

116
2 Sem.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE UN SIMULADOR ANALOGICO PARA EL
LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION**

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a :
RAMON MIGUEL REYNAUD RUIZ

Director: M. en I. Alejandro Sosa Fuentes

México, D. F.

1985





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 está 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

	Pág.
PROLOGO	
CAPITULO 1. CARACTERISTICAS GENERALES Y ALCANCE DEL PROYECTO	1
1.1).- Introducción	2
1.2).- Desarrollo de las etapas del proyecto	3
1.3).- Alcance del proyecto	6
1.4).- Conclusiones	6
CAPITULO 2. DISEÑO ELECTRICO DEL TABLERO	8
2.1).- Componentes que lo integran	9
2.2).- Diagramas básicos y de alambrado	11
2.3).- Tablas	12
2.4).- Bus mínimo	15
2.5).- Cálculo de buses, aisladores y soportes	17
A) Aspectos generales	17
B) Cálculos de fallas	24
C) Especificación de buses, aisladores y soportes	30
CAPITULO 3. ESTUDIO, CALCULO Y ESPECIFICACION DE EQUIPO ELECTRICO	33
3.1).- Especificación de los elementos de los circuitos derivados de los motores	34
A) Conductores	34
B) Interruptores termomagnéticos	35

	Pág.
C) Arrancadores magnéticos	42
3.2).- Especificación de los elementos- del circuito derivado del table- ro de alumbrado	51
A) Conductores	51
B) Interruptor termomagnético	53
C) Contactor	53
3.3).- Especificación de los elementos- del circuito derivado de la car- ga inductiva	53
A) Conductores	53
B) Interruptor termomagnético	55
C) Contactor	55
3.4).- Especificación de los elementos- del circuito derivado de la car- ga capacitiva	55
A) Consideraciones preliminares	55
B) Conductores	56
C) Interruptor termomagnético	57
D) Contactor	58
3.5).- Especificación de los elementos- del alimentador que abastece a - los circuitos derivados de las - cargas inductiva y capacitiva	58
A) Conductores	58
B) Interruptor termomagnético	59
3.6).- Especificación de los elementos- del circuito alimentador princi- pal	59
A) Conductores	59
B) Interruptor termomagnético	60

	Pág.
3.7).- Especificación de los elementos- del circuito de control común	62
A) Transformador de control	62
B) Conductores	65
C) Fusibles	67
3.8).- Especificación de los elementos- del circuito de simulación de fa- llas a tierra y protección por - medio de relevadores de sobreco- rriente	72
A) Generalidades	72
B) Transformador de control	79
C) Conductores	80
D) Fusibles	81
3.9).- Especificación de los elementos- del circuito de medición	82
A) Transformadores para medi- ción	82
B) Conductores	105
C) Fusibles	106
D) Aparatos de medición	106
3.10).-Lista de componentes eléctricos- y marcas comerciales propuestas	115
CAPITULO 4. DISEÑO MECANICO DEL TABLERO	121
4.1).- Introducción	122
4.2).- Determinación del tipo de cons- trucción NEMA	122
4.3).- Diseño del gabinete del tablero	122
4.4).- Diseño mecánico de buses y acce- sorios	126

	Pág.
4.5).- Distribución del equipo eléctrico en los paneles y cubiertas	132
CAPITULO 5. NORMAS DE SEGURIDAD, MANTENIMIENTO Y METODOS DE PRUEBA	133
5.1).- Generalidades	134
5.2).- Normas relacionadas con la seguridad del tablero	134
5.3).- Normas relacionadas con el mantenimiento del tablero	136
5.4).- Métodos de prueba	136
BIBLIOGRAFIA	141
APENDICE	
Información técnica	144

PROLOGO

Este trabajo lo he realizado con una doble finalidad: primeramente, cumplir con un requisito indispensable para poder obtener el título profesional y, en segundo lugar, colaborar, en la medida de mis posibilidades y conocimientos, en la resolución de un problema: la falta de un laboratorio para la cátedra de "Sistemas de Distribución". En este trabajo se expone un proyecto de diseño de un tablero de simulación para el mencionado laboratorio, el cual sería, de llegar a concretarse, de una gran utilidad para la adquisición de habilidad y conocimientos prácticos en la solución de problemas reales sobre operación de equipos y sistemas eléctricos, por parte de los alumnos.

Es, asimismo, importantísimo que los alumnos "ahorren" experiencia durante su estancia en la escuela, ya que, al terminar los estudios, tendrán menos dificultades en adaptarse a la realidad del ejercicio profesional. Sirva, pues, este trabajo, para ayudar a realizar todo lo anteriormente expuesto.

CAPITULO UNO

CARACTERISTICAS GENERALES Y ALCANCE DEL PROYECTO

- 1.1).- INTRODUCCION.
- 1.2).- DESARROLLO DE LAS ETAPAS DEL PROYECTO.
- 1.3).- ALCANCE DEL PROYECTO.
- 1.4).- CONCLUSIONES.

1.1).- INTRODUCCION.- El objeto de este trabajo consiste en el diseño de un simulador analógico de un sistema de distribución de energía eléctrica, en forma de tablero tipo consola; en dicho tablero se podrán realizar las prácticas convenientes, para complementar los conocimientos teóricos adquiridos en clase, por parte de los alumnos que cursen la materia "Sistemas de Distribución".

En el tablero se podrán realizar las siguientes funciones:

- a) Medición de variables eléctricas.
- b) Protección del sistema contra sobrecargas y cortocircuitos.
- c) Simulación de fallas a tierra y su correspondiente protección, en diferentes puntos del sistema.
- d) Control de elementos del sistema.
- e) Señalización en algunos puntos del sistema.

El sistema completo está constituido de las siguientes partes: una fuente de energía eléctrica, externa al tablero; el tablero propiamente dicho, y cinco cargas exteriores conectadas a él.

La fuente de energía eléctrica estará representada por el transformador que alimenta a las instalaciones eléctricas del edificio principal de la Facultad de Ingeniería, y del cual se alimentará también al tablero.

El tablero constará de un gabinete tipo consola, que alojará en su interior equipos como arrancadores, contactores, interruptores termomagnéticos, relevadores de tiempo, relevadores de control, tablillas terminales, fusibles, transformadores de potencial, transformadores de corriente, y, en fin, todos los dispositivos necesarios para obtener la realización de las diferentes funciones del sistema. En-

el frente del mismo, habrá botones de control, lámparas indicadoras, aparatos de medición y un bus mímico o diagrama-indicador de flujo y operación del sistema.

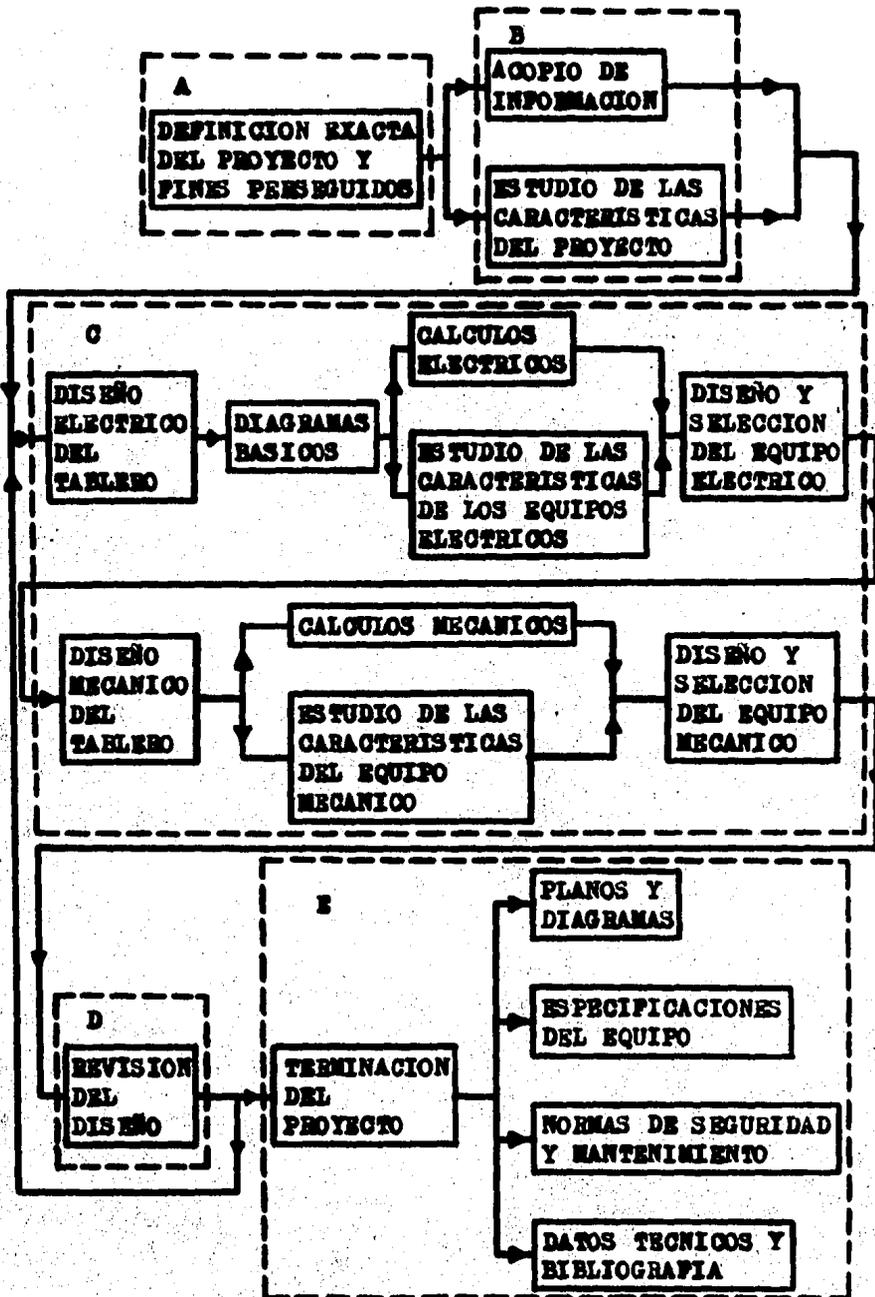
Las cinco cargas, que estarán conectadas al tablero, - son las siguientes:

- 1.- Un motor de 7.5 H.P.
- 2.- Un motor de 5 H.P.
- 3.- Un tablero de alumbrado, de 1.8 KW.
- 4.- Un banco inductivo, de 6 KVAR.
- 5.- Un banco capacitivo, de 6 KVAR.

1.2).- DESARROLLO DE LAS ETAPAS DEL PROYECTO.- Fundamentalmente, este proyecto de diseño se divide en dos partes: primeramente, el diseño eléctrico, que comprende el cálculo, - selección y especificación de los diversos componentes eléctricos del tablero; asimismo, la elaboración de los diagramas elementales de los circuitos de control, medición, simulación de fallas y protección por medio de relevadores de - sobrecorriente; así como los diagramas de alumbrado y unificar. Seguidamente, se lleva a cabo el diseño mecánico del - tablero, que abarca aspectos como el arreglo de buses y accesorios; los diseños del gabinete, paneles y bus mímico; - igualmente, la especificación de los materiales y acabados - a emplear en la construcción del tablero. Aparte de los dos aspectos fundamentales del proyecto, ya mencionados, se determinan también ciertas normas de seguridad y mantenimiento para el tablero, ya que, como todo sistema eléctrico, requiere de ellas. Se agregan, asimismo, tablas de datos técnicos como información, así como la bibliografía consultada para la elaboración de este trabajo.

Todo lo anteriormente mencionado se expone, a continuación, en forma de diagrama en bloque y por etapas.

DESARROLLO DE LAS ETAPAS DEL PROYECTO



A.- DEFINICION EXACTA DEL PROYECTO Y FINES PERSEGUIDOS.- Durante esta etapa se define claramente qué es lo que se pretende llevar a cabo, así como obtener una idea general del fin perseguido y de las características del proyecto a realizar. Es esta fase del proyecto de vital importancia para que los esfuerzos realizados sean canalizados en la dirección adecuada.

B.- ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DEL PROYECTO Y ACOPIO DE INFORMACION.- En la etapa anterior se obtiene una idea general del proyecto, mientras que en ésta se profundiza y se definen claramente todas las características del mismo. Para poder elaborarlo, es necesario hacer acopio de información relacionada con el tema, consultando libros, revistas, manuales, etc.

Asimismo, durante esta etapa, se estudiarán las prácticas para el Laboratorio de Sistemas de Distribución.

C.- DISEÑOS ELECTRICOS Y MECANICOS DEL TABLERO.- En esta parte del proyecto se dará forma y aplicación a lo realizado - en las secciones precedentes.

Teniendo como base los conocimientos adquiridos, y con ayuda de la información recopilada, se llevarán a cabo la elaboración de diagramas y la selección de aparatos y materiales que formarán el tablero. Es importante mencionar que ésta es la etapa medular del proyecto, cuya eficiencia dependerá, en gran medida, de las características de los materiales y aparatos seleccionados.

D.- REVISION DEL DISEÑO.- El diseño preliminar, obtenido en la sección anterior, será analizado y se le harán las modificaciones pertinentes hasta que sea satisfactorio el trabajo realizado. Esto es, que si el diseño necesita alguna modificación, se regresará a la etapa anterior hasta que se -

decida que se puede pasar a la siguiente.

2.- TERMINACION DEL PROYECTO.- En esta etapa, se recopilarán todos los resultados obtenidos concernientes al diseño y construcción del tablero. Se anexarán planos y diagramas de los equipos, así como las especificaciones de los aparatos y materiales utilizados en el tablero. Por último, y dentro de esta misma sección, se darán ciertas normas de seguridad y mantenimiento para el tablero, datos técnicos y bibliografía consultada.

1.3).- ALCANCE DEL PROYECTO.- El tablero que se diseña en este trabajo, está proyectado para simular un sistema de distribución de energía eléctrica operando en baja tensión (220 V), el cual está formado por un circuito alimentador y cinco circuitos derivados, que alimentan a otras tantas cargas; todos están provistos de sus adecuadas protecciones contra cortocircuitos y sobrecargas, además de que las cargas poseen sus correspondientes controles y al circuito alimentador está adaptado un circuito de medición.

En este tablero, se podrán medir las principales variables eléctricas del sistema, y deducir o verificar los principales parámetros que intervienen en la Ingeniería Eléctrica de Distribución, y que permiten definir las características de una carga, como lo son los siguientes: demanda, demanda máxima, factor de demanda, factor de utilización, factor de diversidad y factor de coincidencia. Igualmente, se podrán hacer mediciones y correcciones del factor de potencia, así como observar el funcionamiento de las protecciones contra fallas a tierra (simuladas).

1.4).- CONCLUSIONES.- Para la Ingeniería Eléctrica, es de gran importancia conocer las características generales de las cargas que son alimentadas por un sistema de distribu-

ción de energía eléctrica en baja tensión, ya que la inmensa mayoría de las mismas operan en esta categoría de tensión. Es importante porque, habiendo en un sistema de distribución tantos factores que participan en su diseño y operación, hay uno sobre el cual no se puede intervenir casi nunca: la carga.

Otro aspecto muy importante es que, mediante la medición de ciertas variables eléctricas del sistema, se pueden conocer los efectos que las diferentes clases de cargas pueden ocasionar en el sistema. Resultado de lo anterior, es que se pueden planear, en forma óptima, la distribución y uso de la energía eléctrica.

Resumiendo, a través de la realización de las prácticas en el tablero, y del estudio de los conocimientos adquiridos, los alumnos que cursen la materia de "Sistemas de Distribución" tendrán los fundamentos para un mejor entendimiento sobre el diseño y operación de un sistema de distribución de energía eléctrica.

CAPITULO DOS

DISEÑO ELECTRICO DEL TABLERO

- 2.1).- COMPONENTES QUE LO INTEGRAN.
- 2.2).- DIAGRAMAS BASICOS Y DE ALAMBRADO.
- 2.3).- TABLAS.
- 2.4).- BUS MINICO.
- 2.5).- CALCULO DE BUSES, AISLADORES Y SOPORTES.

2.1).- COMPONENTES QUE LO INTEGRAN.- El tablero para simulación analógica de un sistema de distribución de energía eléctrica en baja tensión (220 V), estará constituido, en general, por los siguientes circuitos eléctricos:

1.- Un circuito alimentador o de acometida, que llevará la energía eléctrica necesaria al tablero mediante cables conductores; la fuente de energía eléctrica será el transformador que alimenta al edificio de la Facultad de Ingeniería.- El dispositivo de protección contra sobrecorriente, y de desconexión de este circuito del resto del sistema, está constituido por un interruptor termomagnético.

2.- Un circuito de medición, constituido por: conductores, un voltmetro, un ampermetro, conmutadores de fases para el voltmetro y el ampermetro, y un wattmetro trifásico. Estos aparatos, que medirán las variables de interés para las prácticas a desarrollar en el tablero, estarán acoplados al circuito alimentador mediante tres transformadores de corriente y dos transformadores de potencial (conectados en delta abierta, tanto en el primario como en el secundario, con conexión a tierra en el vértice común del secundario), estando protegidos los conductores activos de éstos últimos tanto del lado primario (tres conductores) como del secundario (dos conductores), por fusibles.

3.- Tres buses o barras colectoras de energía eléctrica, que estarán energizados por medio del circuito alimentador, correspondiendo cada bus a una fase del sistema trifásico.- De los buses se alimentarán los demás componentes del tablero. Habrá, además, un bus conectado a tierra.

4.- Cinco circuitos derivados para las cargas, constituidos cada uno por: conductores, un dispositivo de protección contra sobrecorriente y de desconexión del resto del sistema -

(interruptor termomagnético), un contactor, y un relevador-térmico de sobrecarga (sólo en los circuitos derivados cuyas cargas son motores). Las cargas del sistema, conectadas a éste por medio de los circuitos derivados, son las siguientes:

- i) Un motor trifásico de inducción, tipo jaula de ardilla de 7.5 H.P., a 220 V.
- ii) Un motor trifásico de inducción, tipo jaula de ardilla de 5 H.P., a 220 V.
- iii) Un tablero de alumbrado, de 1.8 KW.
- iv) Un banco de inductancias, de 6 KVAR.
- v) Un banco de capacitancias, de 6 KVAR.

Los circuitos derivados de las cargas inductiva y capacitiva están conectados en paralelo a los buses a través de un alimentador común. En este alimentador se encuentra un interruptor termomagnético.

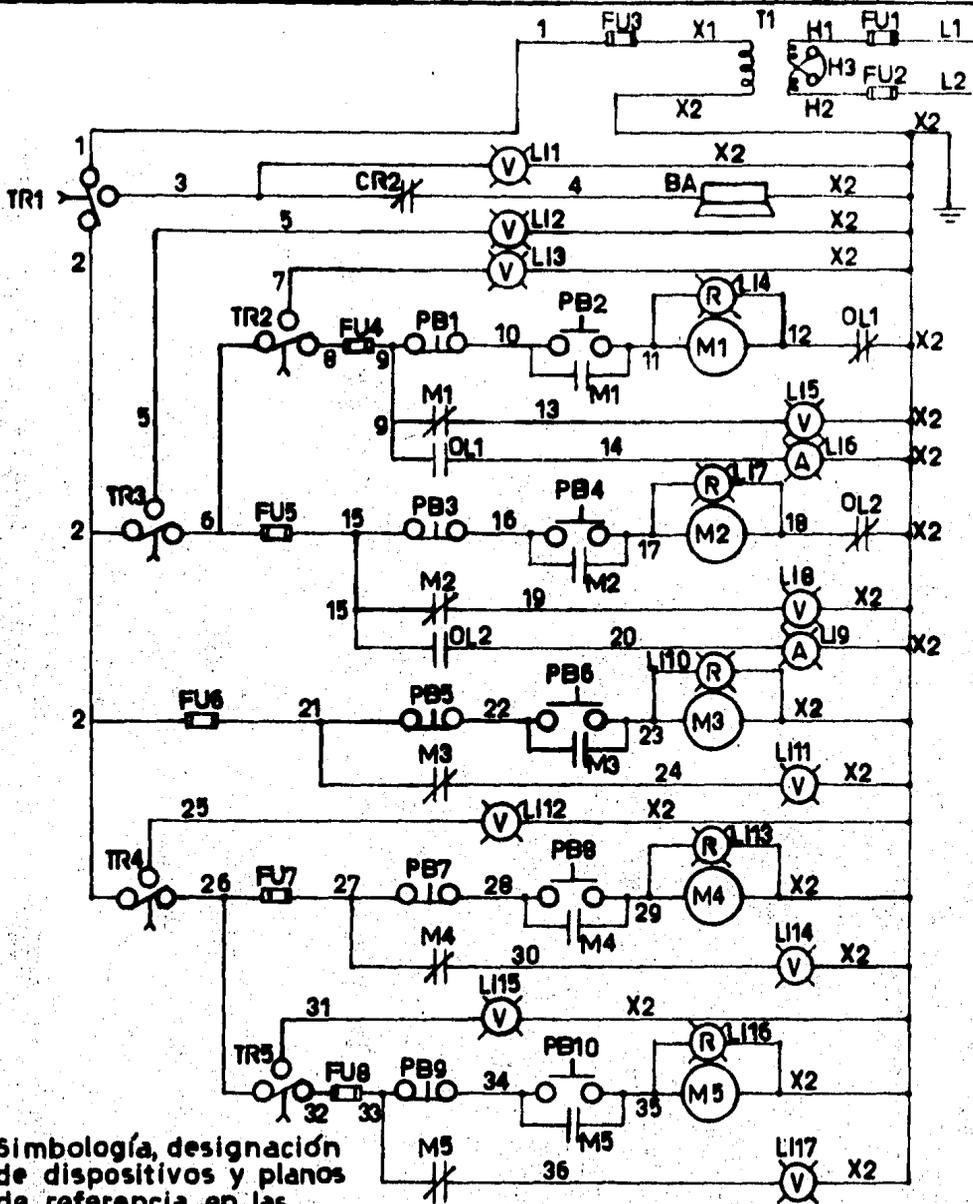
5.- Un circuito de control común, constituido por: conductores, un transformador de control, que alimentará a las bobinas de los contactores y que a su vez es alimentado desde dos de los buses; tres fusibles, que protegerán los conductores activos tanto del lado primario (dos conductores), como del secundario (un conductor) del transformador; botones de operación, lámparas de señalización, y una bocina de alarma.

Todos los dispositivos anteriores están interconectados, según una disposición tipo escalera, a través de contactos pertenecientes a los contactores, relevadores térmicos de sobrecarga, relevadores de tiempo y relevadores de control. Estos dos últimos tipos de relevadores forman parte del circuito de simulación de fallas y protección por relevadores de sobrecorriente, mencionado a continuación.

6.- Circuito de simulación de fallas y protección por relevadores de sobrecorriente, constituido por: conductores, un transformador de control, que se alimenta desde dos de los buses; tres fusibles, para la protección de los conductores tanto del lado primario (dos conductores activos), como del secundario (un conductor activo) del transformador; botones de operación, cinco relevadores de tiempo, y dos relevadores de control. Todos estos dispositivos están interconectados, según una disposición tipo escalera, a través de contactos de los mismos relevadores. Este circuito tiene por objeto simular fallas a tierra en ciertos puntos del sistema y verificar, en forma aproximada, el papel que desempeñan en la protección del sistema, en coordinación con los otros dispositivos de protección (interruptores termomagnéticos y relevadores térmicos de sobrecarga), los relevadores reales de sobrecorriente.

Todos los circuitos y equipos, anteriormente mencionados, estarán dispuestos en una consola o gabinete que cuenta, en la parte frontal y para visualizar el funcionamiento del sistema de distribución simulado, con un bus mímico con su adecuada señalización.

2.2).- DIAGRAMAS BASICOS Y DE ALAMBRADO.- A continuación, - en este mismo capítulo, se encuentran los diagramas básicos de conexiones eléctricas (unifilar y elementales), diagramas de alambrado del tablero, tablas de símbolos e identificación de dispositivos eléctricos; los cálculos eléctricos y especificaciones para los buses, soportes y aisladores; y el diagrama y aspectos más importantes del bus mímico. El diseño eléctrico y especificaciones de los demás componentes (circuitos derivados, de control, de medición y de simulación de fallas), se tratarán en el capítulo tres.



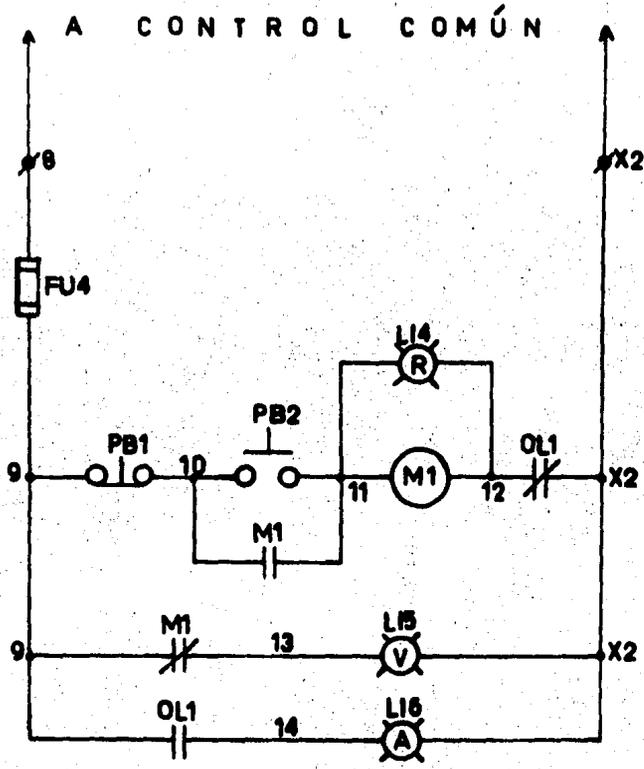
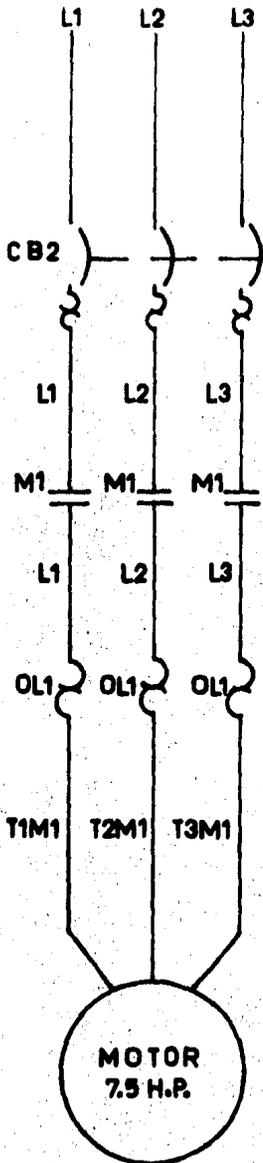
Simbología, designación de dispositivos y planos de referencia en las tablas 2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN | PL. 02

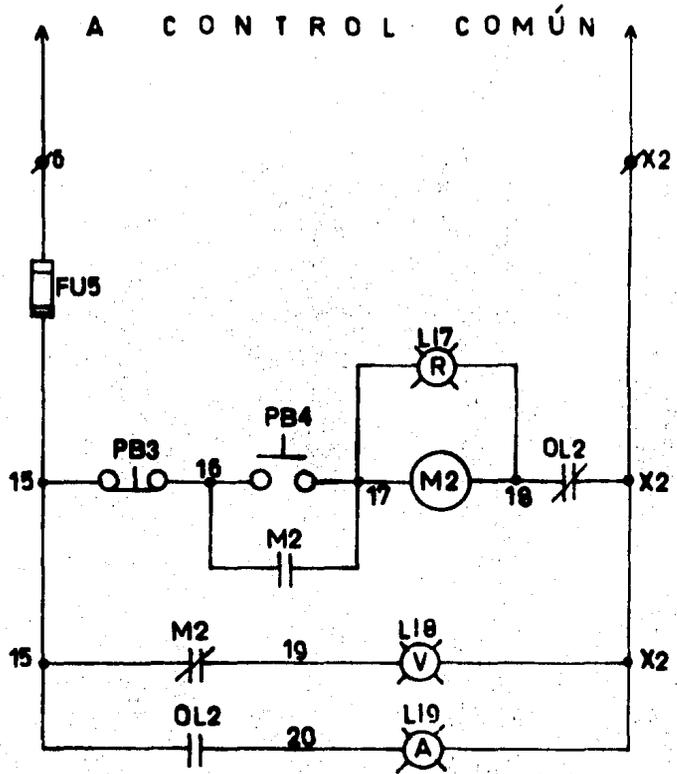
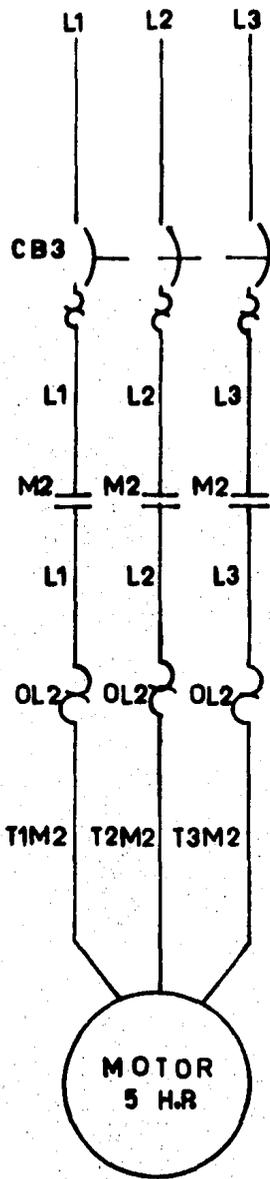
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA ELEMENTAL DEL CIRCUITO DE CONTROL COMÚN



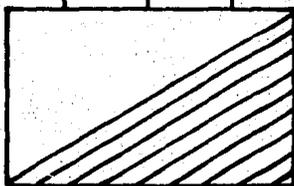
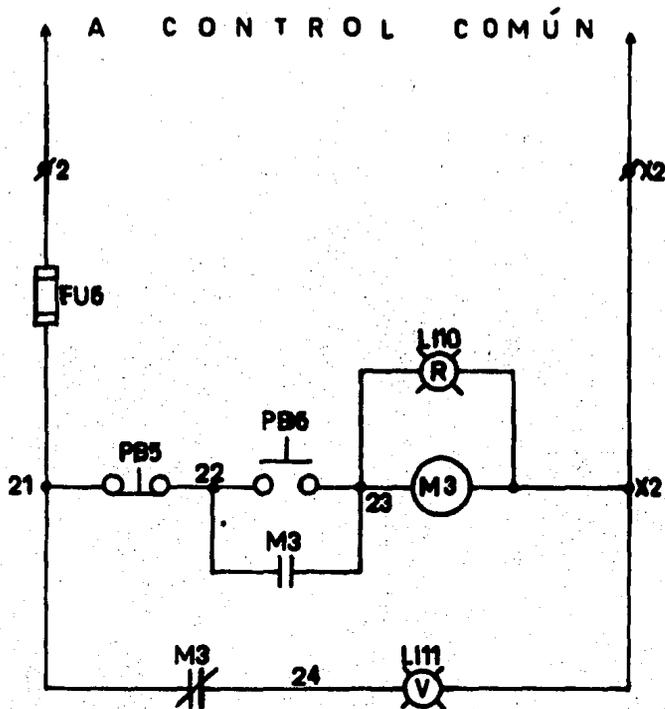
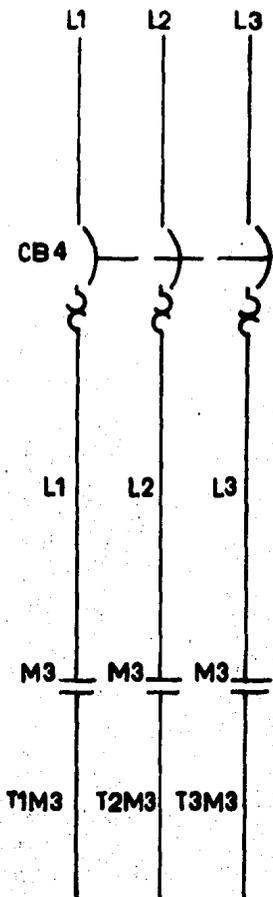
Simbología, designación de dispositivos y planos de referencia en las tablas 2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM		Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN		PL. 03	
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN			
DIAGRAMA ELEMENTAL DEL ARRANCADOR DEL MOTOR DE 7.5 H.P.			



Simbología, designación de dispositivos y planos de referencia en las tablas 2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 04
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	
DIAGRAMA ELEMENTAL DEL ARRANCADOR DEL MOTOR DE 5 H.P.	



1.8 KW

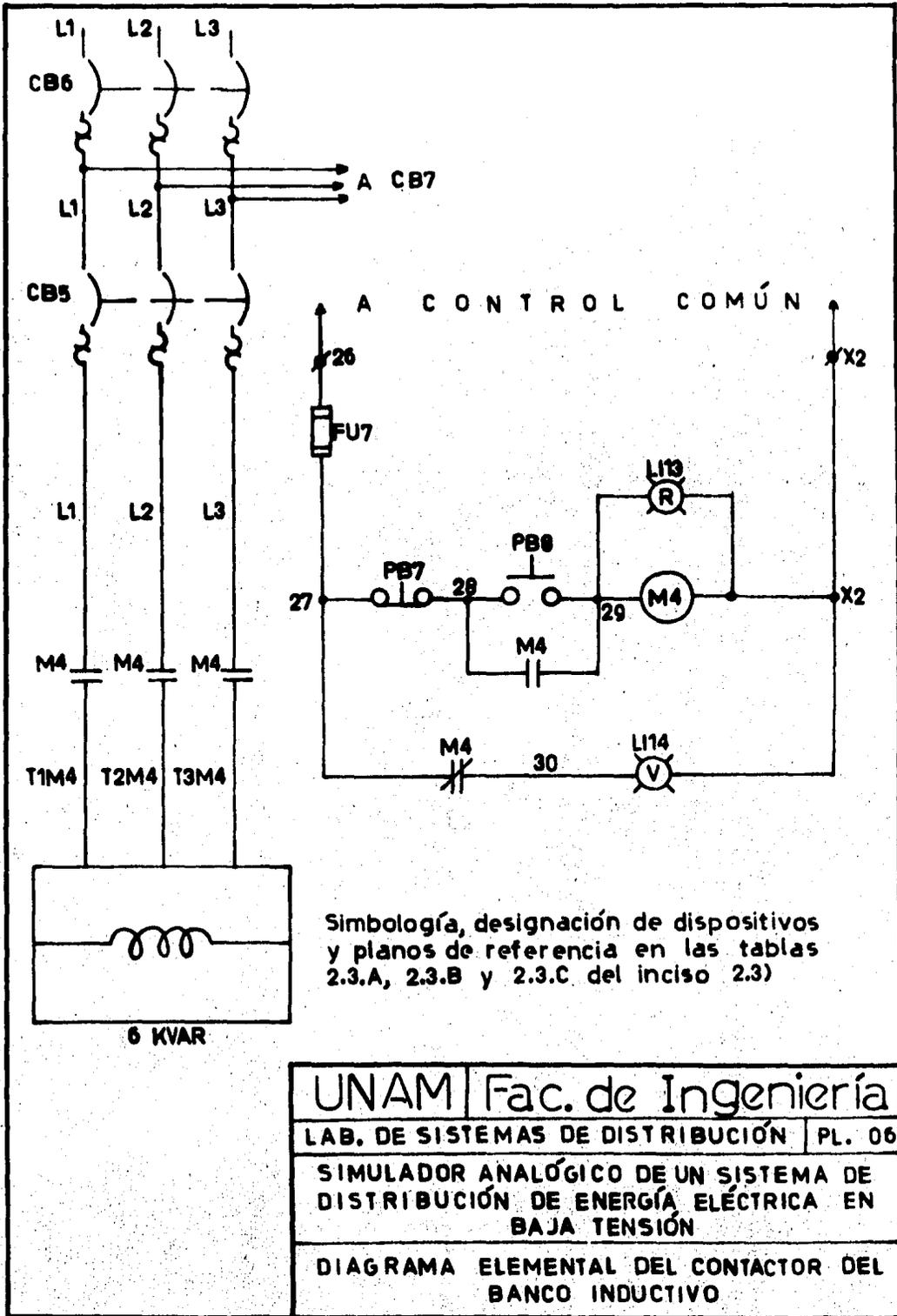
Simbología, designación de dispositivos y planos de referencia en las tablas 2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

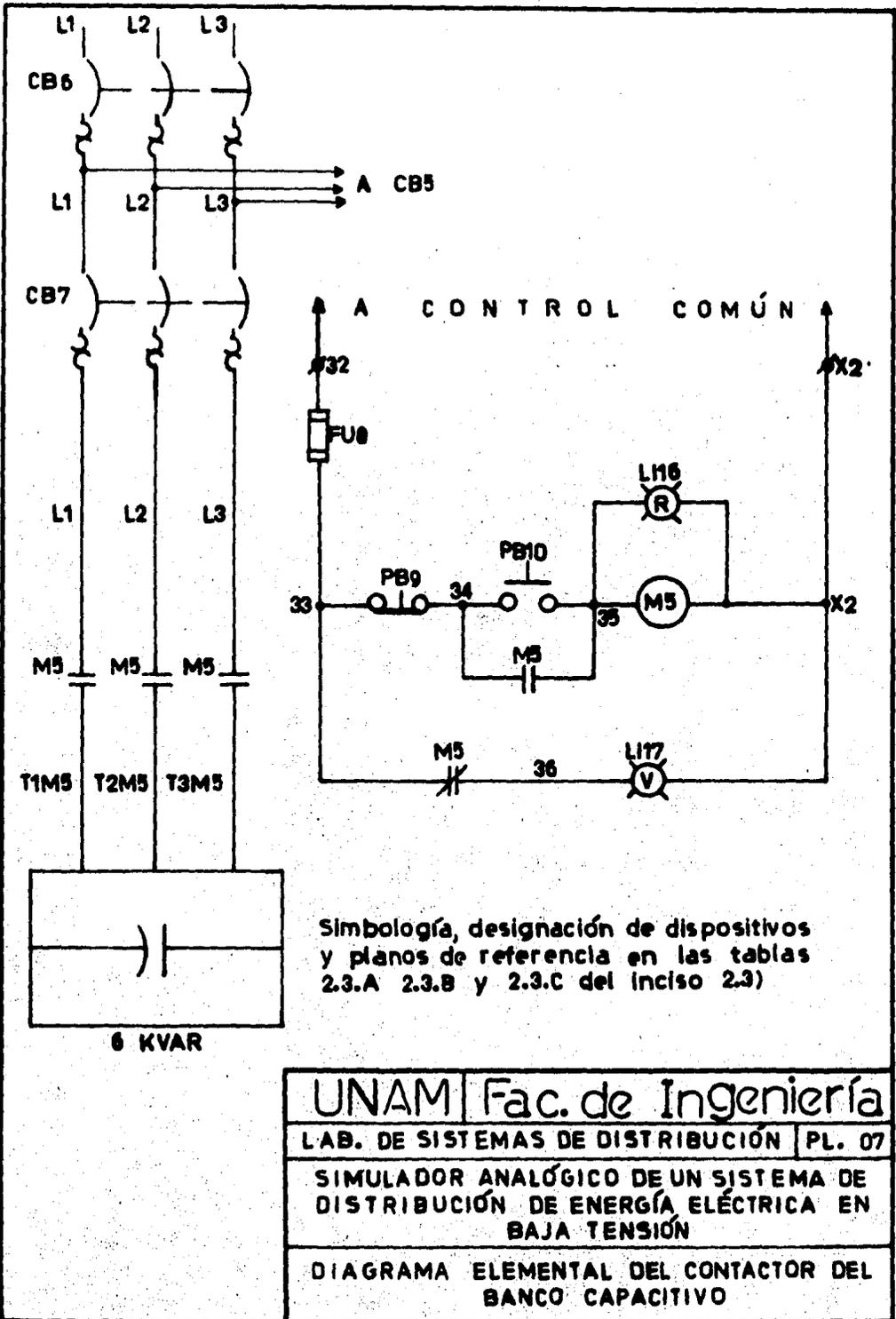
UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN | PL. 05

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA ELEMENTAL DEL CONTACTOR DEL TABLERO DE ALUMBRADO





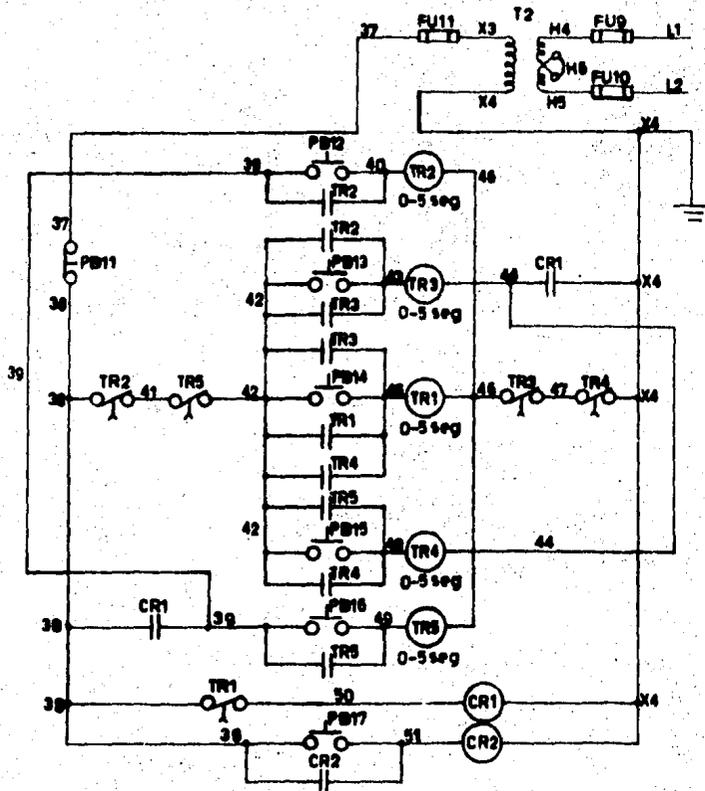
Simbología, designación de dispositivos y planos de referencia en las tablas 2.3.A 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN | PL. 07

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA ELEMENTAL DEL CONTACTOR DEL BANCO CAPACITIVO



Simbología, designación de dispositivos / planos de referencia en las tablas 2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

CUADRO DE SIMULACIÓN DE FALLAS
(Ver diagrama del bus mfmico, plano No.14)

Falla a simular	Relvador simulado a dispararse	Ajuste de tiempo de los relevadores TR (en seg)					Condiciones de operación de los (50/51) simulados
		TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	
1	(50 / 51) ₁	0	*	*	*	*	Normales
	(50 / 51) ₂	5	0	5	*	*	Normales
2	(50 / 51) ₃	5	5	0	*	*	Anormales
	(50 / 51) ₁	0	5	5	*	*	Anormales
3	(50 / 51) ₃	5	*	0	*	*	Normales
	(50 / 51) ₁	0	*	5	*	*	Anormales
4	(50 / 51) ₄	5	*	*	0	*	Normales
	(50 / 51) ₁	0	*	*	5	*	Anormales
5	(50 / 51) ₅	5	*	*	5	0	Normales
	(50 / 51) ₄	5	*	*	0	5	Anormales
	(50 / 51) ₁	0	*	*	5	5	Anormales

* No importa su ajuste de tiempo.

