text{--- V.5.7}$$

$$I_L = I_f \quad \text{--- V.5.8}$$

$$X_L = j \frac{V}{I} \quad \text{--- V.5.9}$$

$$Q = \sqrt{3} VI \quad \text{--- V.5.10}$$

De esta última ecuación :

$$6\ 000 = 1.73 \times 220 \times I$$

$$I = 15.764 \text{ A}$$

$$V_n = 127 \text{ V}$$

Sustituyendo estos valores en V.5.9 :

$$X_L = j \ 8.056$$

Por otra parte :

$$X_L = j\omega L \quad \text{--- V.5.11}$$

Por lo tanto :

$$L = 0.02138 \text{ H}$$

El banco a diseñar está formado por 3 reactores conectados - en estrella, con los siguientes parámetros :

Tensión nominal	220 V
Corriente nominal	15.4 A
Inductancia(L)	21 mH
Número de vueltas	1100 vueltas

Permeabilidad magnética del hierro
Diámetro del núcleo

$4(\pi)10^{-7} \text{ kg}^{-2} \text{ s}^{-2}$
6 cm

El área del núcleo es :

$$\begin{aligned} A &= r^2(\pi) \\ &= 0.075^2 \times 3.1416 \\ &= 0.0028 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación V.5.5, y despejando

l_n :

$$\begin{aligned} l_n &= \frac{4(\pi)10^{-7} \times 1100^2 \times 0.0028}{0.021} \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

Para encontrar la longitud del conductor, se toma en cuenta :

resistividad	$1.72 \times 10^{-8} \text{ ohm-m}$
área transversal	0.08098 mm^2

Despejando de la ecuación V.5.6 el valor de l (del conductor)

$$l = \frac{220 \times 0.08098}{1.72 \times 10^{-5} \times 15.74}$$

$$l = 66 \text{ m}$$

El banco se construirá de tal forma que sea variable.

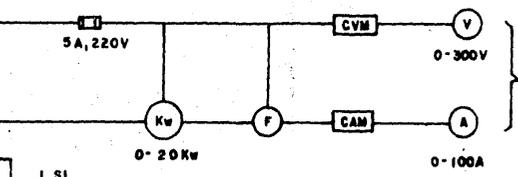
El banco de capacitores también será variable y su potencia reactiva deberá ser de 10 KVAR.

SIMBOLOGIA

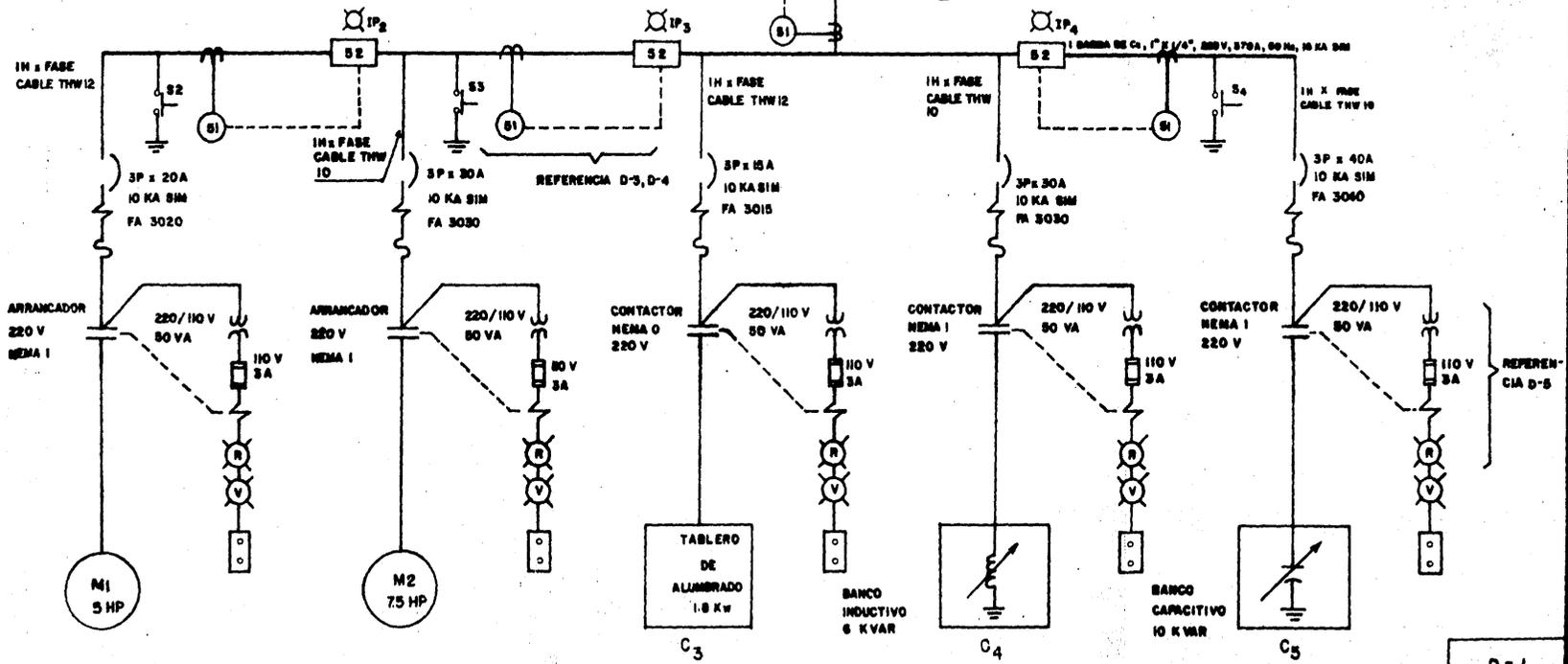
-  CONTACTOR
-  INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
-  APARATO DE MEDICION
-  CONMUTADOR
-  RELEV DE SOBRECORRIENTE Y. INVERSO

-  TRANSFORMADOR DE VOLTAJE
-  TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
-  FUSIBLE
-  LAMPARA DE SEÑALIZACION
-  ESTACION DE BOTONES
-  INTERRUPTOR
-  SIMULADOR DE FALLA TRIFASICA

