

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y OPERACIÓN DE  
MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en  
Sistemas Eléctricos de Potencia

**DIEGO EDISON VERGARA TIPÁN**

Quito, Marzo, 2000

## **CERTIFICACIÓN**

CERTIFICO QUE BAJO MI DIRECCIÓN  
LA PRESENTE TESIS FUE REALIZADA  
EN SU TOTALIDAD POR EL SEÑOR:

**Diego Edison Vergara Tipán**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luis Taco Villalba", is written over a horizontal line.

**Ing. Luis Taco Villalba**

## **AGRADECIMIENTO**

*A todo el Cuerpo Docente de la Facultad, quienes han sido una guía a lo largo de mi carrera, a mis padres y hermanos y a mi esposa por su apoyo incondicional.*

*Un agradecimiento especial al Ing. Luis Taco por su valiosa dirección en el desarrollo de este trabajo.*

## **DEDICATORIA**

*Este Trabajo y lo que representa, el alcance de una meta, se lo dedico a mis queridos padres que por su amor siempre han mostrado su apoyo e interés en cada etapa de mi vida.*

## INTRODUCCION

En la época actual el avance de la ciencia y la tecnología determina el desarrollo de los pueblos en todos los sectores, así, las industrias se impulsan implementado máquinas, equipos e instalaciones que van a estar desarrolladas con la última tecnología a fin de obtener la óptima producción, tomando en cuenta tanto la eficiencia como la economía, lo que a su vez determina el crecimiento económico y comercial de un país.

Ahora, a finales del siglo 20, todos los países apuntan al desarrollo industrial en las diferentes áreas de aplicación no solo para generar riquezas o ir en busca del poderío económico, sino para lograr la mejoría del estándar de vida, del nivel económico y social de todos los habitantes.

Entendiendo esto se ve la necesidad de contar con una población educada, instruida y suficientemente adiestrada en la administración, operación y control de la tecnología que nos llega de los países desarrollados siendo esto alcanzable únicamente con el impulso de la educación y la capacitación, utilizando las herramientas técnicas paralelas también al nivel de desarrollo tecnológico presente en el medio.

Por lo tanto, incursionar en el diseño, instalación, manejo, control y mantenimiento de las máquinas de una industria de ese tipo puede resultar nuevo y hasta difícil por el desconocimiento de las nuevas características técnicas que pueden presentar las mismas, entonces, es necesario familiarizar a los futuros profesionales con esos detalles cuyo conocimiento puede ahorrar tiempo y con esto dinero.

En la Escuela Politécnica Nacional la Facultad de Ingeniería Eléctrica mediante las materias teóricas propias de cada especialidad, prepara profesionales capaces de enfrentar los retos que vienen con el avance tecnológico, pero sabemos que no es suficiente contar con los conocimientos teóricos, sino que además, son importantes también los prácticos, por lo tanto es necesario implementar nuevos laboratorios que vayan de acuerdo a las necesidades actuales del medio profesional y a los avances tecnológicos de nuestra era.

Contar con laboratorios equipados con nueva tecnología debería ser uno de los principales puntos a ser tomado en cuenta en el desarrollo de la educación superior, por esta razón el presente trabajo propone una readecuación, mas bien que el diseño propiamente dicho, de un nuevo sistema de suministro de energía para el laboratorio existente en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, un laboratorio que presente un equipamiento actual, moderno y útil, considerando para esto las características de los nuevos equipos y máquinas eléctricas que, según el fabricante, tendrán ciertos requerimientos diferentes a los ya establecidos para los elementos del actual Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

# INDICE

Página

<b><u>INTRODUCCION</u></b> .....	i
----------------------------------	---

## **CAPITULO 1**

<b>JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	1
1.1. JUSTIFICACION .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	3