UNAM Fac. de Ingeniería

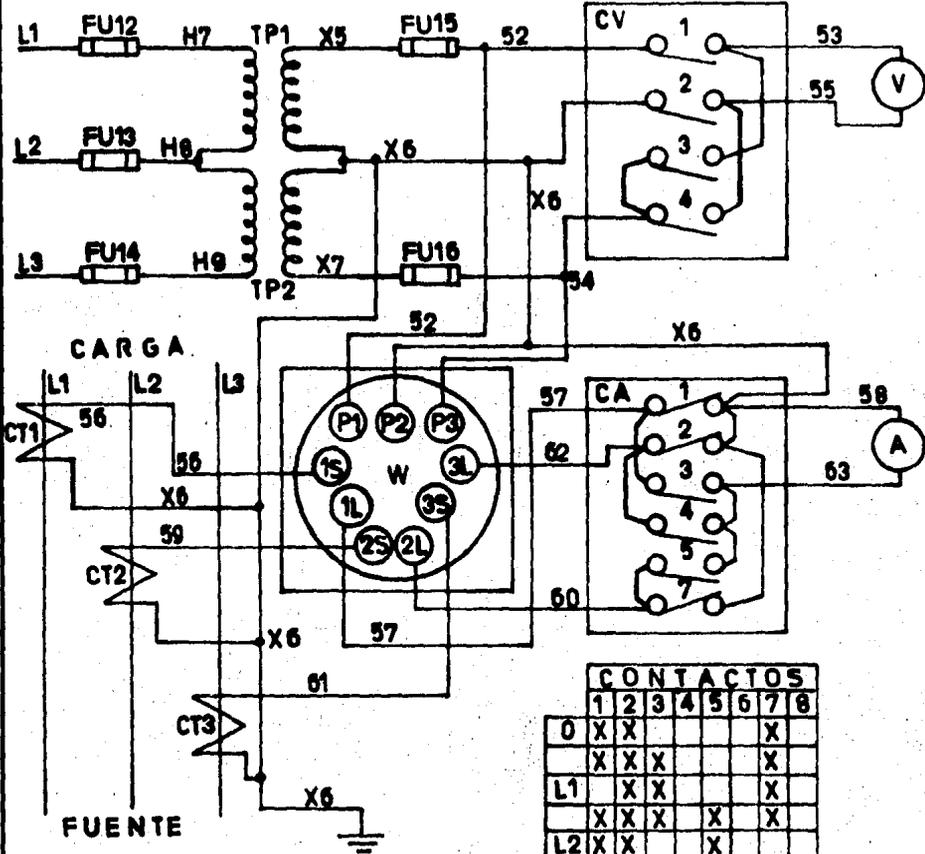
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PL. 00

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSÓN

DIAGRAMA ELEMENTAL DEL CIRCUITO DE SIMULACIÓN DE FALLAS Y PROTECCIÓN POR MEDIO DE RELEVADORES (50 / 51)

CONTACTOS				
	1	2	3	4
0				
L1L2	X	X		
L2L3		X	X	
L3L1	X			X

X-CERRADO

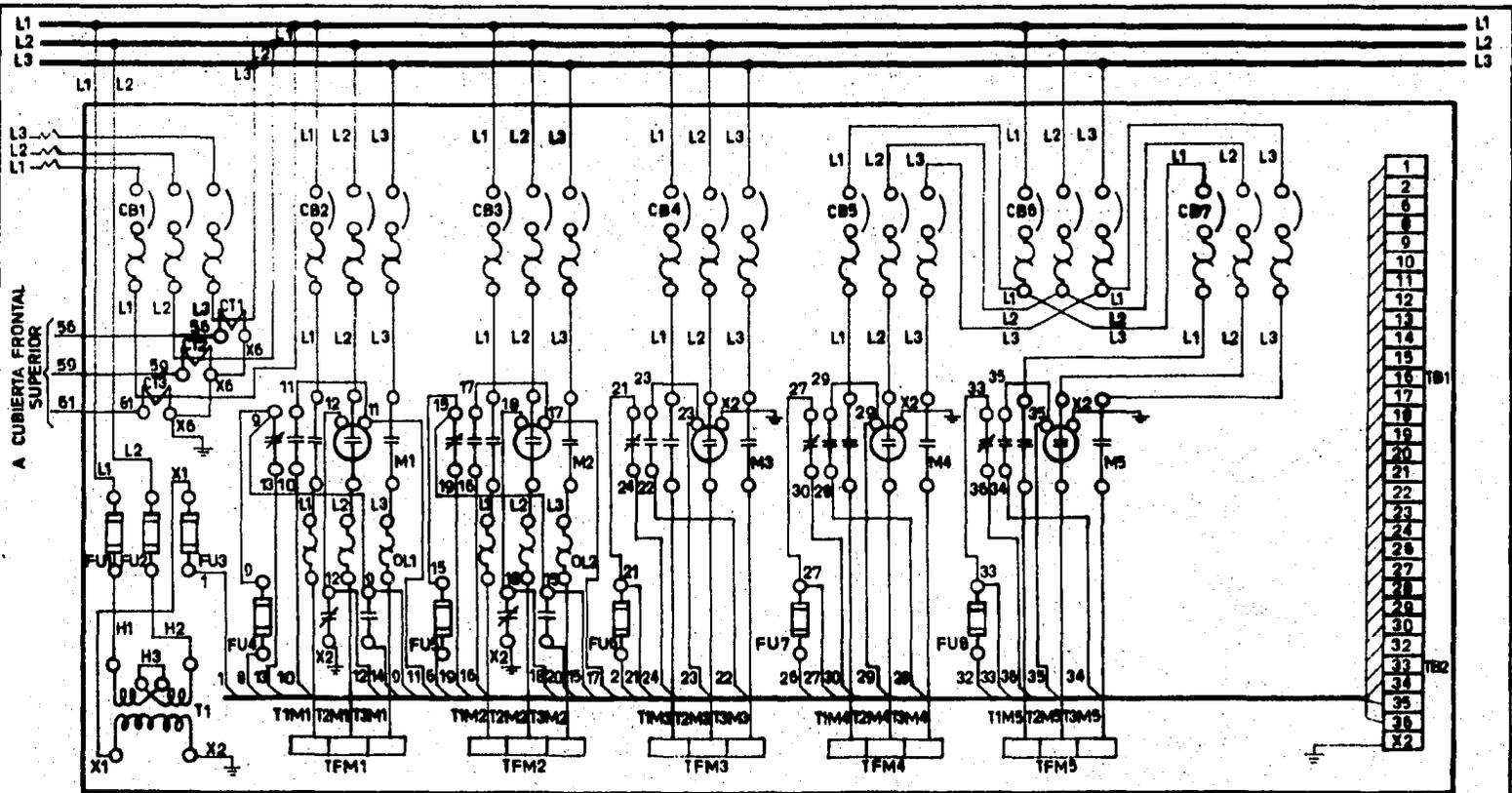


CONTACTOS								
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	X	X						X
	X	X	X					X
L1	X	X						X
	X	X	X		X			X
L2	X	X			X			
	X	X		X	X			X
L3	X			X				X
	X	X		X				X

X-CERRADO

Simbología, designación de dispositivos y planos de referencia en las tablas 2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM		Fac. de Ingeniería	
LAB DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN			PL. 09
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN			
DIAGRAMA ELEMENTAL DEL CIRCUITO DE MEDICIÓN			



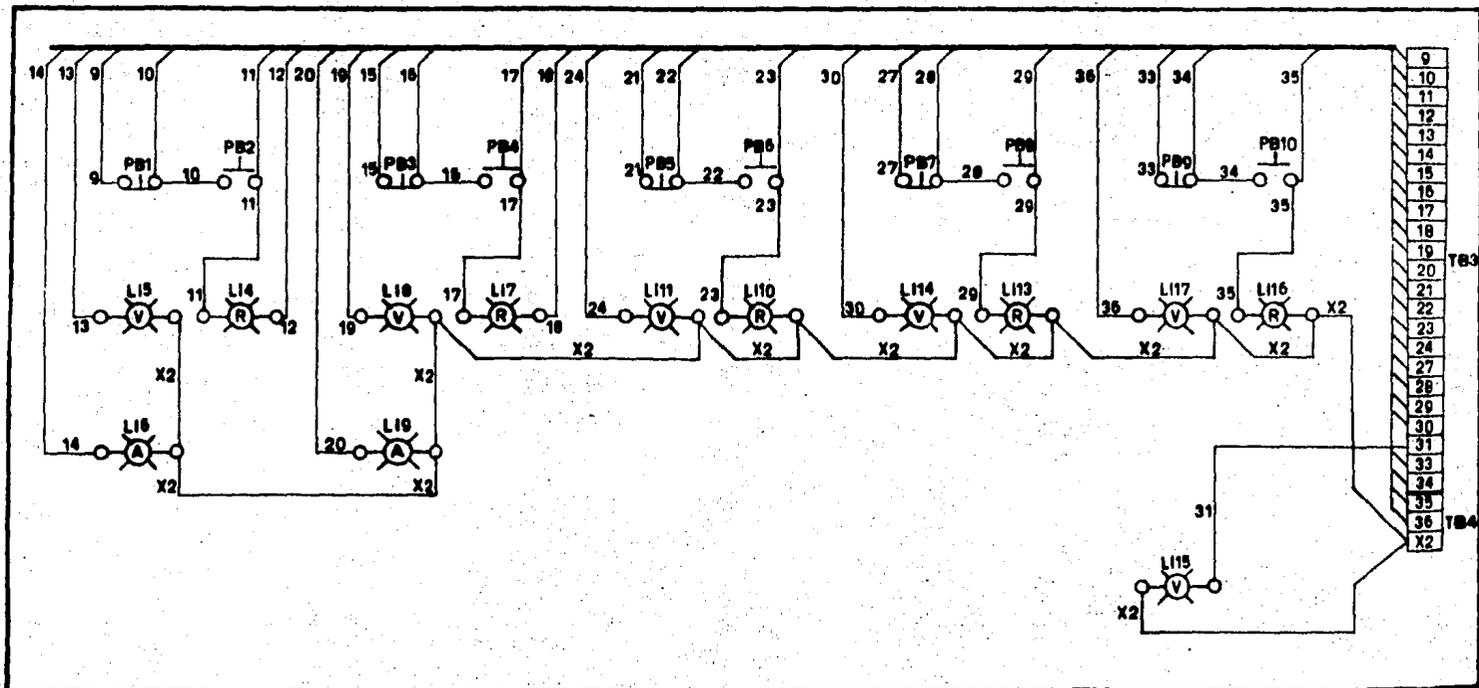
Simbología, designación de dispositivos
y planos de referencia en las tablas
2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PL. 10

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA DE ALAMBRAO DEL PANEL
FRONTAL INFERIOR



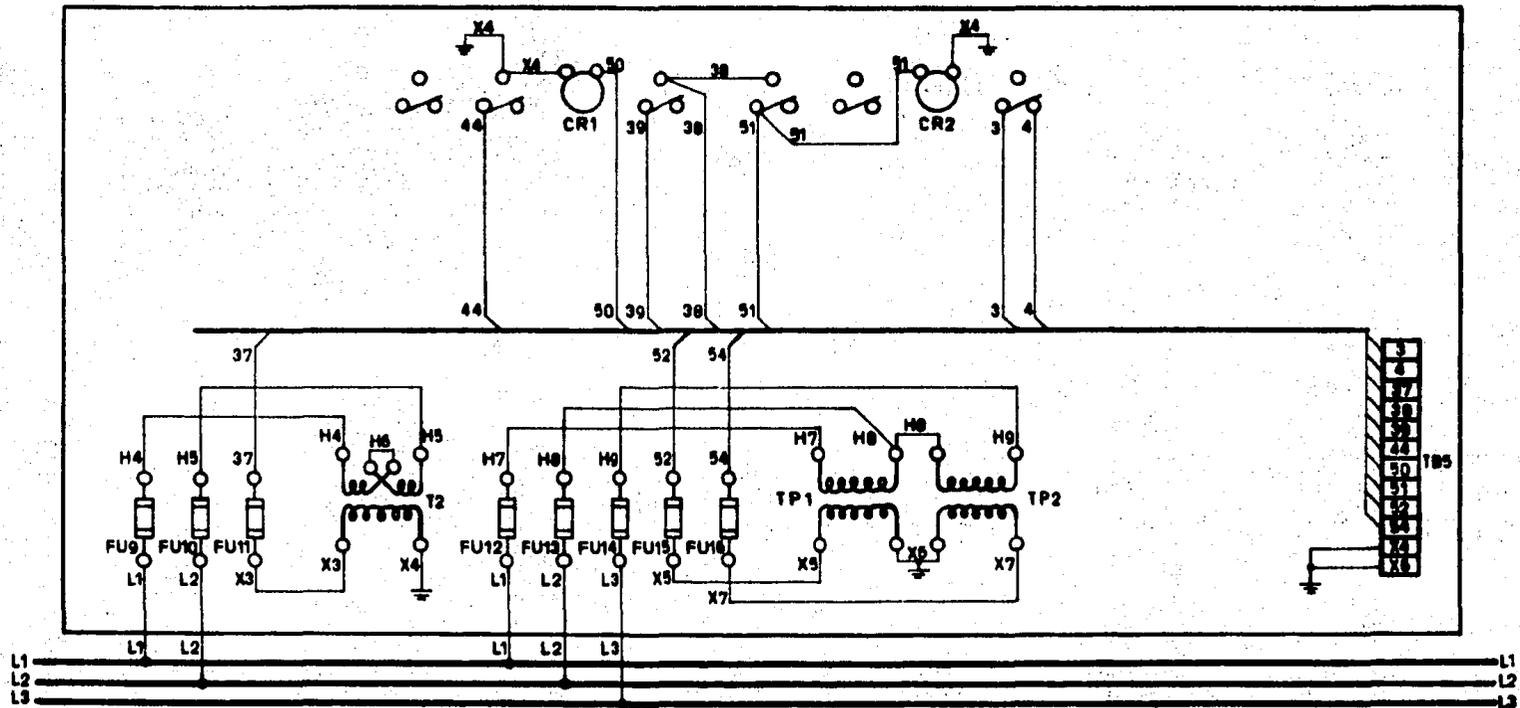
Simbología, designación de dispositivos
y planos de referencia en las tablas
2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PL. 11

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA DE ALAMBRAO DE LA CUBIERTA
FRONTAL MEDIA - VISTA POSTERIOR (PARTES
SUPERIOR E INFERIOR INVERTIDAS)



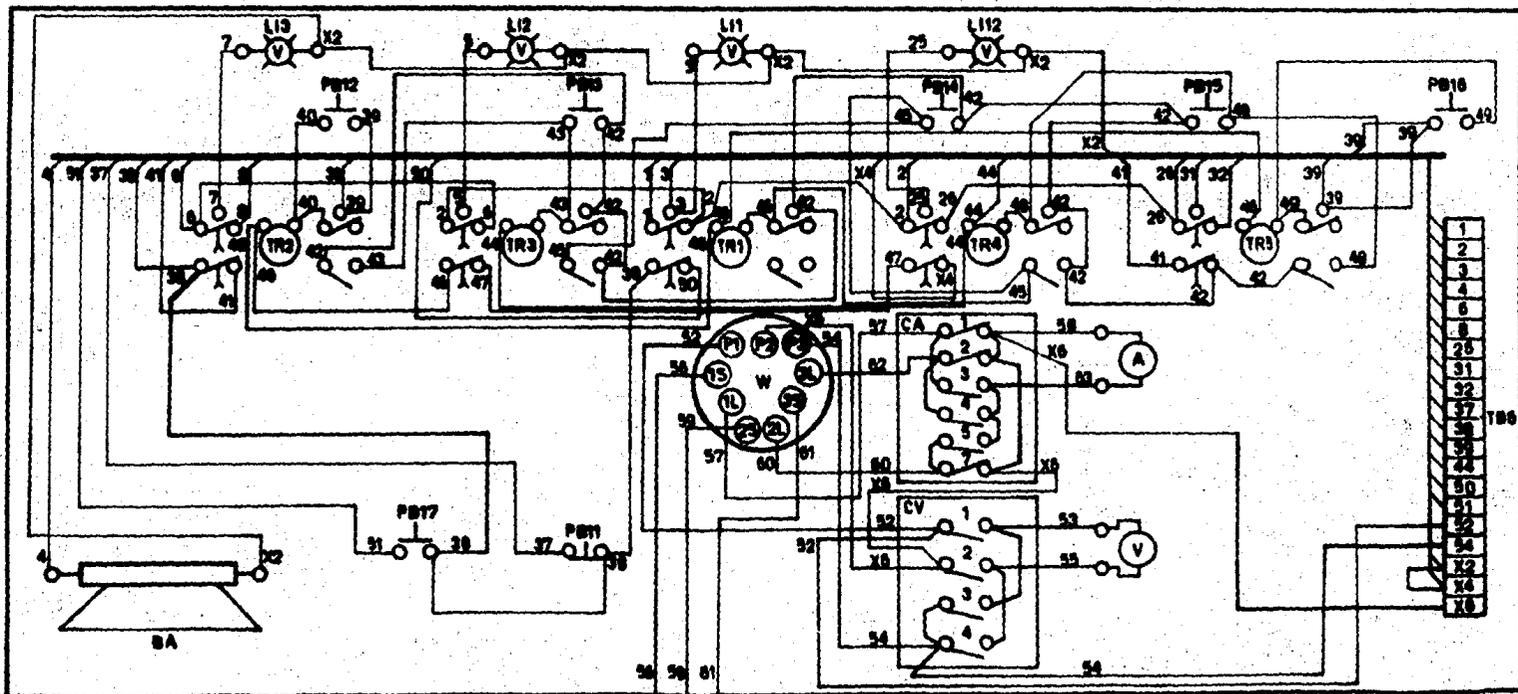
Simbología, designación de dispositivos
y planos de referencia en las tablas
2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN | PL. 12

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA DE ALAMBRADO. DEL PANEL
FRONTAL SUPERIOR



A TRANSFORMADORES
DE CORRIENTE

Simbología, designación de dispositivos
y planos de referencia en las tablas
2.3.A, 2.3.B y 2.3.C del inciso 2.3)

UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PL. 13

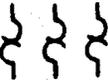
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
BAJA TENSIÓN

DIAGRAMA DE ALAMBRADO DE LA CUBIERTA
FRONTAL SUPERIOR-VISTA POSTERIOR (PARTES
SUPERIOR E INFERIOR INVERTIDAS)

2.3).- TABLAS.- A continuación, se muestran las tablas con los símbolos empleados en los diagramas elementales del inciso 2.2); de igual forma, se presentan las tablas con las designaciones de los diferentes dispositivos y los planos de referencia.

TABLA 2.3.A

SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LOS DIAGRAMAS ELEMENTALES

	Interrupor termomagnético de tres polos.
	Relvador de sobrecarga
	Fusible.
	Bobina magnética.
	Contacto normalmente abierto.
	Contacto normalmente abierto.
	Contacto normalmente cerrado.
	Contacto normalmente cerrado.
	Contacto normalmente abierto, con retardo de tiempo en el cierre.
	Contacto normalmente cerrado, con retardo de tiempo en la apertura.
	Botón de oprimir, normalmente abierto.
	Botón de oprimir, normalmente cerrado.



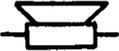
Transformador de potencial.



Transformador de corriente.



Lámpara indicadora (R = Roja, V = Verde, A = Ambar).



Bocina de alarma.



Vóltmetro.

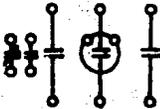


Amperímetro.

SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LOS DIAGRAMAS DE ALAMBRAO



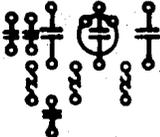
Interruptor termomagnético de tres polos.



Contactador.



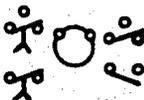
Relvador de sobrecarga.



Arrancador.



Relvador de control.



Relvador de tiempo.



Tablilla de terminales.

TABLA 2.3.B

DESIGNACION DE DISPOSITIVOS

- A Ampérmetro.
- BA Bocina de alarma.
- CA Conmutador de ampérmetro.
- CB Interruptor de circuito.
- CE Relevador de control.
- CT Transformador de corriente.
- CV Conmutador de voltmetro.
- FU Fusible.
- LI Lámpara indicadora.
- M Contactor principal.
- OL Relevador de sobrecarga.
- PB Botón de oprimir.
- T Transformador de control.
- TB Tablilla de terminales.
- TFM Tablilla de terminales de fuerza correspondiente al con-
tactor M.
- TP Transformador de potencial.
- TR Relevador de tiempo.
- V Voltmetro.
- W Wátmetro.

TABLA 2.3.C

PLANOS DE REFERENCIA

Plano O1 - Diagrama unifilar.

Plano O2 - Diagrama elemental del circuito de control común.

- Plano 03 - Diagrama elemental del arrancador del motor de - 7.5 H.P.
- Plano 04 - Diagrama elemental del arrancador del motor de - 5 H.P.
- Plano 05 - Diagrama elemental del contactor del tablero de alumbrado.
- Plano 06 - Diagrama elemental del contactor del banco inductivo.
- Plano 07 - Diagrama elemental del contactor del banco capacitivo.
- Plano 08 - Diagrama elemental del circuito de simulación de fallas y protección por medio de relevadores desobrecorriente.
- Plano 09 - Diagrama elemental del circuito de medición.
- Plano 10 - Diagrama de alambrado del panel frontal inferior.
- Plano 11 - Diagrama de alambrado de la cubierta frontal media.
- Plano 12 - Diagrama de alambrado del panel frontal superior.
- Plano 13 - Diagrama de alambrado de la cubierta frontal superior.

2.4).- BUS MIMICO.- El bus mímico es una representación del sistema de distribución de energía eléctrica a simular en el tablero, análogo al diagrama unifilar pero diferente a éste en algunos aspectos. Una de las diferencias más importantes estriba en el hecho de que el bus mímico permite visualizar el flujo de energía eléctrica a través del sistema así como sus efectos en el mismo. Asimismo, por medio del bus mímico se pueden apreciar las funciones que se realizan en una red de distribución de energía eléctrica real, como son las siguientes:

- a) Medición.
- b) Protección.
- c) Control.
- d) Señalización.

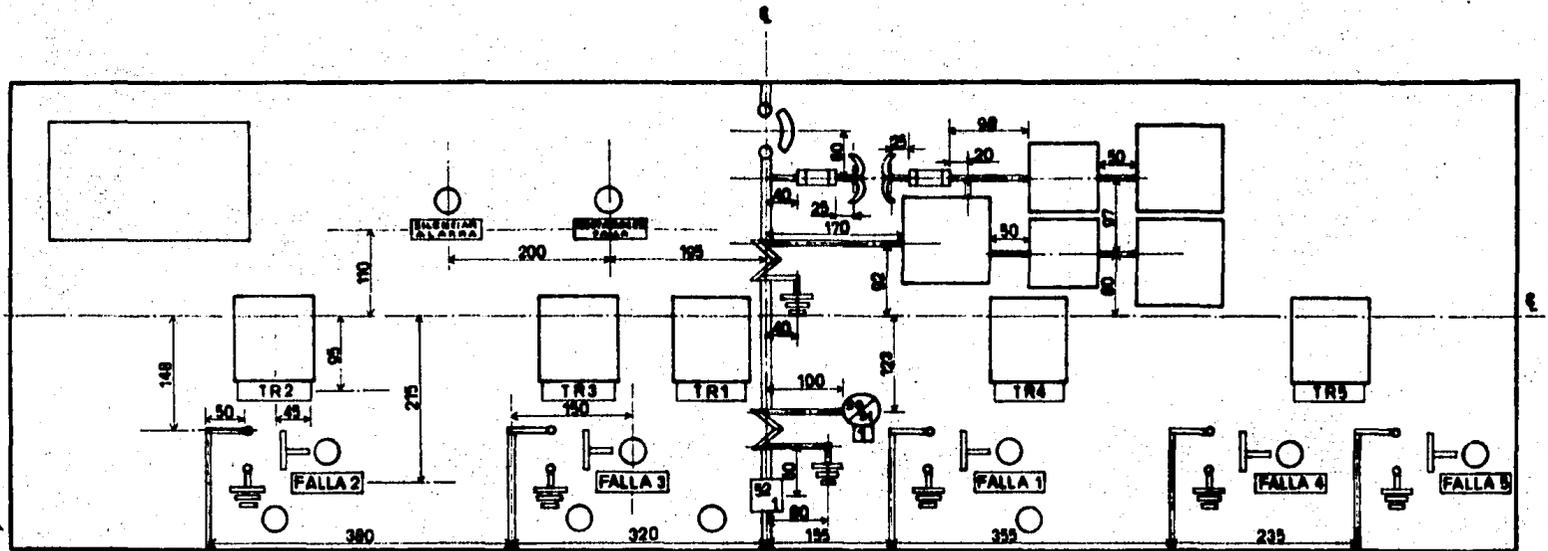
Para la realización de lo anterior, son necesarios ---

ciertos equipos y dispositivos eléctricos, tales como botones de operación, lámparas de señalización, aparatos de medición, alarmas y relevadores.

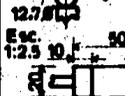
Como se puede apreciar en el diagrama del bus mímico, inserto seguidamente, es muy parecido al diagrama unifilar. Las lámparas de señalización indicarán cuando un equipo esté operando o no, sea éste una carga u otro dispositivo. -- Los relevadores instantáneos de sobrecorriente (50/51) y -- los interruptores correspondientes, que aparecen en el bus mímico representados por sus símbolos, son simulados, en la realidad, por un circuito de simulación de fallas y protección por relevadores de sobrecorriente, en el que intervienen cinco relevadores de tiempo y dos relevadores de control. Los relevadores de tiempo están colocados encima de los símbolos de los interruptores (52), cada uno sobre el interruptor correspondiente al relevador (50/51) simulado, excepto el que corresponde al interruptor colocado en el alimentador principal, que estará colocado encima de él pero ligeramente del lado izquierdo.

Los botones de operación en el bus mímico permiten conectar las cargas ó desconectarlas; simular las fallas a tierra representadas en el bus mímico; restablecer el servicio de energía eléctrica después de reparada la supuesta falla; y silenciar la bocina de alarma, la cual sonará cuando se abra el interruptor principal accionado por el relevador (50/51) correspondiente (en forma simulada), a causa de una supuesta falla a tierra o de una mala coordinación de los demás relevadores (50/51) simulados.

Como se puede advertir, en el diagrama del bus mímico se especifican, tanto el material y dimensiones del bus, como los colores de las líneas y dispositivos representados.

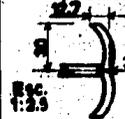


Material: Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/2" de ancho.

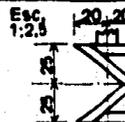


Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

Material: Micarta sandwich (LAMICOID) blanca con fondo negro, de 1/16" de espesor.

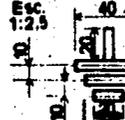


Material: Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

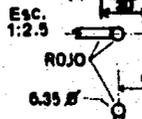


Material: Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/2" de ancho.

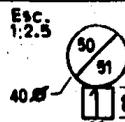


Material: Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

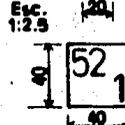


Material: Acrílico rojo de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

NEGRO



Material: Micarta sandwich (LAMICOID) amarilla con fondo negro. (1/16" de espesor)



Material: Micarta sandwich (LAMICOID) amarilla con fondo negro.

Material de líneas:
Alimentador principal - Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/2" de ancho.

Circuito de medición - Acrílico negro de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

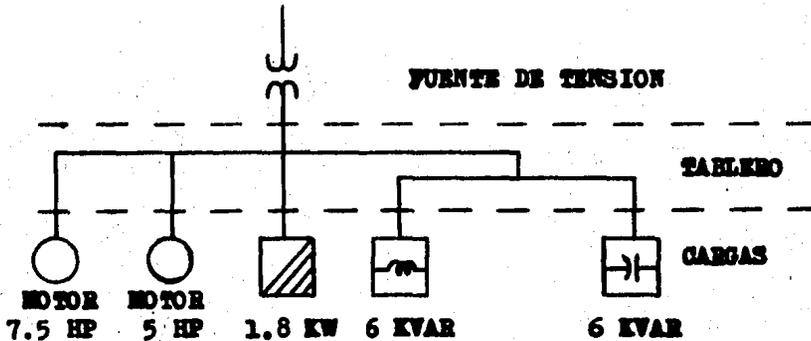
Simulación de fallas - Acrílico rojo de 1/16" de espesor por 1/4" de ancho.

Los letreros serán de micarta sandwich (LAMICOID) blanca con fondo negro, y tendrán 90 mm por 25 mm.

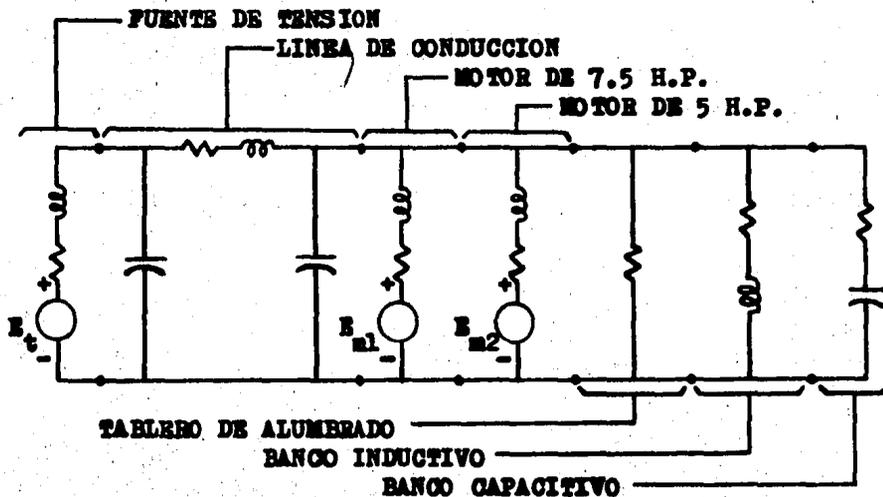
UNAM Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 14-A
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:5 Acot. en mm.
DIAGRAMA DEL BUS MÍMICO (CUBIERTA FRONTAL SUPERIOR)	

2.5).- CALCULO DE BUSES, AISLADORES Y SOPORTES.- A) Aspectos generales.- Para efectos de cálculos de fallas a tierra o cortocircuitos en los buses o barras, se puede suprimir la información relativa a los equipos de control, medición y protección en el diagrama unifilar del sistema, de tal manera que puede representarse éste último de la siguiente forma:



Si se sustituye cada componente del sistema por su circuito equivalente, se obtiene el diagrama de impedancias del sistema:



donde:

E_t = Tensión de línea a línea en el secundario del transformador.

E_{m1} = Fuerza electromotriz generada por el motor de 7.5 H.P.

E_{m2} = Fuerza electromotriz generada por el motor de 5 H.P.

La línea de conducción (cable) se ha representado por su modelo (pi), con la resistencia total y la reactancia inductiva de la línea en su rama en serie, y la capacidad total al neutro dividida entre sus ramas en paralelo. Para el cálculo de la capacidad que deben tener los buses, soportes y aisladores en fallas a tierra o cortocircuitos, se simplificará el diagrama de impedancias (que se obtiene del diagrama unifilar) teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: las resistencias, tanto de la fuente de tensión, de la línea de conducción, así como las de las cargas del sistema, se omiten, pues la reactancia inductiva de un sistema es mucho mayor que su resistencia. Las cargas que no incluyen maquinaria giratoria tienen poco efecto sobre la corriente total de la línea durante una falla, por lo que también se omiten. Si el diagrama se ha de utilizar para determinar la corriente inmediatamente después de producirse una falla, como es éste el caso, deben tenerse en cuenta los motores de inducción, con una fem generada en serie con una reactancia inductiva. También se suprimen las capacidades de las líneas de conducción (conductores).

En este caso, la fuente de tensión será el transformador que alimenta al edificio de la Facultad de Ingeniería, cuyos valores nominales son:

500 KVA

6000/220 V

IMP. 5.4%

Puesto que se usará el método de componentes simétricos para el cálculo de la corriente subtransitoria de falla, es necesario conocer las reactancias subtransitorias de secuencia positiva, de secuencia negativa y de secuencia cero, tanto del transformador, que será la fuente de tensión, de la línea de conducción desde el transformador hasta el tablero, así como de los motores, que serán las cargas. Dichos valores son los siguientes:

TRANSFORMADOR:

$$X_1 = X_2 = X_0 = 0.054 \text{ p.u. (por unidad)}$$

donde: X_1 es la reactancia de secuencia positiva; X_2 , la reactancia de secuencia negativa; y X_0 , la reactancia de secuencia cero. Se ha supuesto que el neutro del transformador está conectado directamente a tierra, es decir $X_n = 0$.

LÍNEA DE CONDUCCION:

$$X_1 = X_2 = 0.05 \text{ ohms}$$

$$X_0 = 0.175 \text{ ohms}$$

MOTOR DE 7.5 H.P.:

$$X_d'' = X_1 = 0.2 \text{ p.u.}$$

$$X_2 = 0.2 \text{ p.u.}$$

$$X_0 = 0.18 \text{ p.u.}$$

MOTOR DE 5 H.P.:

$$X_d'' = X_1 = 0.3 \text{ p.u.}$$

$$X_2 = 0.3 \text{ p.u.}$$

$$X_0 = 0.2 \text{ p.u.}$$

Los valores anteriores fueron tomados en base a tablas de valores típicos (del Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Corporation).

Tomando como base 500 KVA y 0.22 KV, los valores por unidad de las reactancias se obtienen utilizando la fórmula siguiente:

$$Z_{\text{nueva}} (\text{p.u.}) = Z_{\text{dada}} (\text{p.u.}) \left(\frac{KV_{\text{dados}} \text{ base}}{KV_{\text{nuevos}} \text{ base}} \right)^2 \times \left(\frac{KVA_{\text{nuevos}} \text{ base}}{KVA_{\text{dados}} \text{ base}} \right)$$

Para el motor de 7.5 H.P.:

$$X_d'' = 0.2 \times \frac{500}{7.5} = 13.33 \text{ p.u.}$$

$$X_2 = 0.2 \times \frac{500}{7.5} = 13.33 \text{ p.u.}$$

$$X_0 = 0.18 \times \frac{500}{7.5} = 12 \text{ p.u.}$$

ya que, para un motor de inducción, se cumple con mucha ---
aproximación la relación siguiente:

$$KVA = \text{CABALLOS DE POTENCIA (H.P.)}$$

y, además:

$$KV_{\text{dados}} \text{ base} = 0.22 KV = KV_{\text{nuevos}} \text{ base}$$

Para el motor de 5 H.P.:

$$X_d'' = 0.3 \times \frac{500}{5} = 30 \text{ p.u.}$$

$$X_2 = 0.3 \times \frac{500}{5} = 30 \text{ p.u.}$$

$$X_0 = 0.2 \times \frac{500}{5} = 20 \text{ p.u.}$$

Como las reactancias del transformador y de la línea -
de conducción están dadas respecto a la potencia y voltaje-
bases del sistema, no necesitan transformarse a una nueva -
base.

Para el transformador:

$$X_1 = X_2 = X_0 = 0.054 \text{ p.u.}$$

Para la línea de conducción, es necesario transformar el va

lor de su reactancia en ohms a valor por unidad:

$$\text{Impedancia base} = \frac{(\text{Tensión base en KV})^2 \times 1000}{\text{KVA base}}$$

$$Z \text{ base} = \frac{(0.22)^2 \times 1000}{500} = 0.0968 \text{ ohms}$$

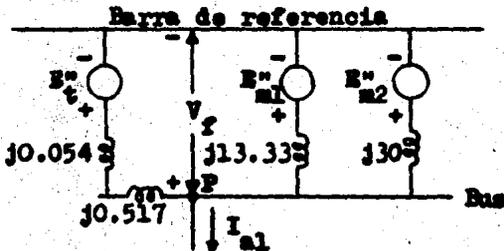
$$X_1 \text{ en p.u.} = \frac{X_1 \text{ en ohms}}{Z \text{ base}} = \frac{0.05}{0.0968} = 0.517 \text{ p.u.}$$

$$X_2 = X_1 = 0.517 \text{ p.u.}$$

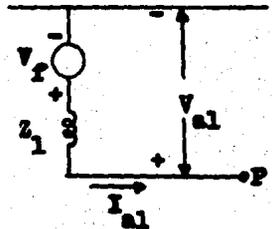
$$X_0 \text{ en p.u.} = \frac{X_0 \text{ en ohms}}{Z \text{ base}} = \frac{0.175}{0.0968} = 1.8 \text{ p.u.}$$

De acuerdo a todo lo anterior, se tienen las siguientes redes de secuencia y sus equivalentes de Thévenin respectivos (los valores son por unidad):

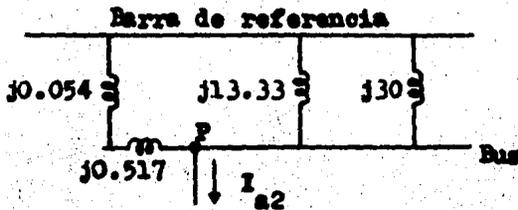
RED DE SECUENCIA POSITIVA



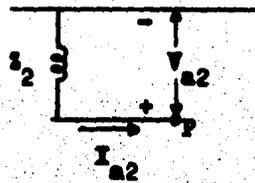
EQUIVALENTE DE THEVENIN



RED DE SECUENCIA NEGATIVA

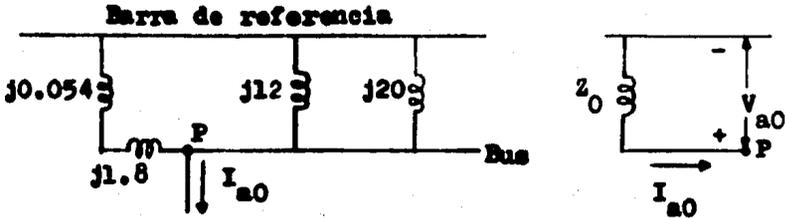


EQUIVALENTE DE THEVENIN



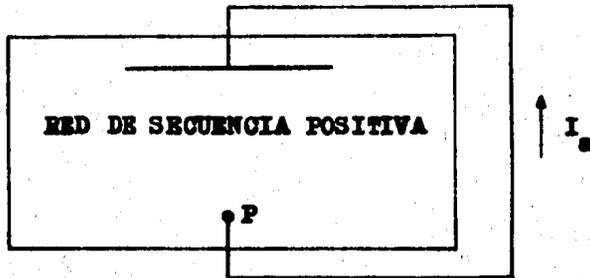
RED DE SECUENCIA CERO

EQUIVALENTE DE THEVENIN

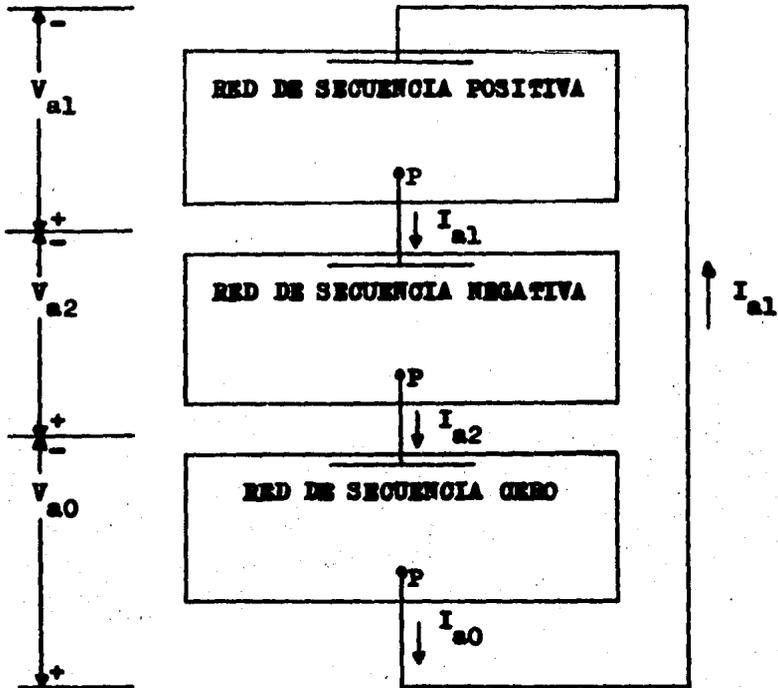


En los diagramas anteriores, P es el punto donde ocurre la falla; V_{a1} , V_{a2} y V_{a0} son los componentes simétricos de la tensión (V_a) de línea a tierra de la fase a, suponiendo que la falla acontece en ésta; I_{a1} , I_{a2} e I_{a0} son los componentes simétricos de la corriente (I_a) que sale del sistema en la falla de la fase a.

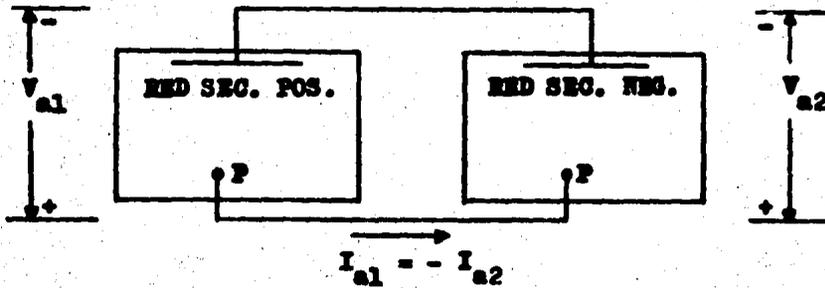
Por otra parte, las conexiones de las redes de secuencia para la simulación de varios tipos de fallas, se muestran a continuación (las redes de secuencia se indican por rectángulos, siendo P el punto donde sucede la falla).



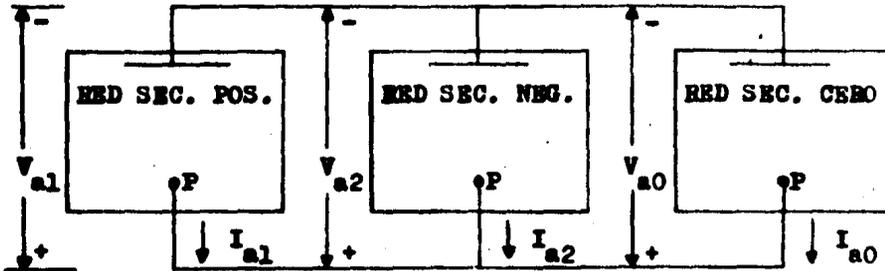
a) Falla trifásica.



b) Falla de línea simple a tierra.



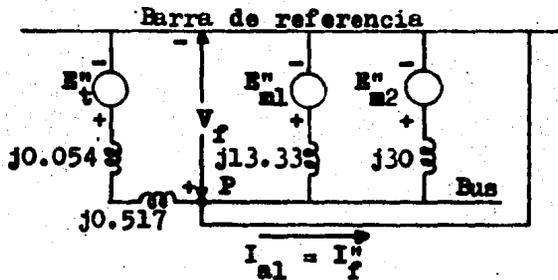
c) Falla de línea a línea.



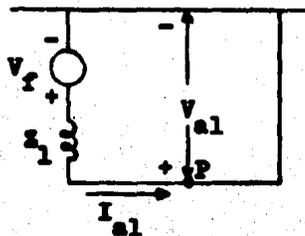
d) Falla de línea doble a tierra.