1H x FASE, CABLE THW 1/0
 3φ, 220 V, 60 HZ, 48 KVA
 3P x 125 A
 10 KA SIM
 FA 3125



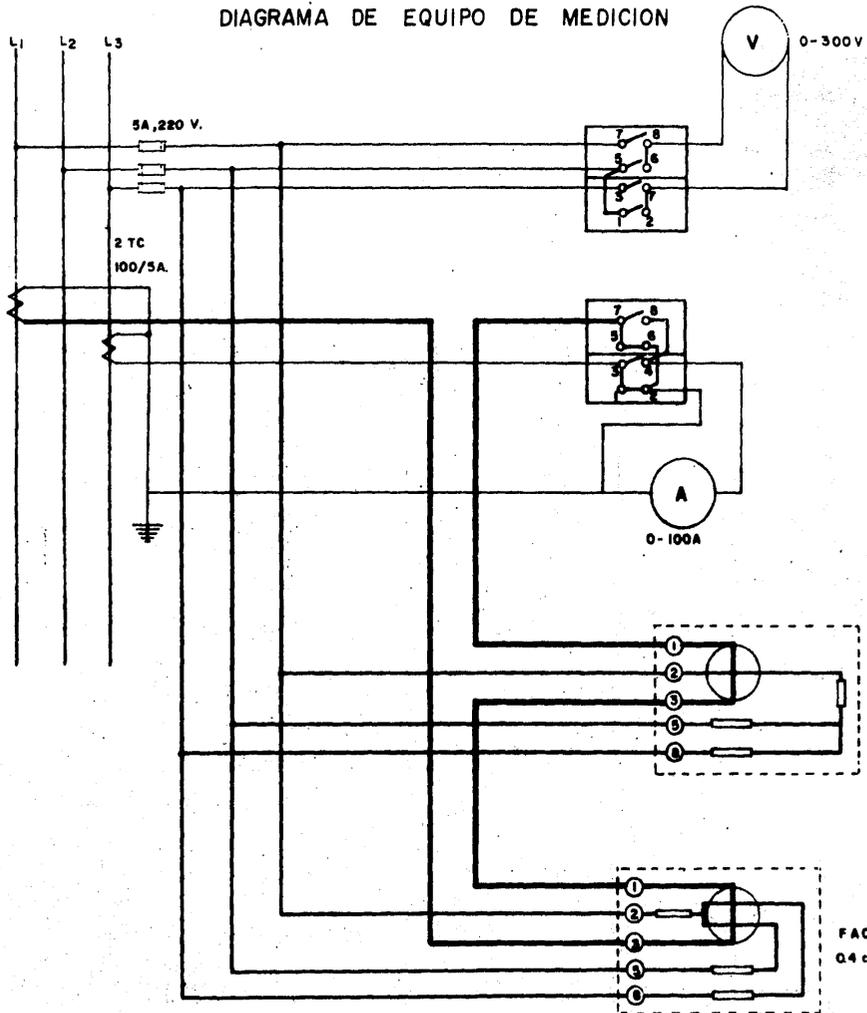
REFERENCIA D-2



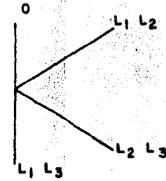
REFERENCIA D-3, D-4

REFERENCIA D-5

DIAGRAMA DE EQUIPO DE MEDICION



	X		X
		X	X
	X	X	X
0	L ₁	L ₂	L ₃



	X	X					
X	X			X	X	X	X
			X	X	X	X	X
X	X	X	X				X
0	L ₁	L ₂	L ₃				

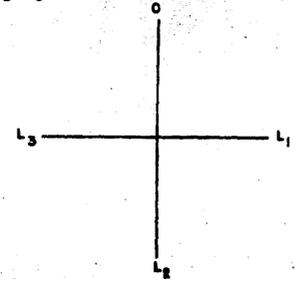


DIAGRAMA ELEMENTAL DE ARRANCADORES INCLUYENDO RELEVADORES DE FALLA

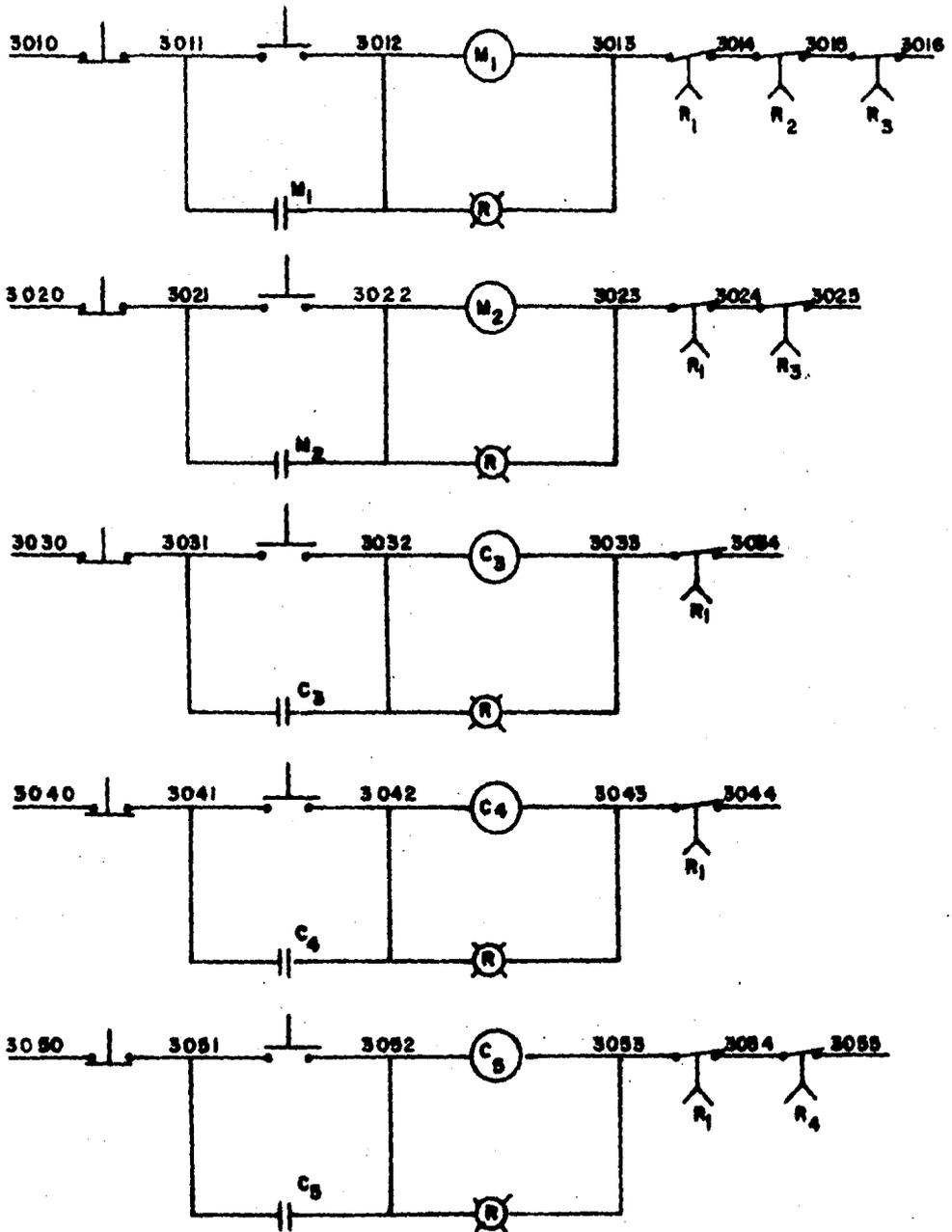


DIAGRAMA DE CIRCUITO DE FALLA

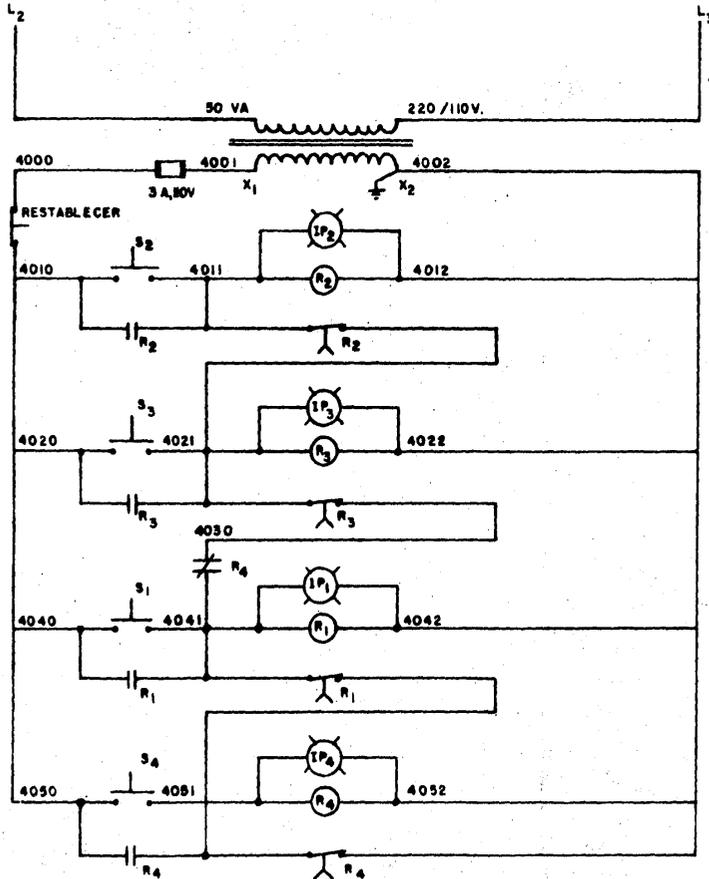


TABLA DE ALAMBRADO

RELEVADOR	VOLTAJE	TERMINALES
R ₁	4041-4042	3013 - 3014
		3023 - 3024
		3033 - 3034
		3043 - 3044
R ₂	4011-4012	3053 - 3054
		4041 - 4051
		3014 - 3015
		4011 - 4021
R ₃	4021-4022	3015 - 3016
		3024 - 3025
		3054 - 3055
		4021 - 4030
R ₄	4051-4052	3054 - 3055
		4051 - 4052
		4051 - 4052
		4020 - 4041 (NC)



RELEVADOR DE TIEMPO
TIPO NEUMATICO

CODIGO

4041

┌───┐ NUMERO DE POSICION
 │ │ NUMERO DE RENGLON
 └───┘ NUMERO DE PLANO

CAPITULO VI

VI. Proyecto mecánico del tablero

VI.1 Normas

La construcción del tablero será de acuerdo a las normas -- CCONNIE (Comité consultivo nacional de normalización de la industria eléctrica), referentes a "Tableros eléctricos ensamblados en fábrica de distribución y/o control en baja tensión" -- (TEEF). Esta norma establece las definiciones y características técnicas de construcción, servicio y prueba para TEEF, estacionarios o removibles, abiertos o cerrados, para distribución y/o control que no excedan 1 000 V de corriente alterna, 60 Hz o 1 200 V de corriente directa.

La norma también se aplica para TEEF diseñados para condiciones especiales de servicio, previendo que los requisitos -- adicionales importantes sean cumplidos. Además se complementa con las siguientes normas oficiales mexicanas en vigor:

NOM-J-98	Tensiones de transmisión, distribución y utilización.
NOM-J-235	Gabinetes para equipos eléctricos de control y distribución.
NOM-J-266	Interruptores magnéticos en caja moldeada.
NOM-J-303	Diámetros nominales de áreas transversales de alambre redondo para usos eléctricos.

VI.2 Buses y accesorios

Los buses principales serán de cobre de alta conductividad y tendrán las dimensiones adecuadas, de acuerdo a los cálculos de

corto circuito (1" x 1/4"). La figura VI.2.1. muestra el arreglo.

Estas barras tienen una capacidad de conducción de corriente - de 370 A y un límite de elasticidad de 12 000 lb/pulg². La corriente se supone a una tensión de 220 V.

Es por esta razón que los buses principales soportan una sobrecarga de un 20%, sin exceder el aumento de temperatura establecido por las normas.

Los buses y sus conexiones deberán tener suficiente rigidez - térmica y mecánica para soportar una corriente igual o mayor a la corriente de corto circuito, que en nuestro caso esta corriente es de 5 892 A.

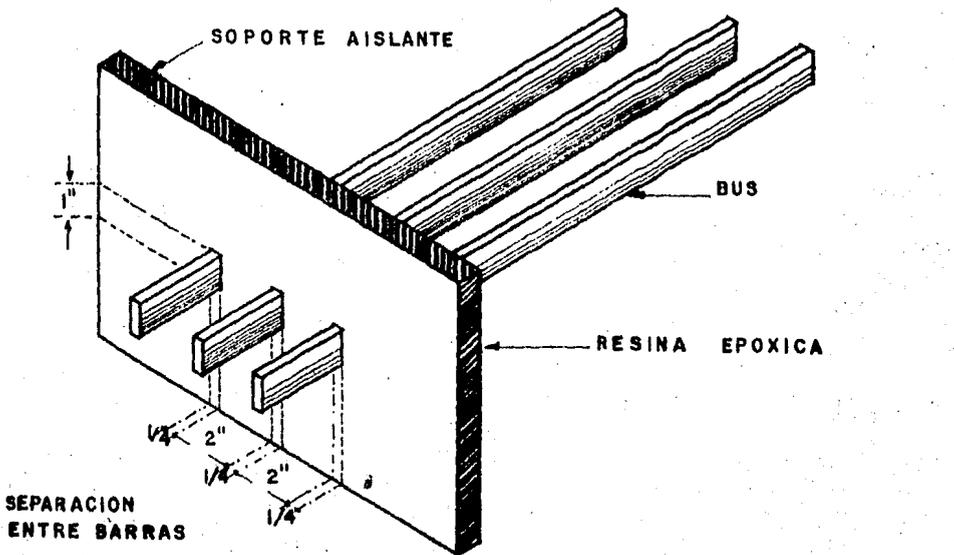


FIG. VI.2.1

BUS DE COBRE (1" X 1/4")

Las conexiones de los buses se harán de acuerdo a las figuras VI.2.2., VI.2.3. y VI.2.4. Tendrán una capa de plata para un mejor contacto y flujo de corriente, debiendo atornillarse .

Los tornillos serán de alta resistencia mecánica, anticorrosivos y compatibles galvánicamente.