B) Cálculos de fallas.- Seguidamente, se realizan los cálculos para obtener la corriente subtransitoria en cada uno de los cuatro tipos de fallas.

a) Falla trifásica.- Se tiene la red de secuencia positiva del sistema:



donde I''_f = Corriente subtransitoria de falla. Su equivalente de Thévenin será:



Como los motores trabajan a una tensión igual a la tensión base del sistema, la tensión anterior al fallo en el punto P vale:

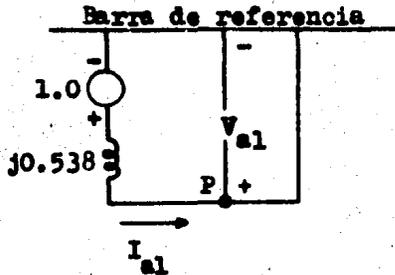
$$V_f = 1.0 \text{ p.u.}$$

Por otra parte, la impedancia equivalente de Thévenin de secuencia positiva es:

$$z_1 = \left[\frac{((j0.571)(j13.33))}{(j0.571 + j13.33)} (j30) \right] / \left[\frac{((j0.571)(j13.33))}{(j0.571 + j13.33)} + (j30) \right]$$

$$z_1 = j0.538 \text{ p.u.}$$

Por lo que el equivalente de Thévenin queda:



$$I_{al} = \frac{V_f}{z_1} = \frac{1.0}{j0.538} = -j1.859 \text{ p.u.}$$

La corriente base es:

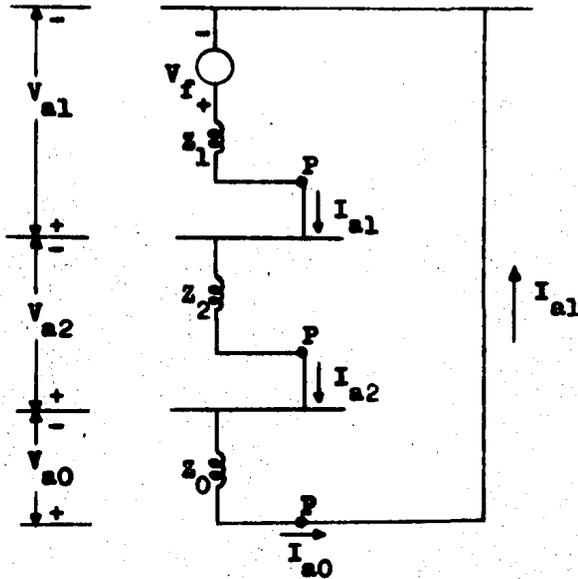
$$\frac{\text{KVA base}}{\sqrt{3} \times \text{Tensión base en KV}} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 0.22} = 1312.16 \text{ A}$$

$$I_{al} \text{ en amperes: } -j1.859 \times 1312.16 = -j2439.3 \text{ A}$$

$$V_{al} = V_f - z_1 I_{al} = 1.0 - (j0.538)(-j1.859) = 1.0 - 1.0 = 0 \text{ p.u.}$$

Por lo tanto, el valor absoluto de la corriente subtransitoria de falla es: $|I_f| = 2439.3 \text{ A}$

b) Falla de línea simple (correspondiente a la fase a) a tierra.- Se tiene la siguiente conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencias positiva, negativa y cero:



donde:

$$V_f = 1.0 \text{ p.u.}$$

$$Z_1 = Z_2 = j0.538 \text{ p.u.}$$

$$Z_0 = \left[\frac{((j1.854)(j12))}{j1.854 + j12} (j20) \right] / \left[\frac{((j1.854)(j12))}{j1.854 + j12} + (j20) \right]$$

$$Z_0 = j1.487 \text{ p.u.}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1.0}{j0.538 + j0.538 + j1.487} = \frac{1.0}{j2.563}$$

$$I_{a1} = -j0.39 \text{ p.u.}$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 3I_{a1} = -j1.17 \text{ p.u.}$$

$$I_{a0} \text{ en amperes: } - j1.17 \times 1312.16 = - j1535.22 \text{ A}$$

$$I_b = I_c = 0$$

$$V_{a0} = - I_{a1} Z_0 = - (- j0.39)(j1.487) = - 0.58 \text{ p.u.}$$

$$V_{a1} = V_f - I_{a1} Z_1 = 1.0 - (- j0.39)(j0.538) = 0.79 \text{ p.u.}$$

$$V_{a2} = - I_{a1} Z_2 = - (- j0.39)(j0.538) = - 0.21 \text{ p.u.}$$

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 0$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} = (1/\underline{240^\circ})(0.79) + (1/\underline{120^\circ})(- 0.21) + (- 0.58) = 1.23/\underline{-135^\circ} \text{ p.u.}$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} = (1/\underline{120^\circ})(0.79) + (1/\underline{240^\circ})(- 0.21) + (- 0.58) = 1.23/\underline{-135^\circ} \text{ p.u.}$$

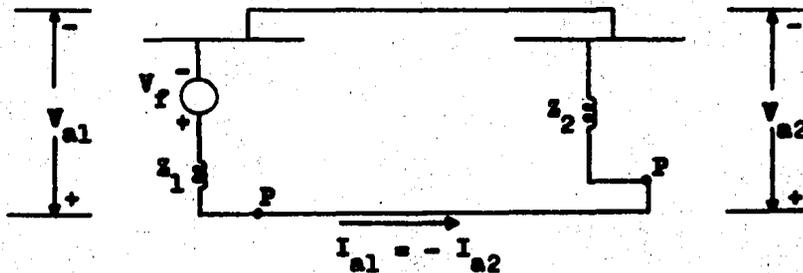
$$V_{ab} = V_a - V_b = 0 - (1.23/\underline{-135^\circ}) = - 1.23/\underline{-135^\circ} \text{ p.u.}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = (1.23/\underline{-135^\circ}) - (1.23/\underline{135^\circ}) = - j1.74 \text{ p.u.}$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = (1.23/\underline{135^\circ}) - 0 = 1.23/\underline{135^\circ} \text{ p.u.}$$

Por tanto, el valor absoluto de la corriente subtransitoria de falla es: $|I_f| = 1535.22 \text{ A}$

c) Falla de línea a línea (entre las fases b y c).- Se tiene la siguiente conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencias positiva y negativa:



donde:

$$V_f = 1.0 \text{ p.u.}$$

$$Z_1 = Z_2 = j0.538 \text{ p.u.}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} = \frac{1.0}{2(j0.538)} = - j0.93 \text{ p.u.}$$

$$I_{a2} = -I_{a1} = j0.93 \text{ p.u.}$$

$$I_{a0} = 0$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = -j0.93 + j0.93 = 0$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} = (1/240^\circ)(0.93/-90^\circ) + (1/120^\circ)(0.93/90^\circ) = -1.61/0^\circ \text{ p.u.}$$

$$I_c = -I_b = 1.61/0^\circ \text{ p.u.}$$

Valor de I_b en amperes: $-1.61 \times 1312.16 = -2112.57 \text{ A}$

Valor de I_c en amperes: $I_c = 2112.57 \text{ A}$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_f - I_{a1} Z_1 = 1.0 - (-j0.93)(j0.538) = 0.5 \text{ p.u.}$$

$$V_{a0} = 0$$

$$V_a = V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} = 0.5 + 0.5 = 1.0 \text{ p.u.}$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} = (1/240^\circ)(0.5) + (1/120^\circ)(0.5) = 0.5/240^\circ + 0.5/120^\circ = -0.5 \text{ p.u.}$$

$$V_c = V_b = -0.5 \text{ p.u.}$$

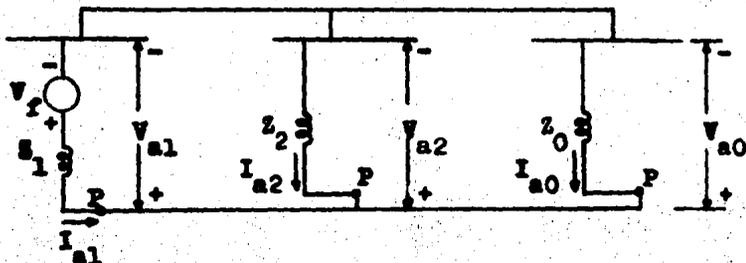
$$V_{ab} = V_a - V_b = 1.0 - (-0.5) = 1.5 \text{ p.u.}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = -0.5 - (-0.5) = 0$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = -0.5 - 1.0 = -1.5 \text{ p.u.}$$

Por lo tanto, el valor absoluto de la corriente subtransitoria de falla es: $|I_f| = 2112.57 \text{ A}$

d) Falla de línea doble (fases b y c) a tierra.- Se tiene la siguiente conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencias positiva, negativa y cero:



donde:

$$V_f = 1.0 \text{ p.u.}$$

$$Z_1 = Z_2 = j0.538 \text{ p.u.}$$

$$Z_0 = j1.487 \text{ p.u.}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + (Z_2 Z_0)/(Z_2 + Z_0)} = \frac{1.0}{j0.538 + j0.395}$$

$$I_{a1} = -j1.07 \text{ p.u.}$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} = V_f - I_{a1} Z_1 = 1.0 - (-j1.07)(j0.538) = 1.0 - 0.58 = 0.42 \text{ p.u.}$$

$$I_{a2} = -\frac{V_{a2}}{Z_2} = -\frac{0.42}{j0.538} = j0.79 \text{ p.u.}$$

$$I_{a0} = -\frac{V_{a0}}{Z_0} = -\frac{0.42}{j1.487} = j0.28 \text{ p.u.}$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = -j1.07 + j0.79 + j0.28 = 0$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} = (1/240^\circ)(1.07/-90^\circ) + (1/120^\circ)(0.79/90^\circ) + 0.28/90^\circ = 1.66/165^\circ \text{ p.u.}$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} = (1/120^\circ)(1.07/-90^\circ) + (1/240^\circ)(0.79/90^\circ) + 0.28/90^\circ = 1.66/15^\circ \text{ p.u.}$$

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 3V_{a1} = 3 \times 0.42 = 1.26 \text{ p.u.}$$

$$V_b = V_c = 0$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = 1.26 - 0 = 1.26 \text{ p.u.}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = 0$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = 0 - 1.26 = -1.26 \text{ p.u.}$$

Corriente subtransitoria de falla: $I_f'' = I_b + I_c = j0.84 \text{ p.u.}$

Valor de I_f'' en amperes: $j0.84 \times 1312.16 = j1102.21 \text{ A}$

Por tanto, el valor absoluto de la corriente subtransitoria de falla es: $|I_f''| = 1102.21 \text{ A}$

Resumiendo:

a) Falla trifásica.

Corriente subtransitoria de falla: $I_f'' = 2439.3 / -90^\circ$ A

b) Falla de línea simple a tierra.

Corriente subtransitoria de falla: $I_f'' = 1535.22 / -90^\circ$ A

c) Falla de línea a línea.

Corriente subtransitoria de falla: $I_f'' = 2112.57 / 0^\circ$ A

d) Falla de línea doble a tierra.

Corriente subtransitoria de falla: $I_f'' = 1102.21 / 90^\circ$ A

G) Especificación de buses, aisladores y soportes.- Conforme a los resultados de los cálculos del inciso anterior, se deduce que los buses y soportes deben tener una capacidad al esfuerzo por cortocircuito de 2500 amperes asimétricos.- Se seleccionaron tres buses de cobre de sección rectangular con las siguientes medidas:

Longitud : 1975.8 mm (6' - 5²⁵/₃₂")

Espesor : 6.3 mm (1/4")

Altura : 50.8 mm (2")

Estos buses y soportes resistirán satisfactoriamente la corriente de falla máxima (para el caso de una falla trifásica); además, para una corriente nominal de 100 amperes en el circuito alimentador, al tener los buses un área transversal de 0.5 in², trabajándolos a una densidad de corriente de 2000 A/in² soportarán una corriente máxima nominal de 1000 amperes.

Con el objeto de permitir una óptima disipación de calor entre los buses, y reducir en lo posible el efecto de proximidad entre los mismos, que ocasiona un incremento de la resistencia efectiva, se colocarán los buses con una separación entre ellos de 3", tomando en cuenta las dimensiones del gabinete.

Los esfuerzos por cortocircuito en buses y soportes no dependen solamente de la corriente de falla y las distancias entre buses, sino también de las características vibratorias de las estructuras de los buses. Los soportes responden selectivamente a diferentes frecuencias, y el máximo esfuerzo en los soportes generalmente difiere de la máxima fuerza originada por la corriente de cortocircuito.

Es posible reducir los esfuerzos en buses y soportes de las siguientes maneras:

- a) Reduciendo la magnitud de la corriente de cortocircuito.
- b) Incrementando la separación entre los buses.
- c) Evitando claros entre soportes demasiado largos en aquellos arreglos de buses en que éstos están enfrentados uno a otro, ya que los esfuerzos longitudinales se incrementan rápidamente de acuerdo a las longitudes de los claros, en buses flexibles.
- d) Proveyendo una distribución uniforme de corriente por medio de transposición, reduciendo así el efecto de proximidad.
- e) Fijando los buses en los soportes para evitar desplazamientos.

Puesto que no podemos reducir la corriente de cortocircuito, y la separación entre los buses ya ha sido establecida, de acuerdo al tamaño del gabinete y buscando disminuir lo más posible el efecto de proximidad, únicamente nos quedan los recursos de reducir los claros en los buses y asegurar éstos muy bien en los extremos para reducir los esfuerzos en los mismos. De lo anterior, y conforme a estándares establecidos, se determina el uso de dos soportes dobles, uno a cada extremo de los buses, y dos aisladores simples para mantener separados los buses, colocados a una distan-

cia de $L/3$ y $(2/3)L$ a partir de cualquier extremo de los buses, siendo L la longitud total de los mismos. Tanto los soportes como los aisladores serán de material CELODON, no higroscópico, de $1/4"$ de grueso; estarán asegurados por medio de tornillos de $1/4" - \emptyset$ y 20 H/P.

El bus de conexión a tierra será de las siguientes dimensiones:

Longitud : 1975.8 mm ($6' - 5^{25}/32"$)

Espesor : 3.2 mm ($1/8"$)

Altura : 25.4 mm ($1"$)

Estará soportado por tres ángulos de lámina estirada - en frío (cold rolled), calibre 12, sujetos al canal de anclaje por medio de tornillos de $1/4" - \emptyset$ y 20 H/P; dicho bus, además, tendrá acopladas dos zapatas (marca MERCURY), para conectarse al sistema de tierra del laboratorio.

CAPITULO TRES

ESTUDIO, CALCULO Y ESPECIFICACION DE EQUIPO ELECTRICO

- 3.1).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE LOS MOTORES.
- 3.2).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DEL TABLERO DE ALUMBRADO.
- 3.3).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DE LA CARGA INDUCTIVA.
- 3.4).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DE LA CARGA CAPACITIVA.
- 3.5).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL ALIMENTADOR QUE ABASTECE A LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE LAS CARGAS INDUCTIVA Y CAPACITIVA.
- 3.6).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO ALIMENTADOR PRINCIPAL.
- 3.7).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL COMUN.
- 3.8).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE SIMULACION DE FALLAS A TIERRA Y PROTECCION POR MEDIO DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.
- 3.9).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE MEDICION.
- 3.10).- LISTA DE COMPONENTES ELECTRICOS Y MARCAS COMERCIALES PROPUESTAS.

3.1).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE LOS MOTORES.- A) Conductores:

a) Motor de 7.5 H.P.- La corriente a plena carga de un motor de inducción trifásico está dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{746(\text{H.P.})}{(\sqrt{3})(\eta)(V_f)(\text{f.p.})}$$

donde:

H.P. = Caballos de potencia del motor.

η = Eficiencia del motor.

V_f = Voltaje entre fases.

f.p. = Factor de potencia.

Dando valores, y teniendo en cuenta un bajo factor de potencia para el peor de los casos:

H.P. = 7.5

V_f = 220 V

η = 0.85

f.p. = 0.73

$$I = \frac{746(7.5)}{(\sqrt{3})(0.85)(220)(0.73)} = 23.66 \text{ A}$$

De acuerdo al valor anterior, y considerando tablas de CONDUCTORES, se eligió un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANIL-NYLON, que tiene una capacidad de conducción de corriente de 25 A. Ahora bien, la norma 403.14 de las NTIE (NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS, edición 1981) especifica lo siguiente: Los conductores de un circuito derivado que alimente un solo motor deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que el 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

Así, se tiene:

$$1.25(I) = 1.25(23.66) = 29.57 \text{ A}$$

Como el conductor de calibre 14 A.W.G., seleccionado anteriormente, no cumple con la norma 403.14 de las NTIE-81 se elige el conductor con capacidad inmediata superior; este conductor es el de calibre 12 A.W.G., con capacidad de conducción de corriente de 30 A (con aislamiento de VINANEL NYLON).

b) Motor de 5 H.P.- Calculando la corriente a plena carga del motor de 5 H.P., considerando también un bajo factor de potencia, correspondiente al peor de los casos:

$$I = \frac{746(\text{H.P.})}{(\sqrt{3})(\eta)(V_p)(f.p.)} = \frac{746(5)}{(\sqrt{3})(0.85)(220)(0.73)} = 15.77 \text{ A}$$

Calibre del conductor seleccionado, según tablas de CONDU-MEX: 14 A.W.G., con aislamiento de VINANEL-NYLON y capacidad de conducción de corriente de 25 A.

Verificando que tenga una capacidad de conducción de corriente no menor que el 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor:

$$1.25(I) = 1.25(15.77) = 19.71 \text{ A}$$

Por lo que el calibre seleccionado es correcto, ya que su capacidad es mayor que este último valor.

B) Interruptores termomagnéticos:

a) Generalidades.- Según el Código Eléctrico Nacional (NEC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, y según las NTIE-81, se define un interruptor automático como "un dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito por medios no automáticos, y también, para abrir automáticamente dicho circuito cuando se presenta una sobrecarga predeterminada de corriente sin que sufra ningún daño, siempre que dicha sobrecarga esté dentro del intervalo de funcionamiento del interruptor para el cual ha sido diseñado".

Un interruptor termomagnético es un interruptor automático y está compuesto por un interruptor manual y un elemento protector contra sobrecorriente; su función primordial es parecida a la de una combinación de interruptor y fusible.- En esencia, consiste en una banda bimetalica perfectamente-calibrada, similar a las empleadas en los termostatos; si pasa demasiada corriente a través de ella, se calienta y se curva, abriendo así unos contactos e interrumpiendo el circuito.

Además de la banda bimetalica, accionada por el calor-generado, estos interruptores poseen un dispositivo magnético (bobina) que abre el interruptor instantáneamente en caso de cortocircuito. En realidad, un interruptor termomagnético no es más que un interruptor que se abre por si solo - en caso de sobrecarga.

Lo mismo que los fusibles, los interruptores termomagnéticos son capaces de soportar un 110 % de su carga nominal en forma indefinida sin dispararse. La mayor parte de los interruptores termomagnéticos soportan un 150 % de su carga nominal por espacio de, aproximadamente, un minuto; - un 200 % durante alrededor de 20 segundos, y un 300 % durante 5 segundos aproximadamente, suficiente tiempo para soportar la elevada corriente demandada en el arranque de un motor. Los interruptores termomagnéticos se distinguen por su forma de conectarse a las barras colectoras de los tableros de distribución o centros de carga, pudiendo ser:

- 1).- Tipo de enchufar.
- 2).- Tipo de atornillar.

Por su capacidad máxima en amperes, en condiciones normales, y por su número de polos, se clasifican como sigue:

<u>DE UN POLO</u>	<u>DE DOS POLOS</u>	<u>DE TRES POLOS</u>	<u>DE TRES POLOS</u>
1 x 15 A	2 x 15 A	3 x 15 A	3 x 175 A
1 x 20 A	2 x 20 A	3 x 20 A	3 x 200 A
1 x 30 A	2 x 30 A	3 x 30 A	3 x 225 A
1 x 40 A	2 x 40 A	3 x 40 A	3 x 250 A
1 x 50 A	2 x 50 A	3 x 50 A	3 x 300 A
	2 x 70 A	3 x 70 A	3 x 350 A
		3 x 100 A	3 x 400 A
		3 x 125 A	3 x 500 A
		3 x 150 A	3 x 600 A

b) Selección de los interruptores termomagnéticos.- De acuerdo a la norma 403.35 de las NTFE-81, el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado para un solo motor (en este caso un interruptor termomagnético), debe ser capaz de soportar la corriente de arranque, pero su capacidad o ajuste no debe ser mayor del 400 por ciento de la corriente a plena carga del motor. También, de acuerdo a la norma 403.72 de las mismas NTFE-81, se establece que el medio de desconexión de un motor del circuito alimentador (en este caso es el mismo interruptor termomagnético) debe tener capacidad para conducir continuamente por lo menos 115 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

Por otra parte, la capacidad máxima de la protección contra sobrecorriente depende del tipo de motor, del tipo de protección contra sobrecorriente instalado y del tipo de arrancador utilizado. La tabla 430-152 del NNEC (Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) que se transcribe a continuación, especifica la capacidad -

máxima, expresada como porcentaje de la corriente a plena carga del motor, de los diferentes dispositivos de protección de circuitos derivados de motores, como lo son los fusibles de tiempo retrasado (no se funden con sobrecargas grandes y breves, pero sí con pequeñas sobrecargas continuas, e instantáneamente en caso de cortocircuito), los fusibles de tiempo no retrasado (se funden, tanto con sobrecargas grandes y breves como con sobrecargas pequeñas y continuas, e instantáneamente en caso de cortocircuito), y los interruptores de disparo instantáneo e interruptores de disparo retardado (interruptores automáticos).

TABLA 430-152 DEL NEC
CAPACIDAD MAXIMA O REGIMEN DE LOS DISPOSITIVOS PROTECTORES
PARA CIRCUITOS DERIVADOS DE MOTORES

Tipo de motor	Porcentaje de corriente a plena carga			
	Fusible sin retraso de tiempo	Fusible con retraso de tiempo	Interruptor de disparo instantáneo	Interruptor de disparo retardado
Todos los tipos de corriente monofásica:				
Sin letra de código ...	300	175	700	250
Todos los motores de CA monofásica y polifásica, de jaula de ardilla y sincrónicos con arranque de resistor o reactor a pleno voltaje:				
Sin letra de código ...	300	175	700	250
Letras de código P a V.	300	175	700	250
Letras de código B a E.	250	175	700	200
Letra de código A	150	150	700	150

Todos los motores de jaula de ardilla y síncronos de CA con arranque por autotransformador:

No más de 30 amperes				
Sin letra de código ..	250	175	700	200
Más de 30 amperes				
Sin letra de código ..	200	175	700	200
Letras de código F a V	250	175	700	200
Letras de código B a E	200	175	700	200
Letra de código A	150	150	700	150
De jaula de ardilla por alta reactancia:				
No más de 30 amperes				
Sin letra de código ..	250	175	700	250
Más de 30 amperes				
Sin letra de código ..	200	175	700	200
Rotor bobinado:				
Sin letra de código ...	150	150	700	150
Corriente directa (voltaje constante):				
No más de 50 H.P.				
Sin letra de código ..	150	150	250	150
Más de 50 H.P.				
Sin letra de código ..	150	150	175	150

Nota - Para entender el significado de las letras de código es necesario consultar la tabla 403.3 (b) de las NTE-81, - transcrita a continuación, en la cual se especifican las letras de código para indicar los KVA por H.P. de los motores con rotor bloqueado (condición que también se cumple en el arranque).

TABLA 403.3 (b) de las NTE-81

LETRAS DE CLAVE PARA INDICAR LOS KVA POR H.P. DE LOS MOTORES CON ROTOR BLOQUEADO

Letra de clave	KVA por H.P. con rotor bloqueado	Letra de clave	KVA por H.P. con rotor bloqueado
A	0 - 3.14	L	9.0 - 9.99

B	3.15 - 3.54	M	10.0 - 11.19
C	3.55 - 3.99	N	11.2 - 12.49
D	4.0 - 4.49	P	12.5 - 13.99
E	4.5 - 4.99	R	14.0 - 15.99
F	5.0 - 5.59	S	16.0 - 17.99
G	5.6 - 6.29	T	18.0 - 19.99
H	6.3 - 7.09	U	20.0 - 22.39
J	7.1 - 7.99	V	22.4 - y más
K	8.0 - 8.99		

En términos generales, a mayor capacidad del motor, menor corriente a rotor bloqueado por H.P. Así, se tiene que en los motores trifásicos a 60 Hz y 1800 r.p.m., los de 1 H.P. en casi todas las marcas llevan la letra L; los de 2 H.P. la letra K; los de 5 H.P., la letra H; los de 7.5 y 10 H.P. la G, y los de 15 a 100 H.P. llevan la letra F.

b.1) Motor de 7.5 H.P.- En este caso, para el motor de 7.5 H.P. (letra de código G), con una corriente a plena carga de 23 A (para un bajo factor de potencia de 0.73), se tiene que la capacidad máxima del interruptor termomagnético debe ser de un 250 % de la corriente a plena carga, o sea, de 57.5 A. Por otra parte, el interruptor debe soportar la elevada corriente demandada en el arranque del motor. Esta corriente se calcula tomando en cuenta la letra de código del motor, y consultando la tabla ya mencionada anteriormente (403.3 (b) de las NTIE-81). Esta tabla da los siguientes valores:

Letra de código	KVA por H.P. con rotor bloqueado
G	5.6 - 6.29

Tomando el mayor valor dado (que nos da la mayor corriente de arranque posible), se tiene:

2.29 KVA/H.P. con rotor bloqueado (o en el arranque)

Para 7.5 H.P. del motor, se tiene:

(6.29 KVA/H.P.)(7.5 H.P.) = 47.175 KVA en el arranque. Teniendo en cuenta que es un motor trifásico, se procede a obtener la corriente de arranque:

$$I_{\text{arranque}} = \frac{(KVA) \times 1000}{(\sqrt{3})(V_p)} = \frac{(47.175)(1000)}{(\sqrt{3})(220)} = 123.8 \text{ A}$$

Recordando que un interruptor termomagnético es capaz de soportar un 300 % de su carga nominal durante aproximadamente 5 segundos (tiempo suficiente para soportar la elevada corriente de arranque del motor), se deduce que, en el caso del motor de 7.5 H.P., el interruptor termomagnético debe ser de una capacidad mínima de $\frac{123.8 \text{ A}}{3} = 41.27 \text{ A}$

Un interruptor termomagnético con capacidad de 50 A satisface todas las condiciones y normas anteriormente mencionadas, por lo que se elige, para el motor de 7.5 H.P., un interruptor termomagnético de 3 x 50 A.

b.2) Motor de 5 H.P.- Procediendo de igual forma que para el motor de 7.5 H.P., se obtienen los siguientes valores: Capacidad máxima del interruptor termomagnético = 250 % de la corriente a plena carga = 2.5(15 amperes) (corriente a plena carga para un bajo factor de potencia de 0.73) = 37.5 amperes.

Letra de código para el motor de 5 H.P. = Letra H

La tabla 403.3 (b) de las NITE-81 da los siguientes valores:

Letra de código	KVA por H.P. con rotor bloqueado
H	6.3 - 7.09

Tomando el mayor valor dado, se obtiene:

7.09 KVA/H.P. con rotor bloqueado (o en el arranque)

Para 5 H.P. del motor, se tiene:

(7.09 KVA/H.P.)(5 H.P.) = 35.45 KVA en el arranque. Calculando la corriente de arranque:

$$I_{\text{arranque}} = \frac{(\text{KVA}) \times 1000}{(\sqrt{3})(V_p)} = \frac{(35.45)(1000)}{(\sqrt{3})(220)} = 93.03 \text{ A}$$

Calculando la capacidad mínima del interruptor termomagnético: $\frac{93.03}{3} \text{ A} = 31.01 \text{ A}$. Este es un valor muy cercano

a 30 A, por lo que un interruptor termomagnético con capacidad de 30 A satisficará todas las condiciones requeridas.

Por tanto, se elige para el motor de 5 H.P. un interruptor termomagnético de 3 x 30 A.

C) Arrancadores magnéticos:

a) Generalidades.- El arrancador o controlador de motores es, según define la norma 403.56 inciso a) de las NTE-81, cualquier interruptor o dispositivo que se use normalmente para arrancar y parar un motor.

En su forma más simple y ampliamente usada, los arrancadores magnéticos consisten de un contactor magnético de tres polos y de un relevador térmico de sobrecarga. Estos dispositivos están montados en una caja cerrada, la cual puede ser del tipo de uso general, a prueba de agua, a prueba de explosiones, o del tipo que se requiera según las condiciones de la instalación. Los botones de arranque y de paro pueden montarse directamente en la cubierta o bien por separado (control remoto). Antes de seguir hablando sobre los arrancadores, es conveniente conocer los aspectos más importantes de los dispositivos que los forman: los contactores y los relevadores térmicos de sobrecarga.

a.1) Contactores magnéticos.- Un contactor, como lo define la NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION (NEMA) de Estados Unidos, es un dispositivo para conectar o abrir re-

petidamente un circuito eléctrico de potencia. Consiste, en esencia, de una bobina que al ser energizada ocasiona que se abran o cierran determinados contactos por el movimiento de símbolos o armaduras que giran alrededor de un pivote.

Es importante conocer la diferencia entre un contactor y un relevador; éste último es, según lo define la NEMA, un dispositivo que opera debido a una variación en las condiciones de un circuito eléctrico, de tal forma que ocasiona el funcionamiento de otros dispositivos; mientras que el contactor es la unidad primaria, que realiza su función en el circuito principal de potencia.

La NEMA ha establecido valores normalizados para contactores de corriente alterna; dichos valores se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 3.1.A

VALORES NORMALIZADOS PARA CONTACTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Tamaño NEMA	Capacidad máxima en amperes	H.P. máximos a un voltaje de:		
		110 V Trifásico	220 V Trifásico	440-550 V Trifásico
00	9	3/4	1 ¹ / ₂	2
0	18	2	3	5
1	27	3	7 ¹ / ₂	10
2	45	-	15	25
3	90	-	30	50
4	135	-	50	100
5	270	-	100	200
6	540	-	200	400
7	810	-	300	600
8	1215	-	450	900
9	2250	-	800	1600

La mayoría de los contactores son construidos con los contactos totalmente encerrados, hasta el tamaño 5. Los contactores deben ser capaces de abrir el circuito de un motor a la potencia y voltaje nominales.

Además de su función regular de arrancar y parar un motor, un contactor debe ser capaz de soportar un cortocircuito el tiempo suficiente para que opere un interruptor termomagnético o un fusible. Los contactores normalizados de corriente alterna que trabajan al aire, o los que trabajan inmersos en aceite, tienen una capacidad de interrupción de 10 veces la corriente nominal del motor; dicho de otra manera, están construidos de tal forma los contactos que, al abrirse, son capaces de resistir una corriente en forma de arco eléctrico de un valor igual a 10 veces la corriente nominal del motor. Poseen una capacidad térmica de 1 segundo para 15 veces la corriente correspondiente a su valor nominal de potencia.

a.2) Relevadores térmicos de sobrecarga.- El relevador térmico de sobrecarga se encuentra en todos los arrancadores de motor en una u otra forma. Esta unidad realiza las funciones de protección contra sobrecargas y la protección contra el fallo de fase en el circuito del motor. El requisito básico para la protección contra las sobrecargas es que el motor pueda trabajar a potencia nominal pero que se impida su funcionamiento al producirse cualquier sobrecarga prolongada o importante. Cuando un motor está sobrecargado mecánicamente, su corriente aumenta, lo que a su vez hace que aumente la temperatura del propio motor y de sus devanados. También se producen aumentos de corriente y de temperatura a consecuencia de la falta de una fase en los motores polifásicos o de un defecto en los devanados del motor. Por tan

to, para conseguir una protección completa contra las sobrecargas, es necesario detectar, o medir, la corriente demandada por el motor e interrumpir el circuito si esta corriente excede del valor nominal del motor.

Existen dos tipos básicos de relevadores térmicos de sobrecarga empleados generalmente en los arrancadores de conexión directa a la línea. El primero, llamado de aleación fusible, utiliza un metal de bajo punto de fusión que retiene una rueda dentada que al ser liberada produce la abertura de un juego de contactos intercalados en el circuito de la bobina del arrancador. El segundo tipo, llamado bimetalico, utiliza una lámina bimetalica para el desenganche del mecanismo de disparo y abrir los contactos del circuito de la bobina.

Independientemente del tipo de dispositivo que se utilice, siempre está activado por un elemento calentador conectado en serie con el circuito del motor. La intensidad de la corriente necesaria para producir el funcionamiento del relevador está determinada por el tamaño del elemento calentador usado. Cuando éste es utilizado para la protección de motores pequeños que demandan poca corriente, como elemento calentador se usa una resistencia de hilo o de cinta de poca sección, mientras que en el caso de motores de mayor potencia se emplean resistencias de mayor sección, de forma que se produzca en el elemento bimetalico la temperatura debida cuando circule una corriente de valor prefijado.

Los elementos térmicos utilizados en los relevadores térmicos de sobrecarga poseen, por si mismos, un retardo en su acción que es inversamente proporcional a la sobrecarga a que esté sometido. Cuando la sobrecarga es ligera, el motor sigue funcionando durante algún tiempo sin que actúe el

relevador; pero si la sobrecarga es grande, actuará casi inmediatamente, desconectando el motor de su fuente de alimentación y evitando que se deteriore (disparo de tiempo inverso). En la figura 3.1.1 se puede ver un ejemplo de curva característica del relevador de sobrecarga.

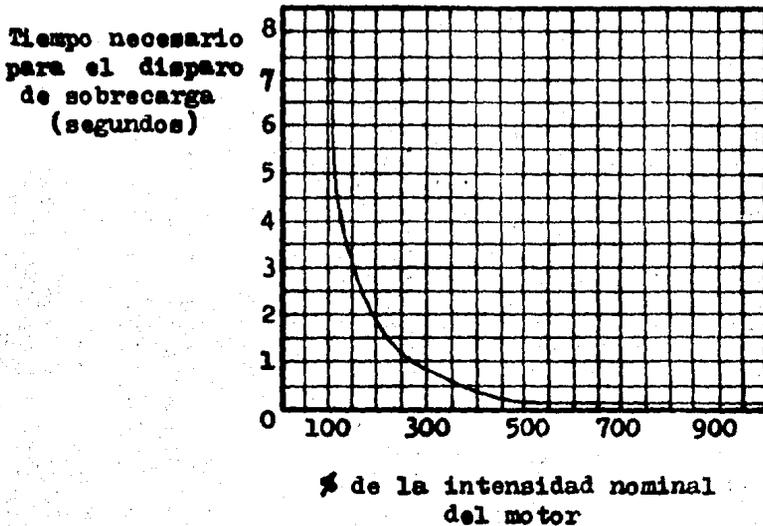


Fig. 3.1.1 Curva característica del relevador de sobrecarga.

Los relevadores térmicos actúan sólo por efecto del calor, influyendo por lo tanto la temperatura del aire que los rodea, por lo que en los lugares donde se han de prever altas temperaturas las resistencias de calentamiento empleadas en el relevador deben estar sobredimensionadas. También existen dispositivos bimetalicos destinados a compensar el efecto de los cambios de temperatura ambiente en el funcionamiento del relevador. Los relevadores provistos de estos dispositivos reciben el nombre de relevadores de sobrecarga compensados.

Los relevadores de sobrecarga deben estar apropiadamente coordinados con los fusibles o interruptores automáticos los cuales protegen al circuito derivado del motor de corto circuitos y fallas a tierra. Los fusibles o el interruptor-automático deben abrir el circuito al ocurrir una falla, antes de que los elementos calentadores del relevador se quemen, ya que ni éstos ni el contactor del motor están diseñados para manejar corrientes de falla. Con el fin de realisar esta coordinación apropiada, es necesario tener en cuenta las características de disparo tiempo-corriente de los dispositivos involucrados.

Regresando al tema principal, o sea arrancadores, es necesario mencionar que existen dos tipos de arrancadores, dependiendo de la forma de arrancar los motores de inducción tipo jaula de ardilla:

- 1.- Arrancadores a tensión plena o de conexión directa a la línea.
- 2.- Arrancadores a voltaje reducido.

Los arrancadores a tensión plena conectan al motor directamente al voltaje de línea. Este tipo de control tiene como inconveniente la aplicación súbita de un par mayor que el de a plena carga, el cual puede dañar la flecha de la máquina movida y, además, producir perturbaciones en el sistema eléctrico debido a la caída de tensión súbita producida por la alta corriente de arranque del motor (de 4 a 10 veces la corriente nominal del motor).

Por las anteriores razones, es objetable el empleo de arrancadores a tensión completa para motores medianos y grandes (de 15 H.P. en adelante), para los cuales es conveniente el uso de arrancadores a voltaje reducido, para disminuir así el par y la corriente de arranque. Este tipo de

arrancadores emplea resistencias para reducir el voltaje en el primario del motor durante el período de arranque, poniéndolas en cortocircuito una vez que el motor ha acelerado, de forma tal que el motor es conectado al voltaje pleno de línea.

Se pueden observar, en la siguiente tabla, los valores normalizados establecidos por la NEMA para arrancadores magnéticos de conexión directa a la línea:

TABLA 3.1.B
VALORES NORMALIZADOS PARA ARRANCADORES MAGNETICOS DE CONEXION DIRECTA A LA LINEA

Tamaño NEMA	Capacidad máxima en amperes del contactor	H.P. máximos a un voltaje de:		
		110 V Trifásico	220 V Trifásico	440-550 V Trifásico
00	9	3/4	1 ¹ / ₄	2
0	18	2	3	5
1	27	3	7 ¹ / ₂	10
2	45	-	15	25
3	90	-	30	50
4	135	-	50	100
5	270	-	100	200
6	540	-	200	400
7	810	-	300	600
8	1215	-	450	900
9	2250	-	800	1600

Quando el controlador de motores deba prestar un servicio rápido (más de cinco operaciones por minuto), es recomendable que los valores normalizados anteriores se reduz-

can de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 3.1.C

VALORES NORMALIZADOS PARA ARRANCADORES DE SERVICIO RAPIDO

Tamaño NEMA	Capacidad máxima en amperes del contactor	H.P. máximos a un voltaje de:		
		110 V Trifásico	220 V Trifásico	440-550 V Trifásico
0	18	1	1 ¹ / ₂	2
1	27	2	3	5
2	45	-	10	15
3	90	-	20	30
4	135	-	30	60
5	270	-	75	150
6	540	-	150	300

En las figuras 3.1.2 y 3.1.3 se muestran diagramas de conexión de dos motores trifásicos, empleando arrancadores magnéticos de conexión directa a la línea y a voltaje reducido respectivamente.

En la figura 3.1.2, la secuencia de operación del arrancador de conexión directa a la línea es la siguiente: al apretar el botón de arrancar A, se energiza la bobina del contactor M a través del contacto (normalmente cerrado) del relevador térmico de sobrecarga OL, cerrándose instantáneamente el contacto de sello M₀ y los contactos M, quedando el motor conectado directamente a la línea.

En la figura 3.1.3, la secuencia de operación del arrancador magnético a voltaje reducido es como sigue: al oprimir el botón de arranque A, se energizan las bobinas del contactor M y del relevador de tiempo T.R., cerrándose

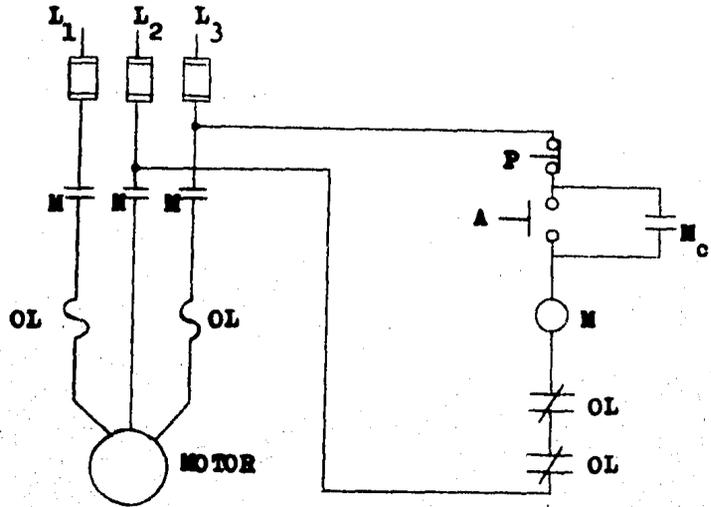


Fig. 3.1.2 Diagrama de conexión de un motor trifásico protegido con un arrancador magnético a tensión completa.

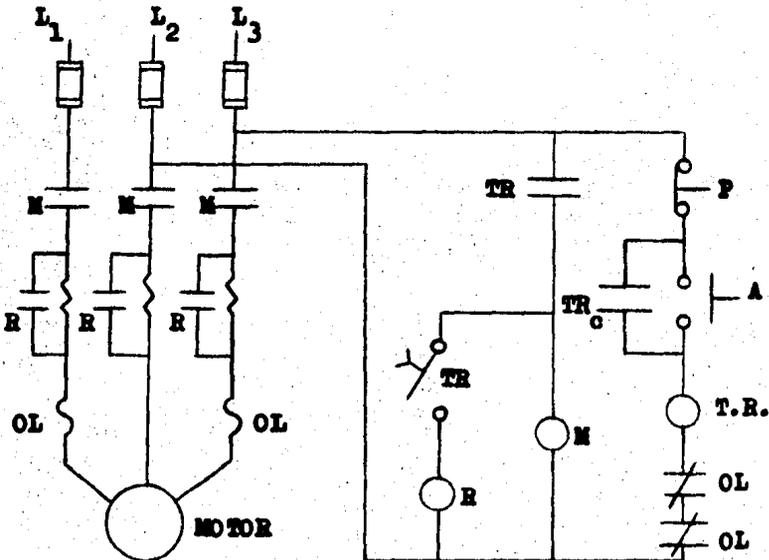


Fig. 3.1.3 Diagrama de conexión de un motor trifásico protegido con arrancador magnético a tensión reducida.

instantáneamente el contacto de sello T.R._c y los contactos M, quedando el motor conectado a través de las resistencias, las que provocan una caída de tensión haciendo que el motor quede alimentado a tensión reducida. Después de un cierto lapso, determinado por el relevador de tiempo, se cierra el contacto normalmente abierto con retardo de tiempo al cerrarse (T.R.-F.C.) del mencionado relevador, lo que ocasiona que se energice la bobina del relevador auxiliar R y se cierran instantáneamente sus contactos; al ocurrir esto, se ponen en cortocircuito las resistencias y el motor queda trabajando a voltaje pleno de líneas.

b) Selección de los arrancadores magnéticos.- Se usarán arrancadores magnéticos de conexión directa a la línea para los dos motores, especificándose, a continuación, el tamaño NEMA de cada uno de ellos.

b.1) Motor de 7.5 H.P.- De acuerdo a la potencia del motor y conforme a la tabla de valores normalizados para arrancadores magnéticos de conexión directa a la línea, se seleccionó un arrancador tamaño NEMA 1 para este motor.

b.2) Motor de 5 H.P.- Para este motor se seleccionó, de acuerdo a su potencia y conforme a la misma tabla para arrancadores magnéticos de conexión directa a la línea, un arrancador tamaño NEMA 1.

3.2).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DEL TABLERO DE ALUMBRADO.- La especificación se hará en base al valor de la corriente de carga de este circuito derivado.

A) Conductores.- De acuerdo a la norma 202.7 incisos a) y b) de las NFIE-81, los conductores de un circuito derivado deben tener una capacidad de corriente no menor que la capacidad nominal del circuito, de acuerdo con su clasificación

según el artículo 202.3 de las mismas NTIE-81, y no menor - que la carga máxima por servir; asimismo establece que, en circuitos derivados para cargas definidas, ya sean de fuerza, alumbrado, calefacción o una combinación de estas cargas, no deben usarse conductores de calibres menores que el No. 14 A.W.G.

Por su parte, la norma 202.3 de las NTIE-81, mencionada anteriormente, establece que los circuitos derivados se clasifican de acuerdo con su capacidad o ajuste de su dispositivo de protección contra sobrecorriente, el cual determina la capacidad nominal del circuito, aunque, por alguna razón, se usarán conductores de una capacidad mayor. Los circuitos derivados que alimentan varias cargas pueden ser de 15, 20, 30, 40 y 50 amperes. Teniendo en cuenta lo anterior se calculará el calibre del conductor:

La carga definida máxima por alimentar: 1.8 KW

Corriente máxima del circuito:

$$I = \frac{1800}{(\sqrt{3})(220)} = 4.72 \text{ A}$$

De lo anterior se deduce que el valor nominal del dispositivo debe ser de 15 A. Lo antecedente cumple con la norma 202.8 de las NTIE-81, que establece que la corriente máxima que demande la carga total conectada a un circuito derivado no debe ser mayor que la capacidad nominal del propio circuito. Del valor nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente se obtiene que la capacidad nominal del circuito es de 15 A.

Con el dato anterior, y consultando tablas de CONDUMEX se eligió un conductor de calibre 14 A.W.G. con aislamiento de VINANIL-NYLON, que tiene una capacidad de corriente de 25 A.

B) Interruptor termomagnético.- Según la norma 202.9 de las NTIE-81, los conductores activos y demás elementos de un -- circuito derivado deben protegerse contra corrientes excesivas por medio de un dispositivo de protección contra sobrecorriente que esté de acuerdo con el valor de la corriente-permisible en los mismos conductores y, asimismo, de acuerdo con las características de los otros elementos del circuito. Del inciso anterior, se dedujo que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito (en este caso un interruptor termomagnético) sería de 15 A. Por lo tanto, se seleccionó un interruptor termomagnético con capacidad -- de 3 x 15 A.

C) Contactor.- Siendo la carga máxima del circuito igual a 1800 W = 2.4 H.P., y de acuerdo a la tabla 3.1.A de valores normalizados para contactores, se eligió un contactor tamaño NEMA O.

3.3).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DE LA CARGA INDUCTIVA.

A) Conductores.- Teniendo en -- cuenta las normas observadas en la selección de los elementos del circuito derivado del tablero de alumbrado, se realizará, en forma semejante, la selección de los elementos -- del circuito derivado de la carga inductiva.