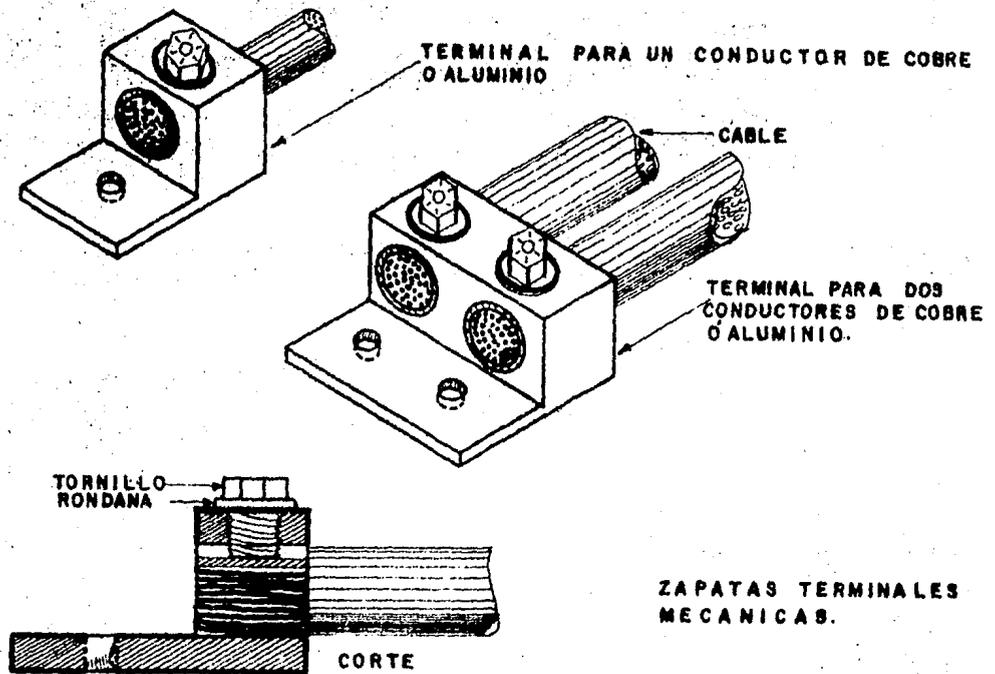


FIG. VI. 2. 2

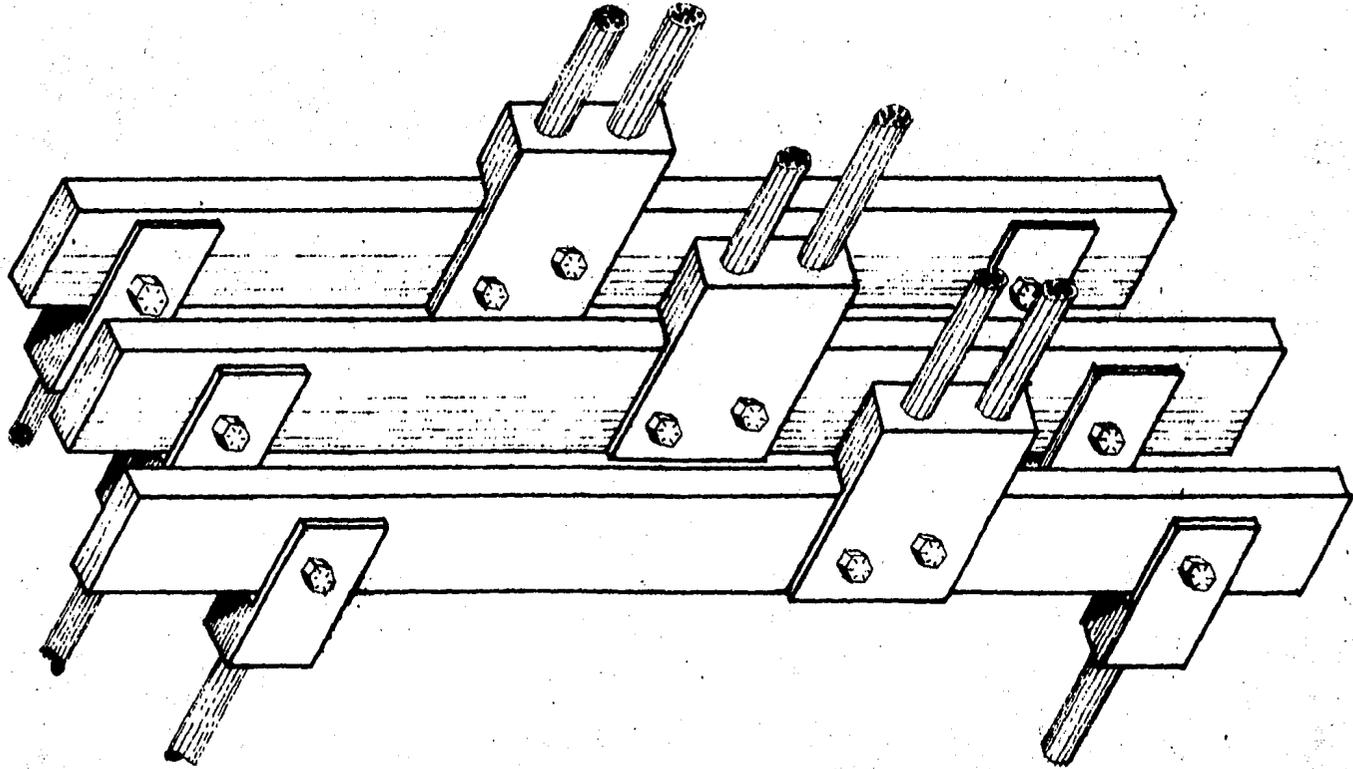
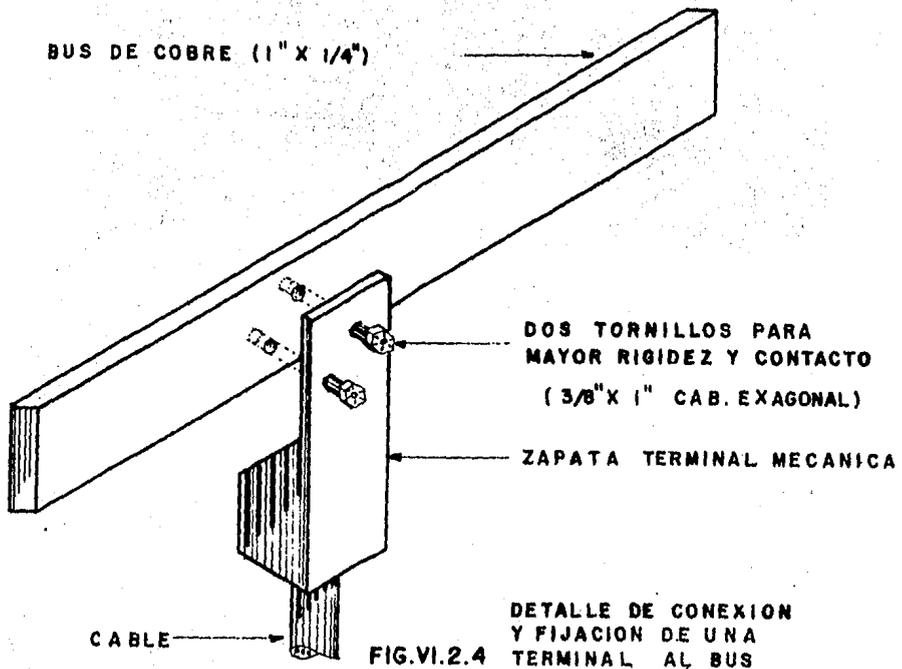


FIG. VI.2.3



Los buses se soportarán con aisladores de resina epóxica no higroscópica y de alta rigidez dieléctrica, como se muestra en las figuras VI.2.5. y VI.2.6.

Estos aisladores tienen una resistencia mecánica de aproximadamente 900 kg y por esto soportarán sin daño los esfuerzos producidos por la corriente de corto circuito. La corriente de corto circuito nos demanda un esfuerzo de aproximadamente 28 kg/cm^2

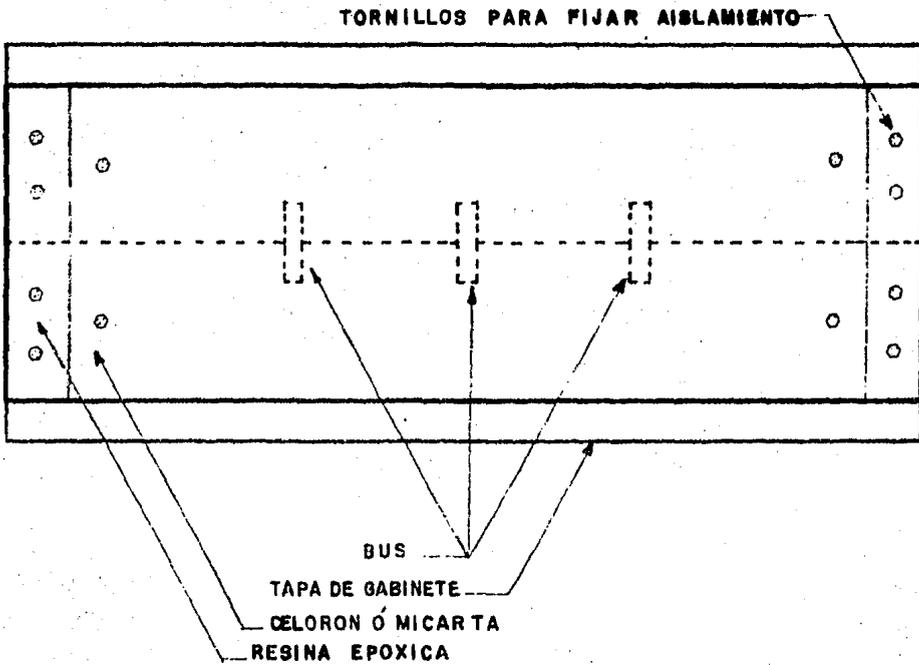
Es arreglo de los buses y conductores primarios contando del frente hacia atrás, de arriba hacia abajo o de izquierda a derecha, corresponderán a las fases A, B y C respectivamente.

Las fases deberán identificarse con pintura u otro medio --

equivalente.