La corriente máxima del circuito se calcula como se -- muestra a continuación:

Para una carga inductiva se cumple que: $v = L \frac{di}{dt}$; -

de aquí, y trabajando en el dominio de la frecuencia, se obtiene:

$$V = j\omega LI = Z_L I \quad \text{donde } Z_L = j\omega L = \text{Impedancia inductiva.}$$

Por otra parte, la potencia reactiva Q_R :

$$Q_R = VI = Z_L I^2 = \frac{V^2}{Z_L} = \frac{V^2}{j\omega L} = -j \frac{V^2}{\omega L}$$

Obteniendo el valor absoluto de Q_R :

$$|Q_R| = \sqrt{\left(\frac{V^2}{\omega L}\right)^2} = \frac{V^2}{\omega L}$$

Teniendo en cuenta que es una potencia trifásica, y el voltaje V es un voltaje entre fases, obtenemos los valores por fase y de fase a tierra respectivos:

$$\frac{Q_R}{3} \text{ y } \frac{V}{\sqrt{3}}$$

Sustituyendo los anteriores términos en la fórmula para el valor absoluto de Q_R , se tiene:

$$\frac{|Q_R|}{3} = \frac{\left(\frac{V}{\sqrt{3}}\right)^2}{\omega L}; \text{ Si } \omega = 2\pi f = 2\pi(60) = 376.9 \frac{\text{rad}}{\text{seg}},$$

$$\frac{|Q_R|}{3} = \frac{6000}{3} = 2000 \text{ VAR, y } \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V, obtenemos el valor de L:}$$

$$L = \frac{\left(\frac{V}{\sqrt{3}}\right)^2}{\omega \left(\frac{|Q_R|}{3}\right)} = \frac{(127)^2}{376.9(2000)} = 0.0214 \text{ H}$$

Con este valor de L ya se puede determinar la corriente del circuito:

$$I = \frac{V}{Z_L} = \frac{V}{j\omega L} = -j \frac{V}{\omega L}$$

Tomando el voltaje de fase a tierra, y obteniendo el valor absoluto de I:

$$|I| = \sqrt{\left(\frac{\frac{V}{\sqrt{3}}}{\omega L}\right)^2} = \frac{\frac{V}{\sqrt{3}}}{\omega L} = \frac{127}{(376.9)(0.0214)} = 15.74 \text{ A}$$

De este último valor obtenido se deduce que el valor nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito debe ser de 20 A; por lo tanto, la capacidad nominal del circuito será de 20 A. Con este valor, y consultando tablas de CONDUMEX, se eligió un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANIL-NYLON, que tiene una capacidad de corriente de 25 A.

B) Interruptor termomagnético.- Del inciso anterior se obtuvo que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito (un interruptor termomagnético), sería de 20 A. Por tanto, se eligió un interruptor termomagnético con capacidad de 3 x 20 A.

C) Contactor.- Siendo la corriente máxima del circuito igual a 15.74 A, y de acuerdo a la tabla 3.1.A de valores normalizados para contactores, se eligió un contactor tamaño NEMA 1.

3.4).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DE LA CARGA CAPACITIVA.- A) Consideraciones preliminares.- Según la norma 406.7 de las NIE-81, la corriente nominal de los conductores (cables o barras colectoras), de los equipos de conexión o desconexión, de los dispositivos de protección, etc., debe ser como mínimo el 135 por ciento de la corriente nominal capacitiva que soporten; con excepción de los fusibles cuya corriente nominal no debe ser inferior al 165 por ciento de la corriente nominal de los ca-

capacitores. La tensión nominal de los interruptores, desconectadores, fusibles, contactores y demás equipos y dispositivos, no debe ser inferior a la tensión nominal de la línea a que están conectados los capacitores.

B) Conductores.- Primeramente, se calculará la corriente capacitiva del circuito:

Para una carga capacitiva se cumple que: $i = \frac{dv}{dt}$; de

la anterior expresión, y trabajando en el dominio de la frecuencia, se obtiene:

$$V = Z_0 I \quad \text{donde } Z_0 = -j \frac{1}{\omega C} = \text{Impedancia capacitiva.}$$

Por su parte, la potencia reactiva Q_0 :

$$Q_0 = VI = Z_0 I^2 = \frac{V^2}{Z_0} = \frac{V^2}{-j \frac{1}{\omega C}} = j \omega C V^2$$

Obteniendo el valor absoluto de Q_0 :

$$|Q_0| = \sqrt{(\omega C V^2)^2} = \omega C V^2$$

Teniendo en cuenta que esta es una potencia trifásica, y el voltaje V es un voltaje entre fases, obtenemos los valores por fase y de fase a tierra respectivos:

$$\frac{Q_0}{3} \quad \text{y} \quad \frac{V}{\sqrt{3}}$$

Sustituyendo los anteriores términos en la fórmula para el valor absoluto de Q_0 , se tiene:

$$\frac{|Q_0|}{3} = \omega C \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right)^2; \text{ Si } \omega = 2\pi f = 2\pi(60) = 376.9 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\frac{|Q_0|}{3} = \frac{6000}{3} = 2000 \text{ VAR, y } \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V, obtene-}$$

mos el valor de G:

$$C = \frac{\frac{|Q_0|}{3}}{\omega \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right)^2} = \frac{2000}{(376.9)(127)^2} = 0.000329 \text{ F}$$

Con este valor de C ya se puede determinar la corriente del circuito:

$$I = \frac{V}{Z_0} = \frac{V}{-j \frac{1}{\omega C}} = j \omega C V$$

Tomando el voltaje de fase a tierra, y obteniendo el valor absoluto de I:

$$|I| = \sqrt{\left(\omega C \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right) \right)^2} = \omega C \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right) = 376.9(0.000329)(127) = 15.74 \text{ A}$$

De este último valor obtenido se deduce que la capacidad de conducción de corriente de los conductores debe ser como mínimo:

$$1.35(15.74) = 21.25 \text{ A}$$

Con este valor, y consultando tablas de CONDUMEX, se eligió un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON, que tiene una capacidad de corriente de 25 A.

C) Interruptor termomagnético.- Del inciso A), se sabe que la corriente nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente (un interruptor termomagnético, en este caso) debe ser, por lo menos, el 135 por ciento de la corriente nominal capacitiva que soporte; este mínimo valor, obtenido en el inciso B), es de 21.25 A. De aquí que se selecciona, para este circuito derivado, un interruptor termomag

nético con capacidad de 3 x 30 A.

D) Contactor.- Siendo la corriente capacitiva del circuito igual a 15.74 A, y teniendo en cuenta la norma, ya mencionada anteriormente, 406.7 de las NTIE-81, se seleccionó, de acuerdo a la tabla 3.1.A de valores normalizados para contactores, un contactor tamaño NEMA 1.

3.5).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL ALIMENTADOR QUE ABASTECE A LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE LAS CARGAS INDUCTIVA Y CAPACITIVA.

A) Conductores.- Siendo la corriente máxima que circula por este circuito igual a la suma de las corrientes máximas demandadas por las cargas inductiva y capacitiva, se tiene:

$$I = I_L + I_C = 15.74 + 15.74 = 31.48 \text{ A}$$

donde:

I_L = Corriente máxima demandada por la carga inductiva.

I_C = Corriente máxima demandada por la carga capacitiva.

Por otra parte, la norma 203.7 inciso b), de las NTIE-81, establece lo siguiente: Para derivaciones de hasta 10 metros como máximo, los conductores de estas derivaciones pueden ser de calibre menor que los del circuito alimentador, siempre que se cumpla lo siguiente:

b.1) La capacidad de corriente de los conductores de la derivación, además de ser suficiente para la carga por alimentar, debe ser por lo menos igual a un tercio de la capacidad de corriente del alimentador.

Excepción. Las derivaciones hasta de 3 metros como máximo no necesitan cumplir con este requisito.

b.2) La derivación debe terminar en un solo dispositivo de sobrecorriente que limite la corriente en la misma derivación al valor de la capacidad de corriente de los conductores. A través de este dispositivo se pueden --

alimentar, a su vez, otros dispositivos de sobrecorriente, del lado de la carga.

De acuerdo con lo anterior, se escogió un conductor de calibre No. 10 A.W.G con aislamiento de VINANEL-NYLON, que tiene una capacidad de conducción de corriente de 40 A.

B) Interruptor termomagnético.- De acuerdo al subinciso b.2) de la norma 203.7 de las NTIE-81, mencionado en el inciso anterior, y conforme a la capacidad de corriente del conductor escogido, se seleccionó un interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 3 x 40 A.

3.6).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO ALIMENTADOR PRINCIPAL.- A) Conductores.- Según la norma 203.2 de las NTIE-81, los conductores de los circuitos alimentadores deben tener una capacidad de corriente no menor que la correspondiente a la carga por servir. Independientemente de lo anterior, el calibre de los conductores alimentadores no debe ser menor que el No. 10 A.W.G. en los siguientes casos: 1) cuando un alimentador bifilar abastezca a dos o más circuitos derivados bifilares; 2) cuando un alimentador trifilar abastezca a tres o más circuitos derivados bifilares; 3) cuando un alimentador trifilar abastezca a dos o más circuitos derivados trifilares.

Como el circuito alimentador del sistema simulado en el tablero cae dentro del tercer caso, los conductores del mismo deben ser de un calibre no menor que el No. 10 A.W.G.

Por otra parte, tomando en consideración las secciones 204 y 403 subsección B de las mismas NTIE-81, la capacidad del alimentador se calcula del siguiente modo: se empieza con el 125 % de la corriente a plena carga del motor más grande alimentado, siendo éste no el que tiene más potencia sino el que tiene la corriente a plena carga más elevada; -

se añade la corriente a plena carga de todos los demás motores alimentados, y a ésto se suma el asperaje consumido por cualquier otra carga alimentada. El total es la capacidad mínima que deben tener los conductores del alimentador.

Realizando los pasos anteriores, se tiene:

Corriente a plena carga del motor de 7.5 H.P. (para un bajo factor de potencia) = 23.66 A

Corriente a plena carga del motor de 5 H.P. (para un bajo factor de potencia) = 15.77 A

Corriente demandada por el tablero de alumbrado = 4.72 A

Corriente demandada por la carga inductiva = 15.74 A

Corriente demandada por la carga capacitiva = 15.74 A

El 125 % de la corriente a plena carga del motor más grande es:

$$1.25(23.66) = 29.575 \text{ A}$$

Sumando todas las anteriores corrientes:

$$29.575 + 15.77 + 4.72 + 15.74 + 15.74 = 81.545 \text{ A}$$

Por lo tanto, conforme al último valor calculado, se eligió un conductor de calibre No. 4 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON, que tiene una capacidad de conducción de corriente de 90 A.

B) Interruptor termomagnético.- De acuerdo a la norma 403.-44 de las NFIE-81, el dispositivo de sobrecorriente (un interruptor termomagnético, en este caso) de un circuito alimentador que abastezca a varios circuitos derivados cuyas cargas sean motores, debe tener una capacidad o ajuste que no exceda de la capacidad o ajuste del dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado correspondiente al motor más grande, más la suma de las corrientes a plena carga de los motores de los demás circuitos derivados. Por otro lado, la norma 403.45 de-

las mismas NIE-81 especifica que si un alimentador suministra energía a otras cargas que no sean motores, el dispositivo de protección contra sobrecorriente del alimentador debe tener una capacidad o ajuste que sea suficiente para --- abastecer las cargas, más la capacidad que corresponda a -- los motores, de acuerdo con los artículos 403.35 y 403.44 - de las NIE-81 (este último mencionado anteriormente), se--- gún se trate de un solo motor o de varios.

Conforme a todo lo anterior, se tiene:

Capacidad del dispositivo de protección contra sobrecorriente del motor más grande (7.5 H.P.) = 50 A

Corriente a plena carga del motor de 5 H.P. = 15.77 A

Corriente demandada por el tablero de alumbrado = 4.72 A

Corriente demandada por la carga inductiva = 15.74 A

Corriente demandada por la carga capacitiva = 15.74 A

Sumando todos los anteriores valores:

$$50 + 15.77 + 4.72 + 15.74 + 15.74 = 101.97 \text{ A}$$

Por lo que se escogió un interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 3 x 100 A, que es una capacidad menor que la calculada anteriormente y, además, está de acuerdo con la norma 205.4 de las NIE-81, que establece --- que si la corriente permisible en los conductores no corresponde a un fusible u otro dispositivo de protección contra sobrecorriente que no sea ajustable, de capacidad normal, - puede usarse el fusible o dispositivo de capacidad inmediata superior, siempre que ésta no exceda del 125 por ciento de la corriente permisible susodicha. En este caso, el 125- por ciento de la corriente permisible en los conductores -- (90 amperes) es: $1.25(90) = 112.5$ amperes; por lo que la capacidad del interruptor termomagnético seleccionado (100 amperes) está por debajo del límite máximo permitido.

3.7).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL COMUN.- A) Transformador de control:

a) Generalidades.- Existe un riesgo muy considerable en el uso de voltajes mayores de 230 V para los circuitos de control. Aunque los botones de operación y otros dispositivos de control están generalmente diseñados con espacios adecuados para operar a 600 V, fallas, rompimientos, alambrados descuidados, etc., pueden provocar que el operador reciba una descarga eléctrica que podría resultar muy peligrosa con voltajes más altos.

Los voltajes de control bajos reducen el riesgo de un rompimiento en el aislamiento y, por tanto, de una falla a tierra en el alambrado o en los otros dispositivos de control. Por estas razones, es una práctica común usar transformadores de control para alimentar de voltajes bajos adecuados a los circuitos de control, principalmente de 110 V.

Los transformadores de uso general no son, por lo regular, adecuados para propósitos de control, ya que son diseñados para cargas relativamente constantes. Cuando un contactor se energiza, la corriente inicial puede ser de 15 a 20 veces la corriente que circulará después de que el contactor se cierre. El transformador debe ser capaz de suministrar la alta corriente de arranque requerida, sin que su voltaje decaiga más del 5 %. Puesto que la curva característica de la regulación del voltaje del transformador variará conforme al factor de potencia de la carga, la selección del transformador apropiado implica un análisis de todo el circuito de control.

Para determinar el tamaño de transformador que es necesario para cualquier instalación dada, debe ser calculada la corriente de arranque máxima posible para cualquier ins-

tante de tiempo. Asimismo, deben ser determinados la corriente y el factor de potencia de cada bobina de contactor, ya sea cuando se energizan las bobinas como cuando están cerrados los contactores. Después, se recopilan las diversas combinaciones de contactores cerrados y contactores en la etapa de energización o arranque, y la corriente total y su factor de potencia, para la peor condición, se calculan. Con esta información, y con un grupo de curvas de los transformadores disponibles, se puede seleccionar el transformador adecuado, teniendo en cuenta siempre que el voltaje no debe caer debajo del 95 % del voltaje nominal, con el voltaje nominal del controlador en el embobinado primario. El transformador también deberá soportar la corriente de sello del máximo número de contactores que estén cerrados cuando todo el equipo opere; consecuentemente, deberá tener una capacidad en kilovolts-amperes igual a esta corriente continua multiplicada por el voltaje de línea. En algunas instalaciones, esta capacidad continua será el factor determinante; pero para la mayoría de las instalaciones será la condición de arranque la que determine el tamaño de transformador apropiado. El transformador debe satisfacer ambas condiciones.

b) Selección del transformador.- El circuito de control está constituido por 5 contactores, 4 de tamaño NEMA 1 y 1 de tamaño NEMA 0, además de 17 lámparas indicadoras, contactos y una bocina para alarma.

Primeramente, se harán los cálculos para la condición de arranque, y posteriormente para la condición de sellado.

1.- Arranque.- En el arranque, la peor condición es aquella en que se conectan los 5 contactores al mismo tiempo y se encienden 5 lámparas indicadoras. Ahora bien, se tienen los

siguientes datos de las bobinas de los contactores (según -
Cutler-Hammer):

ARRANCADOR TAMAÑO	ARRANQUE		SELLADO	
	WATTS	V.A.	WATTS	V.A.
0 y 1	65	104	7	20
2	116	394	12	51
3 y 4	177	850	26	90
5	360	1925	50	207

Tomando los datos correspondientes a los arrancadores-
tamaños NEMA 0 y 1:

ARRANQUE	
WATTS	V.A.
65	104

Siendo 5 contactores, entonces la cantidad total de --
volts-amperes será:

$$5(104) = 520 \text{ V.A.}$$

Por otra parte, las lámparas indicadoras consumirán, -
aproximadamente, 3 watts cada una; por lo que su consumo to-
tal de potencia será de 15 watts. Siendo estas lámparas in-
dicadoras cargas resistivas, tendrán un factor de potencia-
igual a la unidad, por lo que su consumo de potencia en ---
watts será igual a su consumo de potencia en volts-amperes.
De todo lo anterior se deduce que la carga total del trans-
formador del circuito de control, en volts-amperes, será:

$$520 + 15 = 535 \text{ V.A.}$$

2.- Sellado.- La peor condición durante el sellado es aque-
lla en que los cinco contactores se hallan cerrados y cinco
lámparas indicadoras encendidas.

Tomando los datos correspondientes a los arrancadores-

tamaños NEMA 0 y 1:

SELLADO	
WATTS	V.A.

7	20
---	----

Siendo 5 contactores, entonces la cantidad total de -- volts-amperes será:

$$5(20) = 100 \text{ V.A.}$$

El consumo de potencia de las lámparas indicadoras será, según se estableció anteriormente, de 15 watts = 15 V.A.

Por lo tanto, la carga total del transformador del circuito de control, en volts-amperes, será:

$$100 + 15 = 115 \text{ V.A.}$$

De los resultados anteriores obtenidos, y teniendo en cuenta que en la realidad nunca se tendrán que conectar las cinco cargas al sistema al mismo tiempo, además de que la - bocina de alarma constituye, junto con una lámpara indicadora, una carga única mucho menor que la que representan los - contactores, se infiere que la cantidad de volts-amperes durante el arranque no será superior a los 500 V.A., por lo - que un transformador de control con una capacidad de 500 -- V.A. satisficará todos los requerimientos del circuito de - control. Obviamente, el transformador debe tener una relación de voltajes del primario al secundario de 220 V a 110- V.

B) Conductores.- Primeramente, se calculará la corriente máxima que demandará el circuito de control; dicha corriente - se obtiene de la condición de arranque. Considerando los datos correspondientes a los arrancadores tamaños NEMA 0 y 1:

ARRANQUE	
WATTS	V.A.

65	104
----	-----

Y teniendo en cuenta que el voltaje nominal del circuito de control será de 110 V, se obtiene I_c , considerando a I_c como la corriente demandada por la bobina de cada contactor:

$$I_c = \frac{104 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.945 \text{ A}$$

Siendo 5 los contactores existentes, se tiene que la corriente demandada por los mismos en conjunto será:

$$5(I_c) = 5(0.945) = 4.725 \text{ A}$$

Por otra parte, la corriente demandada por cada lámpara indicadora será:

$$I_{LI} = \frac{3 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.03 \text{ A}$$

Si se tiene en cuenta que la potencia consumida por cada lámpara indicadora es de $3 \text{ W} = 3 \text{ V.A.}$ (carga resistiva), como se anotó en el inciso anterior.

Siendo 5 las lámparas indicadoras que se pueden encender al mismo tiempo, se tiene que la corriente total demandada por las mismas es:

$$5(I_{LI}) = 5(0.03) = 0.15 \text{ A}$$

De todo lo anterior, se concluye que la corriente total demandada por el circuito de control será:

$$I = 5(I_c) + 5(I_{LI}) = 4.725 + 0.15 = 4.875 \text{ A}$$

De acuerdo a este último valor, y conforme a la norma-202.7 de las NITE-81, se seleccionó, para el circuito de control, un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON (según tablas de CONDUMEX), que tiene una capacidad de conducción de corriente de 25 A.

Por otra parte, para el lado primario del transformador se tiene:

Corriente nominal del primario del transformador (I_p):

$$I_P = \frac{\text{V.A. nominales del transformador}}{\text{Voltaje nominal del primario del transformador}}$$

$$I_P = \frac{500 \text{ V.A.}}{220 \text{ V}} = 2.27 \text{ A}$$

De este valor se deduce que un conductor de calibre -- No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL--NYLON (según tablas de CONDUMEX), con capacidad de conducción de corriente de 25 A, será suficiente para satisfacer todos los requerimientos del primario del transformador.

C) Fusibles:

a) Generalidades.-- El elemento de protección más común es -- el fusible. Consta simplemente de una pequeña cinta o conductor metálico, a base de una aleación con bajo punto de -- fusión y de sección tal que soporte indefinidamente un amperaje dado, pero que se funde en cuanto sea mayor. Cuando el conductor del fusible se funde, se dice que ha operado el -- fusible o que se ha fundido. Cuando esto ocurre, se abre el circuito igual como si se hubiera cortado el conductor o -- abierto un interruptor en el punto en que se encuentra el -- fusible.

Los dos tipos principales de fusibles son los siguientes: 1) los tapones fusibles, y 2) los fusibles de cartucho.

1) Tapones fusibles.-- En este tipo, el fusible de conexión se encuentra dentro de un robusto alojamiento que evita derrame el metal cuando se funde. Hay una mirilla a través de la cual se puede ver el estado del fusible y lleva unos contactos para el recambio inmediato cuando haga falta. Los mayores fusibles de tapón son para 30 amperes; los hay también para 15, 20 y 25 amperes (también se dispone de elementos de tamaño inferior a 15 amperes). Los portafusibles son todos de una capacidad única de 30 amperes.

El Código Nacional Eléctrico (NEC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, exige que los fusibles de tapón diseñados para 15 amperes o menos, sean de forma hexagonal o lleven por lo menos la mirilla en otra parte prominente en forma de hexágono, y que los mayores sean redondos. - Asimismo, la norma 205.28 inciso a) de las NFIE-81 limita el uso de fusibles de tapón a circuitos con voltaje no superior a 127 volts entre conductores.

2) Fusibles de cartucho.- Si se requiere de fusibles para más de 30 amperes, hay que instalar fusibles de cartucho. - No obstante, hay fusibles de cartucho de todas las dimensiones, por lo que también pueden utilizarse en el caso de que las corrientes sean inferiores a 30 amperes. Existen dos tipos básicos de fusibles de cartucho: los de contacto de casquillo y los de contacto de cuchilla. Los fusibles con capacidad de hasta 60 A son del tipo de contacto de casquillo; mientras que los de más de 60 A son de contacto de cuchilla. Los fusibles de cartucho pueden ser de acción normal o de acción retardada.

A continuación, se transcribe la tabla 205.29 (a) de las NFIE-81, que muestra la clasificación de fusibles y portafusibles de cartucho.

TABLA 205.29 (a) de las NFIE-81

CLASIFICACION DE FUSIBLES Y PORTAFUSIBLES DE CARTUCHO

Tensión nominal (volts)	Capacidad nominal de portafusibles (amperes)	Capacidad nominal del fusible (amperes)
	30	0 - 30
	60	31 - 60
250	100	61 - 100

	200	101 - 200
	400	201 - 400
	600	401 - 600
<hr/>		
	30	0 - 30
	60	31 - 60
<hr/>		
	100	61 - 100
600	200	101 - 200
	400	201 - 400
	600	401 - 600
<hr/>		

Por otra parte, las capacidades comerciales, en amperes, de los elementos fusibles de los dos tipos de cartucho (de contacto de casquillo y de contacto de cuchilla), son los siguientes:

- CARTUCHOS CON CONTACTO DE CASQUILLO: 3, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 y 60 amperes.
- CARTUCHOS CON CONTACTO DE CUCHILLA: 75, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500 y 600 amperes.

b) Selección de los fusibles.- Según la norma 403.50 inciso b), de las NIE-81, cuando el circuito de control de motores sea a través de un transformador, se debe proveer un dispositivo de protección contra sobrecorriente en el circuito secundario. Este dispositivo debe tener una capacidad o ajuste que no exceda del 200 por ciento de la corriente nominal secundaria del transformador y tampoco exceda del 200 por ciento de la corriente permisible en los conductores del propio circuito de control.

Excepción 1.- Puede omitirse la protección de sobrecorriente del circuito de control en el lado secundario del trans-

formador, cuando la misma se logre satisfactoriamente en el lado primario.

Excepción 2.- Cuando la protección de sobrecorriente pueda proporcionarse por otros medios aprobados.

En nuestro caso, se protegerán tanto el lado primario como el secundario del transformador.

Para el lado secundario se tiene:

Corriente nominal secundaria del transformador (I_s):

$$I_s = \frac{\text{V.A. nominales del transformador}}{\text{Voltaje nominal del secundario del transformador}}$$

$$I_s = \frac{500 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 4.54 \text{ A}$$

El 200 % de la corriente nominal secundaria del transformador será:

$$2(I_s) = 2(4.54) = 9.08 \text{ A}$$

Por otro lado, la corriente permisible en los conductores del circuito de control es de 25 A. El 200 % de este último valor es:

$$2(25) = 50 \text{ A}$$

Comparando estos 2 valores obtenidos, y conforme a la norma 403.50 inciso b), ya mencionada anteriormente, se eligió un fusible de cartucho tipo listón con contacto de casquillo, de tensión nominal de 250 V y corriente nominal de 6 A.

Para el lado primario del transformador, se tiene:

Corriente nominal primaria del transformador (I_p):

$$I_p = \frac{\text{V.A. nominales del transformador}}{\text{Voltaje nominal del primario del transformador}}$$

$$I_p = \frac{500 \text{ V.A.}}{220 \text{ V}} = 2.27 \text{ A}$$

El 200 % de la corriente nominal primaria del transfor

mador será:

$$2(I_p) = 2(2.27) = 4.54 \text{ A}$$

Por otra parte, la corriente permisible en los conductores del lado primario del transformador es de 25 A. El 200 % de este último valor es:

$$2(25) = 50 \text{ A}$$

Conforme a estos valores se eligieron, para los dos conductores del primario del transformador, dos fusibles de cartucho tipo listón, con contacto de casquillo, de tensión nominal de 250 V y corriente nominal de 3 A.

Independientemente de lo anterior, cada circuito de contactor (que incluye bobina, contactos, lámparas y botones) estará protegido por un fusible, con el objeto de que si ocurre una falla a tierra o cortocircuito en alguna línea perteneciente a uno de los circuitos de contactores, no se fundan los fusibles que protegen al transformador de control y se quede inutilizado todo el circuito de control común. Los fusibles que protegerán a los circuitos de los arrancadores M_1 y M_2 , deberán soportar una corriente cuyo cálculo se realiza a continuación:

Corriente demandada por la bobina de cada contactor:

$$I_c = \frac{104 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} \quad (\text{condición de arranque}) = 0.945 \text{ A}$$

Corriente demandada por cada lámpara indicadora:

$$I_{LI} = \frac{3 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.03 \text{ A}$$

Cada uno de estos circuitos contiene 3 lámparas indicadoras, pero sólo dos de ellas pueden estar encendidas a la vez, por lo que la corriente total demandada será:

$$I_c + 2I_{LI} = 0.945 + 2(0.03) = 1.005 \text{ A}$$

Por tanto, se seleccionaron 2 fusibles de cartucho ti-

po listón, con contacto de casquillo, para 3 A a 250 V.

Para los circuitos de M_3 , M_4 y M_5 , la corriente demandada por cada uno de ellos será:

Corriente demandada por la bobina de cada contactor:

$$I_c = \frac{104 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.945 \text{ A} \quad (\text{para la condición de arranque})$$

Corriente demandada por cada lámpara indicadora:

$$I_{LI} = \frac{3 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.03 \text{ A}$$

Cada uno de estos circuitos contiene 2 lámparas indicadoras, pero sólo una de ellas puede estar encendida a la vez, por lo que la corriente total demandada será:

$$I_c + I_{LI} = 0.945 + 0.03 = 0.975 \text{ A}$$

Por lo tanto, se seleccionaron 3 fusibles de cartucho-tipo listón, con contacto de casquillo, para 3 A a 250 V.

3.8).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE SIMULACION DE FALLAS A TIERRA Y PROTECCION POR MEDIO DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.- A) Generalidades.-

Siendo inconveniente, tanto por razones económicas como por razones de seguridad, producir fallas reales a tierra con el objeto de conservar el funcionamiento de relevadores instantáneos de sobrecorriente reales protegiendo al sistema contra fallas a tierra, en diversos puntos del mismo, se simulará la protección que ofrecen estos relevadores (50/51), mediante relevadores de tiempo, como se muestra en el diagrama de simulación de fallas a tierra y protección por relevadores de sobrecorriente. No obstante que no se usarán relevadores (50/51) reales, no por ello es conveniente dejar de señalar los aspectos más importantes en la protección contra sobrecorriente mediante el uso de ellos.

Relevador instantáneo de sobrecorriente (50/51).- La fun---

ción de un relevador de protección, hablando en general, es evitar interrupciones generalizadas en el sistema, limitando el efecto de alguna posible falla, y además prevenir daños en sistemas de transmisión, distribución, máquinas eléctricas o equipo en general.

El relevador es un dispositivo que actúa por modificaciones en sus condiciones eléctricas o físicas, que a su vez acciona sobre otros elementos de un circuito eléctrico.

La forma en que actúa un relevador, para evitar daños mayores en el elemento del circuito en que se localiza la falla, es aislarlo del resto del sistema produciendo las mínimas alteraciones posibles en el mismo. Ordinariamente, el relevador opera sobre un interruptor, que no posee en sí mismo medios para determinar cuándo debe cerrarse o abrirse para la protección del servicio eléctrico.

La protección por relevadores instantáneos de sobrecorriente es la más sencilla y barata, la más difícil de aplicar, y la que más rápido necesita reajuste o reemplazo según los cambios del sistema. Se usa, por lo general, para protección contra la falla de fase o a tierra en los circuitos de servicio propio de la estación, en los circuitos de distribución de servicio eléctrico, en sistemas industriales y en algunas líneas de transmisión donde no puede justificarse el costo de la protección a distancia. Se usa para la protección primaria de falla a tierra en la mayoría de las líneas de transmisión donde se emplean relevadores de distancia para fallas de fase; también se usa ampliamente en localidades de transformadores de potencia para la protección de respaldo contra falla externa, aunque hay una tendencia a reemplazar los relevadores de sobrecorriente con los de distancia.

La aplicación más usual de estos relevadores requiere de tres unidades para la protección contra fallas entre fases y un relevador separado para fallas monofásicas a tierra. La utilización de relevadores de tierra separados es conveniente porque pueden ajustarse para proporcionar protección más rápida y más sencilla en fallas monofásicas a tierra que la que puedan proporcionar los relevadores de fase. Este tipo de relevadores tienen característica de tiempo inverso en su disparo. Una conexión externa típica se muestra en la figura 3.8.1.

Los relevadores con característica de tiempo **EXTREMADAMENTE INVERSO** fueron concebidos para usarse donde se requiera una excelente coordinación con fusibles de potencia y restauradores. En la figura 3.8.2 se pueden apreciar algunas curvas típicas de tiempo **EXTREMADAMENTE INVERSO**, para 60 Hz, de los relevadores **IP077A** y **IP077B** (General Electric)

Los relevadores con características de tiempo **MUY INVERSO** proporcionan protección más rápida en los casos donde la magnitud de la corriente de falla permanece casi constante, debido a la capacidad de generación relativamente constante. La variación de la magnitud de la corriente de falla a través del relevador depende, por lo tanto, de la localización de la falla con respecto al relevador. En la figura 3.8.3 se pueden apreciar algunas curvas típicas de tiempo **MUY INVERSO**, para 60 Hz, de los relevadores **IP053A** y **IP053B** (General Electric).

Los relevadores con características de tiempo **INVERSO** dependen, en su tiempo de operación, menos de la magnitud de la corriente de falla que en el caso de los relevadores con características de tiempo **MUY INVERSO** y **EXTREMADAMENTE INVERSO**. Por esta razón, los relevadores de tiempo **INVERSO**.

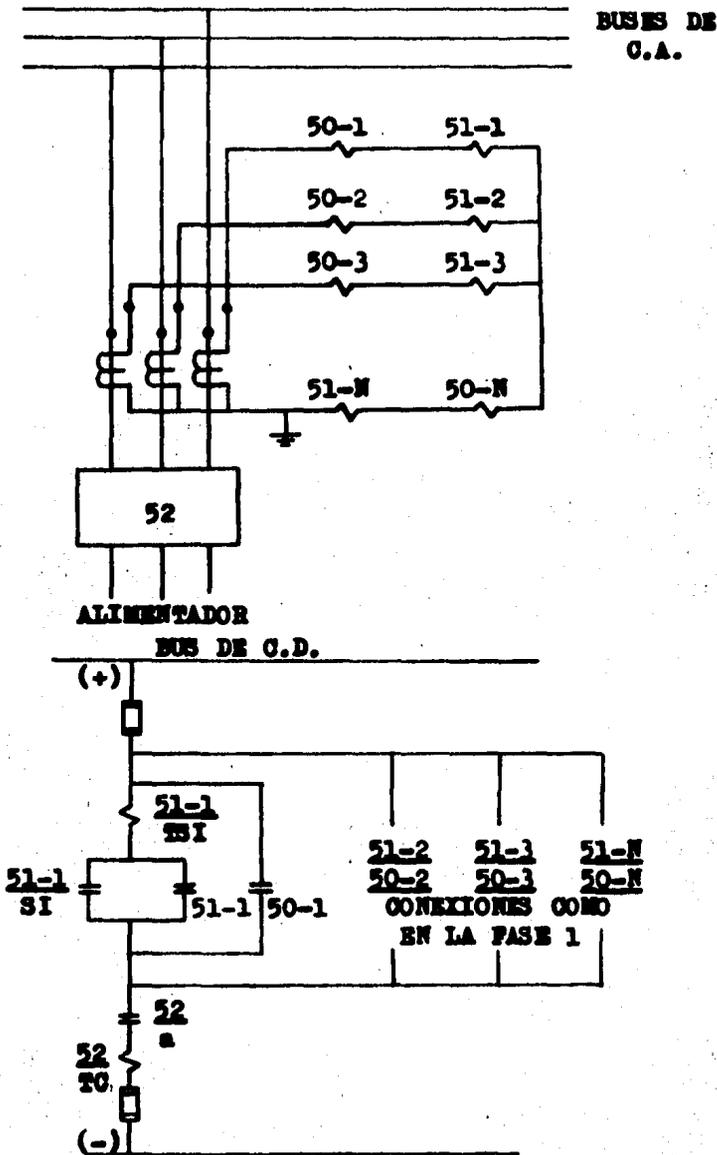
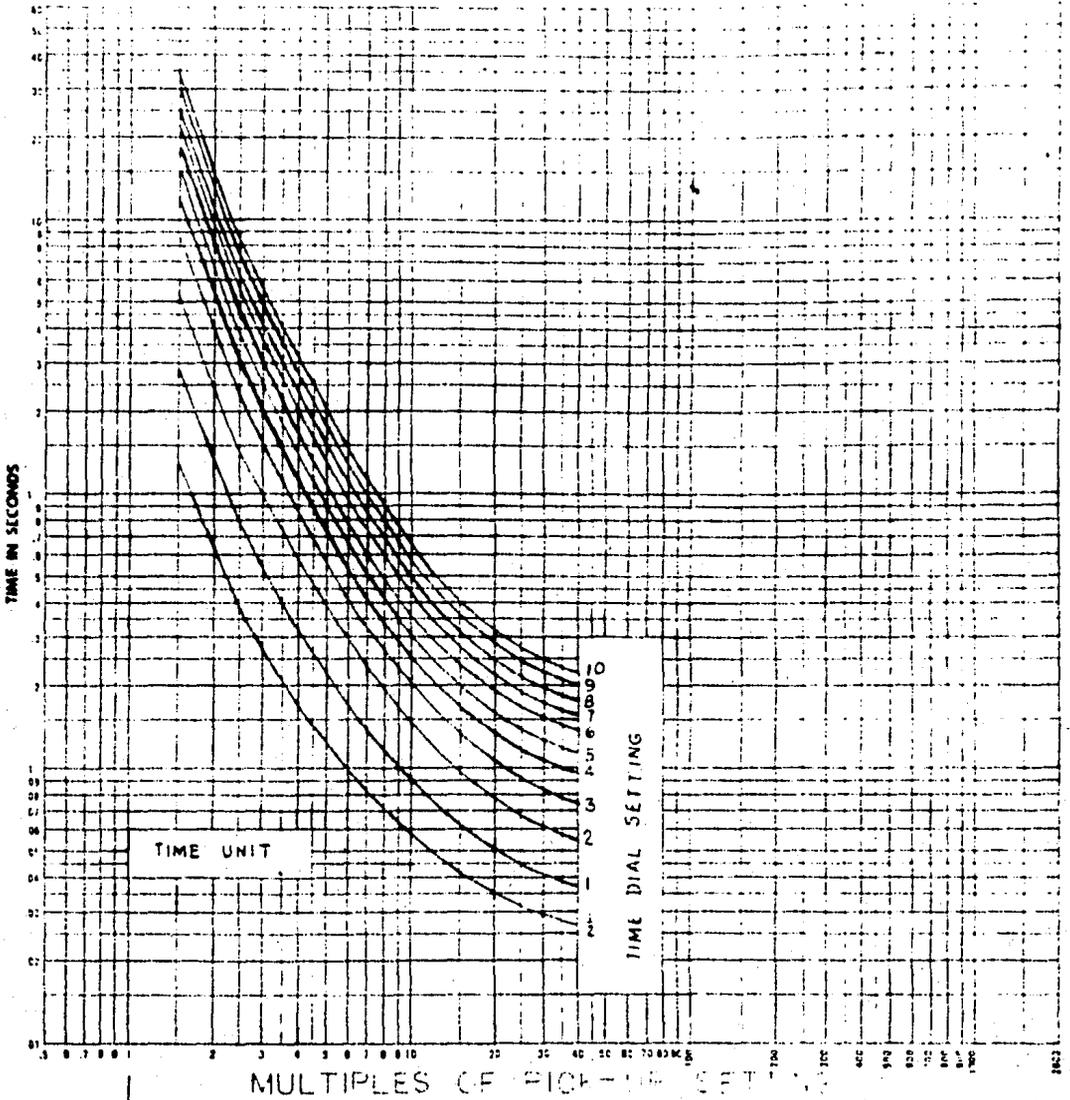
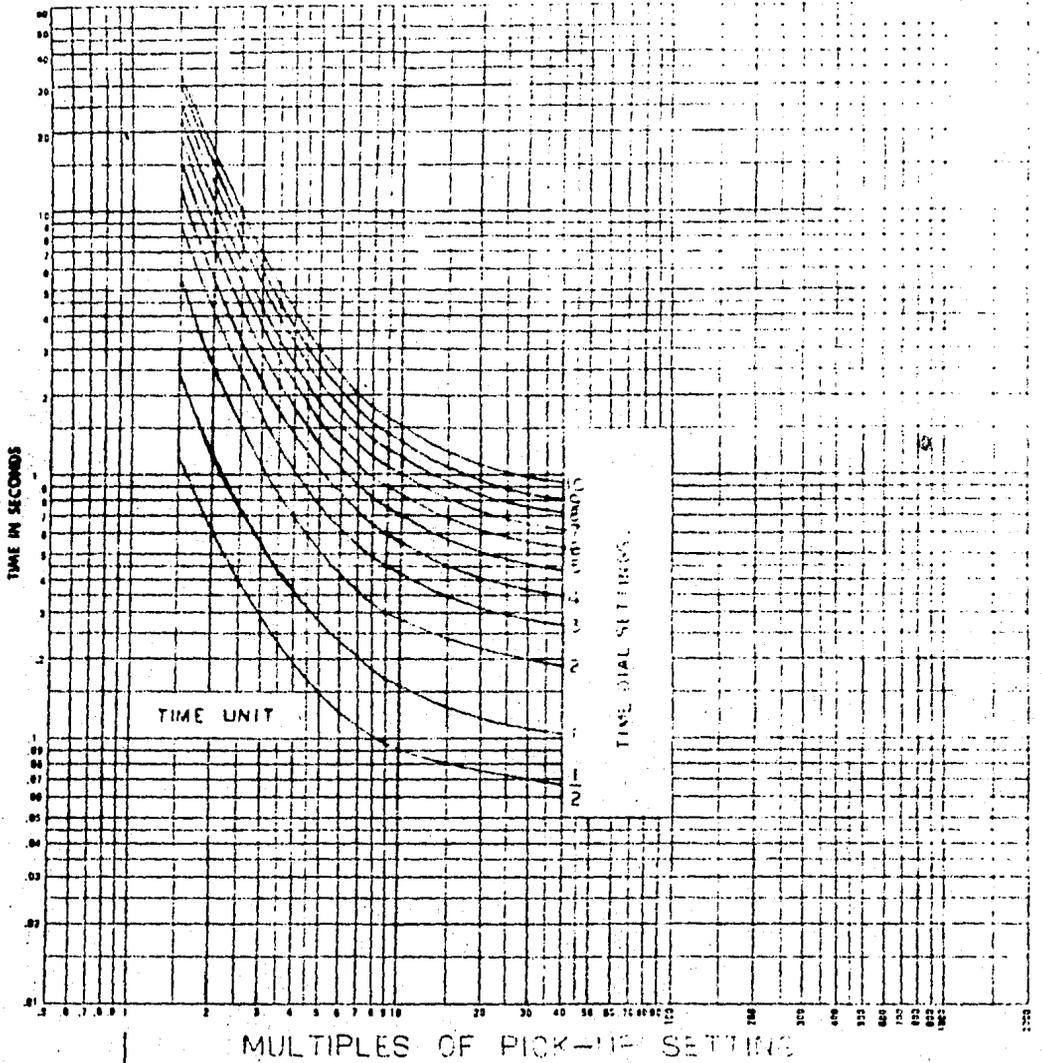


Fig. 3.8.1 Conexiones externas de cuatro relevadores 50/51 usados para protección contra falla a tierra de una ó más fases en un circuito trifásico de tres hilos.



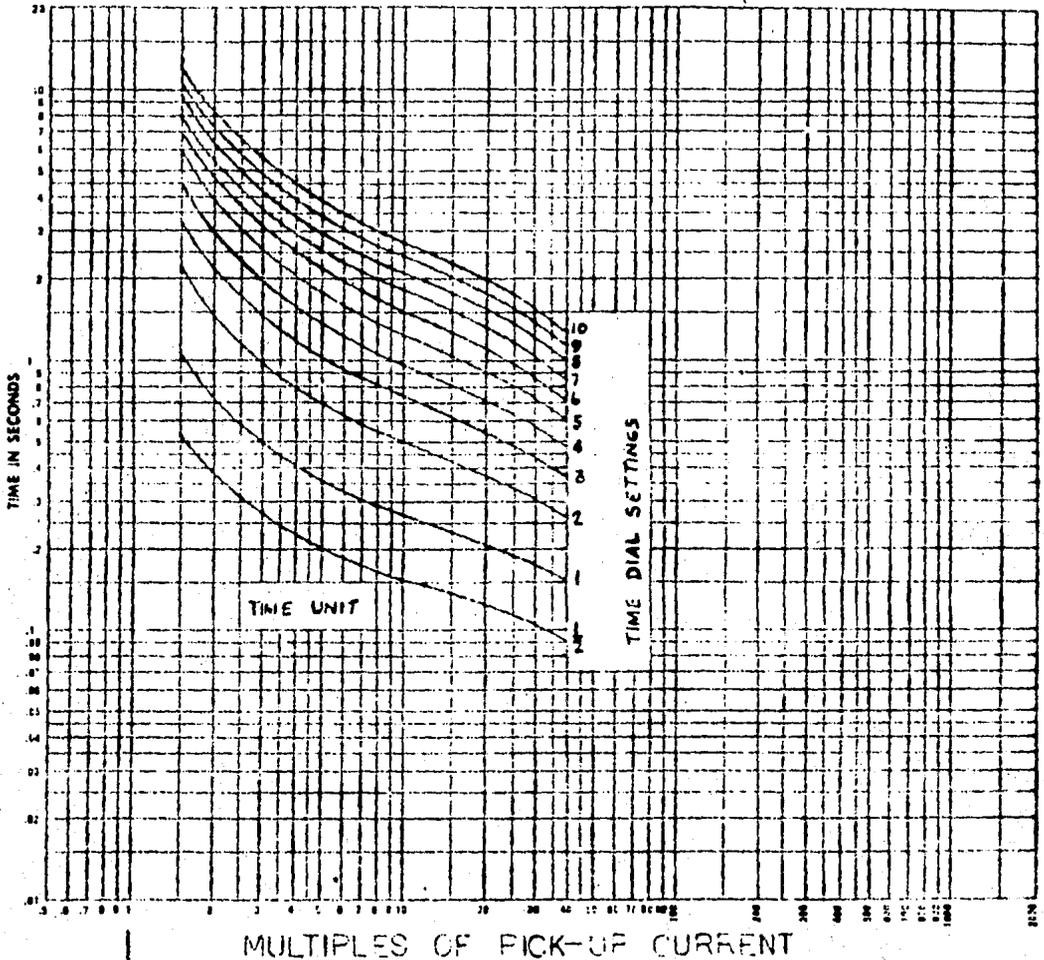
TYPE IFC RELAYS, EXTREMELY INVERSE TIME CHARACTERISTICS, 60 HERTZ

Fig. 3.8.2 Curvas características de tiempo EXTREMADAMENTE INVERSO, a 60 Hz, de los relevadores tipos IPC77A e IPC77B (General Electric).