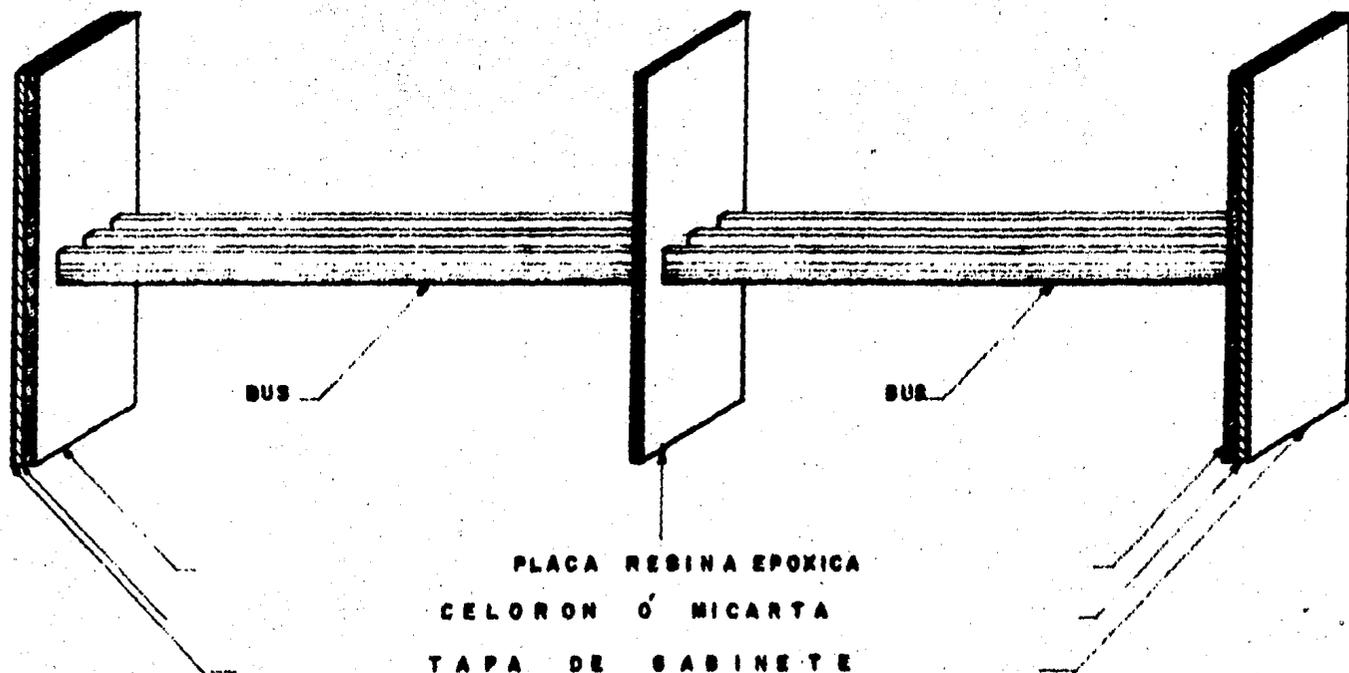
A todo lo largo del tablero se instalará un bus de tierra de 1" x 1/8" de cobre.

Las secciones del tablero, así como las partes correspondientes a interruptores y equipo de medición se conectarán a tierra.



DETALLE DE FIJACIÓN Y AISLAMIENTO DEL BUS.

FIG. VI.2.5



FIJACION Y AISLAMIENTO DEL BUS.

FIG.VI.2.6

VI.3 Diseño del gabinete

Podemos decir que el gabinete es un recipiente que rodea o aloja un equipo eléctrico con el fin de protegerlo y con objeto de prevenir a las personas de contacto accidental con partes energizadas.

El diseño del gabinete será del tipo consola, de acuerdo a las figuras VI.3.1., VI.3.3. y VI.3.4.

Está construido con una parte superior vertical y una parte semihorizontal a una altura aproximada de 0.9 m del piso terminado.

Las dimensiones aproximadas son de 1.0 m de frente, 0.9 de fondo y 1.8 m de altura.

La lámina del gabinete será de calibre no. 14 USG como mínimo, rodada en frío.

Cada una de las dos secciones tendrá una horadación vertical según la figura Vi.3.2., para la acometida y salida de cables alimentadores a las cargas.

La acometida se hará por ducto. Cada uno de los ductos tendrá soportes para sostén de los cables.

La preparación de las superficies y la pintura debe satisfacer las normas; se sugiere un tratamiento de bonderizado, una capa de anticorrosivo y dos capas de esmalte color gris claro.

Cada sección debe llevar placas de identificación de material apropiado (lámina metálica u otra), con letras negras sobre fondo blanco.

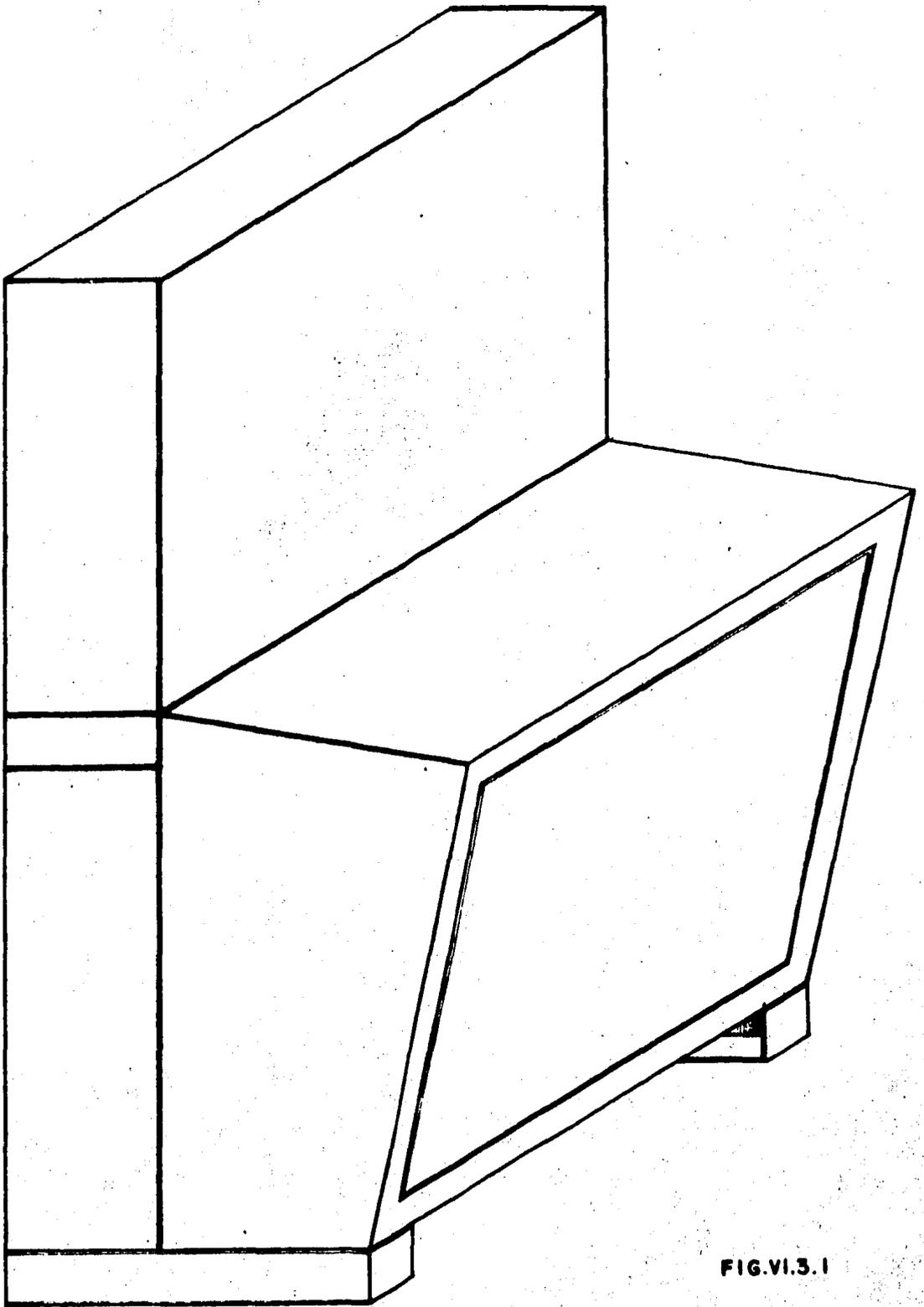


FIG.VI.3.1

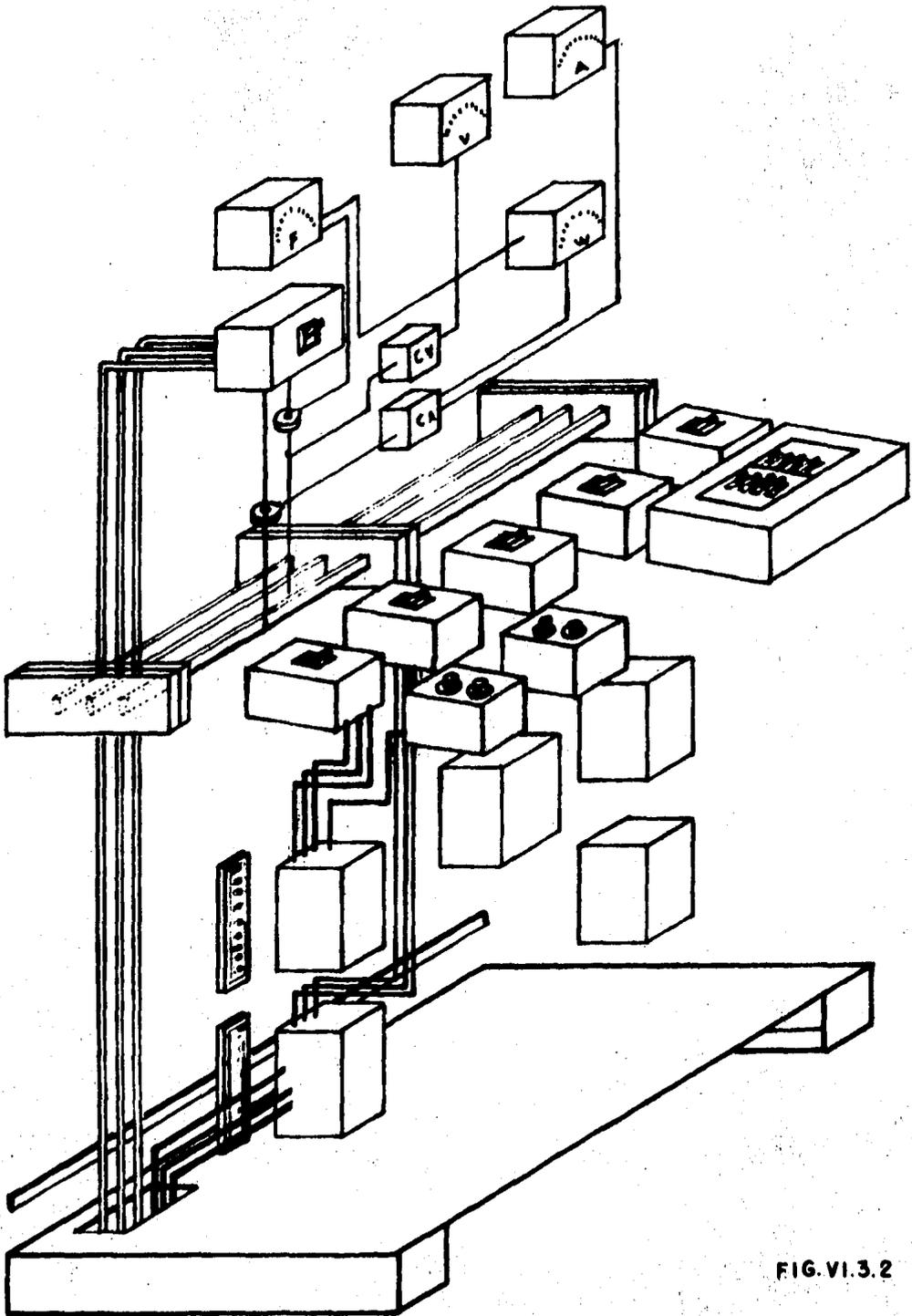


FIG. VI.3.2

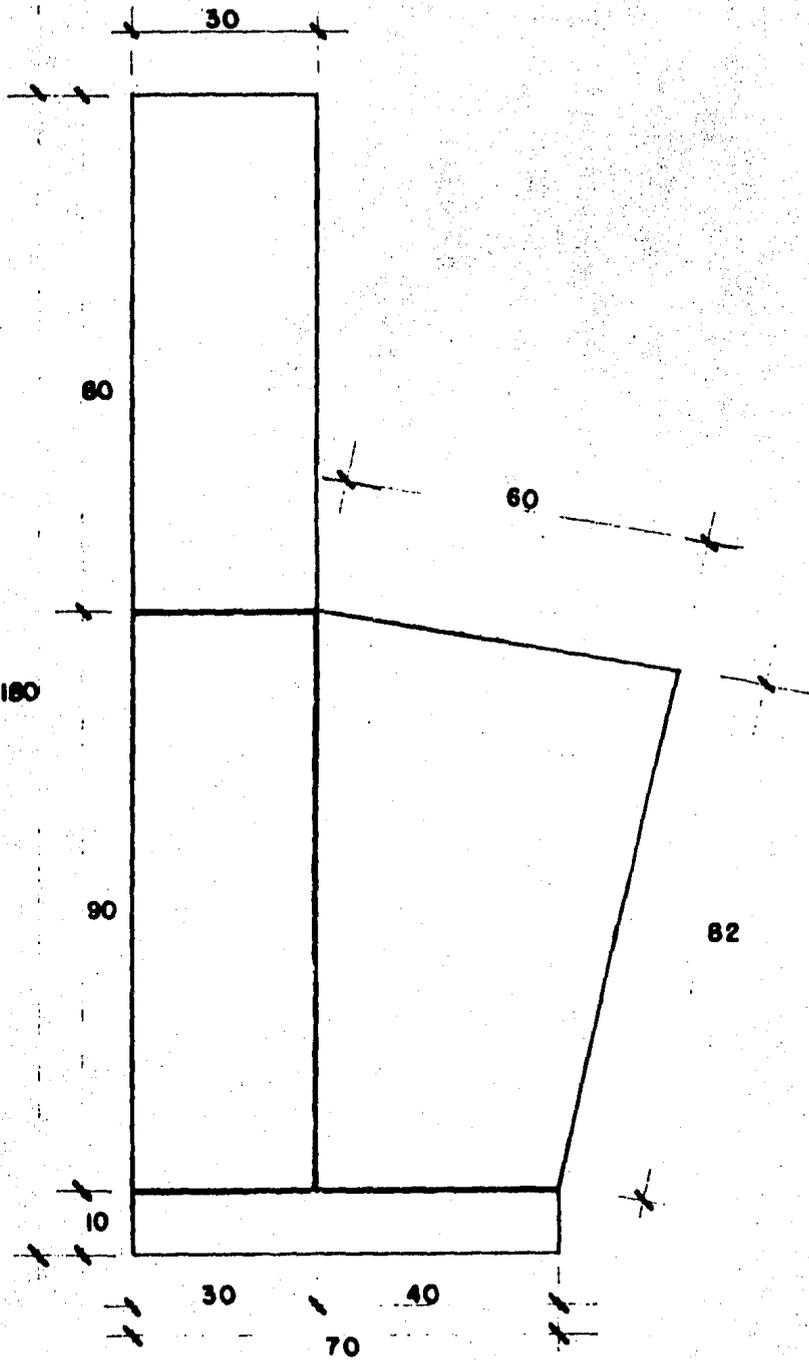


FIG. VI.3.3

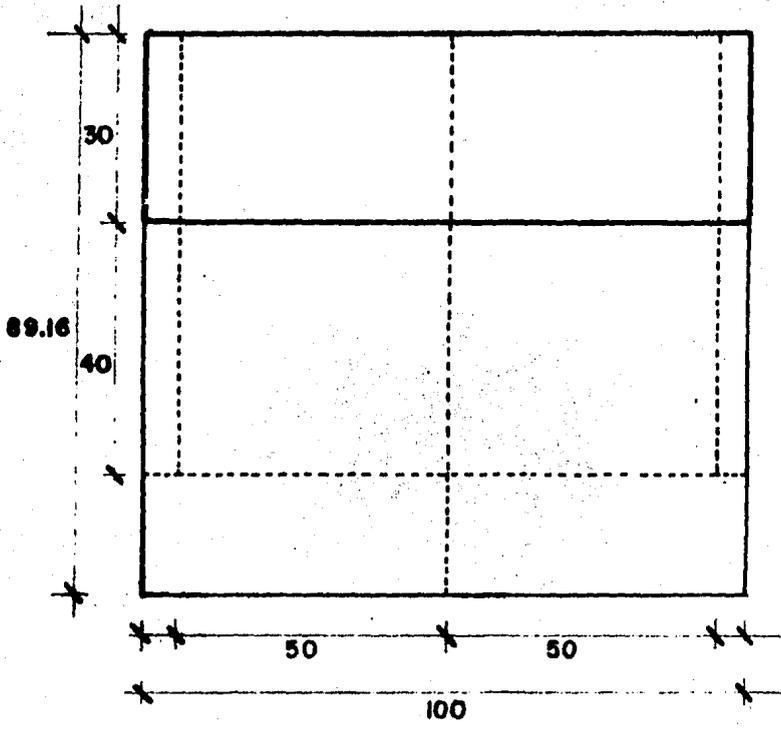


FIG.VI. 3.4

Las placas de identificación se fijan por medio de remaches o algún otro medio equivalente.

VI.4. Diseño del panel

El panel o placa de montaje es diseñado para soportar varios componentes y es apropiado para ser instalado en un TEEF.

El panel está alojado en la parte inferior del gabinete de -- acuerdo a la figura VI.3.2. Soporta a los arrancadores, contactores, tablillas terminales, relevadores, etc.

VI.5. Bus mímico

Es la representación física de la distribución de la energía en un sistema.

Por lo regular se dibuja el diagrama unifilar simplificado, - de tal forma que solamente se muestran las líneas de fuerza y el equipo mayor.

El diagrama VI.5.1. muestra el bus mímico de nuestro sistema.

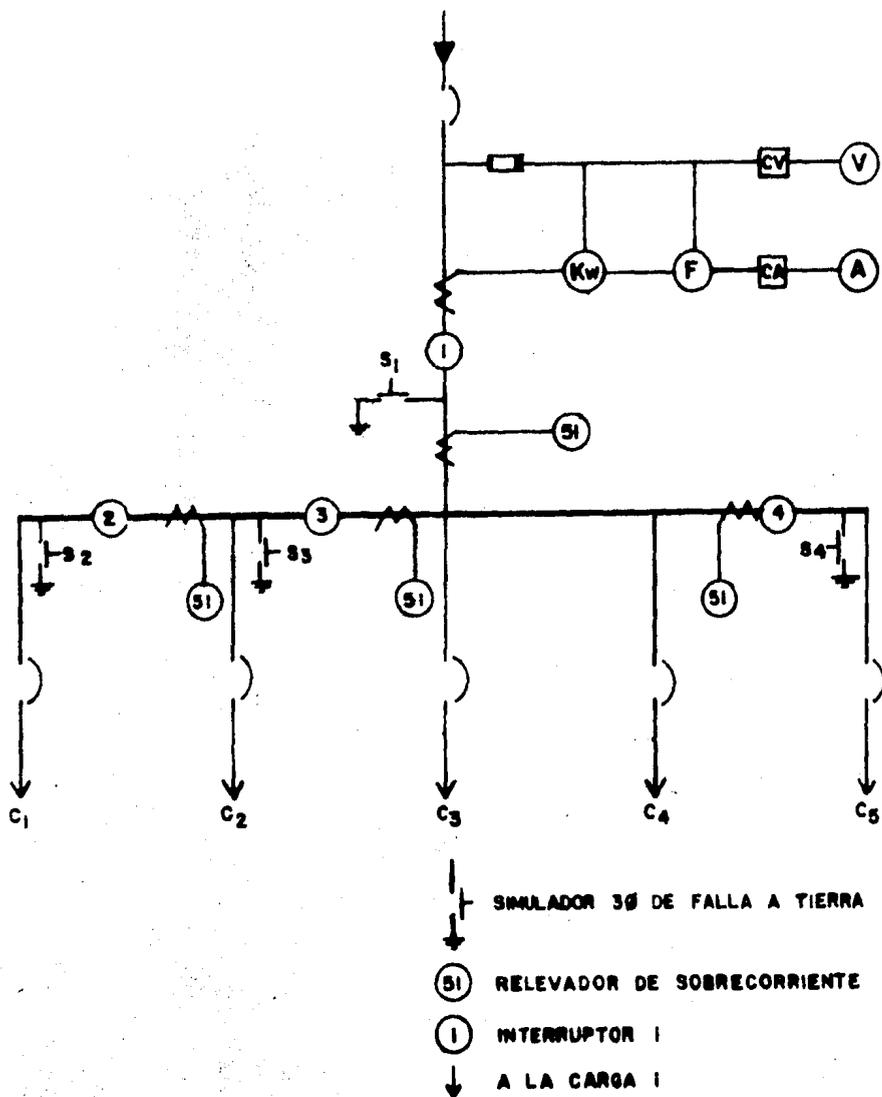


FIG. VI. 5.1

CAPITULO VII

CAPITULO VII.- Normas de Seguridad y Mantenimiento

El éxito y seguridad de operación de los tableros, depende de la propia instalación, operación y mantenimiento, así como del diseño y manufactura. El ignorar ciertos requerimientos fundamentales de la instalación y mantenimiento puede ocasionar serios problemas, incluso la pérdida total de los tableros y del equipo conectado de los mismos.

VII.1 Instalación de gabinetes de tableros

Para cumplir con los requisitos mínimos de seguridad, en general la instalación deberá hacerse de acuerdo a las normas técnicas de instalaciones eléctricas.