TYPE IFC RELAYS, VERY INVERSE TIME CHARACTERISTICS, 60 HZ. AC SUPPLY

Fig. 3.8.3 Curvas características de tiempo muy inverso, a 60 Hz, de los relevadores tipos IP053A e - IP053B (General Electric).



TYPE IFC RELAYS, INVERSE TIME-CHARACTERISTIC CURVE 60 HERTZ

Fig. 3.8.4 Curvas características de tiempo INVER-
SO, a 60 Hz, de los relevadores tipos IFC51A e IFC-
51B (General Electric).

proporcionan protección más rápida en aquellos casos donde la magnitud de la corriente de falla varía notablemente, como resultado de cambios frecuentes en la impedancia de la fuente debido a la conexión y desconexión de la carga del sistema. En la figura 3.8.4 se pueden apreciar algunas curvas típicas de tiempo INVERSO, para 60 Hz, de los relevadores IFC51A y IFC51B (General Electric).

La protección de tiempo inverso está complementada por la protección instantánea. La velocidad en la eliminación de las fallas posibilita disminuir el daño y hace que el recierre automático sea más satisfactorio.

B) Transformador de control.- El circuito de simulación de fallas a tierra y protección por medio de relevadores de sobrecorriente está constituido por 5 relevadores de tiempo, 2 relevadores de control, botones de operación y contactos. El transformador deberá soportar las corrientes de arranque y de sellado, en las peores condiciones de operación; estas corrientes están determinadas por las bobinas de los relevadores empleados.

Los relevadores de control y de tiempo se encuentran disponibles con una variedad muy amplia de propiedades físicas y eléctricas. La potencia que requieren las bobinas cae dentro de las gamas de 6 a 9 V.A. en el arranque, y de 2 a 3 V.A. en la condición de sellado. Primeramente, se harán los cálculos para la condición de arranque y posteriormente para la de sellado.

a) Arranque.- En el arranque, la peor condición es aquella en que se energizan 5 relevadores al mismo tiempo. Tomando el valor de 9 V.A. para la potencia demandada por la bobina de cada relevador, se tiene que la cantidad total de voltamperes requerida durante el arranque será:

$$5(9) = 45 \text{ V.A.}$$

b) Sellado.- La peor condición durante el sellado es aquella en que 2 relevadores se hallan energizados. Tomando el valor de 3 V.A. para la potencia demandada por la bobina de cada relevador, se tiene que la cantidad total de volts-amperes requerida durante la condición de sellado será:

$$2(3) = 6 \text{ V.A.}$$

De los resultados anteriores, se deduce que un transformador de control con una capacidad de 60 V.A. y una relación de voltajes del primario al secundario de 220-110 V satisficará todos los requerimientos del circuito de simulación.

c) Conductores.- Primeramente, se calculará la corriente máxima que demandará el circuito; dicha corriente se obtiene de la condición de arranque. Considerando a I_R como la corriente demandada por la bobina de cada relevador:

$$I_R = \frac{9 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.0818 \text{ A}$$

La corriente total demandada por el circuito, durante la condición de arranque, será:

$$I = 5(I_R) = 5(0.0818) = 0.409 \text{ A}$$

De acuerdo a este último valor, se seleccionó para el circuito un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON (según tablas de CONDUMEX), que tiene una capacidad de conducción de corriente de 25 A.

Por otra parte, para el lado primario del transformador se tiene:

Corriente nominal del primario del transformador (I_P):

$$I_P = \frac{\text{V.A. nominales del transformador}}{\text{Voltaje nominal del primario del transformador}}$$

$$I_P = \frac{60 \text{ V.A.}}{220 \text{ V}} = 0.272 \text{ A}$$

De este valor se deduce que un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON (según tablas de CONDUMEX), que tiene una capacidad de conducción de corriente de 25 amperes, será más que suficiente para satisfacer todos los requerimientos del primario del transformador.

D) Fusibles.- Los conductores que conectan al transformador de control estarán protegidos contra sobrecorriente, tanto del lado primario (2 fusibles, uno en cada conductor activo), como del secundario (1 fusible, en el conductor activo). Para el lado secundario del transformador se tiene:

Corriente nominal secundaria del transformador (I_s):

$$I_s = \frac{\text{V.A. nominales del transformador}}{\text{Voltaje nominal del secundario del transformador}}$$

$$I_s = \frac{60 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.545 \text{ A}$$

De acuerdo a este valor, y conforme a la capacidad de conducción de corriente del conductor seleccionado, se eligió, para el secundario del transformador, un fusible de cartucho tipo listón, con contacto de casquillo, de tensión nominal de 250 V y corriente nominal de 3 A.

Para el lado primario del transformador se tiene:

Corriente nominal primaria del transformador (I_p):

$$I_p = \frac{\text{V.A. nominales del transformador}}{\text{Voltaje nominal del primario del transformador}}$$

$$I_p = \frac{60 \text{ V.A.}}{220 \text{ V}} = 0.272 \text{ A}$$

De acuerdo a este último valor, y conforme a la capacidad de conducción de corriente del conductor seleccionado, se eligieron, para el primario del transformador, 2 fusibles de cartucho tipo listón, con contacto de casquillo, de tensión nominal de 250 V y corriente nominal de 3 A.

3.9).- ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE MEDICION.- A) Transformadores para medición:

a) Generalidades.- Los transformadores para medición están destinados a alimentar aparatos de medición, relevadores o aparatos análogos.

Tienen como función principal reducir a valores normales y no peligrosos, las características de tensión y de corriente en un sistema eléctrico, con el fin de permitir el empleo de aparatos de medición normalizados, por consiguiente más económicos y que pueden manipularse sin peligro.

Se distinguen dos categorías de transformadores para medición:

a.1) Transformadores de corriente.- El transformador de corriente es un aparato en donde la corriente secundaria es, dentro de las condiciones normales de operación, prácticamente proporcional a la corriente primaria y está defasada de ésta en un ángulo cercano a cero, para un sentido apropiado de conexiones.

El primario de este transformador está conectado en serie con el circuito que se desea controlar, en tanto que el secundario está conectado a los circuitos de corriente de uno o varios aparatos de medición, relevadores o aparatos análogos, todos ellos conectados en serie.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios devanados secundarios bobinados sobre uno o varios circuitos magnéticos separados. Se ilustran en la figura 3.9.1 algunos esquemas clásicos que muestran la representación y la identificación de las terminales de los principales modelos de transformadores de corriente.

a.2) Transformadores de potencial.- Un transformador de potencial es, dentro de las condiciones normales de opera-

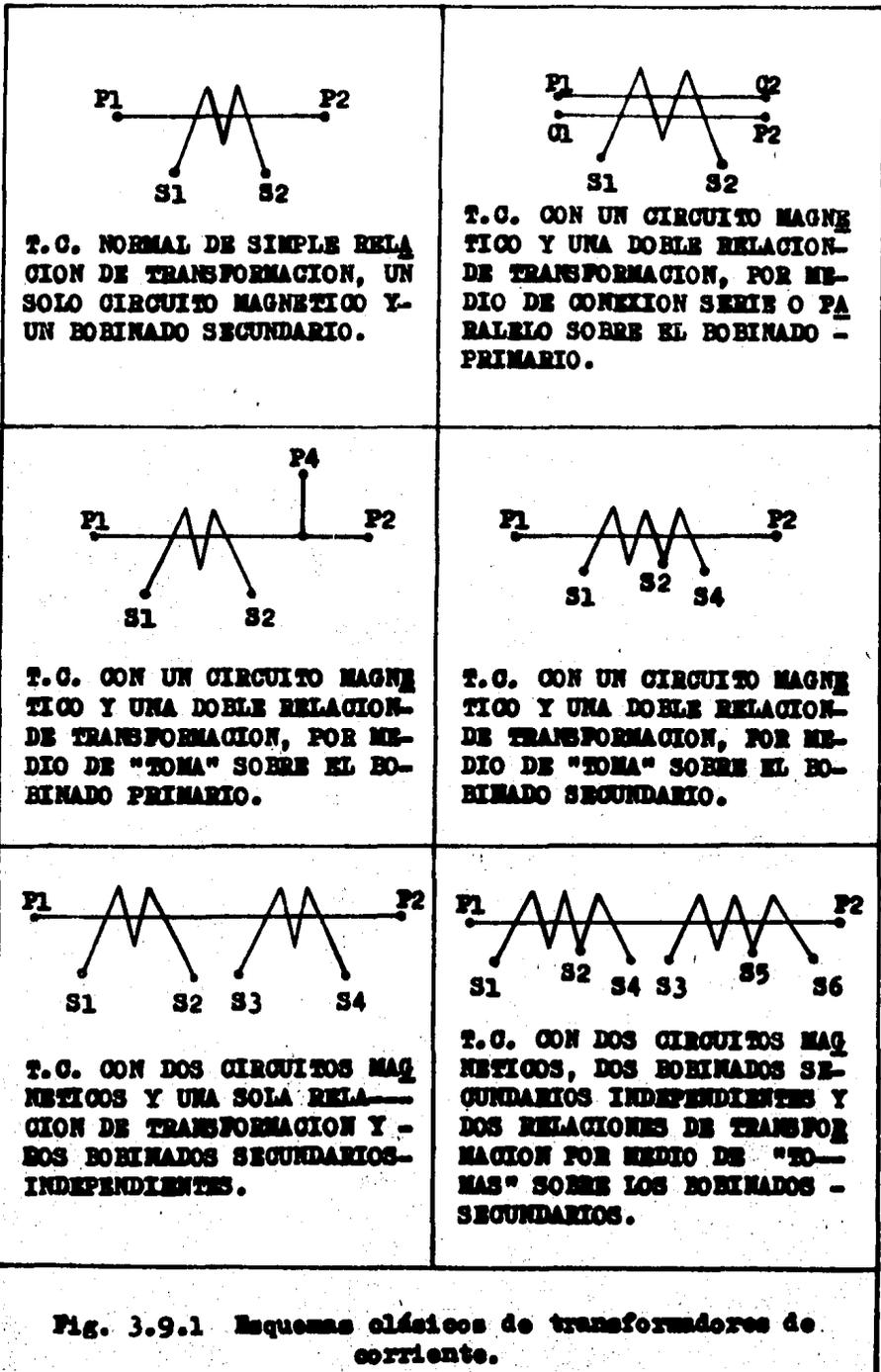


Fig. 3.9.1 Esquemas clásicos de transformadores de corriente.

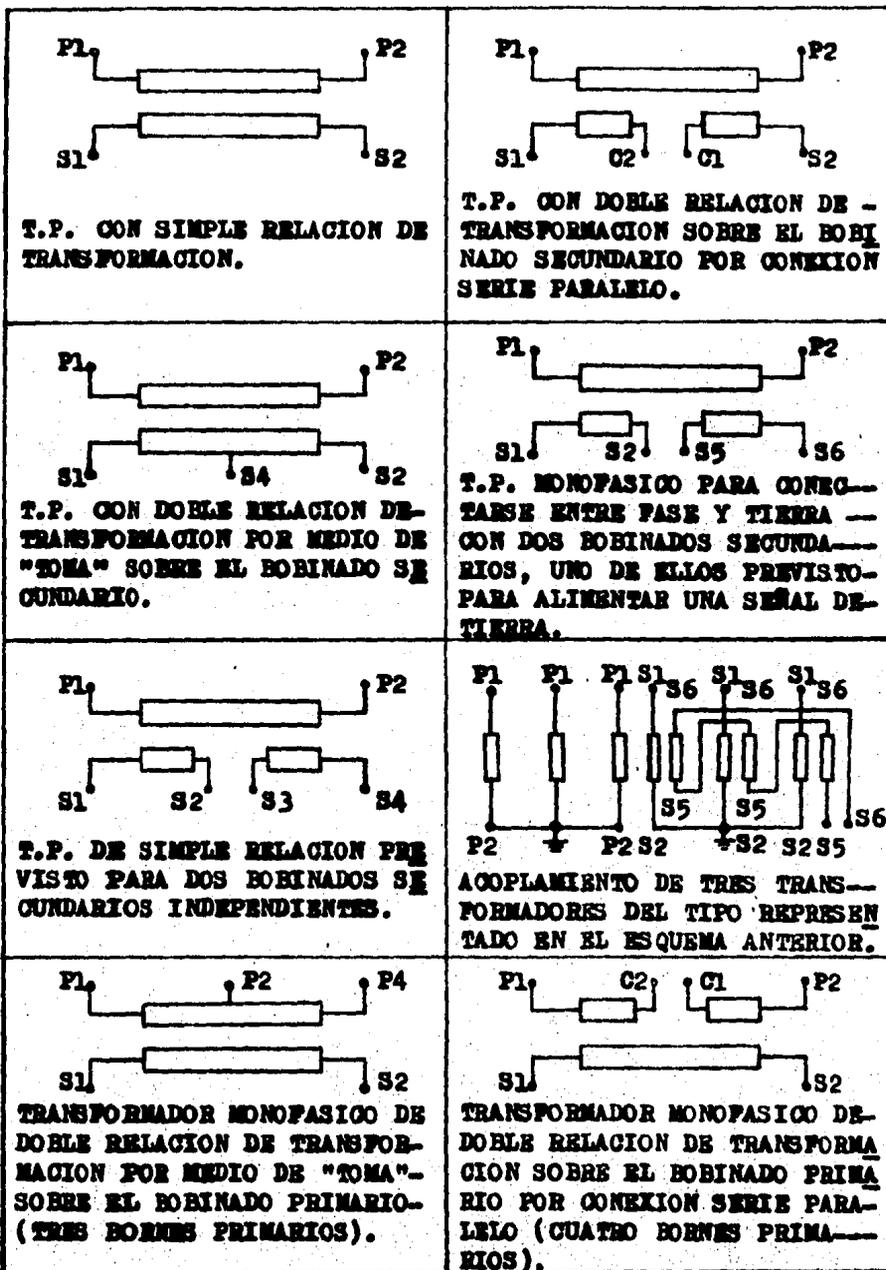


Fig. 3.9.2 Esquemas clásicos de transformadores de potencial.

ción, prácticamente proporcional a la tensión primaria, y - defasada de ella un ángulo cercano a cero, para un sentido-apropiado de conexiones.

El primario de dicho transformador está conectado a -- las terminales entre las que se desea medir la tensión, en tanto que el secundario está conectado a circuitos de potencial de uno o varios aparatos de medida, relevadores o aparatos análogos, conectados en paralelo.

Los esquemas de los principales modelos de transformadores de potencial se muestran en la figura 3.9.2.

b) Selección de los transformadores para medición:

b.1) Generalidades.- Los factores que determinan la selección de estos aparatos son:

- El tipo de instalación.
- El tipo de aislamiento.
- La potencia.
- Clase de precisión.

Instalación:

Los aparatos pueden ser contruidos para ser usados en instalaciones interiores o exteriores. Generalmente, por razones de economía, las instalaciones de baja y media tensión, hasta de 25 KV son diseñadas para servicio interior.- Las instalaciones de tipo exterior son de tensiones desde - 34.5 a 400 KV, salvo en los casos donde, por condiciones -- particulares se hacen instalaciones interiores para tensiones hasta de 230 KV.

Aislamiento:

1.- Material para baja tensión.- Generalmente los aparatos son contruidos con aislamiento en aire o aislamiento en resina sintética, suponiéndose que lo común son las instalaciones interiores.

2.- Material para media tensión.- Los transformadores para instalaciones interiores (tensión de 3 a 25 KV) son construidos ya sea con aislamiento de aceite con envoltivo de porcelana (concepción antigua), ya sea con aislamiento en resina sintética (concepción moderna).

Hay que hacer notar que la mayoría de los diseños actuales emplean el material seco, los aparatos con aislamiento en aceite o masa aislante (compound) se utilizan muy poco y sólo para ampliaciones de instalaciones existentes.

Los aparatos para instalaciones exteriores son generalmente construidos con aislamiento porcelana-aceite, aunque la técnica más moderna está realizando ya aislamiento en seco para este tipo de transformadores.

3.- Material para alta tensión.- Los transformadores para alta tensión son aislados con papel dieléctrico, impregnados en aceite y colocados dentro de un envoltivo de porcelana.

Potencia:

La potencia nominal que se debe seleccionar para los transformadores de medición está en función de la utilización a que se destina un aparato.

Clase de precisión:

La selección de la clase de precisión depende igualmente de la utilización a que se destinen los transformadores. Independientemente a esto, los transformadores y los aparatos que van a ser conectados a ellos, deberán presentar una similitud de exactitud.

Para las mediciones industriales y puramente inductivas de voltímetros y amperímetros, las clases 1, 1.2, 3 y 5 son siempre suficientes.

En algunos casos, la clase 0.5 ó 0.6, es utilizada

cuando se trata de instrumentos más precisos.

Para las mediciones de energía, las clases 0.2, 0.3, - 0.5 y 0.6, son las más comúnmente utilizadas; se emplean -- las clases 0.2 y 0.3, en los casos de instalaciones de gran potencia, donde dicha clase se justifica.

Para transformadores de corriente empleados en la alimentación de sistemas de protección, las clases de precisión 5 y 10, son utilizadas con valores definidos de factores de sobrecarga.

b.2) Datos necesarios para especificar transformadores para medición:

b.2.1) Transformadores de corriente.- A continuación, se -- enumeran los datos necesarios para especificar los transformadores de corriente.

1.- Tipo de servicio.- Se debe indicar si es para ser instalado en interior o en intemperie.

2.- Posición de montaje.- Se debe indicar la posición de -- montaje deseada, vertical, horizontal o invertida.

3.- Relación nominal de transformación.- Se expresa en términos de: corriente nominal primaria a corriente nominal secundaria. Las corrientes nominales de los bobinados primarios y secundarios de un transformador de corriente, son -- los valores para los cuales los bobinados están diseñados.

Corriente nominal primaria.- Se debe fijar el consumo de -- las máquinas y/o aparatos conectados al sistema:

$$I_n = \frac{\text{Potencia aparente trifásica (VA)}}{(\sqrt{3}) \text{ Tensión de línea (V)}} \quad (A)$$

Las diferentes normas existentes en diversos países, -- han normalizado los valores de las corrientes primarias y secundarias de los aparatos. Para las corrientes nominales primarias, los valores normalizados son los siguientes:

SIMPLE RELACION DE TRANSFORMACION

5	50	600
10	75	800
15	100	1200
20	150	1500
25	200	2000
30	300	3000
40	400	

DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION

2 x 5	2 x 100
2 x 10	2 x 150
2 x 15	2 x 200
2 x 25	2 x 300
2 x 50	2 x 400
2 x 75	2 x 600

En ciertos tipos se realiza una doble o una triple relación primaria, ya sea por medio de conexiones serie paralelo del bobinado primario, o por medio de tomas en los bobinados secundarios.

Se seleccionará generalmente el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación.

Corriente nominal secundaria.- El valor normalizado es generalmente de 5 amperes; en ciertos casos, cuando el alambrado del secundario puede representar una carga importante, - se puede seleccionar el valor de 1 ampere.

4.- Frecuencia nominal.- Se debe indicar la frecuencia de la red en hertz.

5.- Tensión nominal de aislamiento.- La tensión nominal de aislamiento de un transformador de corriente, debe ser cuando menos igual a la tensión más elevada del sistema en que se utilice. Se puede tomar un nivel de aislamiento superior

cuando las condiciones de la instalación lo requieran, por ejemplo: climas salinos, tropicales, con neblina o altitudes de operación superiores a 1000 metros sobre el nivel del mar.

La selección de la clase de aislamiento para los transformadores de corriente es una función del nivel de protección del sistema al transformador, y las demás características de los transformadores con la tensión continua de fase a neutro. La siguiente es una tabla de tensiones nominales de aislamiento:

TABLA 3.9.A

TENSIONES NOMINALES DE AISLAMIENTO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Tensión nominal de aislamiento KV	Máxima tensión fase neutro KV *	Tensión nominal del sistema KV	Nivel básico de impulso KV
0.6	0.380	-	10
1.2	0.762	-	30
2.5	1.59	-	45
5.0	3.18	-	60
8.7	5.52	-	75
15L	9.53	-	95
15H	9.53	-	110
25	15.9	-	150
34.5	21.9	-	200
46	29.2	-	250
69	43.8	-	350
92	-	92	450
115	-	115	550
138	-	138	650
161	-	161	750

196	-	196	900
230	-	230	1050
287	-	287	1300

* Los valores de tensión en esta columna son el 110 % de la tensión de línea a neutro del sistema en que el transformador es usado.

6.- Clase y potencia de precisión.- La clase de precisión se seleccionará de acuerdo con el servicio que darán los aparatos conectados y dando una precisión similar a la de los mismos aparatos.

La clase de precisión se designa por el error máximo admisible, en porcentaje, que el transformador pueda introducir en la medición, operando con su corriente nominal primaria y a frecuencia nominal, según normas CIE (Comité Electrotécnico Internacional), VDE (de Alemania), BSS (de Inglaterra), etc. Las normas ANSI (de Estados Unidos) definen la clase de precisión como el error máximo admisible, en porcentaje, que el transformador puede introducir en la medición de potencia.

Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con una o varias cargas nominales de precisión, por ejemplo: 0.5 - 50 VA.

Se dan, a continuación, las clases de precisión recomendadas según el uso a que se destina el transformador de corriente.

Clase	Utilización
0.1	Calibración y medidas de laboratorio.
0.2-0.3	Medidas de laboratorio. Alimentación de wathorímetros para alimentadores de gran potencia.
0.5-0.6	Alimentación de wathorímetros para facturación en circuitos de distribución. Wathorímetros in

industriales.

- 1.2 Ampérmetros indicadores.
- Ampérmetros registradores.
- Fasómetros indicadores.
- Fasómetros registradores.
- Watthorímetros indicadores.
- Watthorímetros industriales.
- Watthorímetros registradores.
- Protecciones diferenciales, relevadores de impdancia y de distancia.
- 3-5 Protecciones en general (relevadores de sobrecorriente).

La potencia nominal de precisión de los transformadores de corriente, es la potencia aparente secundaria bajo corriente nominal determinada. Está indicada, generalmente, en la placa de características y se expresa en volts-ampères, aunque también puede expresarse en ohms.

Para escoger la potencia nominal de un transformador de corriente, hay necesidad de hacer la suma de las potencias de todos los aparatos que serán conectados en serie con su devanado secundario y tener en cuenta la pérdida por efecto Joule de los cables de alimentación (consultar la gráfica de la figura 3.9.3, inserta seguidamente).

Será necesario, entonces, tomar el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida. Las potencias nominales, según las normas ANSI C.57.13, son las siguientes:

TABLA 3.9.B

CARGAS NORMALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

CARACTERISTICAS PARA 60 Hz Y CORRIENTE SECUNDARIA DE 5 AMPS.

Designación de la carga \pm	Impedancia ohms	Voltampères	Factor de Potencia
-------------------------------	-----------------	-------------	--------------------

B0.1	0.1	2.5	0.9
B0.2	0.2	5.0	0.9
B0.5	0.5	12.5	0.9
B1.0	1.0	25	0.5
B2.0	2.0	50	0.5
B4.0	4.0	100	0.5
B8.0	8.0	200	0.5

La carga secundaria para un transformador de corriente, - es el valor en ohms de la impedancia constituida por los instrumentos del secundario, comprendiendo sus conexiones.

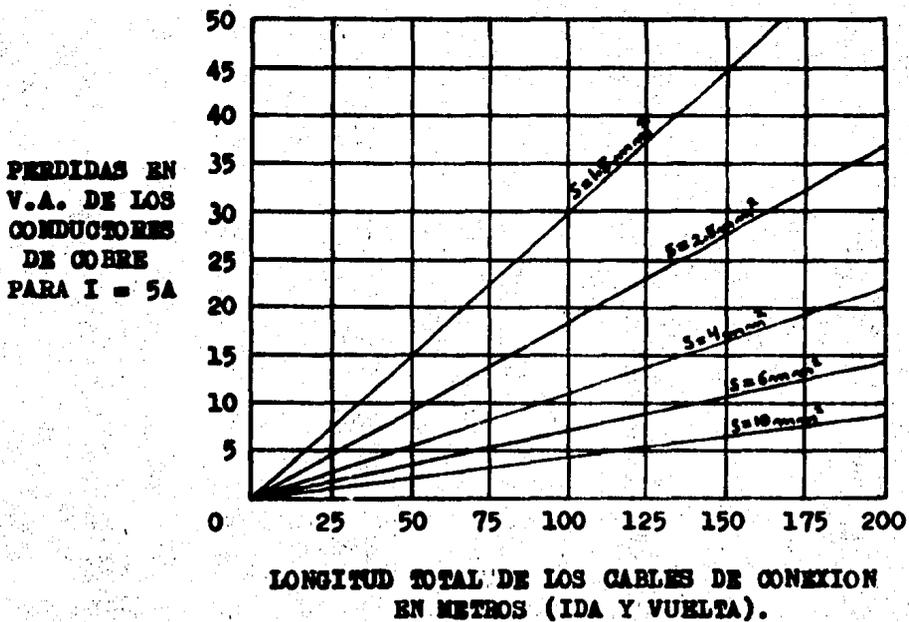


Fig. 3.9.3 Gráficas de pérdidas por efecto Joule, - en V.A., de conductores utilizados generalmente para conexiones de transformadores para medición.

La carga secundaria nominal es la impedancia del circuito secundario, correspondiente a la potencia de precisión, bajo la corriente nominal, por ejemplo: potencia de precisión 50 VA para $I_2 = 5$ A.

$$Z_2 = \frac{50}{5^2} = 2 \text{ ohms}$$

Según las condiciones particulares de cada instalación, diferentes aparatos deberán estar alimentados por los transformadores de corriente.

Hay necesidad de definir, en el momento de seleccionar un transformador de corriente, los elementos que tendrán como función la medición y aquéllos que tendrán como función la protección en el sistema. Se dan en la tabla siguiente los consumos en volts-amperes de los principales aparatos conectados a transformadores de corriente.

TABLA 3.9.0
CONSUMOS PROPIOS DE LOS APARATOS ALIMENTADOS POR TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Aparatos	Modelo	Consumo en VA para la intensidad nominal
		Frecuencia 50 cps
Wattómetros		0.5 a 1.5
Wattímetros de tablero	A inducción	1.5 a 3
	Electrodinámico	4 a 5
Wattímetros registradores	A inducción	1.5 a 2
	Electrodinámico	6 a 8
Wattímetros portátiles	Electrodinámico	1 a 4

Wáttmetros de laboratorio		1.5	a	3
Medidores de defg saje		6	a	16
Fasómetros		10	a	18
Relevadores	De corriente máxima con atraso independiente	3	a	10
	Especiales de corriente máxima con atraso independiente	15	a	25
	De máxima instantánea	1	a	10
	Direccional	1.5	a	10
	Diferencial compensado	1.6	a	10
	Diferencial	3	a	12
	A mínima de impedancia	0.5	a	2
	De distancia	6	a	20
Reguladores	Según modelo	10	a	150

7.- Clase y potencia de protección.- Se especificarán en aquellos casos en que los transformadores de corriente sean destinados a la alimentación de relevadores para la protección del sistema.

La revisión de 1968 de las normas americanas ANSI (anteriormente ASA), hacen la siguiente clasificación de la precisión para protección:

1. Clase C.
2. Clase T.

La primera, cubre a todos los transformadores que tienen los devanados uniformemente distribuidos, y por lo tanto, el flujo de dispersión en el núcleo no tiene ningún efecto apreciable en el error de relación. La relación de transformación en ellos, puede ser calculada por métodos

analíticos.

La segunda, cubre a todos los transformadores que tienen los devanados no distribuidos de manera uniforme, y por lo tanto el flujo de dispersión en el núcleo, tiene un efecto apreciable en el error de relación. La relación de transformación en los mismos debe ser determinada por prueba.

La clase y potencia de protección dependen de los V.A. consumidos por los relevadores conectados a 20 veces la corriente nominal. Se hace la suma de las impedancias de los relevadores y los conductores y se obtiene con ella la tensión necesaria de los bornes del secundario a 20 veces la corriente nominal, especificándose luego el valor inmediato superior nominal.

$$V_{sec.} = Z \times 20I_n$$

$$V_{sec.} = V. \text{ nominal}$$

Las clases y potencias nominales de protección son:

V. nominal:

C ó T - 10	(0.1 ohm)
C ó T - 20	(0.2 ohm)
C ó T - 50	(0.5 ohm)
C ó T - 100	(1.0 ohm)
C ó T - 200	(2.0 ohms)
C ó T - 400	(4.0 ohms)
C ó T - 800	(8.0 ohms)

8.- Sobrecorriente en permanencia.- Generalmente se especifica como 1.2 In, sin embargo, se puede dar otro valor si las condiciones de servicio lo hacen necesario.

9.- Corriente térmica de cortocircuito.- Por el hecho de que los transformadores de corriente van conectados en serie con las líneas de alimentación, los transformadores están sujetos a las mismas sobretensiones y sobrecorrientes que las líneas. Estas sobrecorrientes, provocadas general-

mente por cortocircuitos, no son solamente función de la potencia tomada por un alimentador, sino que dependen de la potencia de la central o del sistema, y de la impedancia de los circuitos que se encuentran entre las fuentes de energía y el lugar de la falla.

Según las normas ANSI, se define la corriente límite térmica en la siguiente forma:

- La corriente límite térmica es el valor eficaz de la corriente primaria más grande que el transformador de corriente puede soportar por efecto Joule, durante 1 segundo, sin sufrir deterioros y teniéndose el circuito secundario en cortocircuito. Esta corriente límite térmica se expresa en kiloamperes eficaces, o en n veces la corriente nominal primaria.

La elevación de temperatura admisible en el transformador es de 150°C , para la clase A de aislamiento y dicha elevación se obtiene en un segundo, con una densidad de corriente de 143 A/mm^2 .

La corriente térmica de cortocircuito se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I_{\text{tér.}} \text{ (KA)}_{\text{ef.}} = \frac{\text{Potencia de cortocircuito (MVA)}}{\text{Tensión (KV)} (\sqrt{3})}$$

10.- Corriente dinámica de cortocircuito.- Según las normas ANSI se define la corriente límite dinámica en la siguiente forma :

- La corriente límite dinámica es el valor de cresta de la primera amplitud de corriente que un transformador puede soportar por efectos mecánicos, sin sufrir deterioros, teniendo su secundario en cortocircuito. Su amplitud se expresa en kiloamperes (cresta).

La corriente dinámica de cortocircuito se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I_{\text{din.}} (KA)_{\text{cresta}} = 1.8 \sqrt{2} I_{\text{térn.}} = 2.54 I_{\text{térn.}}$$

b.2.2) Transformadores de potencial.- A continuación, se enumeran los datos necesarios para especificar los transformadores de potencial.

1.- Tipo de servicio.- Se debe indicar si es para ser instalado en interior o en intemperie.

2.- Posición de montaje.- Se debe indicar la posición de montaje deseada, vertical, horizontal o invertida.

3.- Relación nominal de transformación.- Expresada primero por la tensión nominal primaria, en volts, y luego por la razón entre la primaria y secundaria tomando ésta como unidad. Ejemplo: $V_1 = 14,400$ volts; relación 120:1. Se procurará dar siempre con número entero para facilitar la constante de lectura.

Tensión nominal primaria.- Se escoge generalmente la tensión nominal más próxima a la tensión de servicio, según la tabla siguiente:

TABLA 3.9.D

VALORES NOMINALES DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Tensión nominal de aislamiento KV	Nivel básico de impulso (KV Cresta)	Tensión nominal primaria entre fases (Volts)	Relación nominal
-----------------------------------	-------------------------------------	--	------------------

Grupo 1: 0.6 a 15 KV, aislamiento completo, tensión límite-Y igual a $\sqrt{3}$ veces la tensión límite.

0.6	10	120/208Y	1:1
0.6	10	240/416Y	2:1
0.6	10	300/520Y	2.5:1
1.2	30	120/208Y	1:1
1.2	30	240/416Y	2:1
1.2	30	300/520Y	2.5:1
1.2	30	480/832Y	4:1

1.2	30	600/1040Y	5:1
5.0	60	2400/4150Y	20:1
8.7	75	4200/7280Y	35:1
8.7	75	4800/8320Y	40:1
15L	95	7200/12470Y	60:1
15L	95	8400/14560Y	70:1
15H	110	7200/12460Y	60:1
15H	110	8400/14560Y	70:1

Grupo 2: 0.6 a 161 KV, aislamiento completo, tensión límite Y igual a la tensión límite.

0.6	10	120/120Y	1:1
0.6	10	240/240Y	2:1
0.6	10	300/300Y	2.5:1
0.6	10	480/480Y	4:1
0.6	10	600/600Y	5:1
2.5	45	2400/2400Y	20:1
5.0	60	4800/4800Y	40:1
8.7	75	7200/7200Y	60:1
15L	95	12000/12000Y	100:1
15L	95	14400/14400Y	120:1
15H	110	12000/12000Y	100:1
15H	110	14400/14400Y	120:1
25	150	24000/24000Y	200:1
34.5	200	34500/34500Y	300:1
46	250	46000/46000Y	400:1
69	350	69000/69000Y	600:1
92	450	92000/92000Y	800:1
115	550	115000/115000Y	1000:1
138	650	138000/138000Y	1200:1
161	750	161000/161000Y	1400:1

Grupo 3: 25 a 345 KV, aislamiento reducido en el extremo -- neutro, para conexión directamente a tierra.

25	150	14400 para 25000Y	120-200:1
34.5	200	20125 para 34500Y	175-300:1
46	250	27600 para 46000Y	240-400:1
69	350	40250 para 69000Y	350-600:1
92*	450	55200 para 92000Y	480-800:1
115	550	69000 para 115000Y	600-1000:1
138	650	80500 para 138000Y	700-1200:1
161	750	92000 para 161000Y	800-1400:1
196*	900	115000 para 196000Y	1000-1700:1
230	1050	138000 para 230000Y	1200-2000:1
287*	1300	172500 para 287000Y	1500-2500:1
345	1550	207000 para 345000Y	1800-3000:1
		*	2500-4500:1

* La relación nominal primaria no ha sido aún establecida. Tensión nominal secundaria.- La tensión nominal secundaria, según ANSI, es de 120 volts para los transformadores de tensión nominal de servicio hasta de 25 KV, y de 115 volts con aquéllos de 34.5 KV ó más.

En transformadores conectados entre fase y tierra, es normal también una tensión secundaria de 115/1.73 volts.

Los transformadores de potencial son construidos en la generalidad de los casos, con un solo bobinado secundario, que alimenta a los aparatos de medición y de protección. Se prevén normalmente dos bobinados secundarios en el caso de que se desee alimentar relevadores de tierra.

4.- Tensión nominal de aislamiento.- Se debe tomar el valor nominal más próximo al de la tensión más elevada del sistema (el valor a tomar es el inmediato superior), especifican

do además, el grupo de aislamiento según se conecte el transformador; todo lo anterior, de acuerdo con la tabla 3.9.D. Se puede tomar un valor de tensión nominal de aislamiento superior cuando las condiciones de la instalación lo requieran; por ejemplo: climas salinos, marinos o altitudes de operación superiores a 1000 metros sobre el nivel del mar.

5.- Frecuencia nominal.- Se debe indicar la frecuencia de la red en herts.

6.- Clase y potencia de precisión.- La clase de precisión se seleccionará de acuerdo con el tipo de servicio que darán los aparatos conectados y dando una precisión similar a la de los mismos.

Las siguientes tablas presentan las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes de sus bobinados.

Clase	Utilización
0.1	Calibración.
0.2-0.3	Mediciones en laboratorios, alimentación de integradores (watthorímetros) para sistemas de gran potencia.
0.5-0.6	Instrumentos de medición e integradores (watthorímetros).
1.2-3-5	Vóltmetros de tableros. Vóltmetros registradores. Wáttmetros de tableros. Wathorímetros. Frecuenciómetros de tableros. Sincronoscopios. Reguladores de tensión. Relevadores de protección, etc.

TABLA 3.9.E
CONSUMOS PROPIOS DE LOS APARATOS ALIMENTADOS POR TRANSFORMA
DORES DE POTENCIAL

Aparatos	Consumo aproximado en V.A.
Vóltmetros	
Indicadores	3.5 - 15
Registradores	15 - 25
Wáttmetros	
Indicadores	6 - 10
Registradores	5 - 12
Medidores de fase	
Indicadores	7 - 20
Registradores	15 - 20
Watthorímetros	3 - 15
Frecuenciómetros	
Indicadores	1 - 15
Registradores	7 - 15
Relevadores de tensión	10 - 15
Relevadores selectivos	2 - 10
Relevadores direccionales	25 - 40
Sincronoscopios	6 - 25
Reguladores de tensión	30 - 250

La potencia de precisión se dará tomando la carga nominal inmediata superior a la suma de las cargas que representen los aparatos conectados al transformador de potencial.-

Si se tienen dos o más secundarios, la carga especificada será la suma de las cargas de los secundarios, tomando en cuenta las caídas de tensión en las líneas si las distancias entre los transformadores y los instrumentos de medición son importantes. Los valores nominales de las potencias de precisión y de sus factores de potencia, según las normas ANSI C.57.13, están dados en la tabla siguiente:

TAULA 3.9.F

CARGAS NORMALES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Designación de la carga	Voltamperes	Factor de Potencia
W	12.5	0.10
X	25	0.70
Y	75	0.85
Z	200	0.85
ZZ	400	0.85

7.- Potencia máxima de calentamiento.- Se indica en V.A. y es la carga máxima que puede soportar el transformador en forma continua sin exceder sus límites prescritos de elevación de temperatura.

Se especificará únicamente en casos especiales cuando el transformador de potencial sea destinado a llevar una carga continua determinada sin importar entonces la clase y potencia de precisión; en caso normal, este valor es dado por el fabricante.

b.3) Especificación de los transformadores para medición:

b.3.1) Transformadores de corriente.- Conforme a todo lo anteriormente mencionado, se procederá a especificar las características de los transformadores de corriente que se requieren (3) para el circuito de medición.

1.- Tipo de servicio: Para interior.

2.- Posición de montaje: Serán tipo dona, por lo que colgarán.

3.- Relación nominal de transformación:

Corriente nominal primaria.- Siendo I_n la corriente nominal del alimentador del sistema (que es el lugar donde estarán conectados los transformadores de corriente), igual a la suma de las corrientes a plena carga de los motores de 7.5 y 5 H.P., más la suma de las corrientes demandadas por las cargas de alumbrado, inductiva y capacitiva, se tiene:

$$I_n = 23.66 + 15.77 + 4.72 + 15.74 + 15.74 = 75.63 \text{ A}$$

Por lo tanto, se elige un valor normalizado para la corriente primaria de 100 amperes.

Corriente nominal secundaria.- Será de 5 amperes (valor normalizado).

Por consiguiente, la relación nominal de transformación de los transformadores de corriente debe ser de 100/5 amperes.

4.- Frecuencia nominal: 60 Hz.

5.- Tensión nominal de aislamiento: Siendo la tensión más elevada del sistema la de 220 V entre fases ó de 127 V de fase a neutro, se elige de la tabla de valores normalizados una tensión nominal de aislamiento de 0.6 KV.

6.- Clase y potencia de precisión: Puesto que los transformadores de corriente alimentarán a un amperímetro (con su conmutador de fases) y a un wátmetro indicadores, con un consumo aproximado (según la tabla 3.9.0) máximo de 10 V.A. por los dos aparatos, y considerando despreciables las pérdidas por efecto Joule en los cables de alimentación (ver la figura 3.9.3), se tiene que la carga total del secundario es de 10 V.A. Por tanto, se elige (según las tablas de

valores normalizados de clases de precisión y de potencias-nominales de precisión), una clase de precisión de 1.2 con-potencia nominal de 12.5 V.A. (carga B0.5) para los trans-formadores de corriente.

7.- Sobrecorriente en permanencia: Siendo igual a 1.2 In, - se tiene: $1.2 I_n = 1.2(75.63) = 90.756 A$

b.3.2) Transformadores de potencial.- De acuerdo a lo anota-do en el subinciso b.2.2), se especificarán a continuación-las características de los transformadores de potencial re-queridos (2) para el circuito de medición.

1.- Tipo de servicio: Para interior.

2.- Posición de montaje: Vertical.

3.- Relación nominal de transformación:

Tensión nominal primaria.- De la tabla de valores nominales se tiene: $V_1 = 240$ volts; relación de transformación: 2:1

Tensión nominal secundaria:

$$V_2 = \frac{V_1}{2} = \frac{240}{2} = 120 \text{ volts}$$

4.- Tensión nominal de aislamiento: De la tabla de valores-nominales (3.9.D), se tiene que la tensión nominal de aislam-iento será de 0.6 KV, grupo de aislamiento 1.

5.- Frecuencia nominal: 60 Hz.

6.- Clase y potencia de precisión: Puesto que los transfor-madores de potencial alimentarán a un voltmetro (con su con-utador de fases), con un consumo aproximado máximo (según -la tabla 3.9.E) de 15 V.A.; a un wattmetro trifásico, con -un consumo de 6 V.A., y considerando despreciables las pér-didas por efecto Joule en los cables de alimentación (por -la figura 3.9.3), se tiene que la carga total del secunda-rio es de 21 V.A. Conforme a lo anterior, se elige (según -las tablas de valores normalizados de clases de precisión y

de potencias nominales de precisión), una clase de precisión de 1.2 con potencia nominal de 25 V.A. (carga X) para los transformadores de potencial.

B) Conductores.- Considerando que la corriente en el circuito de medición estará limitada a un valor máximo de 5 amperes (que es la corriente nominal del secundario del transformador de corriente), ya que la corriente nominal del secundario del transformador de potencial será de:

$$\frac{25 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.227 \text{ A}$$

se eligió, según tablas de CONDUMEX, un conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON, que tiene una capacidad de conducción de corriente de 25 A.

Para el lado primario de los transformadores de potencial, se tiene que la corriente nominal es:

$$\frac{25 \text{ V.A.}}{220 \text{ V}} = 0.113 \text{ A}$$

De acuerdo a este valor, se eligió el mismo conductor de calibre No. 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON, para alimentar a los transformadores de potencial.

Por otra parte, del lado secundario de los transformadores se tomarán unas derivaciones que alimentarán a las bobinas de potencial del wattmetro. Estos conductores deberán conducir una corriente de:

$$\frac{6 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.054 \text{ A}$$

por lo que también se usará el mismo tipo de conductor que el usado para alimentar a los transformadores (calibre 14 A.W.G. con aislamiento de VINANEL-NYLON).

Además, de acuerdo a la norma 206.61 de las NTEE-81, el conductor que se use para la puesta a tierra de los circuitos secundarios de transformadores para instrumentos y -

las cubiertas de instrumentos, no debe ser de menor calibre que el No. 12 A.W.G. (3.31 mm^2) si es de cobre, ó su equivalente si es de otro material. Por lo tanto, para las líneas de los secundarios conectadas a tierra, tanto de los transformadores de corriente como de los de potencial, se seleccionó un conductor de calibre No. 12 A.W.G. con aislamiento de VINANIL-NYLON, que tiene una capacidad de conducción de corriente de 30 amperes.

C) Fusibles.- Los dos transformadores de potencial estarán protegidos con fusibles, tanto del lado primario como del secundario. La corriente nominal en el primario del transformador será:

$$\frac{25 \text{ V.A.}}{220 \text{ V}} = 0.113 \text{ A}$$

De acuerdo a este valor, y conforme a la capacidad de conducción de corriente del conductor seleccionado, se eligieron, para el lado primario de los transformadores, 3 fusibles de cartucho tipo listón, con contacto de casquillo, de tensión nominal de 250 V y corriente nominal de 3 A.

La corriente nominal en el secundario del transformador será:

$$\frac{25 \text{ V.A.}}{110 \text{ V}} = 0.227 \text{ A}$$

Conforme a este último valor, y de acuerdo a la capacidad de conducción de corriente del conductor seleccionado, se eligieron, para el lado secundario de los transformadores, 2 fusibles de cartucho tipo listón, con contacto de casquillo, de tensión nominal de 250 V y corriente nominal de 3 A.