Instálese el gabinete en forma limpia y cuidadosa. Es recomendable seguir las instrucciones del fabricante:

- 1).- Localización. El gabinete deberá ser instalado de manera que sea accesible fácilmente sin estar expuesto a daños físicos.
- 2).- Materiales inflamables. Es necesario proteger el gabinete y tenerlo alejado de materiales inflamables.
- 3).- Condiciones de servicio inadecuadas. No es recomendable localizar los gabinetes en lugares expuestos a temperaturas arriba de 40°C (140°F), en donde existan ambientes corrosivos o explosivos, polvos, vapor de agua, vibraciones anormales, choques o en posición inclinada. En general, no deberán ser instalados en donde estén sometidos a condiciones inadecuadas, a menos que estos gabinetes hayan sido diseñados especialmente para estos propósitos.
- 4).- Localización en lugares húmedos interiores. Localícense-

y protéjense los gabinetes para evitar que la humedad y el agua entren y se acumulen en su interior. Los gabinetes deberán montarse de manera que exista cuando menos 1/4 de pulgada entre los gabinetes y las paredes u otras superficies que los soporten.

- 5).- Localizaciones húmedas. Los gabinetes deberán ser aprobados para ser instalados en lugares húmedos. Por ejemplo: Deberán ser a prueba de lluvia y granizo, si se usan en el exterior y a prueba de goteo, si se usan en interiores.
- 6).- Distancia al techo. Los gabinetes no deberán instalarse pegados a techos que no sean resistentes al fuego; deberá dejarse un espacio de tres pies entre el techo y el gabinete, a menos de que se provea de una barrera adecuada a prueba de fuego.
- 7).- Espacio alrededor del gabinete. Cuando se selecciona la localización, se deberá proveer de acceso suficiente y espacio para trabajar alrededor del gabinete. El ancho del espacio de trabajo en el frente del tablero deberá ser por lo menos de 30 pulgadas y este espacio no deberá usarse para almacenamiento. El espacio para trabajar deberá tener alumbrado adecuado y un mínimo de 6 pies - 1/4 en la parte superior, o el valor especificado en las normas técnicas para instalaciones eléctricas.
- 8).- Montaje de gabinete. El gabinete deberá fijarse firmemente a la superficie de montaje. No es recomendable usar taquetes de madera insertados en la mampostería, concreto, recubrimientos o materiales similares.
- 9).- Aberturas no usadas en los gabinetes. Círrrense en forma efectiva todas las aberturas en los gabinetes no usa

dos, para proveer protección equivalente a lo provisto por las paredes completas de los mismos.

- 10.- Conexión a tierra de los tableros. Cuando el gabinete o caja contenga equipo de servicio, será necesario conectar la caja al conductor suministrado para conexión a tierra.

VII.2 Instalación de tuberías y alambrado

- 1.- La tubería deberá instalarse de manera que se evite la entrada de humedad o agua y de que ésto se acumule en el interior de los gabinetes. Se deberá proporcionar protección a los conductores para que éstos no sufran abrasión.
- 2.- Asegúrese que las zapatas terminales son apropiadas y aprobadas para la dimensión del cable que habrá de ser conectado al tablero. Léase el inciso 2 de la parte VII.3 para efectuar las conexiones apropiadas.
- 3.- Procúrese que la longitud de los cables se mantenga al mínimo dentro de los espacios para alambrar. Las longitudes excesivas pueden producir sobrecalentamiento. Sin embargo, los cables deberán ser lo suficientemente largos para alcanzar la localización de las terminales, en forma de evitar esfuerzos en las zapatas de conexión.
- 4.- Deberá tenerse cuidado de mantener los radios de doblé de los cables lo más grande posible; de otra manera los aislamientos pueden ser dañados, la falta a esta recomendación causará que las terminales de conexión se aflojen.

VII.3 Instalación del interior del tablero

Precaución. Asegúrese de que la energía ha sido cortada y --

de que permanezca en esta forma durante los siguientes pasos de instalación.

1.- Instalación

- a.- Ajustense los dispositivos de alimentación si éstos -- han sido provistos.
- b.- Instálese el interior, verificando previamente su alineamiento y apretando firmemente al gabinete.
- c.- Ajustese el interior de manera que la parte interior - del frente no se separe mas de 3/16 de pulgada de los bordes frontales de la caja para montaje superficial - o de superficie acabada de la pared que rodea al table ro si éste se instala embutido.

2.- Conexión de línea principal y de los conductores derivados.

- a.- Conductores. Remuévase el aislamiento del conductor de manera que éste no sufra marcas. Para conductores de aluminio será necesario limpiar el óxido de la porción descubierta y aplicar el compuesto adecuado para efectuar la conexión.
- b.- Distribúyanse y arréglense todos los conductores en los espacios provistos para alambrear en el gabinete, de manera que éstos presenten un arreglo limpio, producto de una mano cuidadosa (léase la parte VII.2)
- c.- Apriétense las zapatas. Será necesario usar los valores de par de apriete proporcionados por el fabricante.

3.- Conexión a tierra del tablero.

- a.- Gabinete. El gabinete deberá conectarse a tierra de --- acuerdo con el inciso 10 de la parte VII.1
- b.- Conductores para conexión a tierra del equipo. Prepáren

se los conductores para conexión a tierra del equipo - de acuerdo con el inciso 2,a, y conéctese a las terminales para este propósito proporcionadas en el equipo. Asegúrese de que la barra de terminales esté firmemente unida al gabinete o a los soportes de montaje del interior del tablero y que no esté conectado a la barra neutra con excepción de equipo de servicio permitido - de acuerdo con las normas técnicas.

- 4.- Instalación de fusibles. Estos deberán ser de la clase y calibraciones apropiadas de acuerdo con los portafusibles provistos en los tableros. Verifíquense las calibraciones a -- los interruptores termomagnéticos en tableros conteniendo - interruptores de este tipo.
- 5.- Límpiase el gabinete de todo escombros acumulado durante la - instalación del interior del tablero.
- 6.- Para proteger el interior del tablero antes de finalizar su instalación, córtese e instálase una pieza de cartón de las dimensiones del gabinete. Si el trabajo de la instalación - se ha completado, ejecútense los pasos indicados en la parte VII.4 y procédase a la instalación del frente del tablero.

VII.4 Instrucciones a seguir antes de la energización

- 1.- Revísese el apriete de todas las conexiones ejecutadas en el campo y otras conexiones atornilladas. Apriétense de - acuerdo con el torque proporcionado por el fabricante. En caso de que esta información no esté disponible, el -- apriete a aplicar deberá ser el más alto indicado en la - tabla de valores que a continuación se da:

DIAMETRO DEL TORNILLO

PAR-APRIETE

5/32"	10-15 pulgadas libras
3/16"	15-20 pulgadas libras
1/4"	5-7 pies libras
5/16"	10-12 pies libras
3/8"	18-20 pies libras
1/2"	40-50 pies libras

- 2.- Asegúrese de que todo el material usado para el embarque ha sido removido de los distintos componentes del interior del tablero.
- 3.- Opere manualmente todos los interruptores termomagnéticos y otros mecanismos de operación para asegurarse de que estos se mueven libremente.
- 4.- Para asegurarse de que el sistema está libre de cortocircuitos y fallas a tierra efectúese una prueba de resistencia - de aislamiento de fase a tierra y de fase a fase con los desconectores o interruptores termomagnéticos en las posiciones de abierto y cerrado. Si la resistencia resulta ser menor de un megohm durante la prueba de algún circuito derivado con el dispositivo de protección en la posición de - abierto, el sistema está fuera de los límites de seguridad - y debe ser revisado.
- 5.- Verifíquese y determínese si todas las conexiones de tierra están efectuadas adecuadamente. Si el tablero se usa como - equipo de servicio, asegúrese que el neutro este adherido - firmemente al gabinete.
- 6.- Remuévase todo el escombros, desperdicio de alambrado, etc. - del interior del tablero antes de instalar el frente del - gabinete.

Asegúrese que todas las partes de frente muerto y barreras estén apretadas y alineadas apropiadamente.

VII.5 Energización del equipo

Habiendo seguido cuidadosamente los pasos descritos en las partes VII.1 a VII.4, está usted listo para la energización del tablero. Cuando se energiza por primera vez, será necesario que esto se realice en presencia de personal calificado. Todos los circuitos derivados deberán estar en la posición de cerrado, pero será necesario que las cargas estén desconectadas siempre que esto sea práctico. Donde sea posible, el tablero deberá energizarse cerrando el desconectador de lado de línea fuera del tablero. De otra forma, el tablero deberá energizarse cerrando su propio dispositivo de desconexión principal.

VII.6 Cuidado y mantenimiento

Deberá observarse un programa de cuidado y mantenimiento para los tableros basado en un procedimiento a seguir, de acuerdo con lo siguiente:

- 1.- Un tablero que ha llevado su carga normal por lo menos 3-hrs. antes de la inspección, deberá probarse en el campo tocando la superficie del frente muerto de los interruptores termomagnéticos, interruptores de navajas, cubiertas interiores, puertas y lados del gabinete con la palma de la mano. Si la temperatura de estas partes no le permiten mantener el contacto por lo menos durante 3 segundos, esto puede ser la indicación de un problema que requiere investigación inmediata.

PRECAUCION:

Antes de ejecutar cualquiera de las siguientes operaciones desenergice el tablero y verifíquese las líneas alimentadoras con un voltmetro, previendo la posibilidad de que el tablero no haya sido totalmente desenergizado.

- 2.- Inspecciónese el tablero una vez al año o después de que haya ocurrido una falla eléctrica severa.
 - a.- Búsquese cualquier rastro de condensación provocado por agua filtrada o goteo que haya penetrado al tablero. La condensación en las tuberías o fuentes de goteo es una causa común de falla en los tableros.
 - a.1) Séllese cualquier tubería en la cual haya goteo -- provocado por condensación, previendo los medios -- para drenar esas tuberías.
 - a.2) Séllese cualquier grieta o abertura que permita la entrada de humedad del exterior a los gabinetes. - Donde sea posible elimínense las fuentes que pueden provocar cualquier goteo en los gabinetes u -- otras fuentes de humedad.
 - a.3) Reemplácese, límpiense o séquese cuidadosamente --- cualquier material aislante que se encuentre húmedo o que muestre una acumulación de materiales producto de humedades anteriores.
 - b.- Si hay acumulación apreciable de polvo y mugre límpiense el tablero usando una brocha, un absorbedor neumático o trapo limpio libre de pelusa. Evite soplar impurezas a los interruptores termomagnéticos o cualquier otro -- equipo.
 - c.- Inspecciónese cuidadosamente todas las conexiones.

- c.1) Verifíquese el apriete de tornillos, tuercas, etc. para evitar calentamientos o que los mismos se en cuentren flojos.
- c.2) Reemplácese o límpiese cualquier parte en donde - las superficies de contacto muestren impurezas, - corrosión, o marcas de decoloración intensas.
- c.3) Examínese cuidadosamente los portafusibles. Si -- hay algún indicio de sobrecalentamiento o de falta de apriete, verifíquese la presión de los re-- sortos, apriétense las tuercas, etc. Reemplácese - los portafusibles si la presión de los resortes - es menor, comparada con otros idénticos que mues- tren estar en buen estado en el tablero.
- c.4) Apriétense los fusibles de tapón.
- c.5) Búsquense indicios de deterioro en el aislamiento del material o fusión del compuesto sellador. Reemplácese tales partes aislantes, así como los- componentes en donde el compuesto sellador se ha- ya fundido.
Asegúrese que la causa del sobrecalentamiento ha- sido corregido.

d.- Verifíquese la operación mecánica de todos los componen- tes.