D) Aparatos de medición.- a) Voltmetro:

a.1) Generalidades.- Un voltmetro, lo mismo que un ampermetro, se puede construir fácilmente a partir de un galvanómetro

tro D'Arsonval, por lo que es conveniente conocer los aspectos más importantes del mismo. Consta de un cuadro ó bobina móvil que puede girar alrededor de un eje dentro del campo de un imán fijo. El esquema de un galvanómetro de cuadro móvil está representado en la figura 3.9.4. El campo magnéti-

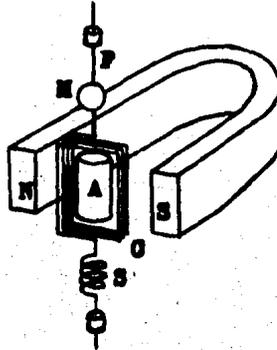


Fig. 3.9.4 Principio del galvanómetro D'Arsonval.

co de un imán en herradura cuyos polos se designan por N y S se concentra en la proximidad del cuadro o bobina móvil C mediante el cilindro fijo de hierro dulce A. El cuadro se compone de unas 10 ó 20 vueltas de hilo de cobre aislado arrollado sobre un marco rectangular y suspendido mediante un fino hilo conductor o una delgada cinta, P, que proporciona un par recuperador cuando el cuadro se desvía de su posición de equilibrio, y sirve también para hacer llegar la corriente al cuadro. El otro borne del cuadro se conecta a una espiral floja S, que sirve como segundo conductor, y ejerce un control despreciable sobre el cuadro.

Quando se envía una corriente a través del cuadro, actúan fuerzas horizontales sobre sus lados verticales, produciendo un par alrededor de un eje vertical que pasa por su

centro. El cuadro gira en el sentido de este par y al cabo de cierto tiempo se detiene en una posición tal que el momento recuperador ejercido por la suspensión superior iguala al momento del par que desvía el cuadro a causa de las fuerzas laterales. Se observa el ángulo desviado con ayuda de un haz luminoso que se refleja sobre un pequeño espejo *M*, sujeto a la suspensión superior, sirviendo el haz de luz como aguja indicadora sin peso. Puesto que la luz incidente sobre el espejo se refleja formando un ángulo de reflexión igual al de incidencia, una rotación θ del espejo desvía el haz de luz un ángulo 2θ . Es práctica general observar el haz reflejado sobre una escala situada a una distancia de un metro del galvanómetro.

En vez del espejo y el haz luminoso, el galvanómetro D'Arsonval se podría usar como un instrumento del tipo aguja indicadora, como se muestra en la figura 3.9.5. Sin em-

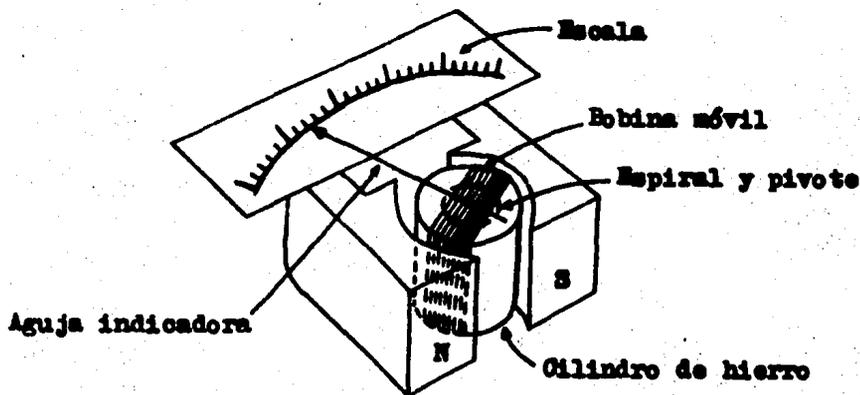


Fig. 3.9.5 El mecanismo D'Arsonval utilizado en un instrumento del tipo aguja indicadora.

bargo, estos instrumentos tienen una sensibilidad menor que los galvanómetros de espejo debido a la masa adicional de la aguja indicadora. Se define la sensibilidad de un galvanómetro como la intensidad de corriente que debe circular -

por el cuadro del galvanómetro para producir un desplazamiento del haz reflejado de un milímetro, sobre una escala situada a un metro de distancia del aparato. Las sensibilidades típicas varían desde $0.01 \mu\text{A}$ (10^{-8} A) hasta $0.0001 \mu\text{A}$ (10^{-10} A) por cada división de 1 mm, a un metro de distancia. El galvanómetro D'Arsonval, de una u otra forma, se puede usar sólo para la medición de corriente directa. Si se envía una corriente alterna a través del cuadro de dicho instrumento, el sentido del momento desviador se invierte cuando cambia el sentido de la corriente, y puesto que el momento de inercia del elemento móvil es demasiado grande para seguir las variaciones de la corriente en el caso de las frecuencias comerciales de 60 Hz ó mayores, los aparatos no indican desviación.

Los dos tipos más comunes de mecanismos que se utilizan para la medición de corriente alterna son: el de núcleo de hierro ó de hierro móvil, y el electrodinámico. En el instrumento de hierro móvil, como el que se muestra en la figura 3.9.6, la corriente se suministra en la bobina fija. El núcleo de hierro es móvil y se conecta a un resorte restaurador. De esta manera, el desplazamiento del núcleo es proporcional a la fuerza inductiva ejercida por la bobina. Este tipo de medidor está sujeto a pérdidas debidas a las corrientes parásitas en el núcleo y a los diversos efectos de histéresis, que limitan su exactitud.

En la figura 3.9.7 se presenta un diagrama esquemático del mecanismo electrodinámico. Este mecanismo es similar al D'Arsonval, excepto que el imán permanente se reemplaza por un electroimán, el cual puede activarse por medio de una corriente alterna. De esta manera, puede lograrse la operación sincronizada del campo en el electroimán con la corriente alterna en la bobina móvil. Para la utilización del

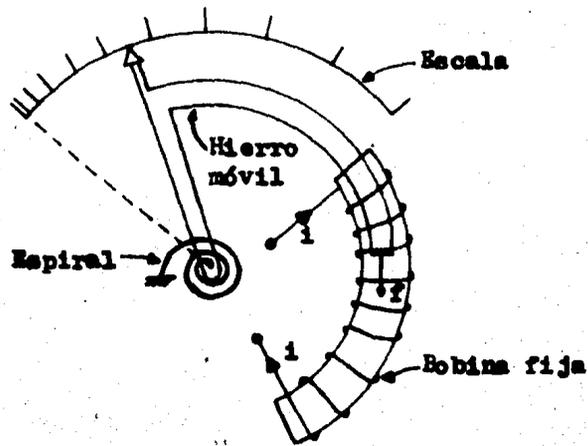


Fig. 3.9.6 Principio de operación del instrumento del núcleo de hierro o hierro móvil.

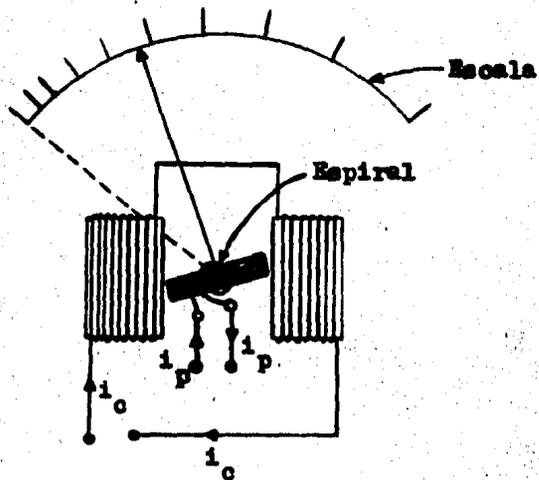


Fig. 3.9.7 Diagrama esquemático del mecanismo electrodinámico.

electrodinámometro en las mediciones de corriente alterna, es necesario conectar en serie el electroimán y la bobina móvil, como indica la figura 3.9.8.

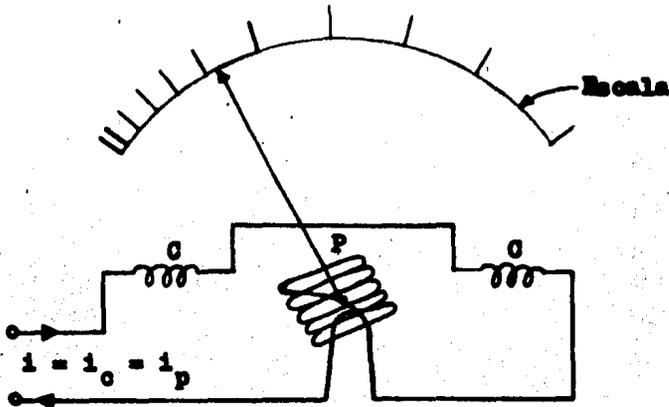


Fig. 3.9.8 El mecanismo electrodinámico utilizado como ampérmetro.

El cuadro de un galvanómetro de cuadro pivotado se desvía a causa de la acción mutua entre el campo del imán permanente y la corriente del cuadro. Puesto que el cuadro y los conductores unidos a él son conductores metálicos que obedecen a la ley de Ohm, la corriente en el cuadro es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre los bornes del aparato. Por consiguiente, la desviación del instrumento es proporcional a la diferencia de potencial entre sus bornes lo mismo que a la corriente que pasa por él, y puede graduarse para medir la diferencia de potencial ó la intensidad de corriente. Como un voltímetro se conecta en paralelo entre los puntos cuyo voltaje se desea medir, necesita tener una resistencia relativamente elevada; por otra parte, las limitaciones físicas impuestas al tamaño del cuadro pivotado impiden el uso de un gran número de vueltas para obtener una resistencia elevada. Sin embargo, si se in-

produce una gran resistencia en serie con él, puede modificarse cualquier galvanómetro para servir de voltmetro, como se muestra en la figura 3.9.9.

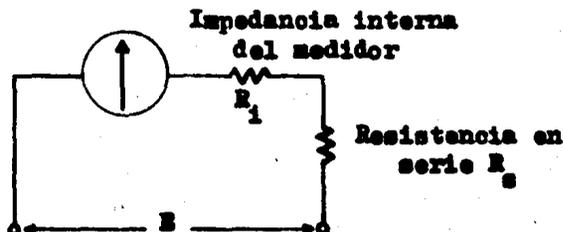


Fig. 3.9.9 Medidor D'Arsonval utilizado como voltmetro.

El rango del voltmetro se puede variar, cambiando el valor de la resistencia en serie. El voltmetro, generalmente se clasifica en términos del voltaje de entrada necesario para producir una deflexión a escala total; o también en términos del cociente de su resistencia interna entre el voltaje necesario para producir la deflexión a escala total. El arreglo de la resistencia en serie también se puede usar con los instrumentos tipo hierro móvil y electrodinámico para efectuar mediciones del valor medio cuadrático de voltajes alternos.

a.2) Especificación del voltmetro.- Considerando lo anteriormente expuesto, y conforme a catálogos sobre instrumentos de medición, se eligió un voltmetro indicador para tablero, con escala de 0 a 300 volts y con elemento para 150-volts (ya que se efectuará la medición a través de dos transformadores de potencial con relación de transformación 2 : 1).

b) Ampermetro:

b.1) Generalidades.- Como ya se mencionó en el subinciso a.1), un galvanómetro puede utilizarse para medir voltajes-

o corrientes. Como un ampérmetro ha de conectarse en serie en un circuito, necesita ser un instrumento de pequeña resistencia; por otra parte, las limitaciones físicas del cuadro pivotado impiden el uso de un hilo muy grueso para obtener una baja resistencia. Este problema se resuelve introduciendo una resistencia pequeña dispuesta en paralelo con el cuadro pivotado, como se muestra en la figura 3.9.10.

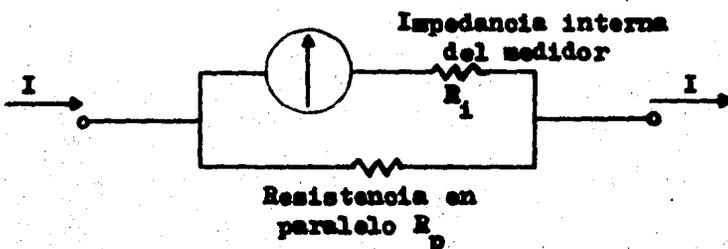


Fig. 3.9.10 Medidor D'Arsonval utilizado como ampérmetro.

b.2) Especificación del ampérmetro.- Conforme a lo tratado anteriormente, y de acuerdo a catálogos sobre instrumentos de medición, se seleccionó un ampérmetro indicador para tablero, con escala de 0 a 150 amperes, con elemento para 5 amperes (ya que la medición se efectuará a través de tres transformadores de corriente con relación de transformación 100 : 5).

c) Wáttmetro:

c.1) Generalidades.- El wáttmetro es un instrumento que registra sólo las funciones combinadas del ampérmetro y del voltmetro de la figura 3.9.11 (a) e indica directamente la potencia. Está basado en el principio del electrodinámómetro y se compone de una bobina con una aguja indicadora unida a ella, que gira alrededor de un eje, de tal modo que puede oscilar en el campo magnético de una segunda bobina,-

y está sometida a un resorte cuyo momento recuperador es — proporcional al ángulo girado. El par que tiende a hacer girar la bobina es proporcional al mismo tiempo a la intensidad de la corriente que la recorre y al campo magnético — creado sobre la bobina fija, siendo a su vez este campo magnético proporcional a la intensidad de la corriente en la —

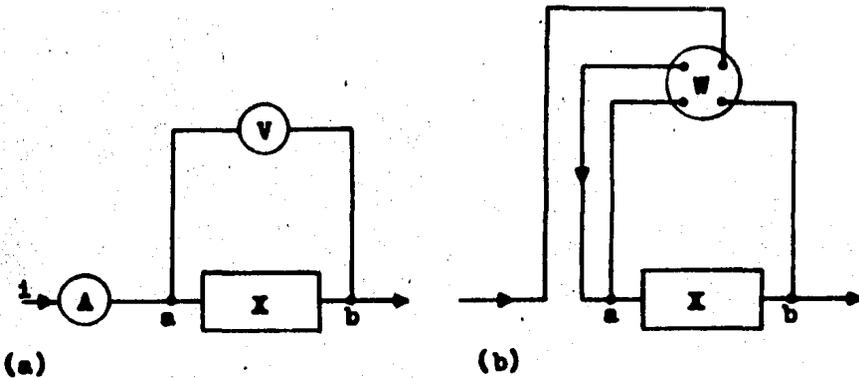


Fig. 3.9.11 (a) Medida de la potencia por el método del amperímetro y el voltímetro. (b) Wátímetro.

bobina fija. Por consiguiente, si la bobina fija se conecta (con una resistencia en paralelo adecuada) como el amperímetro de la figura 3.9.11 (a), la intensidad que pasa por — ella es proporcional a esta intensidad total, y su campo — magnético es proporcional a esta intensidad. Si la bobina — móvil (con resistencias adecuadas en serie) se conecta como el voltímetro de la figura 3.9.11 (a), la intensidad de la — corriente que la recorre es proporcional a la diferencia de potencial entre los bornes de X. El momento que tiende a hacer girar la aguja es, por consiguiente, proporcional al — producto de la intensidad de la corriente por la diferencia de potencial, o sea, la potencia absorbida por X. Bajo la —

influencia de este momento, la bobina gira hasta una posición en la cual el momento recuperador iguala al momento desviador, y como el primero es proporcional al ángulo girado, éste último será proporcional a la potencia.

Un wáttmetro está provisto de cuatro bornes, dos correspondientes al ampérmetro y dos al vóltmetro. Las conexiones se realizan como indica la figura 3.9.11 (b).

c.2) Especificación del wáttmetro.- De acuerdo a catálogos sobre instrumentos de medición, y conforme a lo tratado anteriormente, se seleccionó un wáttmetro para tres fases, tres hilos, con escala de 0 a 50 KW, con elemento para 120-volta/5 amperes (ya que las mediciones se realizarán a través de tres transformadores de corriente con relación de transformación 100 : 5, y dos transformadores de potencial con relación de transformación 2 : 1).

3.10).- LISTA DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y MARCAS COMERCIALES PROPUESTAS.

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD Y UNIDADES	MARCA PROPUESTA
1	Interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 15 amperes a 240 V.	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. PA-3015)
2	Interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 20 amperes a 240 V.	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. PA-3020)
3	Interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 30 amperes a 240 V.	2 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. PA-3030)
4	Interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 40 amperes a 240 V.	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. PA-3040)

5	Interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 50 amperes a 240 V.	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. FA-3050)
6	Interruptor termomagnético de tres polos, con capacidad de 100 amperes a 240 V.	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. FA-3100)
7	Contactador magnético de 3 - polos, a 60 Hz y 240 V. T_2 maño NEMA 0 (Tipo abierto).	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. C10BN2B)
8	Contactador magnético de 3 - polos, a 60 Hz y 240 V. T_2 maño NEMA 1 (Tipo abierto)	4 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. C10CN2B)
9	Contacto auxiliar base para contactores magnéticos - C-10.	5 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. C320KB2)
10	Contacto auxiliar normal - (normalmente cerrado) para contactores magnéticos --- C-10.	5 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. C320KA2)
11	Relevador de sobrecarga tipo térmico de aleación fusible, con disparo de tiempo inverso. Modelo abierto especial (con 2 contactos, 1 N.C. y 1 N.A.).	2 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. C3000NA3)
12	Elemento térmico calentador para relevador de sobrecarga tipo aleación fusible; corriente de disparo de 23.6 amperes.	3 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. H1042)
13	Elemento térmico calentador para relevador de sobrecarga tipo aleación fusible; corriente de disparo de 15 amperes.	3 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. H1038)
14	Transformador de control - con relación de transformación de 440/220-110 volts y capacidad de 500 V.A.	1 pieza	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. 10942H59)

- | | | | |
|----|---|-----------|---|
| 15 | Transformador de control - con relación de transformación de 440/220-110 volts y capacidad de 60 V.A. | 1 pieza | CUTLER-HAMMER
(No. de CAT.
10942H6) |
| 16 | Transformador de potencial con relación de transformación 2:1; tensión nominal primaria entre fases de 240 volts; frecuencia: 60-Hz; clase de precisión: 1.2; potencia nominal: X (25 V.A.); tensión de aislamiento: 0.6 KV; para montaje vertical y servicio interior. | 2 piezas | BALTEAU |
| 17 | Transformador de corriente tipo dona con relación de transformación 20:1; corriente nominal primaria de 100 amperes; frecuencia: 60 Hz; clase de precisión: 1.2; potencia nominal: 80.5 (12.5 V.A.); tensión de aislamiento: 0.6 KV; para servicio interior. | 3 piezas | BALTEAU |
| 18 | Relevador de tiempo con retardo al energizarse (ON - DELAY); dial para 5 segundos de retardo; dos contactos instantáneos y dos retardados; para 110 volts. | 5 piezas | EAGLE SIGNAL
(No. de CAT.
HP517) |
| 19 | Relevador de control enchufable tipo RL, con tres contactos instantáneos de un polo doble tiro; para 110 volts. | 2 piezas | SCHRACK |
| 20 | Socket para relevador de control tipo RL enchufable. | 2 piezas | SCHRACK
(No. de CAT.
EN78724) |
| 21 | Fusible de cartucho tipo listón, para 3 A a 250 V. | 15 piezas | MERCURY |

22	Fusible de cartucho tipo - listón, para 6 A a 250 V.	1 pieza	MERCURY
23	Portafusible para cartucho tipo listón; capacidad para 30 amperes.	16 piezas	MERCURY
24	Lámpara indicadora color verde, con foco de neón -- BA9S-28 mm para 110 V.	10 piezas	BROWN BOVERI (No. de SERIE 255/01)
25	Lámpara indicadora color rojo, con foco de neón -- BA9S-28 mm para 110 V.	5 piezas	BROWN BOVERI (No. de SERIE 255/01)
26	Lámpara indicadora color ámbar, con foco de neón -- BA9S-28 mm para 110 V.	2 piezas	BROWN BOVERI (No. de SERIE 255/01)
27	Botón de control color rojo, con un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado (1NA + 1NC).	11 piezas	BROWN BOVERI (No. de SERIE 201/01.11)
28	Botón de control color verde, con un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado (1NA + 1NC).	6 piezas	BROWN BOVERI (No. de SERIE 201/01.11)
29	Conmutador manual rotativo para ampermetro; capacidad para 30 A; cuatro posiciones: 0, I1, L2 y L3.	1 pieza	SIMONETT (No. de SERIE M31)
30	Conmutador manual rotativo para voltmetro; capacidad para 30 A; cuatro posiciones: 0, I1L2, L2L3 y L3L1.	1 pieza	SIMONETT (No. de SERIE V3)
31	Ampermetro indicador para tablero; escala: 0-150 A; con elemento para 5 A.	1 pieza	IUSA (Tipo 2102)
32	Voltmetro indicador para tablero; escala: 0-300 V; con elemento para 150 V.	1 pieza	IUSA (Tipo 2102)

33	Wattmetro trifásico para tablero; escala: 0-50 KW; con elemento para 120V/5A- (TC con relación de transformación 100:5, y TP con relación 2:1).	1 pieza	IUSA (Tipo 2105, E11-34)
34	Tablilla de terminales para 23 polos; capacidad de corriente: 20 A.	2 piezas	SIMONETT (No. de SERIE 601)
35	Tablilla de terminales para 20 polos; capacidad de corriente: 20 A.	1 pieza	SIMONETT (No. de SERIE 601)
36	Tablilla de terminales para 12 polos; capacidad de corriente: 20 A.	1 pieza	SIMONETT (No. de SERIE 601)
37	Tablilla de terminales para 8 polos; capacidad de corriente: 20 A.	1 pieza	SIMONETT (No. de SERIE 601)
38	Tablilla de terminales para 3 polos; capacidad de corriente: 20 A.	1 pieza	SIMONETT (No. de SERIE 601)
39	Tablilla de terminales para 3 polos; capacidad de corriente: 70 A.	5 piezas	CUTLER-HAMMER (No. de CAT. 10987HL)
40	Cable conductor de cobre - calibre 14 A.W.G. con aislamiento tipo VINANIL-NY-LON; capacidad: 25 A a 600 volts ó menos.	182 metros	CONDUMEX
41	Cable conductor de cobre - calibre 12 A.W.G. con aislamiento tipo VINANIL-NY-LON; capacidad: 30 A a 600 volts ó menos.	4 metros	CONDUMEX
42	Cable conductor de cobre - calibre 10 A.W.G. con aislamiento tipo VINANIL-NY-LON; capacidad: 40 A a 600 volts ó menos.	2 metros	CONDUMEX

- | | | | |
|----|---|----------|----------|
| 43 | Cable conductor de cobre - calibre 4 A.W.G. con aislamiento tipo VINANEL-NYLON; capacidad: 90 A a 600 V 6-menos. | 3 metros | CONDUMEX |
| 44 | Bocina de alarma, para 110 volts. | 1 pieza | EDWARDS |
| 45 | Ducto cuadrado para cables de 1" x 1"; de material -- plástico. | 3 metros | PANDUIT |
| 46 | Ducto cuadrado para cables de 3/4" x 3/4"; de material plástico. | 3 metros | PANDUIT |
| 47 | Barra de cobre electrolítico rectangular, de 1/4" x 2" de sección transversal, y 2 metros de largo. | 3 piezas | |
| 48 | Barra de cobre electrolítico rectangular, de 1/8" x 1" de sección transversal, y 2 metros de largo. | 1 pieza | |
| 49 | Soportes de buses; a partir de 1 hoja de CELOBON - no higroscópico (6 similar) de 1/4" de espesor, - de acuerdo al diseño mecánico. | 1 hoja | |
| 50 | Material misceláneo para - instalación en baja tensión. | 1 lote | |

CAPITULO CUATRO

DISEÑO MECANICO DEL TABLERO

- 4.1).- INTRODUCCION.
- 4.2).- DETERMINACION DEL TIPO DE CONSTRUCCION "NEMA".
- 4.3).- DISEÑO DEL GABINETE DEL TABLERO.
- 4.4).- DISEÑO MECANICO DE BUSES Y ACCESORIOS.
- 4.5).- DISTRIBUCION DEL EQUIPO ELECTRICO EN LOS PANELES Y -
CUBIERTAS.

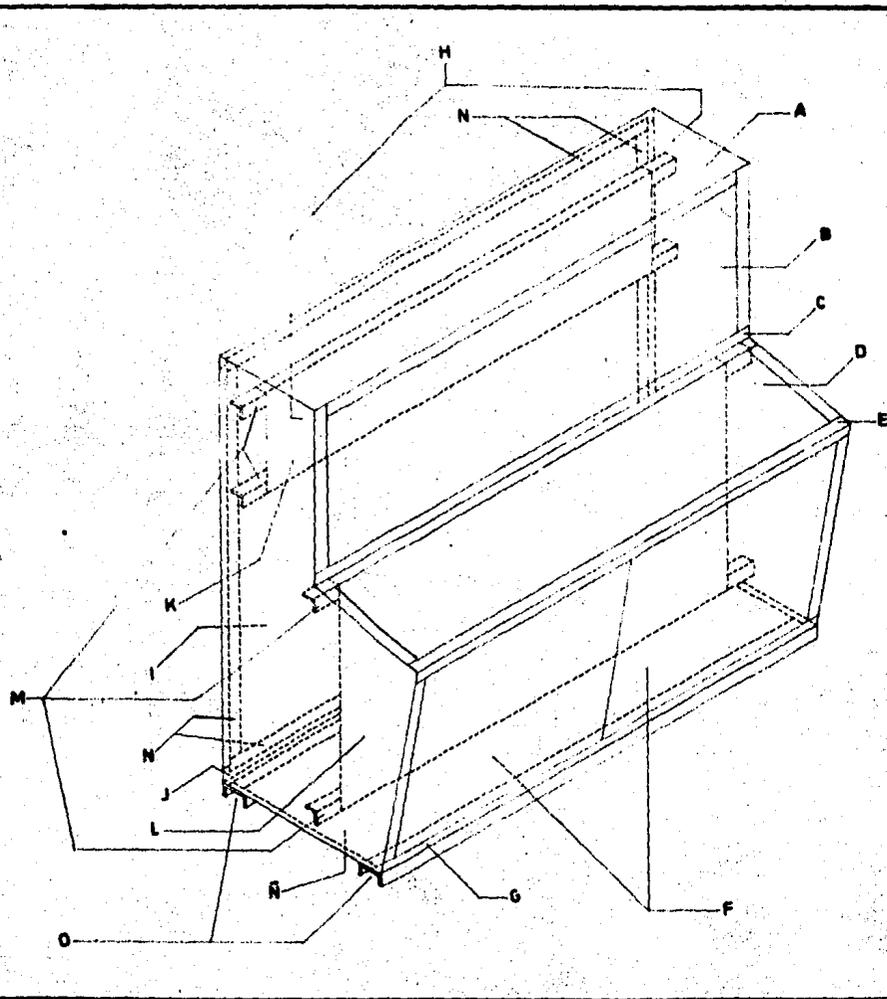
4.1).- INTRODUCCION.- En este capítulo se estudia el diseño mecánico del tablero. Primeramente, se establece qué tipo de construcción tendrá el gabinete, según las normas NEMA para control industrial y sistemas. Seguidamente, se lleva a cabo el diseño del gabinete y sus diversos componentes, tanto externos como internos (paneles y soportes); se determinarán, para los casos que lo requieran, el material a usarse y el acabado conveniente. A continuación, se efectuará el diseño mecánico de los buses y sus accesorios (soportes, aisladores y zapatas). Por último, se plantea la distribución del diverso equipo eléctrico en los paneles y cubiertas.

4.2).- DETERMINACION DEL TIPO DE CONSTRUCCION NEMA.- El gabinete del tablero será, de acuerdo a normas NEMA, de construcción "no ventilada" (construido de tal forma que no se le puede proporcionar, intencionalmente, circulación de aire externo a través del mismo), y de tipo 1, que está definido para usos generales; dicho tipo abarca las siguientes características: servicio propio para locales; operación en condiciones atmosféricas normales; material de construcción: lámina metálica, y protección contra un posible contacto accidental con los aparatos internos del tablero.

4.3).- DISEÑO DEL GABINETE DEL TABLERO.- El gabinete, como se advierte en el esquema que se muestra a continuación (plano 15), está formado por las siguientes piezas:

(Las letras que identifican a cada inciso corresponden a dichos esquemas).

- A) Tapa superior (techo) (PL. 16).
- B) Cubierta frontal superior (PL. 17).
- C) Travesaño frontal superior (PL. 18).
- D) Cubierta frontal media (PL. 19).
- E) Travesaño frontal medio (PL. 20).



- A) Tapa superior, o techo (PL.16).
- B) Cubierta frontal superior (PL.17).
- C) Travesaño frontal superior (PL.18).
- D) Cubierta frontal media (PL.19).
- E) Travesaño frontal medio (PL.20).
- F) Puertas (PL.21).
- G) Travesaño frontal inferior (PL.22).
- H) Laterales (PL.23).
- I) Tapa posterior (PL.24).
- J) Travesaño posterior inferior (PL.25).
- K) Panel superior (PL.26).
- L) Panel inferior (PL.27).
- M) Soportes de los paneles (PL.28).
- N) Soportes de la tapa posterior (PL.29).
- O) Tapa inferior, o piso (PL.30).
- P) Canales de anclaje (PL.31).

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 15
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:125 Acot. en mm.
COMPOSICIÓN DEL GABINETE DEL TABLERO	

- F) Puertas (PL. 21).
- G) Travesaño frontal inferior (PL. 22).
- H) Laterales (PL. 23).
- I) Tapa posterior (PL. 24).
- J) Travesaño posterior inferior (PL. 25).
- K) Panel frontal superior (PL. 26).
- L) Panel frontal inferior (PL. 27).
- M) Soportes de los paneles (PL. 28).
- N) Soportes de la tapa posterior (PL. 29).
- Ñ) Tapa inferior, ó piso (PL. 30).
- O) Canales de anclaje (PL. 31).

Con excepción de los soportes de los paneles (de hierro), y de los canales de anclaje (de hierro colado), todas las demás piezas del gabinete serán de lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12, con acabado de esmalte acrílico alquidílico color verde tierno, secado al aire.

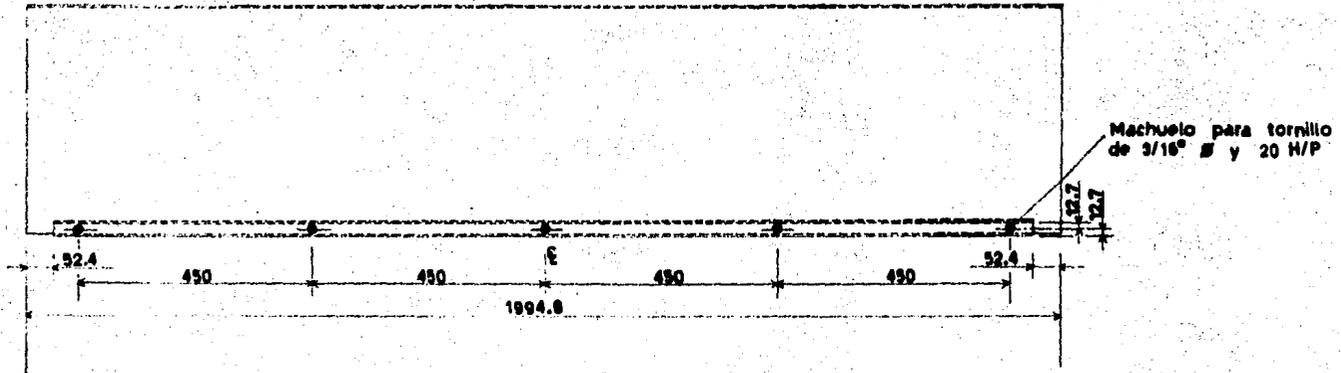
A) Tapa superior, ó techo (PL. 16).- La tapa superior estará soldada a las laterales y, a la vez, estará soldado a ella el soporte horizontal superior de la tapa posterior. A su parte frontal inferior se atornillará la parte superior de la cubierta frontal superior mediante tornillos de 3/16" $\#$, 20 H/P y 1/2" de largo.

B) Cubierta frontal superior (PL. 17).- Estará atornillada interiormente, tanto al techo y al travesaño frontal superior como a las laterales; se usarán tornillos de 3/16" $\#$, 20 H/P y 1/2" de largo.

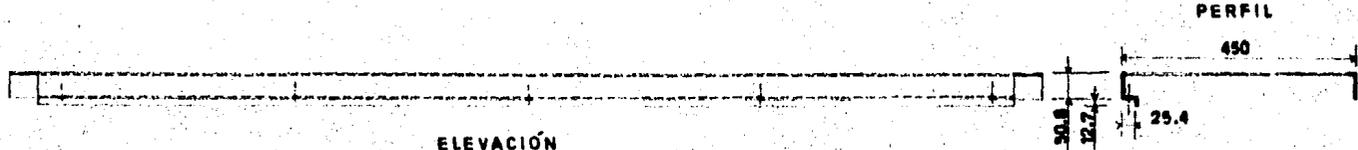
C) Travesaño frontal superior (PL. 18).- Estará soldado a las laterales. En su parte superior se atornillará la cubierta frontal superior. En su parte inferior irá soldada una hoja de la bisagra de piano que sostendrá a la cubierta frontal media.

D) Cubierta frontal media (PL. 19).- En su parte superior -

PLANTA

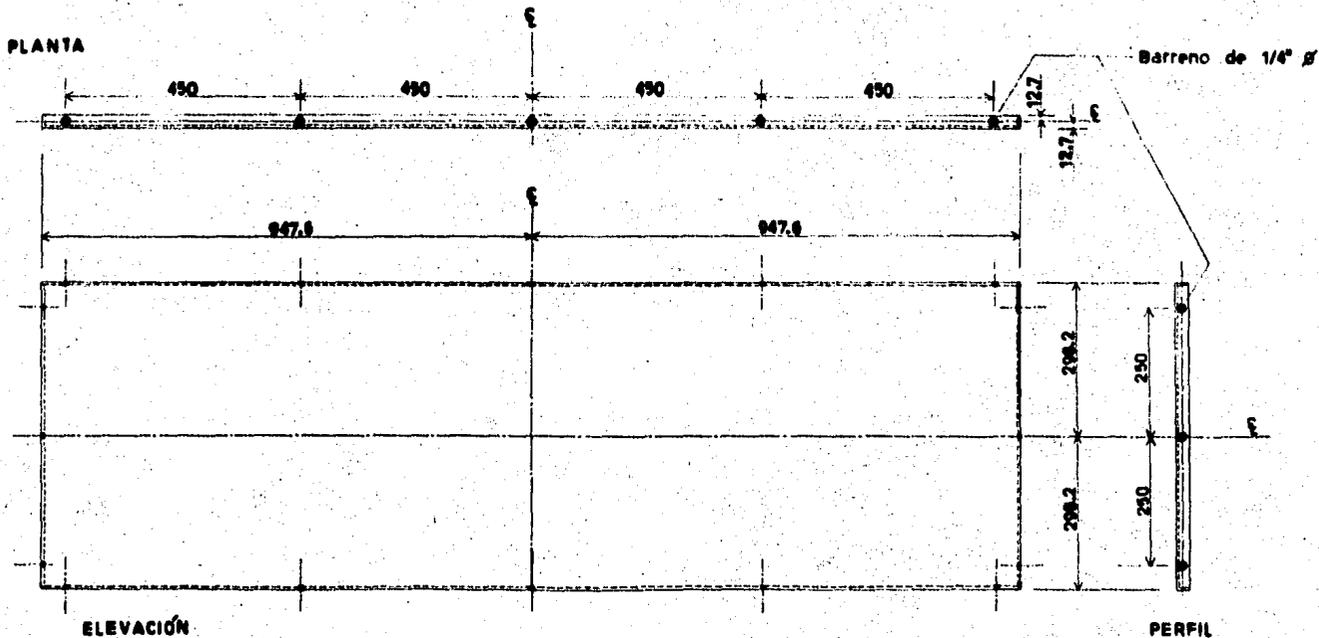


ELEVACIÓN



Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquídico color verde tierno, secado al aire.

UNAM		Fac. de Ingeniería
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN		Pl. 10
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN		Escala 1:7.5
		Acol. en mm.
DISEÑO DE LA TAPA SUPERIOR (O TECHO)		

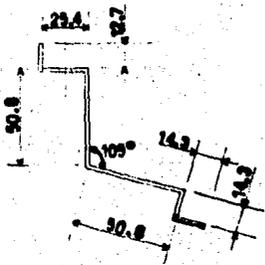


Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquídico color verde tierra, secado al aire.

UNAM | Fac. de Ingeniería

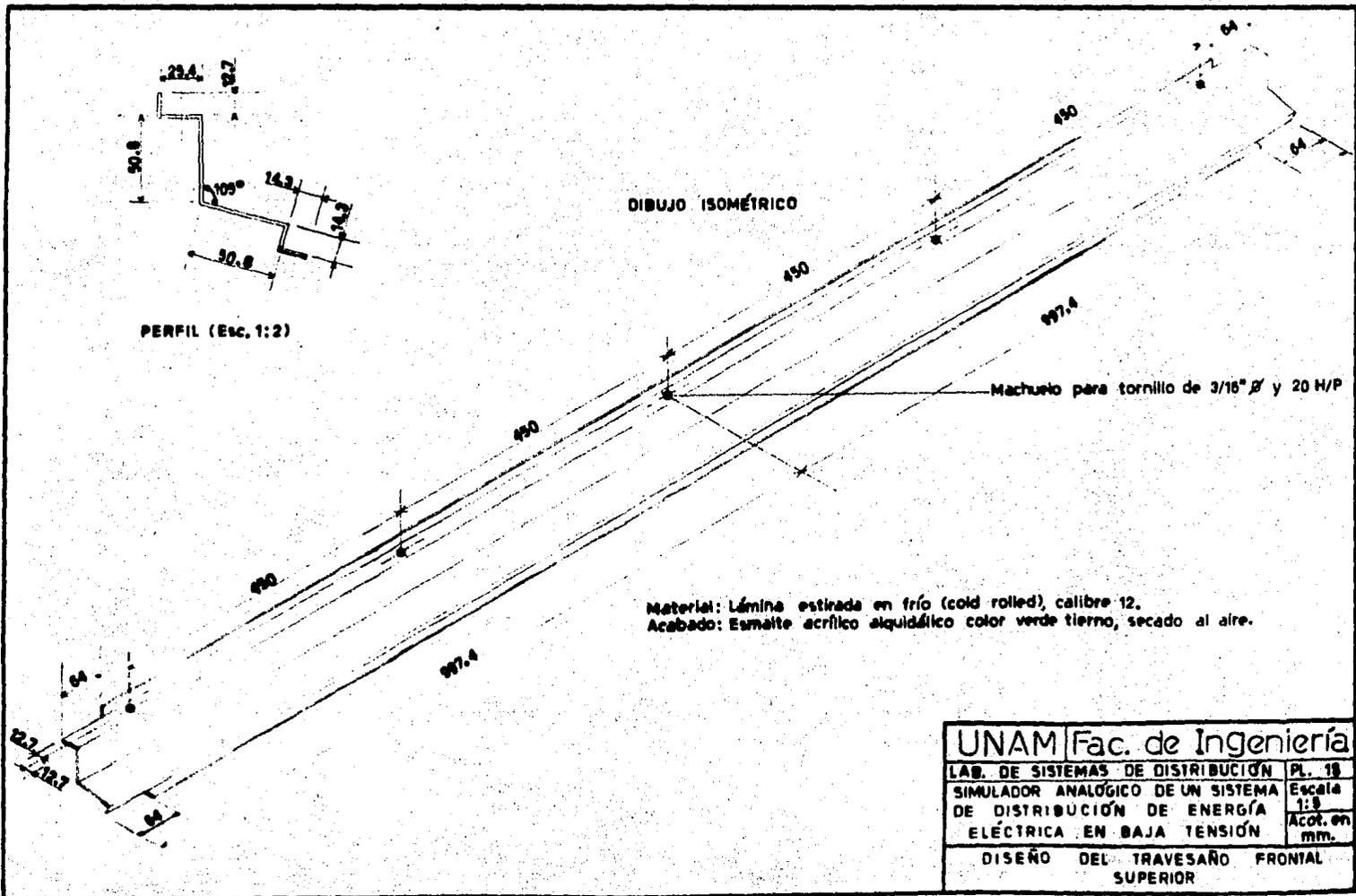
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	N. 17
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:7.5
	Acot. en mm.

DISEÑO DE LA CUBIERTA FRONTAL SUPERIOR



PERFIL (Esc. 1:2)

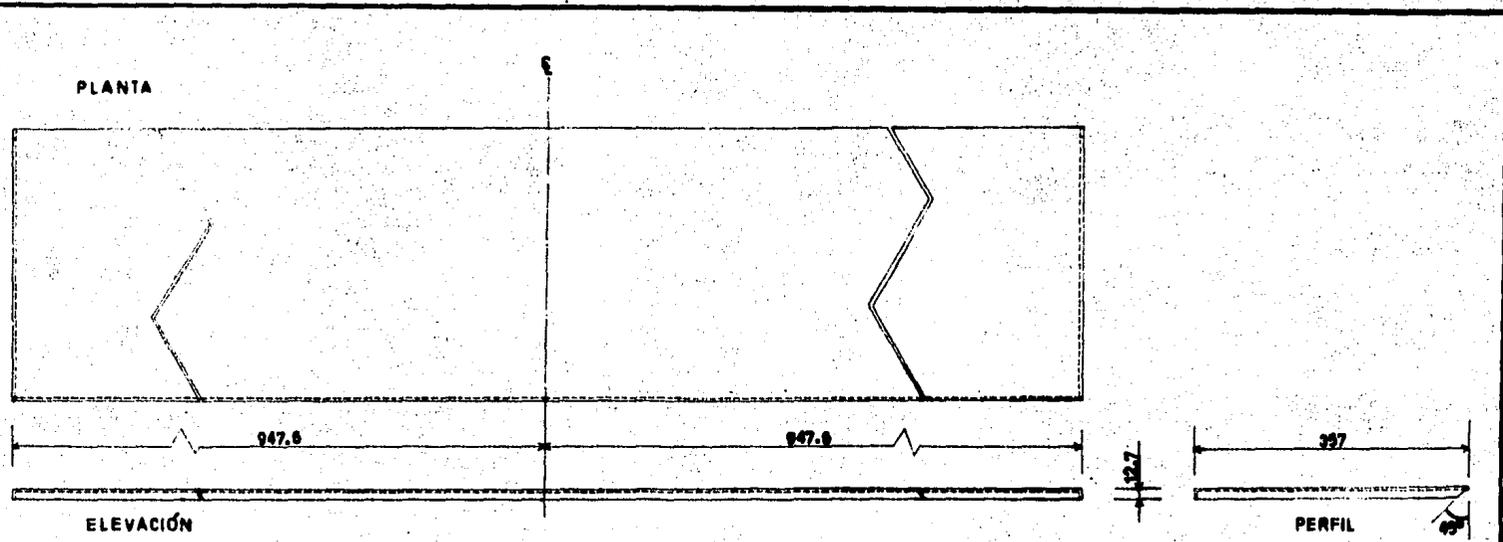
DIBUJO ISOMÉTRICO



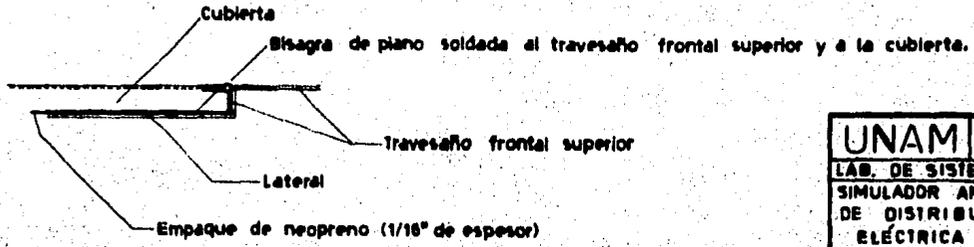
Machuelo para tornillo de 3/16" Ø y 20 H/P

Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidílico color verde tierra, secado al aire.

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 18
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:3 Acot. en mm.
DISEÑO DEL TRAVESAÑO FRONTAL SUPERIOR	



Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquídico color verde tierno, secado al aire.



UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 19
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSION	Escala 1:3 Acot. en mm.
DISEÑO DE LA CUBIERTA FRONTAL MEDIA	

se sostendrá por medio de una bisagra de piano cuya hoja se soldará a la cara inferior de la cubierta; dicha bisagra -- tendrá sus hojas de una anchura de 1/2". Estará apoyada la cubierta, además, en salientes de las laterales y del travesaño frontal medio, que tendrán un empaque de neopreno de 1/16" de espesor.

E) Travesaño frontal medio (PL. 20).-- Estará soldado a las laterales. Su parte superior servirá de apoyo a la cubierta frontal media, y la inferior a las puertas; ambas partes -- tendrán empaques de neopreno de 1/16" de espesor.

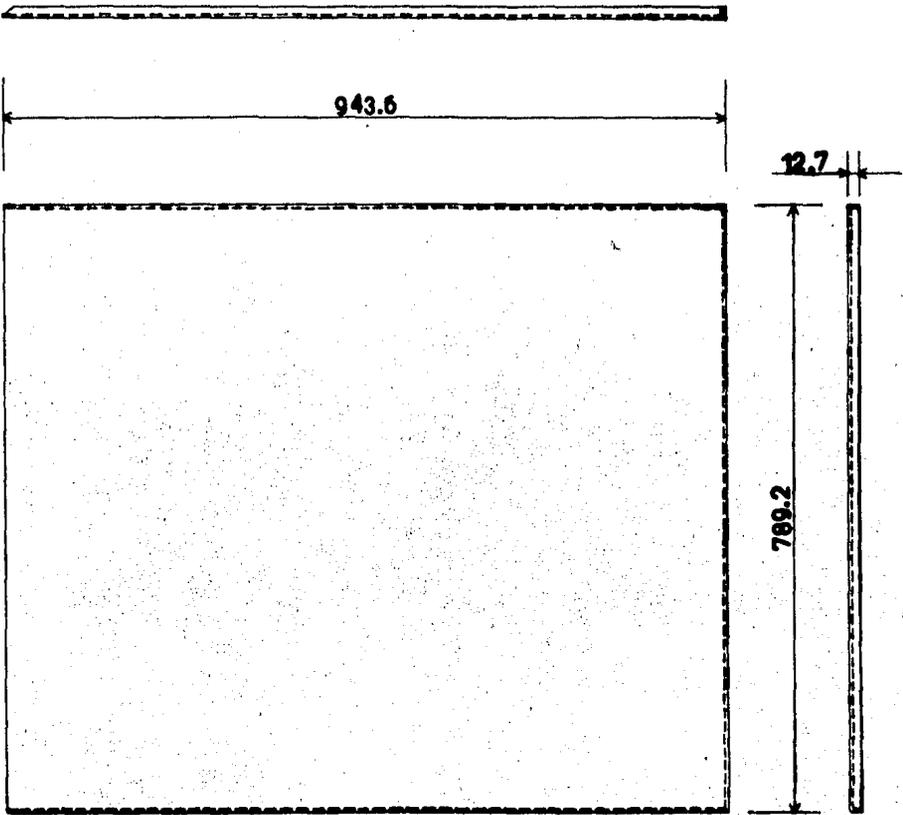
F) Puertas (PL. 21).-- Se sostendrán por medio de bisagras de piano con hojas de anchura de 1/2", las cuales estarán soldadas a las caras interiores de las puertas, por una parte, y, por otra, a las laterales. Se apoyarán en la parte inferior del travesaño frontal medio y en la parte superior del travesaño frontal inferior.

G) Travesaño frontal inferior (PL. 22).-- Estará soldado a las laterales. Su parte superior servirá de apoyo a las puertas, teniendo, por consiguiente, un empaque de neopreno de 1/16" de espesor. La parte inferior estará atornillada al canal de anclaje anterior, usándose, para este propósito, tornillos de 3/16" Ø, 20 H/P y 1/2" de largo.

H) Laterales (PL. 23).-- Ambas laterales se soldarán a tope con los soportes de los paneles y con el techo; asimismo, -- estarán soldadas a los travesaños y a los soportes verticales de la tapa posterior. Por su parte inferior se atornillarán a los canales de anclaje, por medio de tornillos de 3/16" Ø, 20 H/P y 1/2" de largo. Las partes de las laterales que sirven de apoyo a la cubierta frontal media tendrán empaques de neopreno de 1/16" de espesor.

I) Tapa posterior (PL. 24).-- Se atornillará a sus soportes por medio de tornillos de 3/16" Ø, 20 H/P y 1/2" de largo.

PLANTA

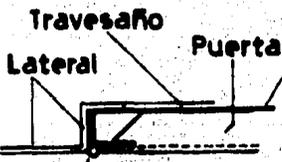


ELEVACIÓN

PERFIL

Material: Lámina estrada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierno, secado al aire.

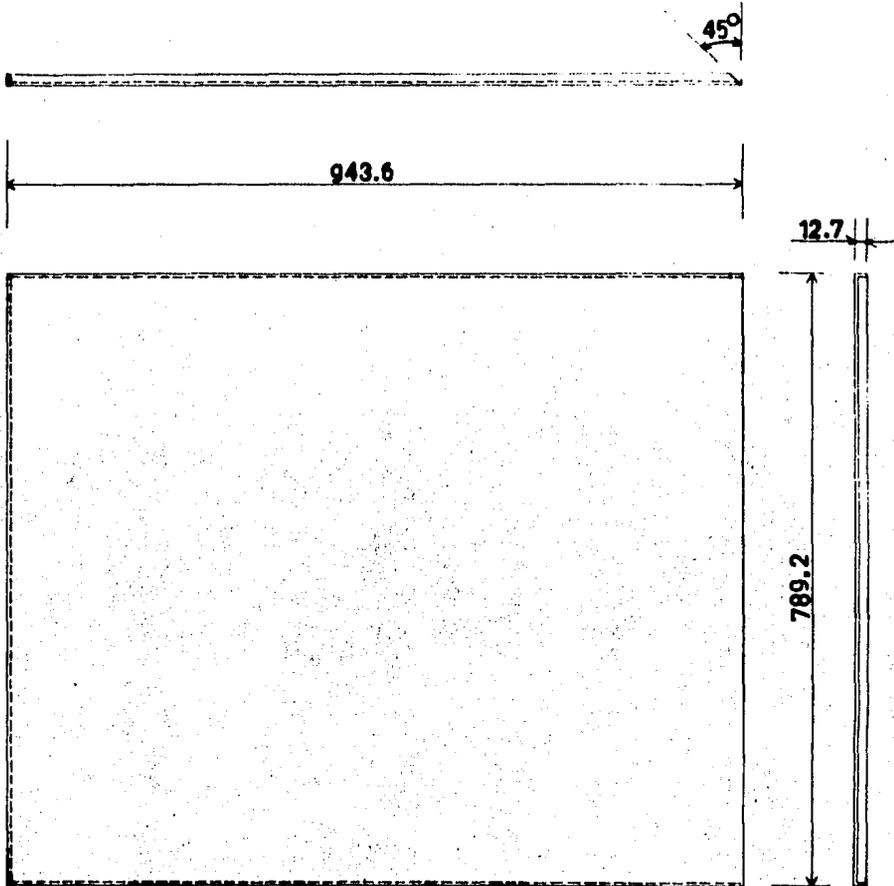
Empaque de neopreno (1/16" de espesor)



Bisagra de plano soldada a la puerta y a la lateral.

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 21-A
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:7.5
	Acot. en mm.
DISEÑO DE LA PUERTA IZQUIERDA	

PLANTA

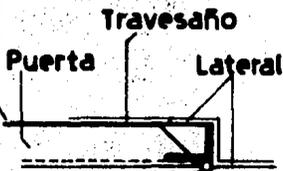


ELEVACIÓN

PERFIL

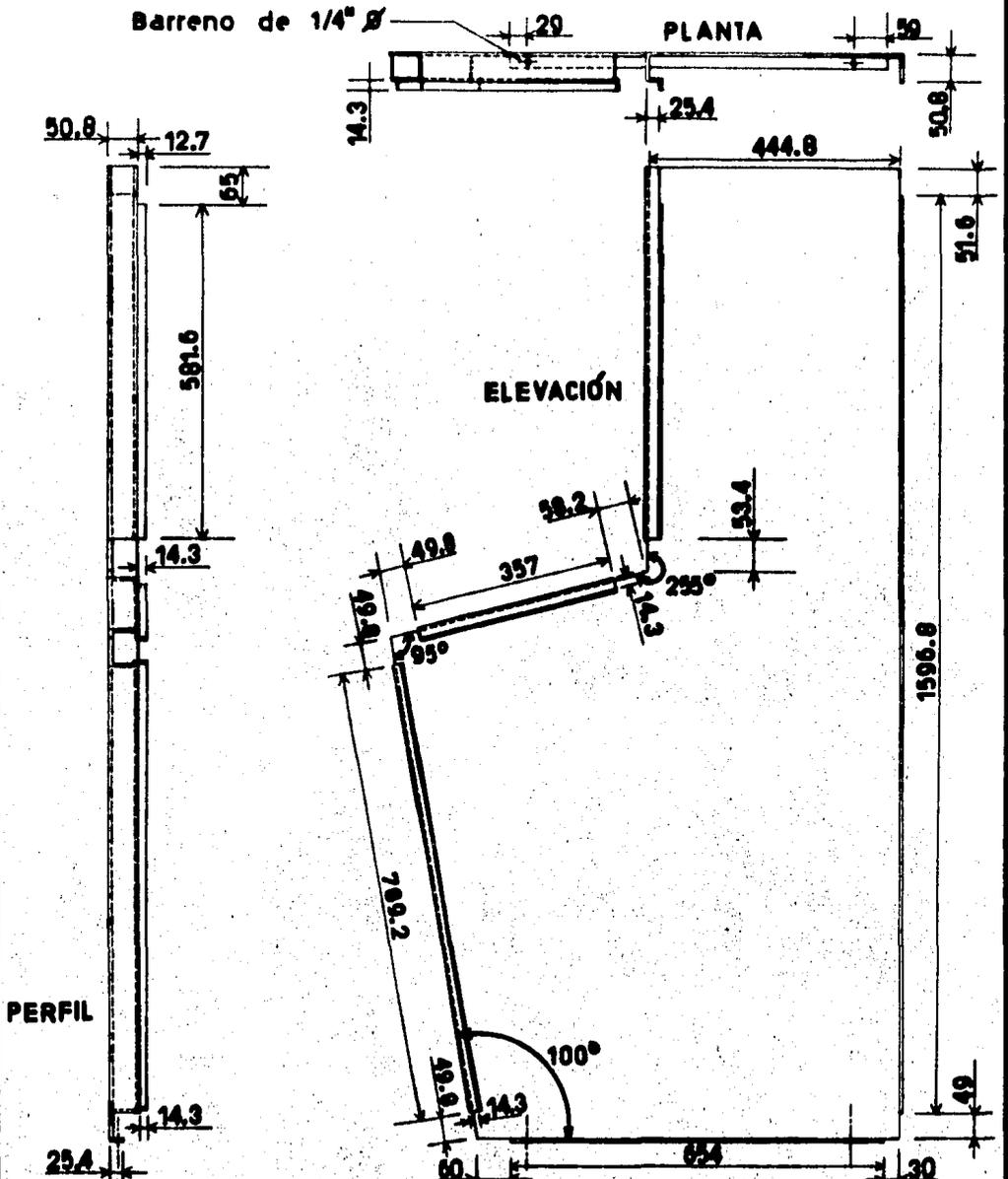
Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidático color verde tierra, secado al aire.

Empaque de neopreno (1/16" de espesor)



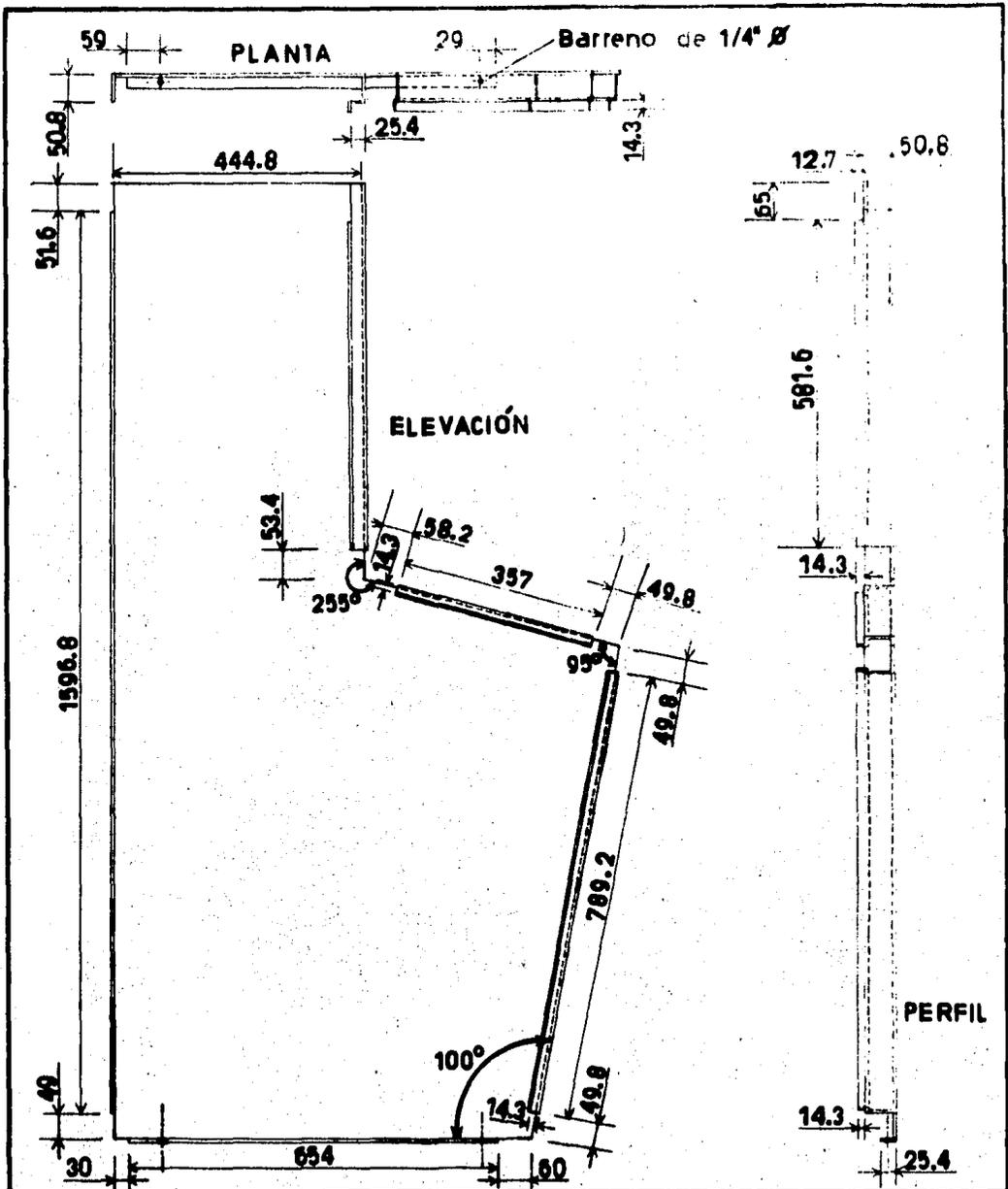
Bisagra de piano soldada a la puerta y a la lateral.

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 21-B
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:7.5
	Acot. en mm.
DISEÑO DE LA PUERTA DERECHA	



Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierno, secado al aire.

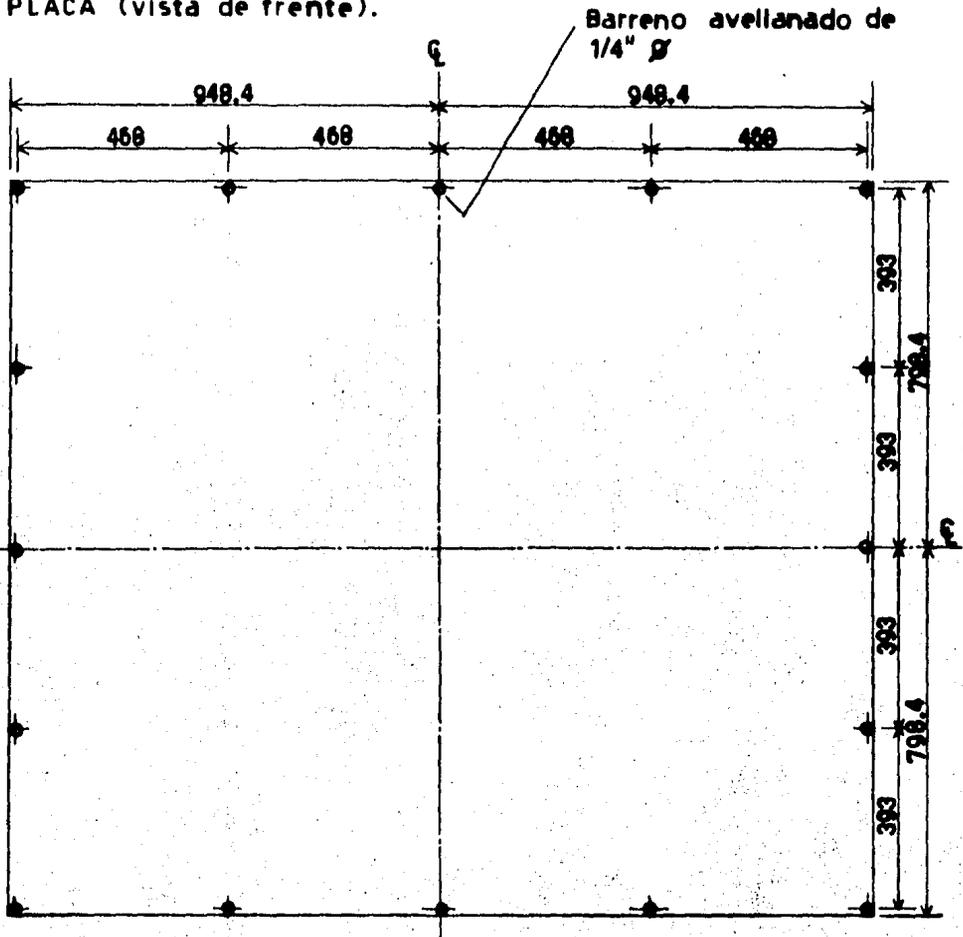
UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 23-A
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:10 Acot. en mm.
DISEÑO DE LA LATERAL IZQUIERDA	



Material: Lámina es-
tirada en frío (cold
rolled), calibre 12.
Acabado: Esmalte
acrílico alquidático
color verde tierno,
secado al aire.

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 23-B
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:10 Acot. en mm.
DISEÑO DE LA LATERAL DERECHA	

PLACA (vista de frente).



Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierno, secado al aire.

UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN | PL. 24

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA
DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Escala
1:12.5
Acot. en
mm.

DISEÑO DE LA TAPA POSTERIOR

J) Travesaño posterior inferior (PL. 25).- Estará soldado a las laterales. A su parte superior estará soldado el soporte horizontal inferior de la tapa posterior del gabinete; - su parte inferior se atornillará al canal de anclaje posterior (con tornillos de $3/16"$ Ø, 20 H/P y $1/2"$ de largo).

K) Panel frontal superior (PL. 26).- Se atornillará a sus soportes mediante tornillos de $3/16"$ Ø, 20 H/P y $1/2"$ de largo.

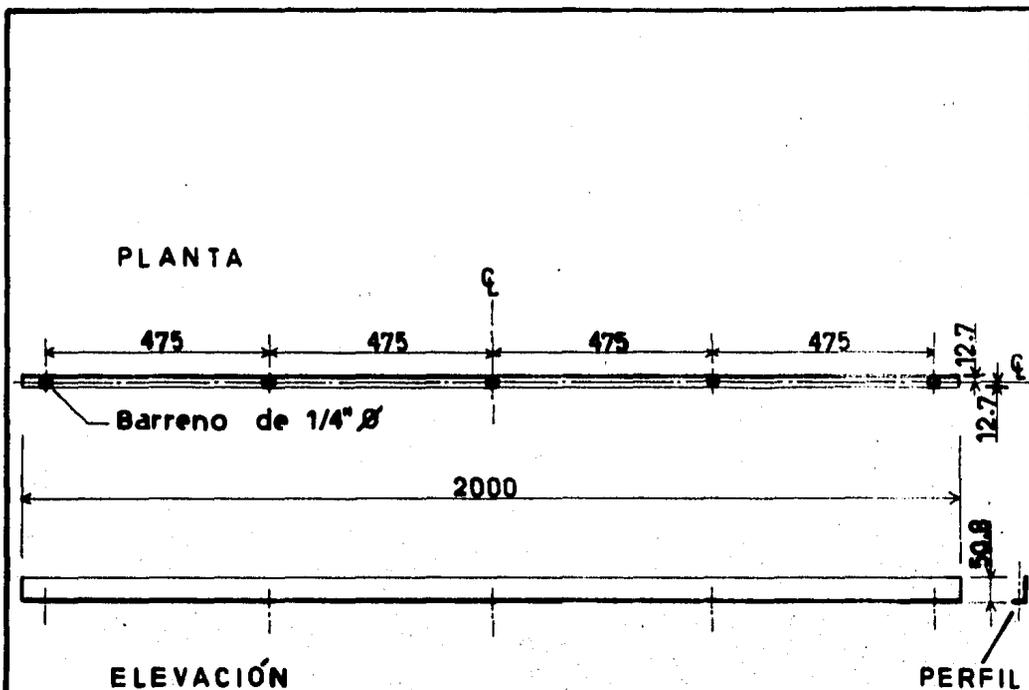
L) Panel frontal inferior (PL. 27).- Se atornillará a sus soportes mediante tornillos de $3/16"$ Ø, 20 H/P y $1/2"$ de largo.

M) Soportes de los paneles (PL. 28).- Estos soportes irán soldados a tope a las laterales.

N) Soportes de la tapa posterior (PL. 29).- Irán soldados a las laterales (soportes verticales), y al techo y travesaño posterior inferior (soportes horizontales).

Ñ) Tapa inferior, ó piso (PL. 30).- El piso irá atornillado a los canales de anclaje mediante tornillos de $3/16"$ Ø, 20 H/P y $1/2"$ de largo. En él, habrá un corte cuadrado que servirá de entrada para los cables de alimentación, y de salida para los cables que sirven a las cargas; los bordes del corte tendrán una cañuela de plástico para proteger a los cables.

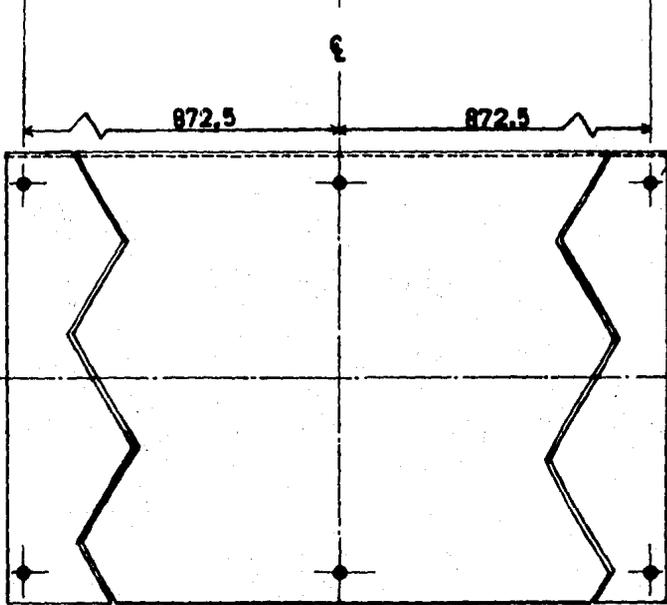
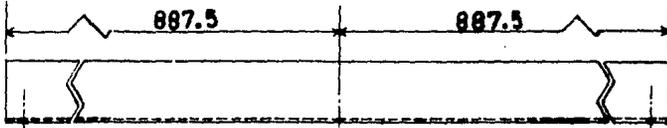
O) Canales de anclaje (PL. 31).- Irán empotrados en el piso y en ellos se asentará el gabinete. Al posterior se atornillarán las laterales, el travesaño posterior inferior, la tapa inferior y los soportes del bus de conexión a tierra.- Al anterior se atornillarán la tapa inferior, el travesaño frontal inferior y las laterales. Con excepción de los soportes del bus de conexión a tierra (se atornillarán por medio de tornillos de $1/4"$ Ø, 20 H/P y $1/2"$ de largo), las demás piezas se atornillarán con tornillos de $3/16"$ Ø, 20 H/P y $1/2"$ de largo.



Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidático color verde tierno, secado al aire.

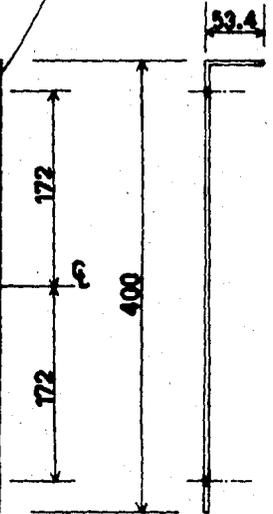
UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 25
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:12.5
	Acot. en mm.
DISEÑO DEL TRAVESAÑO POSTERIOR INFERIOR	

PLANTA



ELEVACIÓN

Barreno de 1/4" Ø

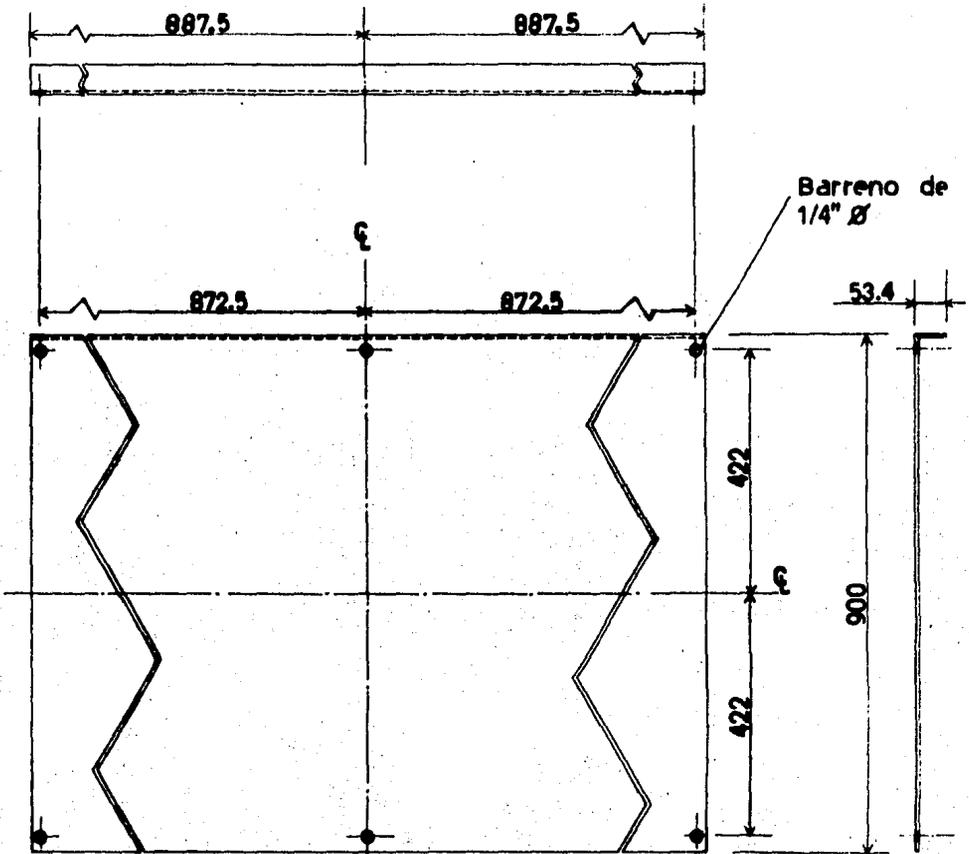


PERFIL

Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierno, secado al aire.

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 28
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:5 Acot. en mm.
DISEÑO DEL PANEL SUPERIOR	

PLANTA



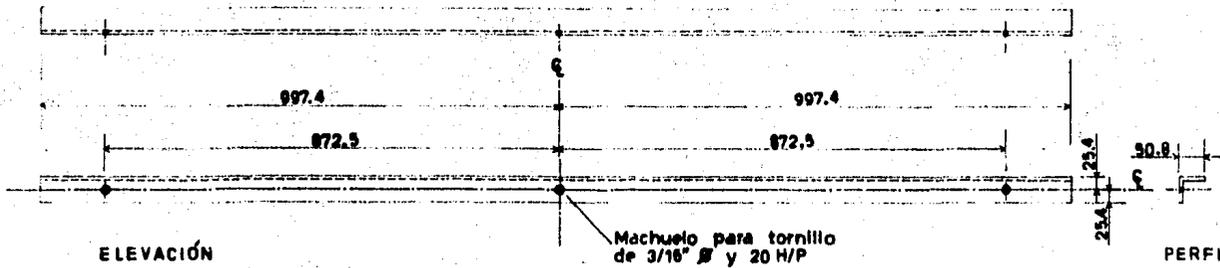
ELEVACIÓN

PERFIL

Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierno, secado al aire.

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 27
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:10
	Acot. en mm.
DISEÑO DEL PANEL INFERIOR	

PLANTA

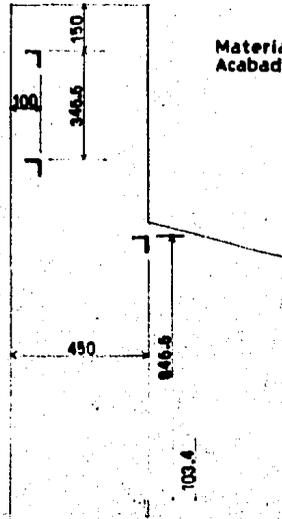


ELEVACIÓN

PERFIL

Machuelo para tornillo
de 3/16" ϕ y 20 H/P

Los soportes serán 4 (2 por cada panel), y estarán soldados a tope a las laterales en la siguiente posición:

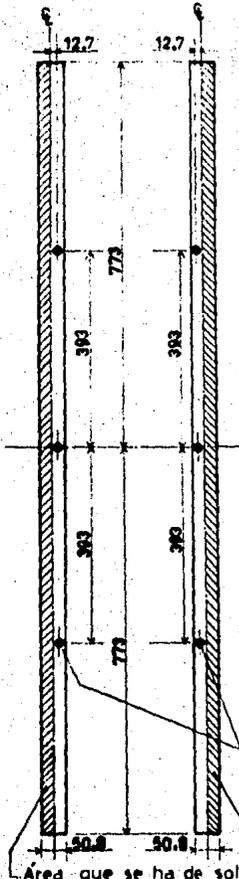


Material: Ángulo de hierro de 2" x 2", y 1/4" de grueso.
Acabado: Esmalte acrílico alquidídico color verde tierra, secado al aire.

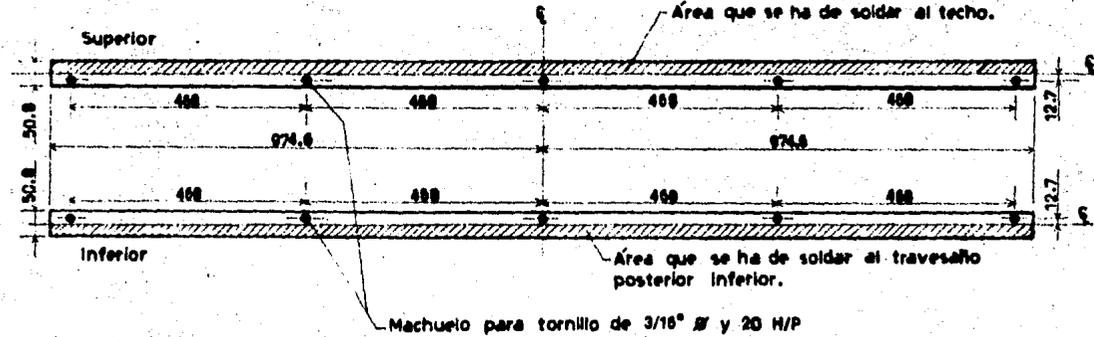
UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 28
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:7.5 Acot. en mm.
DISEÑO DE LOS SOPORTES DE LOS PANELES	

SOPORTES VERTICALES
Izquierdo Derecho

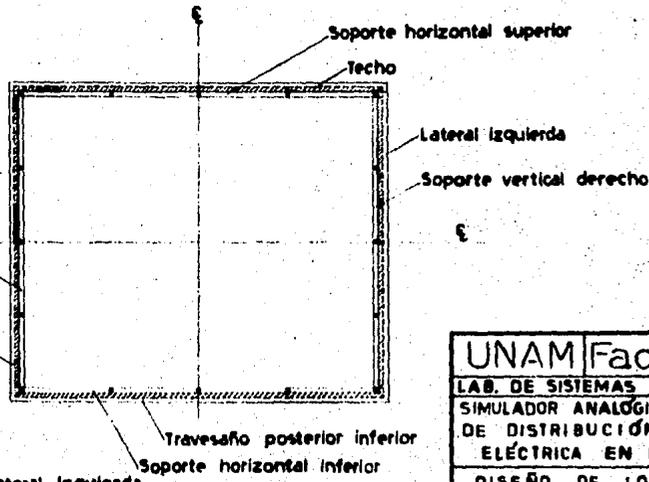


SOPORTES HORIZONTALES



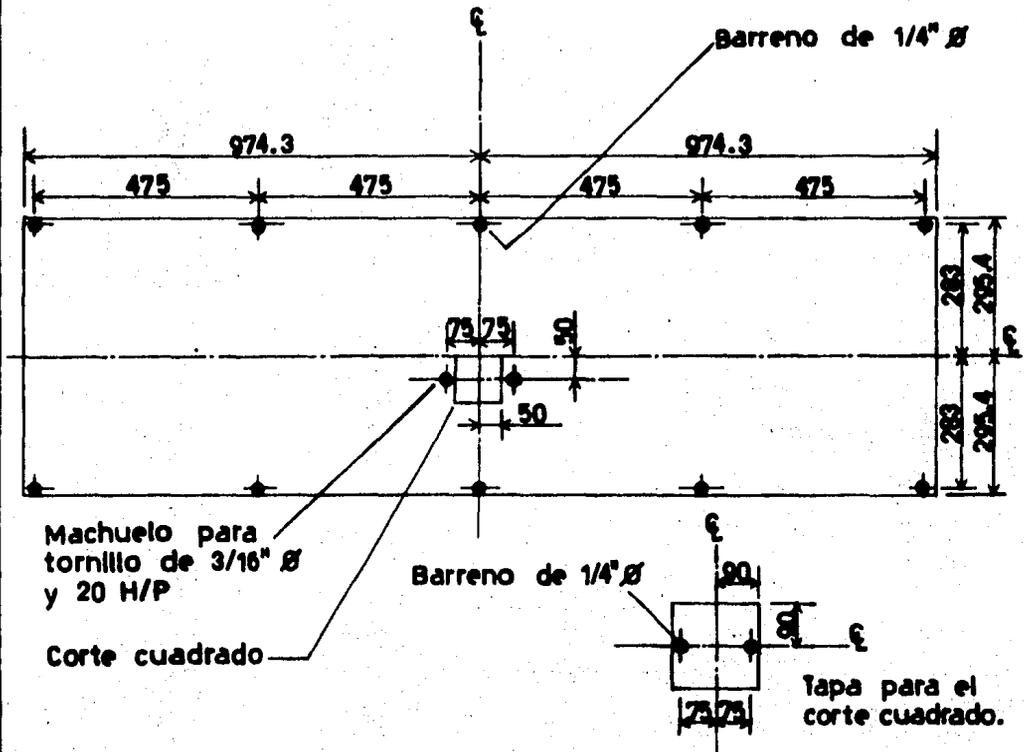
Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
Acabado: Esmalte acrílico alquídico color verde tierno, secado al aire.

Los soportes deberán quedar soldados a las caras internas del techo, laterales y travesaño posterior inferior como se muestra en el esquema adjunto (vista posterior del gabinete).



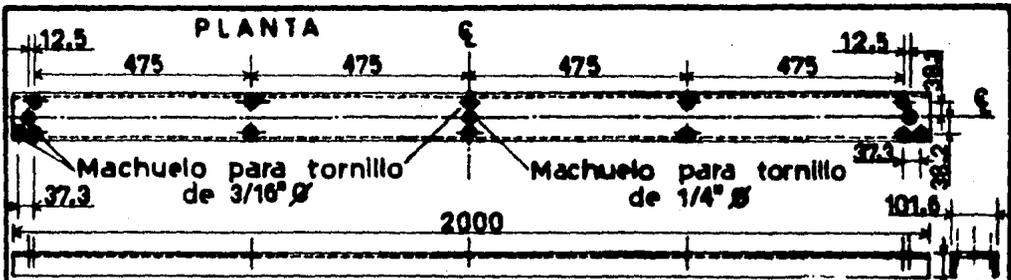
UNAM		Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN		PL. 29	
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN		Escala 1:7.5 Acot. en mm.	
DISEÑO DE LOS SOPORTES DE LA TAPA POSTERIOR			

PLACA (vista de planta).



Material: Lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierra, secado al aire.

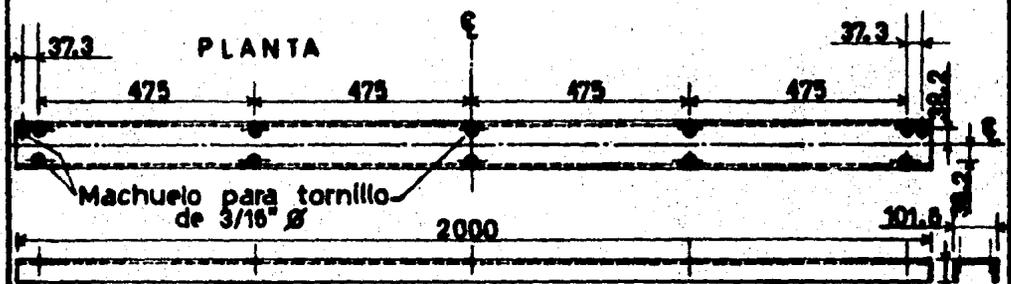
UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 30
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:12.5 Acot. en mm.
DISEÑO DE LA TAPA INFERIOR (O PISO)	



ELEVACIÓN

CANAL DE ANCLAJE POSTERIOR

PERFIL



ELEVACIÓN

CANAL DE ANCLAJE ANTERIOR

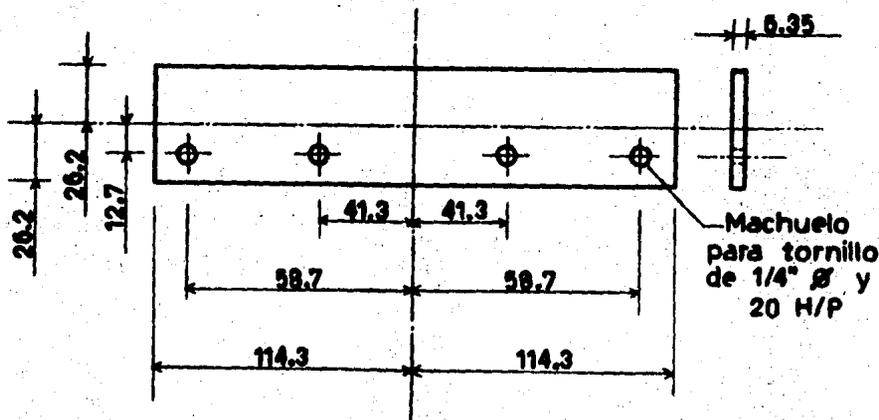
PERFIL

Material: Canal U de hierro colado, de 2" x 4", y 1/4" de espesor.
 Acabado: Esmalte acrílico alquidálico color verde tierra, secado al aire.

UNAM		Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION		PL. 31	
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN		Escala 1:12.5	
		Acot. en mm.	
DISEÑO DE LOS CANALES DE ANCLAJE			

4.4).- DISEÑO MECANICO DE BUSES Y ACCESORIOS.- Las piezas - que a continuación se describen, se deberán obtener a partir de una hoja de colorón no higroscópico, de 1/4" de grosor. Primeramente, se realiza el diseño de los soportes y aisladores de los buses alimentadores; posteriormente, el diseño del bus de conexión a tierra.

A) Buses alimentadores.- a) Soportes.- Los soportes, que serán dos, de los buses alimentadores (cuyas dimensiones son: 6.35 mm (1/4") x 50.8 mm (2") x 1975.8 mm (6'-5²⁵/32"), --- constarán de dos placas de colorón cada uno, divididas en dos partes: superior e inferior. La primera placa, que irá colocada junto a la lateral del gabinete, tendrá las dimensiones y forma siguientes (sólo se muestra la parte inferior, que es igual a la superior):



VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

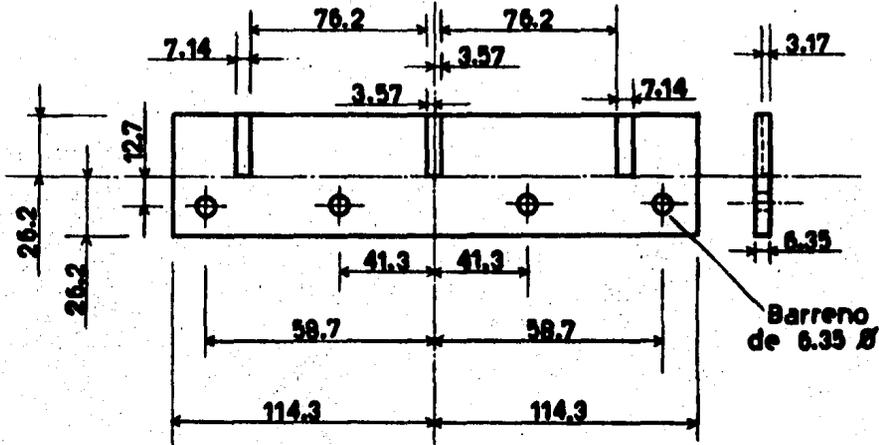
ESCALA: 1:2.5

ACOT. EN mm

MATERIAL: Colorón no higroscópico, de 6.35 mm (1/4") de espesor.

No. DE PIEZAS REQUERIDAS: 4 (dos para cada soporte).

La segunda placa, que sostendrá a los buses e irá ensamblada a la primera, y ambas a la lateral, por medio de tornillos de $1/4"$ $\#$ x $5/8"$ de largo y 20 H/P, tendrá las dimensiones y forma siguientes (sólo se muestra la parte inferior, que es igual a la superior):



VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

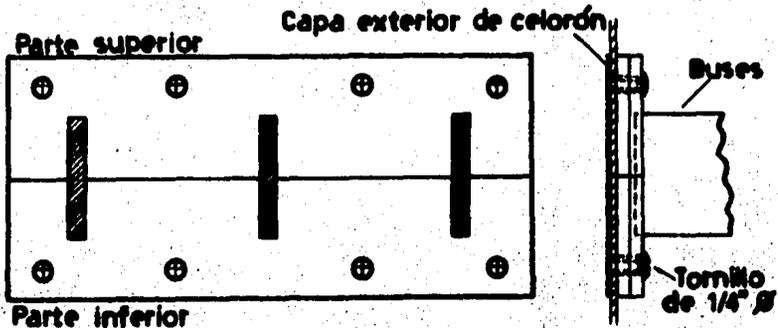
ESCALA: 1:2.5

ACOT. EN mm

MATERIAL: Celorón no higroscópico, de 6.35 mm ($1/4"$) de espesor.

No. DE PIEZAS REQUERIDAS: 4 (dos para cada soporte).