- d.1) Ejercitando los mecanismos de operación de los in- terruptores, así como los mecanismos externos de - los interruptores termomagnéticos, asegúrese de -- que éstos, en forma rápida y segura abran y cierren los contactos.
- d.2) Verifíquese la integridad de todos los bloques me-

cánicos y eléctricos, así como los mecanismos cerrados o bloqueados con candado.

d.3) Donde sea posible, verifíquese todos los dispositivos en busca de partes faltantes o rotas, tensión apropiada de los resortes, libertad de movimiento, óxido o corrosión, impurezas y uso excesivo.

d.4) Ajuste, limpie, lubrique y reemplace las partes -- que lo requieran.

e.- Examine todos los supresores de arco fácilmente accesibles y partes aislantes en busca de grietas o roturas y por salpicaduras provocadas por los arcos eléctricos, - aceite y depósitos de ollín, pero es recomendable reemplazar las partes, si una porción apreciable de material se ha quemado o si el material se ha carbonizado.

e.1) Límpiense las partes aisladas y supresores de arco que están agrietados o rotos.

e.2) Limpie y alínie los contactos de cobre, navajas y mordazas cuando la inspección indique la necesidad de hacerlo. Evite la remoción del metal en las superficies de contactos plateados.

i) Alísense los contactos para remover rebabas - que proyecten o material que haya sido removido por los arcos eléctricos y el cual interfiera con la libertad de movimiento.

ii) Limpie las superficies de contacto para remover óxido negro usando papel fino de óxido de aluminio y remuévase la menor cantidad posible de material. Elimínese las partículas de metal y de materiales abrasivos del interior del tablero.

iii) Reemplace las navajas y mordazas que muestren apreciable cambio de forma debido a sobrecalentamiento o que interfieran con los bordes achaflanados, etc. los cuales no les permitan actuar libremente.

iv) Donde los contactos muestren signos de calentamientos, compare la presión de los resortes y rigidez de las partes con las idénticas que muestren hacer buen contacto. Limpie los resortes, mordazas, navajas o contactos que se han suavizado o dañado en cualquier otra forma por el calor.

3.- Lubrique las partes móviles de los mecanismos, etc. de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes que usualmente están impresas en los diagramas o etiquetas.

a.- Use grasa ligera o aceite limpio de acuerdo con las instrucciones, los cuales no deberán ser metálicos

b.- No se aceiten o engrasen las partes de los interruptores termomagnéticos.

c.- Si no existen instrucciones en los dispositivos, los contactos de cobre deslizantes, mecanismos de operación e interbloques, pueden ser lubricados con grasa ligera con la condición de que sea limpia.

d.- Elimine el exceso de lubricación para evitar la acumulación de polvo y mugre.

4.- Opere cada interruptor de navajas o interruptor termomagnético varias veces para asegurarse de que todos los mecanismos están libres y en condiciones apropiadas de operación

- 5.- Reapriete todas las conexiones de acuerdo con la tabla mostrada en la parte VII.4
- 6.- Verifique la resistencia de aislamiento:
 - a.- Si ha ocurrido una falla eléctrica severa.
 - b.- Si ha sido necesario reemplazar o limpiar partes o superficies aislantes.
 - c.- Si el tablero ha estado expuesto a un ambiente altamente húmedo, a condensación o goteo.
- 7.- Verifique los fusibles para asegurarse que tienen la capacidad conductiva adecuada, así como la interruptiva. Asegúrese que los fusibles que no sean limitadores no sean usados bajo ninguna circunstancia como repuestos de fusibles limitadores. No deberá tratarse bajo ninguna circunstancia de eliminar los mecanismos de rechazo que se proveen -- para evitar la instalación del tipo fusible equivocado.

Apéndice A

Lista de números y funciones de aparatos y relevadores eléctricos más empleados.

6 Interruptor automático de arranque. - Dispositivo cuya función principal es la de conectar una máquina a su fuente de alimentación para el arranque.

13 Dispositivo de velocidad síncrona. - Cualquier dispositivo que funcione aproximadamente a la velocidad síncrona de una máquina. Por ejemplo: Un desconectador centrífugo de velocidad, un relevador de frecuencia de deslizamiento, un relevador de tensión o un relevador de baja corriente.

17 Dispositivo derivador o de descarga. - Interruptor o desconectador que tiene por función abrir o cerrar un circuito en derivación en cualquier sector de un aparato (siempre que no sea resistencia), tal como un capacitor, un reactor, el campo o el inducido de una máquina.

20 Válvula de operación eléctrica. - Válvula accionada por solenoide o por motor utilizada en tuberías de vacío, aire, gas, petróleo, agua etc.

21 Relevador de distancia. - Relevador que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia de un circuito aumenta o disminuye más allá de determinados límites.

22 Interruptor igualador. - Interruptor que sirve para controlar o para abrir y cerrar los circuitos del igualador o de equilibrio de corriente; ya sea del campo de una máquina o del equi

po de regulación de una instalación de unidades múltiples.

25 Dispositivo sincronizador o verificador de sincronismo. -- Dispositivo que funciona cuando dos circuitos de C.A., están dentro de los límites deseados de frecuencia, fase y tensión, para permitir o provocar la conexión en paralelo de los dos circuitos.

27 Relevador de baja tensión. - Relevador que funciona cuando la tensión cae abajo de un valor determinado.

32 Relevador direccional de potencia. - Relevador que funciona a un valor determinado del flujo de energía en una dirección dada, o al producirse una inversión en la dirección del flujo debido a un arco inverso en el circuito anódico o catódico de un rectificador.

37 Relevador de baja corriente o baja potencia. - Relevador que funciona cuando la corriente o la potencia cae abajo de un valor determinado.

43 Dispositivo manual de transferencia o selector. - Dispositivo accionado a mano que permite la conmutación de un circuito de control a otro, con el objeto de modificar el plan de operación del equipo de maniobras o de algunos de sus dispositivos.

46 Relevador de corriente para secuencia inversa o equilibrio de fases. - Relevador que funciona cuando las corrientes de un sistema polifásico tienen una secuencia inversa o cuando dichas corrientes están desequilibradas o contienen componentes de secuencia de fase negativa cuya magnitud excede de un valor determinado de tiempo.

47 Relevador de tensión de secuencia de fases. - Relevador que funciona a un valor determinado de la tensión de un sistema polifásico con una secuencia de fases deseada.

50 Relevador instantáneo de sobrecorriente o de régimen de variación de la corriente. - Relevador que funciona instantáneamente al alcanzar la corriente un valor excesivo o si la corriente aumenta con demasiada rapidez, lo cual es señal de que ha habido una falla en el aparato o en el circuito protegido.

51 Relevador de sobrecorriente de C.A. de tiempo diferido. - Relevador de acción retardada que funciona cuando la corriente alterna de un circuito excede de un valor determinado. El retraso puede variar en función inversa a la intensidad de la corriente o puede ser en función de tiempo definido.

55 Relevador de factor de potencia. - Relevador que funciona cuando el factor de potencia de un circuito de corriente alterna llega a ser mayor o menor que un valor determinado.

64 Relevador protector de falla a tierra. - Relevador que funciona si falla el aislamiento a tierra de una máquina, transformador u otro aparato, o si se produce un arco a tierra en una máquina de corriente continua.

NOTA: Esta función se asigna solamente a los relevadores que detectan el paso de corriente a tierra a través de la carcasa, cubierta o armazón de una máquina o de un aparato, o detecta una fuga a tierra en un devanado o circuito con neutro normalmente aislado. Esta clasificación no se aplica a los dispositivos conectados al circuito secundario o al neutro del secundario de uno o más transformadores de corriente, conectados en el circuito principal de un sistema con neutro conectado a tierra.

65 Gobernador. - Equipo que regula la apertura de las compuertas o las válvulas de las máquinas motrices.

67 Relevador direccional de sobrecorriente de C.A. - Relevador que funciona a un valor determinado de sobrecorriente con una dirección determinada.

68 Relevador de boloqueo. - Relevador que emite una señal piloto para producir una acción de bloqueo o de disparo al producirse fallas externas en una línea de transmisión o en otros aparatos bajo condiciones determinadas, o que conjuntamente con otros dispositivos contribuye a bloquear la acción de disparo o de recierre bajo condiciones de falta de sincronismo o de oscilaciones de energía.

76 Relevador de sobrecorriente de C.D. - Relevador que funciona cuando la corriente de un circuito de C.D., excede de un valor determinado.

79 Relevador de recierre de C.A. - Relevador que controla automáticamente el recierre y mantiene en posición abierta el interruptor después de varios intentos en que persista una sobrecarga o la acción de otro relevador de protección.

81 Relevador de frecuencia. - Relevador que funciona a un valor determinado de la frecuencia, el cual puede ser mayor, menor o igual a la frecuencia normal, o cuando la frecuencia varía a una velocidad determinada.

83 Relevador automático de control selectivo o de transferencia. Relevador que funciona para elegir automáticamente entre ciertas fuentes de energía o condiciones de servicio de un equipo, o efectúa automáticamente el cambio de una operación a otra.

86 Relevador de bloqueo sostenido. - Relevador accionado eléctricamente y de reposición eléctrica o manual, o dispositivo -- que funciona para desconectar y mantener desconectado un equipo cualquiera después de producirse condiciones anormales.

87 Relevador de protección diferencial. - Relevador de protección que funciona bajo una diferencia porcentual o ángulo de fase y otra diferencia cuantitativa de dos corrientes o de otras magnitudes eléctricas.

88 Motor o grupo motor generador auxiliar. - Aquel utilizado para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, amplificadores, magnéticos giratorios, etc.

90 Aparato regulador. - Dispositivo que funciona para regular una o varias magnitudes y mantenerlas a un valor determinado o entre límites ya sean máquinas, líneas de enlace u otros aparatos.

91 Relevador direccional de tensión. - Relevador que funciona cuando la tensión a través de un interruptor excede de un valor dado, en una dirección determinada.

92 Relevador direccional de potencia y tensión. - Relevador que permite la conexión de dos circuitos, cuando su diferencia de tensión excede de un valor dado en una dirección determinada y provoca la desconexión cuando la potencia que pasa en la dirección opuesta, también se excede de un valor.

APENDICE B

SIMBOLOS DE DIAGRAMAS ELEMENTALES

APARTARAYOS



BATERIAS

DE UNA CELDA



MULTICELDA

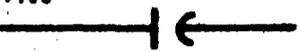


BOBINA DE FRENO



CAPACITOR

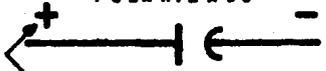
FIJO



AJUSTABLE

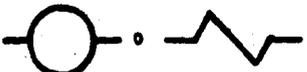


POLARIZADO



POLARIZACION REQUERIDA

BOBINA DE OPERACION



CONEXION



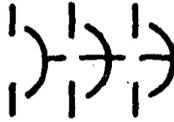
MECANICA

MECANICA CON INTERBLOQUEO

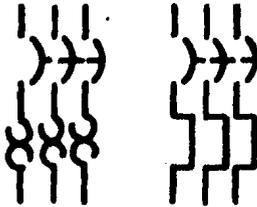


INTERRUPTOR DE CIRCUITO

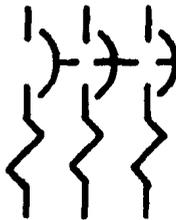
MANUAL TRIPASICO



TRES POLOS CON UNIDADES DE DISPARO TERMICA O TERMOMAGNETICA



TRES POLOS CON BOBINA DE DISPARO MAGNETICO



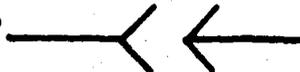
CONECTORES

HEMERA

MACHO



CONECTADO



CONTACTOS

NORMALMENTE CERRADO



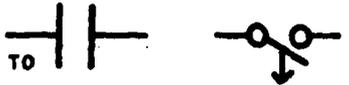
NORMALMENTE ABIERTO



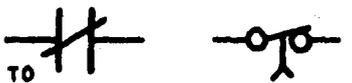
NORMALMENTE ABIERTO CON CIERRE DIFERIDO



NORMALMENTE ABIERTO CON APERTURA DIFERIDA



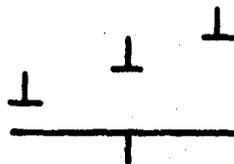
NORMALMENTE CERRADO CON APERTURA DIFERIDA



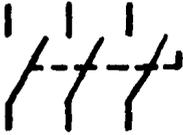
NORMALMENTE CERRADO CON CIERRE DIFERIDO



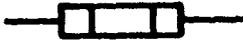
CIERRE DE TIEMPO SECUENCIAL



DESCONECTADOR

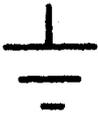


FUSIBLE



CHASIS O ARMADURA DE TIERRA

POTENCIAL DE TIERRA



POTENCIAL SOLIDAMENTE A TIERRA



DESCONECTADOR DE CUCHILLAS

UN POLO

DOS POLOS



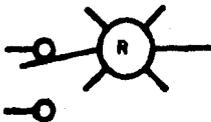
REACTOR



LUZ O LAMPARA



DE PRESION PARA PRUEBA



FLUORESCENTE



MEDICION (INSTRUMENTO)



AM - AMPERIMETRO

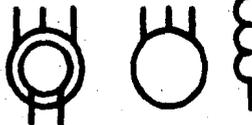
V - VOLTIMETRO

W - WATTMETRO

MOTORES

MOTOR C.A.

MOTOR SINCRONO O GENERADOR DE C.A.



MOTOR DE INDUCCION ROTOR DEVANADO



MOTORES

MOTOR O GENERADOR C.D.



SERIE O ESTABILIZADOR



PARALELO O EXITACION SEPARADA



MOTOR DE C.A.

MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA

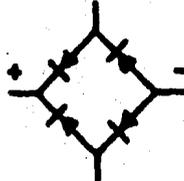


RECTIFICADORES

MEDIA ONDA



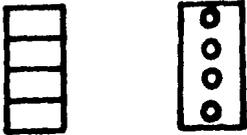
ONDA COMPLETA TIPO PUENTE



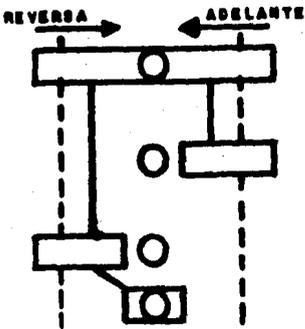
REOSTATO



TABLILLA TERMINAL



INTERRUPTORES DE TAMBOR



DE FLUJO

CIERRE CON INCREMENTO DE FLUJO



APERTURA CON INCREMENTO DE FLUJO



DE PEDAL

CERRADO CON PRESION DE PIE



ABIERTO CON PRESION DE PIE



INTERRUPTORES

DE LIMITE NORMALMENTE ABIERTO



RETENCION CERRADO



NORMALMENTE CERRADO



RETENCION ABIERTO



NIVEL DE LIQUIDO

CIERRE CON INCREMENTO DE NIVEL



ABIERTO CON INCREMENTO DE NIVEL



DE PRESION CIERRE CON INCREMENTO DE PRESION



ABIERTO CON INCREMENTO DE PRESION



DE TEMPERATURA

CIERRE CON INCREMENTO DE TEMPERATURA



APERTURA CON INCREMENTO DE TEMPERATURA



DE BALANCI MONOPOLAR

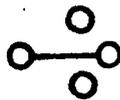


INTERRUPTORES

TRANSFERENCIA UN POLO DOBLE POSICION



TRANSFERENCIA UN POLO TRES POSICIONES



BOTON DE PRESION SOSTENIDA



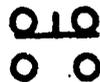
NORMALMENTE CERRADO



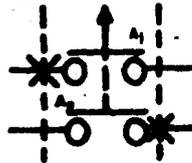
NORMALMENTE ABIERTO



DOBLE CIRCUITO



BOTON SELECTOR ADELANTE FUERA REVERSA



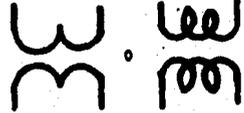
X - INDICA CONTACTOS CERRADOS

TRANSFORMADORES

AUTOTRANSFORMADOR



POTENCIAL

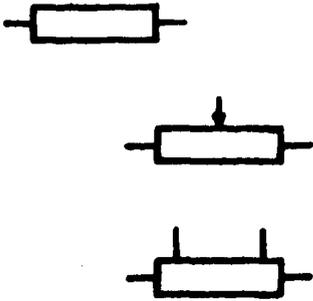


CORRIENTE



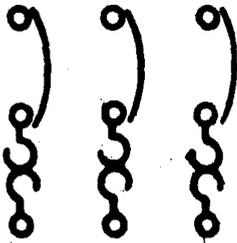
SIMBOLOS DE DIAGRAMAS DE CONEXIONES

RESISTENCIA

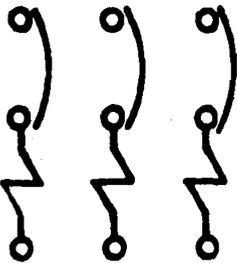


INTERRUPTOR DE CIRCUITO

TRES POLOS CON BOBINA DE DISPARO
TERMICA O TERMOMAGNETICA



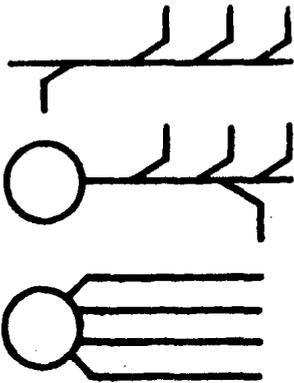
TRES POLOS CON BOBINA DE
DISPARO MAGNETICA



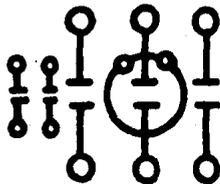
REOSTATO



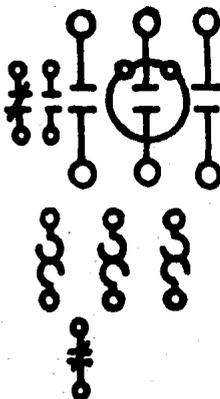
CABLE MULTICONDUCTOR



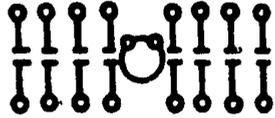
CONTACTOR CON INTERBLOQUEO



ARRANCADOR CON INTERBLOQUEO

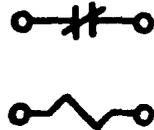


RELEVADOR DE CONTROL

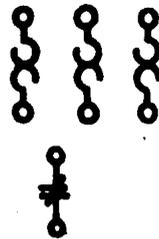


RELEVADOR DE SOBRECARGA

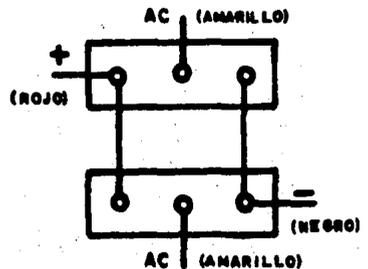
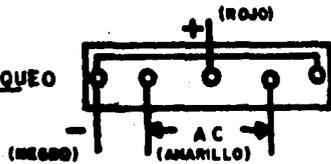
MAGNETICO



TRES POLOS TERMICO



RECTIFICADOR



BIBLIOGRAFIA

1. DISTRIBUTION SYSTEMS. Westinghouse Electric Corporation, 1960.
2. HARWOOD'S MOTOR CONTROL. Ralph A. Millermaster, Cutler Hammer Inc, 1969.
3. ELECTRIC POWER SYSTEMS HANDBOOK. Donald Beeman, Mc Graw Hill, 1952.
4. EL ARTE Y LA CIENCIA DE LA PROTECCION POR RELEVADORES. C. Russell Mason, -- CECSA, 1971
5. EQUIPOS ELECTRICOS MODERNOS. José Garduño F., CECSA, 1971.
6. OPERACION, CONTROL Y PROTECCION DE MOTORES ELECTRICOS. Horacio Buitrón S., Razo Aguilar Impresiones, 1979.
7. SISTEMAS DE TRANSMISION DE POTENCIA ELECTRICA. Theodore Wildi, Limusa, 1979.
8. COONNIE. NORMAS DE TABLEROS ELECTRICOS. 14.1-1 a 14.1-7, 1968-1973.
9. FUNDAMENTOS DE METROLOGIA ELECTRICA. TOMO III. Andrés M. Karcz, Marcombo, -- 1977.
10. METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS. J.P. Holman, Mc Graw Hill, 1977.
11. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO. Francis W. Sears, Ed. Aguilar, 1976.
12. FUNDAMENTOS DE CONTROL PARA MOTORES. Square D de México, 1981.
13. EQUIPO DE CONTROL DE BAJA TENSION. Industria Eléctrica de México, 1983.