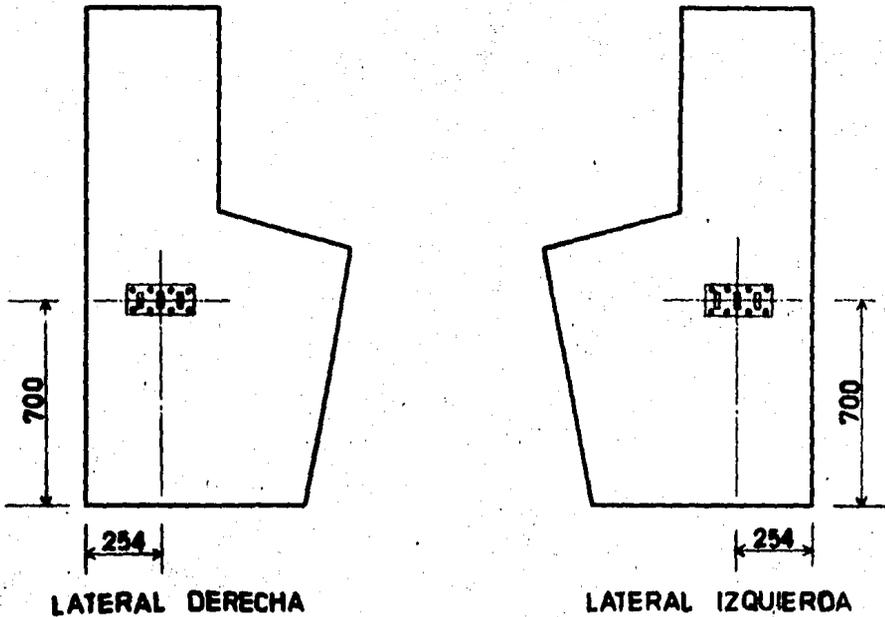
Una vez ensambladas ambas capas, y las partes superiores con las inferiores, deberán quedar como se muestra:



VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

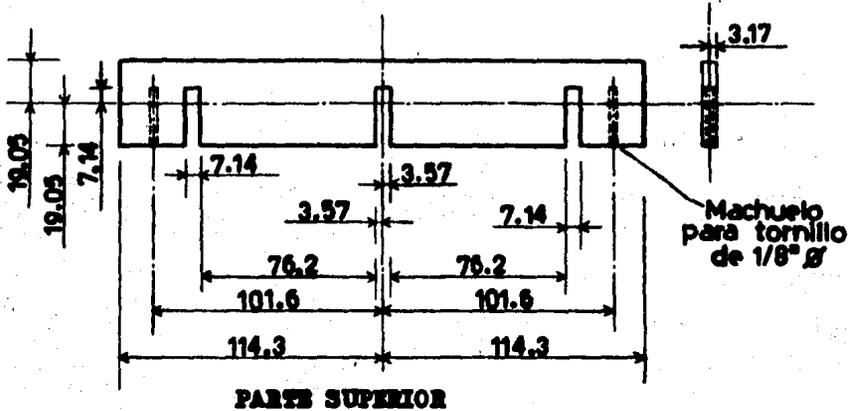
En la parte exterior del gabinete, y en el lugar que -
corresponde a los soportes, irán pegadas sendas placas de -
celorón de 52.4 mm ($2\frac{1}{16}$ ") x 228.6 mm (9") y 1.6 mm ($1/16$ ")
de espesor, que tienen por objeto cubrir las puntas salien-
tes de los tornillos que aseguran los soportes.

Los lugares en que deben ser fijados los soportes se -
muestran en los esquemas siguientes, estando las distancias
referidas a las partes posterior e inferior de las latera-
les (en éstas se practicarán los machuelos necesarios para
los tornillos de $1/4$ " ϕ)



ESCALA : 1:20
ACOT. EN mm

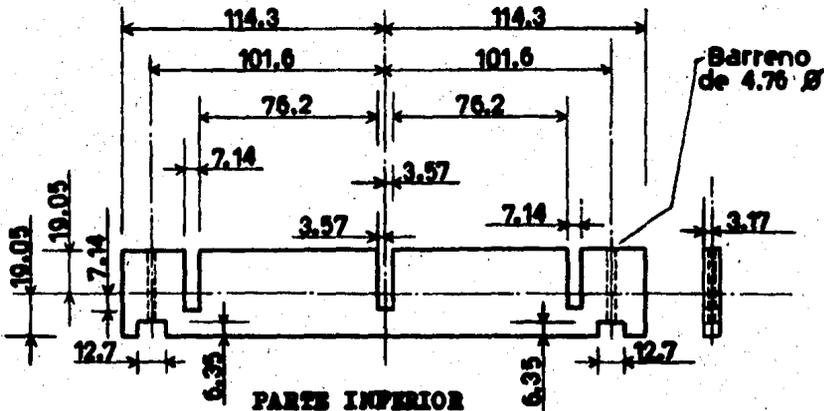
b) Aisladores.- Los aisladores, que serán dos, estarán dispuestos a distancias L y $(2/3)L$, siendo L la longitud de los buses (1975.8 mm), a partir de cualquier extremo de los mismos. Cada uno de ellos constará de dos partes: superior e inferior, constituida cada una de ellas por una placa de colorón con las dimensiones y forma siguientes:



PARTE SUPERIOR

VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

No. DE PIEZAS REQUERIDAS: 2 (una para cada aislador).



PARTE INFERIOR

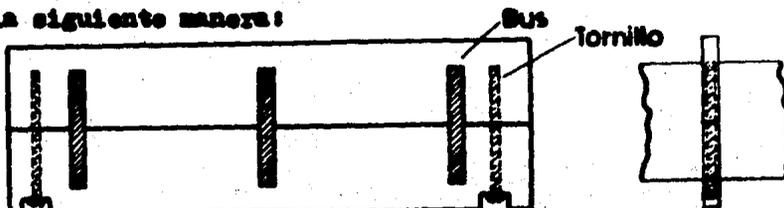
VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

No. DE PIEZAS REQUERIDAS: 2 (una para cada aislador).

ESCALA: 1:2.5

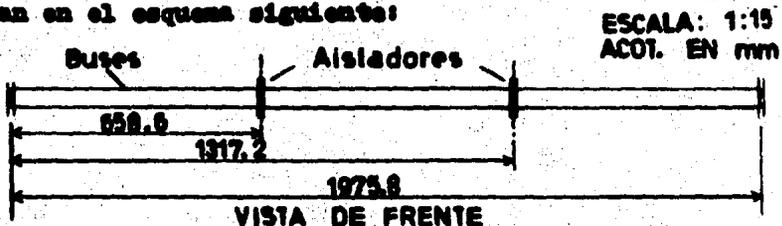
ACOT. EN mm

Una vez ensambladas ambas partes, y aseguradas por tornillos de $1/8"$ $\#$ x $2\frac{1}{2}"$ de largo y 32 H/P, deberán quedar de la siguiente manera:

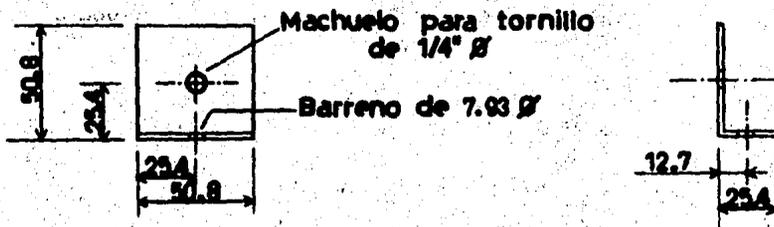


VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

Los lugares en que irán colocados los aisladores se indican en el esquema siguiente:



B) Bus de conexión a tierra.- Este bus, cuyas dimensiones son: 3.175 mm ($1/8"$) x 25.4 mm ($1"$) x 1975.8 mm ($6'-5\frac{25}{32}"$) estará sostenido por tres soportes en forma de ángulos, hechos de lámina estirada en frío (cold rolled), calibre 12, con las dimensiones y forma siguientes:



VISTAS: DE FRENTE Y DE PERFIL

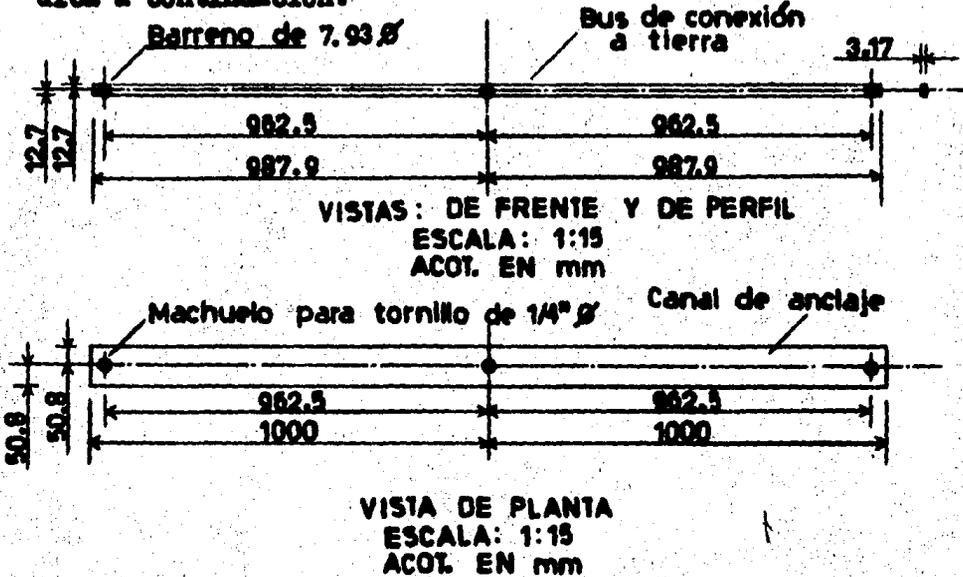
ESCALA: 1:2.5

ACOT. EN mm

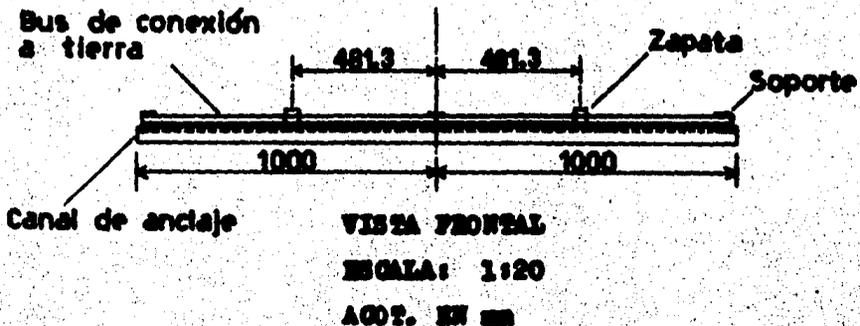
MATERIAL: Lámina estirada en frío (cold rolled) calibre 12.

No. DE PIEZAS REQUERIDAS: 3

El bus se asegurará a los soportes mediante tornillos de $1/4"$ \varnothing x $1/2"$ de largo y 20 H/P; los soportes a su vez, se asegurarán al canal de anclaje posterior del gabinete — por medio de tornillos de las mismas dimensiones que los anteriormente mencionados. Se le deberán practicar tres barrenos al bus y tres machuelos al canal de anclaje, como se indica a continuación:



Una vez fijado el bus a los soportes, y éstos al canal de anclaje, se adaptarán dos zapatas Mercury al bus, para la conexión al sistema de tierra del laboratorio. La instalación debe quedar como se muestra a continuación:



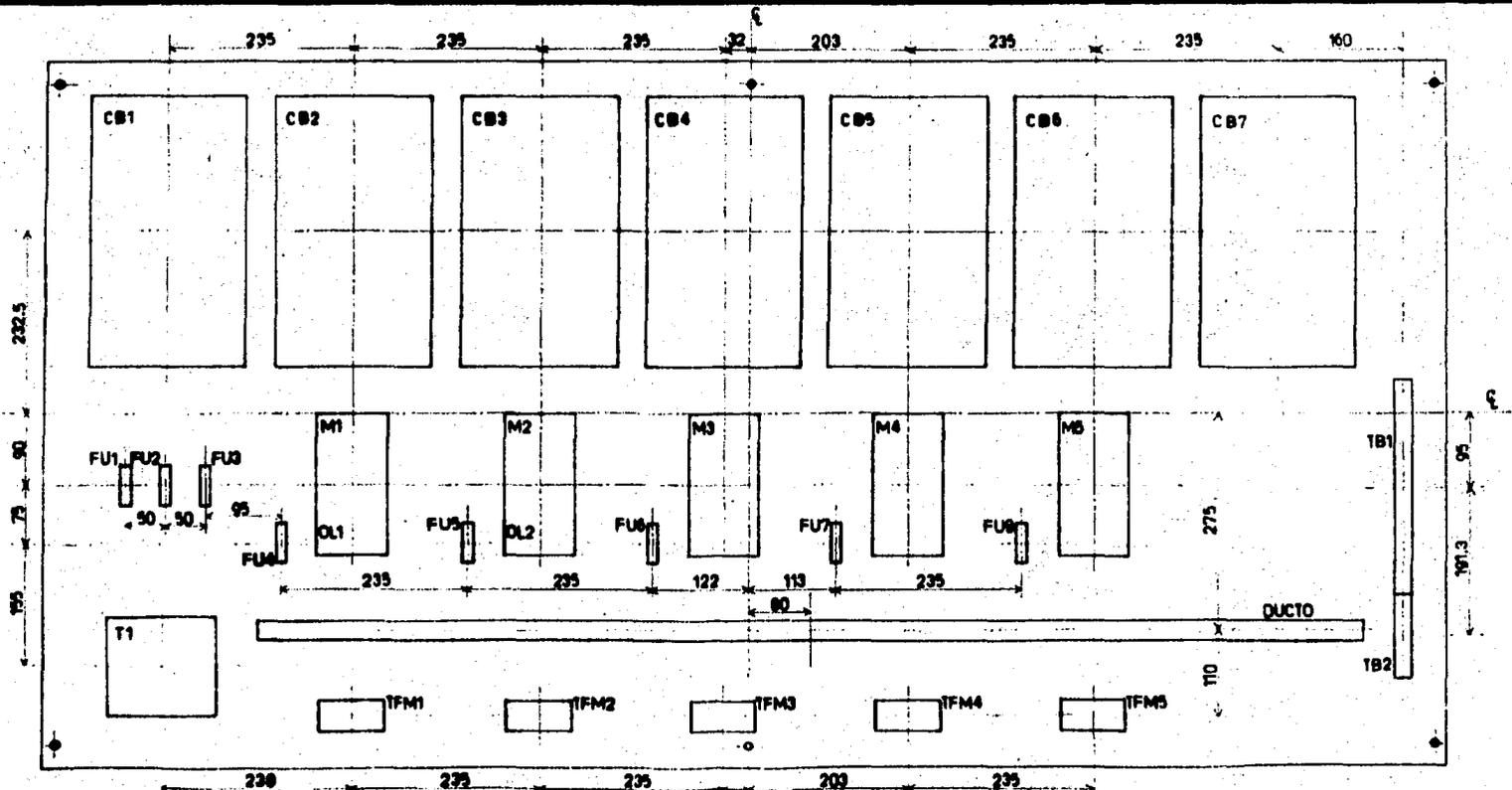
4.5).- DISTRIBUCION DEL EQUIPO ELECTRICO EN LOS PANELES Y CUBIERTAS.- Seguidamente, se muestran los esquemas con la distribución del equipo eléctrico en los paneles y cubiertas frontales. En ellos se especifican los espaciamientos entre los diferentes dispositivos eléctricos, así como el tamaño y clase de éstos últimos. A continuación, se enumeran los esquemas y las designaciones de los dispositivos usados.

ESQUEMAS:

- 1.- Distribución de equipo en el panel frontal inferior.
- 2.- Distribución de equipo en el panel frontal superior.
- 3.- Distribución de equipo en la cubierta frontal superior.
- 4.- Distribución de equipo en la cubierta frontal media.

DESIGNACION DE DISPOSITIVOS:

- A **Aspérmetro.**
- BA **Bocina de alarma.**
- CA **Conmutador de aspérmetro.**
- CB **Interruptor termomagnético.**
- CR **Relevador de control.**
- CV **Conmutador de voltmetro.**
- FU **Fusible.**
- LI **Lámpara indicadora.**
- M **Contacto.**
- PB **Botón de oprimir.**
- T **Transformador de control.**
- TB **Tablilla de terminales.**
- TFM **Tablilla de terminales de fuerza correspondiente al contacto M.**
- TP **Transformador de potencial.**
- TR **Relevador de tiempo.**
- V **Vóltmetro.**
- W **Wátmetro.**



DESIGNACIÓN DEL EQUIPO:

CB - Interruptor termomagnético (1, de 3x100 A; 2, de 3x50 A; 3 y 7, de 3x30 A; 4, de 3x15 A; 5, de 3x20 A; 6, de 3x40 A).

Ducto (cuadrado, de 1" por 1", y 1400 mm de largo).

FU - Fusible (1, 2, 4, 5, 6, 7 y 8, para 3 A; 3, para 6 A).

M - Contactor (1, 2, 4 y 5, tamaño NEMA 1; 3, tamaño NEMA 0).

OL - Relevar de sobrecarga (1, para 23.6 A; 2, para 15 A).

T - Transformador de control (500 VA; 440/220-110 V).

TB - Tablilla de terminales (1, de 23 polos; 2, de 8 polos).

TFM - Terminal de fuerza correspondiente al contactor M (de 3 polos; capacidad: 70 A).

UNAM Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PL. 32

SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA

DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

ELECTRICA EN BAJA TENSION

DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO EN

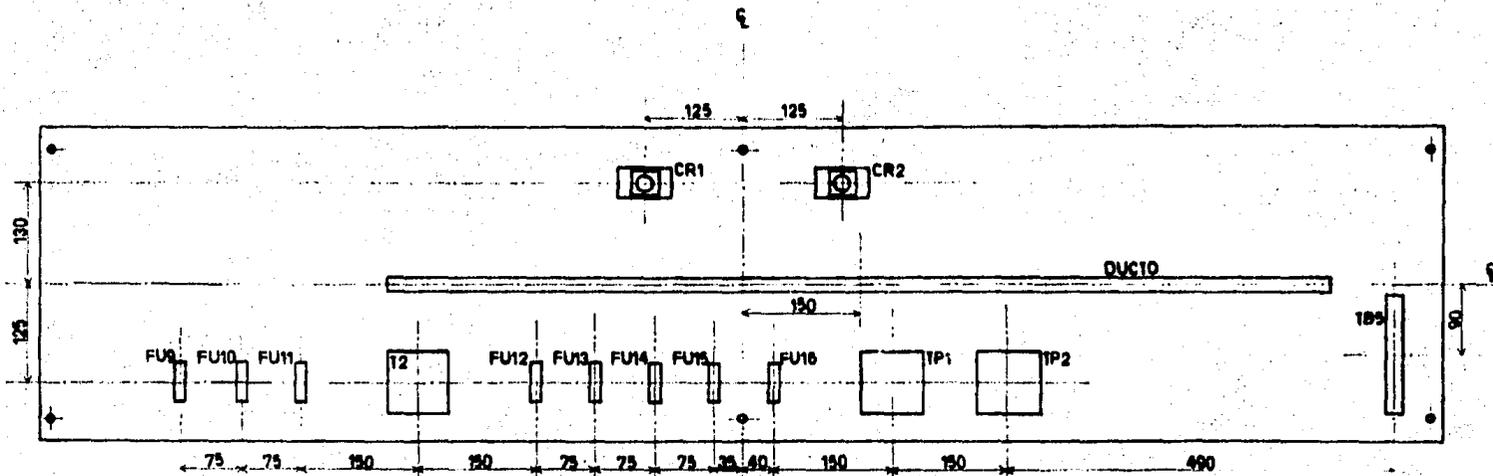
EL PANEL FRONTAL INFERIOR

Escala

7:3

Acot. en

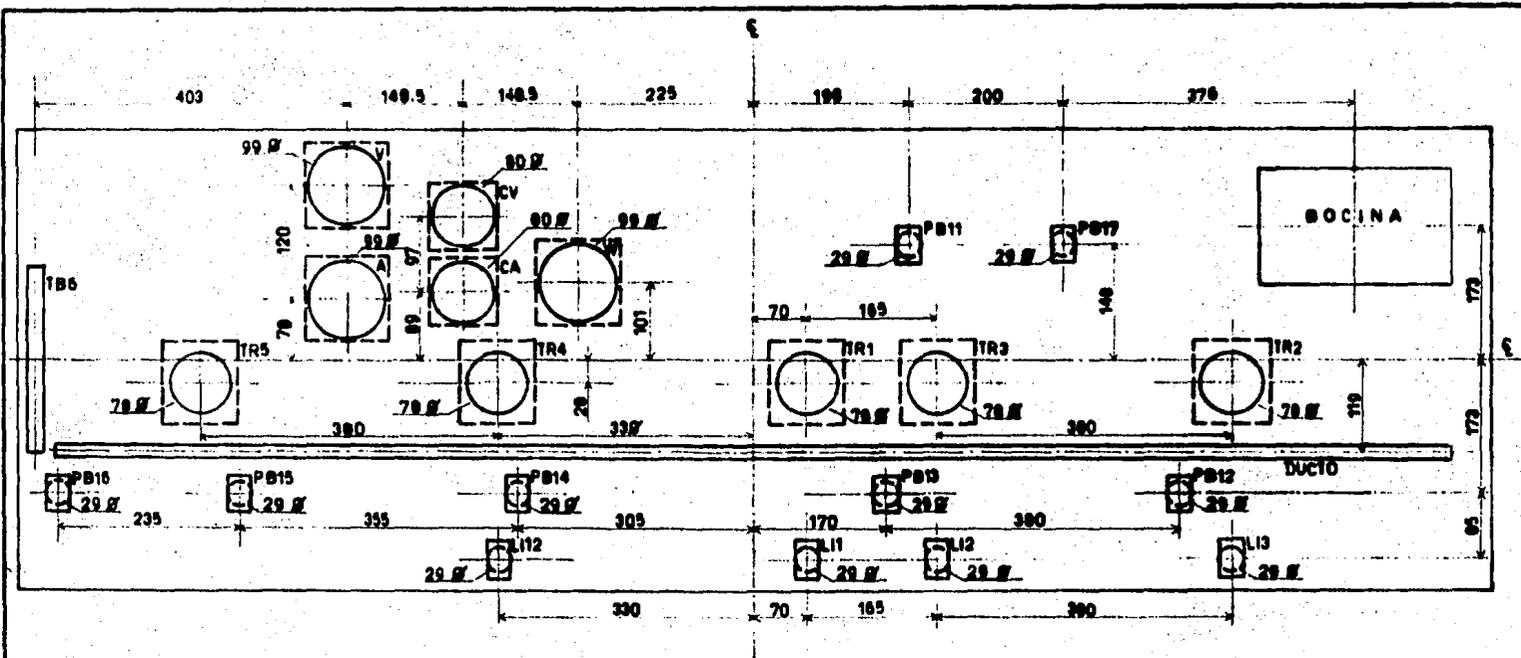
mm.



DESIGNACIÓN DEL EQUIPO:

- CR - Relevador de control (1 y 2, enchufables; tipo RL, para 110 V).
- Ducto (cuadrado, de 3/4" por 3/4", y 1200 mm de largo).
- FU - Fusible (todos para 3 A).
- T - Transformador de control (60 VA; 440/220 - 110 V).
- TB - Tablilla de terminales (12 polos).
- TP - Transformador de potencial (1 y 2, 25 VA; relación de transformación 2:1; clase de precisión 1.2).

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	Pl. 33
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:5
	Acot. en mm.
DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO EN EL PANEL FRONTAL SUPERIOR	

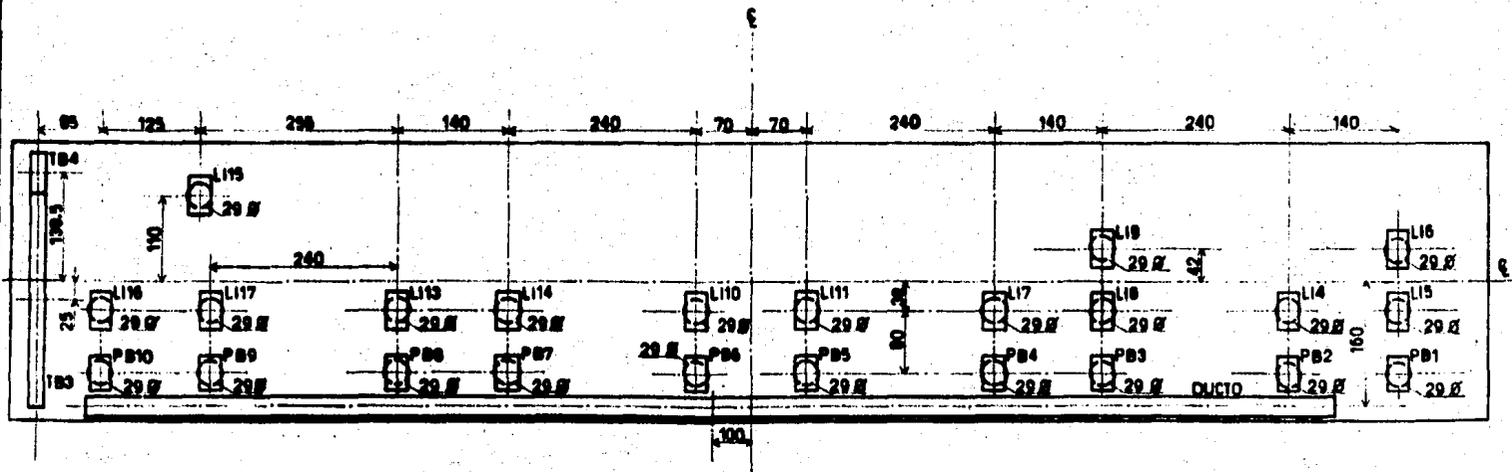


DESIGNACIÓN DEL EQUIPO:

- A - Ampérmetro (escala 0-150 A, con elemento para 5 A).
- CA - Conmutador para ampérmetro (4 posiciones).
- CV - Conmutador para voltmetro (4 posiciones).
- Ducto (cuadrado, de 3/4" por 3/4", y 1800 mm de largo).
- PB - Botón de oprimir (11, 12, 13, 14, 15 y 16 rojos; 17, verde).
- TB - Tablilla de terminales (20 polos).
- TR - Relevador de tiempo (ON DELAY, 5 segundos de retardo máximo, para 110 V).
- V - Voltmetro (escala 0-300 V, con elemento para 150 V).
- W - Wattmetro trifásico (escala 0-50 KW, con elemento para 120 V/5 A).
- LI - Lámpara indicadora (1, 2, 3 y 12 verdes).
- Bocina (para 110 V).

UNAM | Fac. de Ingeniería

LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PL. 34
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSION	Escala 1:3 Acot. en mm.
DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO EN LA CUBIERTA FRONTAL SUPERIOR - VISTA POSTERIOR (LADOS DERECHO E IZQUIERDO INVERTIDOS)	



DESIGNACIÓN DEL EQUIPO:

Ducto (cuadrado, de 1" por 1", y 1800 mm de largo).

LI - Lámpara indicadora (4, 7, 10, 13 y 16, rojas; 5, 8, 11, 14 y 17, verdes; 6 y 9, color ámbar).

PB - Botón de oprimir (2, 4, 8, 9 y 10, rojos; 1, 3, 5, 7 y 9, verdes).

TB - Tablilla de terminales (3, de 23 polos; 4, de 3 polos).

UNAM Fac. de Ingeniería	
LAB. DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	Pl. 35
SIMULADOR ANALÓGICO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN	Escala 1:5
	Acot. en mm.
DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO EN LA CUBIERTA FRONTAL MEDIA - VISTA POSTERIOR (LADOS DERECHO E IZQUIERDO INVERTIDOS)	

CAPITULO CINCO

NORMAS DE SEGURIDAD, MANTENIMIENTO Y METODOS DE PRUEBA

5.1).- GENERALIDADES.

5.2).- NORMAS RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD DEL TABLEO.

5.3).- NORMAS RELACIONADAS CON EL MANTENIMIENTO DEL TABLEO.

5.4).- METODOS DE PRUEBA.

5.1).- GENERALIDADES.- En el diseño de este tablero se han tenido en cuenta las normas mencionadas en los incisos siguientes; dichas normas están contenidas en las publicaciones citadas a continuación:

- **NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS-PARTE 1-INSTALACIONES PARA EL USO DE ENERGIA ELECTRICA-EDICION 1981-(NTE-81)-Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.**
- **TABLEROS ELECTRICOS ENSAMBLADOS EN FABRICA DE DISTRIBUCION Y/O CONTROL EN BAJA TENSION (TEEP)-14.1-8 JUN. 1978-Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica (COONIE).**
- **SWITCHGEAR ASSEMBLIES INCLUDING METAL ENCLOSED BUS-Std. - 27-1974-Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).**
- **FACTORY-BUILT ASSEMBLIES OF LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR-PUBLICATION 439, 1973-International Electrotechnical Commission (IEC).**
- **DEAD-FRONT DISTRIBUTION SWITCHBOARDS-PUB. NO. PB2-1972-National Electrical Manufacturers Association (NEMA).**

5.2).- NORMAS RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD DEL TABLERO.

A) Especificaciones de las condiciones de servicio:

a) Condiciones normales de servicio.

- 6.1.1 (COONIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 3.1 (IEEE Std. 27-1974).
- 6.1 (IEC 439, 1973).
- 2.03 (NEMA PB2-1972).

b) Condiciones especiales de servicio.

- 6.1.2 (COONIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 3.2, 3.3 (IEEE Std. 27-1974).
- 6.2 (IEC 439, 1973).
- 2.04 (NEMA PB2-1972).

B) Especificaciones eléctricas:

a) Valores nominales de voltajes.

- 6.2.1, 6.2.2 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 4.2.1, 4.2.2, 4.2.4 a 4.2.7 (IEEE Std. 27-1974).
- 4.1.1, 4.1.2 (IEC 439, 1973).
- 3.02, 3.06 (NEMA PB2-1972).

b) Valores nominales de corrientes.

- 6.2.3 a 6.2.7 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 4.3.1 a 4.3.4 (IEEE Std. 27-1974).
- 4.2 a 4.6 (IEC 439, 1973).
- 3.03, 3.05 (NEMA PB2-1972).

c) Valor nominal de frecuencia.

- 6.2.9 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 4.2.3 (IEEE Std. 27-1974).
- 4.7 (IEC 439, 1973).
- 3.04 (NEMA PB2-1972).

C) Especificaciones térmicas:

- 6.4.1 a 6.4.3 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 4.4.1 a 4.4.7 (IEEE Std. 27-1974).
- 7.3 (IEC 439, 1973).
- 2.05 (NEMA PB2-1972).

D) Conexiones eléctricas interiores:

a) Barras colectoras.

- 405.3 (NTIE-81).
- 6.2.10.1, 6.2.10.2 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 6.1.1.1 a 6.1.1.3 (IEEE Std. 27-1974).
- 7.8.1, 7.8.2 (IEC 439, 1973).
- 5.04 (NEMA PB2-1972).

b) Alambrado.

- 405.3 (NTIE-81).
- 6.2.10.2, 6.2.10.3 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 6.1.1.1 a 6.1.1.3, 6.1.3 (IEEE Std. 27-1974).

- 7.8.2, 7.8.3 (IEC 439, 1973).

- 5.04 (NEMA PB2-1972).

E) Protección de los circuitos para instrumentos:

- 405.13 (NFIE-81).

- 6.1.3.6 a 6.1.3.9 (IEEE Std. 27-1974).

F) Construcción del gabinete:

- 405.4 (NFIE-81).

- 6.3.1 a 6.3.6 (CONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 6.1.1.4, 6.1.1.5, 6.1.2, 6.5 (IEEE Std. 27-1974).

- 7.1.1 a 7.1.3 (IEC 439, 1973).

- 5.02, 5.03 (NEMA PB2-1972).

G) Ubicación del tablero:

- 405.8 a 405.12 (NFIE-81).

H) Conexión a tierra:

- 405.14, 405.15 (NFIE-81).

- 6.1.2 (IEEE Std. 27-1974).

- 5.05 (NEMA PB2-1972).

I) Medidas de protección contra contacto eléctrico accidental:

- 6.5.2.1 a 6.5.2.4 (CONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 7.4.1 a 7.4.4 (IEC 439, 1973).

J) Protección contra cortocircuito y esfuerzos de cortocircuito:

- 6.5.3.1 a 6.5.3.5 (CONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 7.5.1 a 7.5.5 (IEC 439, 1973).

5.3).- NORMAS RELACIONADAS CON EL MANTENIMIENTO DEL TABLERO.

- 405.12 (NFIE-81).

- 6.3.1, 6.5.2.5.1, 6.5.2.5.2, 9.2, 9.3 (CONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 5.3, 7.1.1, 7.4.5.1, 7.4.5.2, 7.6.5 (IEC 439, 1973).

5.4).- MÉTODOS DE PRUEBA.- Aparte de las normas mencionadas anteriormente, es necesario someter al tablero y sus diver-

Los componentes a ciertas pruebas normalizadas, establecidas con el objeto de comprobar que el tablero funcionará — cumpliendo las necesidades requeridas y dentro de las normas con que fue manufacturado. Dichas pruebas se clasifican como sigue:

- Pruebas tipo.
- Pruebas de rutina.

A) Pruebas tipo.— Las pruebas tipo están destinadas a verificar el cumplimiento de lo requerido por las normas 8.1.1 (COONNIE 14.1-8, JUN. 1978) y 8.1.1 (IEC 439, 1973). Se llg van a cabo en un tablero muestra o en tales partes del tablero manufacturadas sobre el mismo diseño o uno similar.

Aunque en este caso no será posible disponer de un tablero muestra, se especifican dichas pruebas a continuación como complemento de la información dada sobre las normas.

a) Los límites de elevación de temperatura.

- 8.2.1 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 5.2.2 (IEEE Std. 27-1974).
- 8.2.1 (IEC 439, 1973).
- 4.02 (NEMA PB2-1972).

Esta prueba está diseñada para verificar que los límites de elevación de temperatura, especificados para las diferentes partes del tablero, no sean excedidos.

b) Las propiedades dieléctricas.

- 8.2.2 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).
- 5.2.1 (IEEE Std. 27-1974).
- 8.2.2 (IEC 439, 1973).
- 4.08 (NEMA PB2-1972).

Esta prueba no necesita hacerse en aquellas partes del tablero a las que se les hayan hecho pruebas tipo de acuerdo con sus especificaciones, siempre que sus resistencias -

dieléctricas no sean deterioradas por su montaje.

c) La resistencia al cortocircuito.

- 8.2.3 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 8.2.3 (IEC 439, 1973).

- 4.03 (NEMA PB2-1972).

d) La continuidad de los circuitos de protección.

- 8.2.4 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 8.2.4 (IEC 439, 1973).

e) Las distancias de aislamiento y de fuga.

- 8.2.5 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 8.2.5 (IEC 439, 1973).

f) La operación mecánica.

- 8.2.6 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 5.2.6 (IEEE Std. 27-1974)

- 8.2.6 (IEC 439, 1973).

Esta prueba no debe hacerse en dispositivos del tablero los cuales ya han sido probados de acuerdo a sus especificaciones correspondientes, dado que su operación mecánica no es afectada debido al montaje.

g) El grado de protección.

- 8.2.7 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 8.2.7 (IEC 439, 1973).

- 4.07 (NEMA PB2-1972).

Estas pruebas deben llevarse a cabo en cualquier orden y/o en diferentes muestras del mismo tipo. Si se hacen modificaciones a los componentes del tablero, tienen que realizarse nuevas pruebas tipo, siempre y cuando tales modificaciones puedan haber afectado adversamente los resultados de las pruebas originales.

B) Pruebas de rutina.- Las pruebas de rutina son llevadas a cabo para detectar fallas en los materiales y/o en la mano de obra. Deben realizarse en cada tablero después de su en-

sable. Otra prueba de rutina en el lugar de instalación no es requerida.

Los tableros que sean ensamblados con componentes normalizados de otros fabricantes, deben someterse a las pruebas de rutina establecidas por el fabricante que ensamble el tablero.

Las pruebas de rutina incluyen:

a) Inspección del tablero incluyendo el alambrado y, si es necesario, pruebas de operación eléctrica.

- 8.3.1 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 5.3.4 (IEEE Std. 27-1974).

- 8.3.1 (IEC 439, 1973).

- 4.09D (NEMA PB2-1972).

Este tipo de prueba tiene como fin comprobar que todo el equipo y componentes del tablero trabajan conforme a lo esperado.

b) Prueba de las propiedades dieléctricas.

- 8.3.2 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 5.3.1 (IEEE Std. 27-1974).

- 8.3.2 (IEC 439, 1973).

- 4.09A (NEMA PB2-1972).

Esta prueba se hace con el objeto de comprobar el buen estado de los aislamientos de los cables, barreras, soportes aislantes y de otros materiales que sirven para separar las partes vivas entre ellas y también entre dichas partes y tierra.

c) Verificación de medidas de protección y de la continuidad eléctrica de los circuitos de protección.

- 8.3.3 (COONNIE 14.1-8 JUN. 1978).

- 5.3.3 (IEEE Std. 27-1974).

- 8.3.3 (IEC 439, 1973).

- 4.09C (NEMA PB2-1972).

Esta prueba tiene por objeto verificar las medidas de protección contra descargas eléctricas que pudieran ocurrir durante la operación normal o en caso de falla; asimismo, - que los cables que correspondan estén conectados debidamente a los aparatos de protección y tabillas, de acuerdo con los diagramas de alambrado.

Las pruebas de rutina pueden ser realizadas en cualquier orden.

C) Pruebas en dispositivos y componentes auto-contenidos, - incorporados en el tablero.- Las pruebas tipo o de rutina - no son requeridas para llevarse a cabo sobre los dispositivos y componentes auto-contenidos incorporados en el tablero, cuando ellos han sido seleccionados de acuerdo con las normas concernientes, e instalados de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

BIBLIOGRAFIA

- MILLERMASTER, Ralph A.: Harwood's Control of Electric Motors. John Wiley & Sons.
- McINTYRE, R. L.: Control de Motores Eléctricos. Marcombo.
- SISKIND, Charles S.: Electrical Control Systems in Industry. McGraw-Hill.
- SISKIND, Charles S.: Electrical Machines; Direct & Alternating Current. McGraw-Hill.
- SEARS, Francis W.: Electricidad y Magnetismo. Aguilar.
- STEVENSON, William D.: Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. McGraw-Hill.
- RUSSELL MASON, C.: El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores. C.E.C.S.A.
- HOLMAN, J. P.: Métodos Experimentales para Ingenieros. McGraw-Hill.
- KNOWLTON, Archer E.: Standard Handbook for Electrical Engineers. McGraw-Hill.
- PENDER, H., y W. A. DEL MAR: Electrical Engineers' Handbook (Electric Power). John Wiley & Sons.
- GROFF, T., C. C. CARR, y J. H. WATT: American Electricians' Handbook. McGraw-Hill.

- RICHTER, H. P.: Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas. C.E.C.S.A.
- BECERRIL L., Diego O.: Instalaciones Eléctricas Prácticas.
- SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Dirección General de Normas: Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas- Parte 1. Instalaciones para el Uso de Energía Eléctrica- Edición 1981.
- COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA: Tableros Eléctricos Ensamblados en Fábrica de Distribución y/o Control en Baja Tensión- 14. 1 - 8 Jun. 1978.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: Switch gear Assemblies Including Metal Enclosed Bus- Std. 27-1974.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION: Factory-Built Assemblies of Low-Voltage Switchgear and Controlgear- Publication 439, 1973.
- NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION: Dead-Front Distribution Switchboards- Pub. No. PE2-1972.
- GARDENAS L., Antonio: Fundamentos de Teoría y Selección de Transformadores para Medición. Electrotécnica Balteau.
- CUTLER-HAMMER MEXICANA: Catálogo Industrial 1984.

- GENERAL ELECTRIC. Power Systems Management Operation: Instruction Book GEK-45375 (Time Overcurrent Relays, Types IFC51A and 51B; IFC53A and 53B; IFC77A and 77B).
- BROWN BOVERI MEXICANA: Catálogo de Botones Pulsadores, Seleccionadores y Señalizadores.
- EAGLE SIGNAL. Gulf-Western Manufacturing Company: Bulletin 125 (Reset Timers; HP5 Series).
- SCHRACK DE MEXICO: Boletín sobre Relevadores (Serie R).
- AMPERE: Boletín sobre Bancos de Terminales SIMONETT (Series 599 a 604).
- COMPONENTA: Boletín sobre Interruptores y Conmutadores Manuales Rotativos SIMONETT.
- INDUSTRIAS UNIDAS: Boletín sobre Instrumentos para Tablero con Escala Circular (Modelos 2101 a 2108).

A P E N D I C E

INFORMACIÓN TÉCNICA

TABLA DE CORRIENTES PROMEDIO A PLENA CARGA (PARA MOTORES ---
TRIFÁSICOS DE C.A.)

H.P.	VELOCIDAD (RPM)	CORRIENTE A PLENA CARGA EN AMPERES		
		220V	440V	550V
1/4	1800	1.1		
	1200	1.5		
	900	1.7		
1/3	3600	1.2		
	1800	1.5		
	1200	1.6		
	900	1.6		
1/2	3600	1.6		
	1800	1.9		
	1200	2.2		
	900	2.6		
3/4	3600	2.6		
	1800	2.6		
	1200	3.0		
	900	3.6		
1	3600	3.0	1.5	1.2
	1800	3.2	1.6	1.3
	1200	3.8	1.9	1.5
	900	4.6	2.3	1.8
1 1/2	3600	4.6	2.3	1.8
	1800	5.0	2.5	2.0
	1200	5.4	2.7	2.2
	900	6.2	3.1	2.5
2	3600	5.8	2.9	2.3
	1800	6.0	3.0	2.4
	1200	7.0	3.5	2.8
	900	7.8	3.9	3.1
3	3600	8.2	4.1	3.3
	1800	9.0	4.5	3.6
	1200	9.6	4.8	3.8
	900	10.4	5.2	4.3

5	3600	13.6	6.8	5.4
	1800	14.2	7.1	5.7
	1200	15.2	7.6	6.1
	900	16.6	8.3	6.6
7 1/2	3600	19.6	9.8	7.8
	1800	20.7	10.4	8.3
	1200	21.5	10.8	8.6
	900	24.4	12.2	9.8
10	3600	25.7	12.9	10.3
	1800	26.5	13.2	10.6
	1200	27.5	13.8	11.0
	900	32.3	16.2	12.9
	600	40.0	20.0	16.0
15	3600	38.4	19.2	15.7
	1800	38.6	19.3	15.5
	1200	39.8	19.9	16.0
	900	45.6	22.8	18.3
	600	54.0	27.0	21.6

FACTORES DE SERVICIO (NEMA)

Factores de servicio para motores de inducción trifásicos, tipo jaula de ardilla a prueba de goteo, diseños NEMA A, B y C, para operar 60 cps y hasta una altitud de 1000 m.s.n.m.

H.P.	Factor de Servicio
1/2	1.25
3/4	1.25
1	1.20
1 1/2	1.20
2	1.20
3 en adelante	1.15

El factor de servicio es unitario para:

- 1) Motores totalmente cerrados y a prueba de explosión.
- 2) Todos los motores que operan en 50 cps.
- 3) Todos los motores que operan a una altitud mayor a 1000 m.s.n.m.

FORMULAS ELECTRICAS

	CORRIENTE CONTINUA	CORRIENTE ALTERNA	
		UNA FASE	3 FASES
AMPERES conociendo HP	$\frac{746(\text{HP})}{E(\text{N})}$	$\frac{746(\text{HP})}{E(\text{N})(\text{f.p.})}$	$\frac{746(\text{HP})}{1.73(E)(\text{N})(\text{f.p.})}$
AMPERES conociendo KW	$\frac{1000(\text{KW})}{E}$	$\frac{1000(\text{KW})}{E(\text{f.p.})}$	$\frac{1000(\text{KW})}{1.73(E)(\text{f.p.})}$
AMPERES conociendo KVA	_____	$\frac{1000(\text{KVA})}{E}$	$\frac{1000(\text{KVA})}{1.73(E)}$
KW	$\frac{I(E)}{1000}$	$\frac{I(E)(\text{f.p.})}{1000}$	$\frac{I(E)(\text{f.p.})(1.73)}{1000}$
KVA	_____	$\frac{I(E)}{1000}$	$\frac{I(E)(1.73)}{1000}$
POTENCIA en la flecha HP	$\frac{I(E)(N)}{746}$	$\frac{I(E)(N)(\text{f.p.})}{746}$	$\frac{I(E)(1.73)(N)(\text{f.p.})}{746}$
FACTOR DE POTENCIA	Unitario	$\frac{W}{E(I)}$	$\frac{W}{1.73(E)(I)}$

I = Corriente en amperes

E = Tensión en volts

N = Eficiencia expresada en decimales

HP = Potencia en Horse Power

f.p. = Factor de potencia

KW = Potencia en Kilowatts

KVA = Potencia aparente en Kilovoltamperes

W = Potencia en watts

R.P.M. = Revoluciones por minuto

$$\text{R.P.M.} = \frac{f(120)}{P}$$

f = Frecuencia

P = Número de polos

* Para sistemas de 2 fases, 3 hilos, la corriente en el conductor común es 1.41 veces mayor que en cualquiera de los otros conductores.