## **CAPITULO 2**

<b>SISTEMA ACTUAL DE SUMINISTRO DE ENERGIA</b> .....	4
2.1. GENERALIDADES.....	4
2.1.1. ELEMENTOS DE UNA INSTALACION ELECTRICA .....	5
2.1.1.1. CONDUCTORES ELECTRICOS .....	6
2.1.1.2. MATERIALES AISLANTES .....	10
2.1.1.3. CANALIZACIONES ELECTRICAS .....	12
2.1.1.4. CONECTORES PARA CANALIZACIONES ELECTRICAS .....	13
2.1.1.5. ACCESORIOS ADICIONALES .....	14
2.1.1.6. DISPOSITIVOS DE PROTECCION .....	14
2.1.2. INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA .....	18
2.1.2.1. ELEMENTOS QUE COMPRENDE LA PUESTA A TIERRA .....	20
2.1.2.2. CARACTERISTICAS DE LA INSTALACION DE PUESTA A TIERRA .....	22
2.1.2.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA PUESTA A TIERRA .....	23
2.1.3. INSTALACIONES ELECTRICAS DE MOTORES .....	24
2.1.3.1. CONCEPTOS .....	24
2.1.3.2. ELEMENTOS .....	25
2.2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS ACTUALES .....	28
2.2.1. UBICACIÓN FISICA .....	28
2.2.2. INSTALACIONES ELECTRICAS .....	29
2.2.2.1. CAMARA DE TRANSFORMACION .....	31
2.2.2.2. TABLERO PRINCIPAL DE DISTRIBUCION .....	31
2.2.2.3. TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICO .....	32
2.2.2.4. TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL .....	33
2.2.2.5. FUENTES DE ENERGIA .....	35
2.2.2.6. MESAS DE TRABAJO .....	41
2.2.2.7. MAQUINAS ELECTRICAS .....	43

2.2.2.8.	GRUPO DE EMERGENCIA .....	46
2.2.2.9.	PROTECCIONES .....	47
2.2.2.10.	CABLEADO GENERAL .....	49
2.2.2.11.	CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA .....	49
2.3.	DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS ACTUALES .....	50
2.3.1.	ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE INCORPORAR LA MAQUINA DEL PROYECTO BID 085 AL SUMINSITRO DE ENERGIA .....	57

### **CAPITULO 3**

SELECCIÓN DE LOS NUEVOS EQUIPOS .....	63
3.1. EQUIPO DE EMTRENAMIENTO EN MAQUINAS ELECTRICAS .....	66
3.1.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO .....	68
3.2. FUENTES .....	70
3.2.1. CONVERTIDORES DE FRECUENCIA .....	71
3.2.2. FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA TENSION VARIABLE .....	75
3.2.3. SELECCIÓN DEL EQUIPO .....	78
3.3. EQUIPO ADICIONAL .....	79
3.3.1. ANALIZADORES TRIFASICOS DE ENERGIA ELECTRICA .....	79
3.3.2. OSCILOSCOPIOS .....	85
3.3.3. MODULOS DE MEDICION PARA INSTALARSE EN COMPUTADORAS .....	86
3.3.4. SELECCIÓN DEL EQUIPO .....	87

### **CAPITULO 4**

DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA .....	88
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	89
4.2. METODOLOGIA DE DISEÑO .....	91
4.2.1 DETERMINACION DE LA CARGA DE LA INSTALACION ELECTRICA .....	91
4.2.2 CALCULO Y ESPECIFICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS .....	93
4.2.2.1 CRITERIOS PARA EL CALCULO DE CONDUCTORES .....	94
4.2.2.2 CALCULO DE LA CORRIENTE EN UNA INSTALACION ELECTRICA DE MOTORES .....	100
4.3. PREVISIONES .....	104
4.3.1. EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	104
4.3.2. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS .....	104
4.3.2.1. INTRODUCCIÓN .....	104
4.3.2.2. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS EN LAS COMPUTADORAS .....	110
4.3.2.3. RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LAS INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS EN EQUIPOS YA CONSTRUIDOS .....	113
4.3.2.4. NORMAS PRACTICAS DE INTERCONECCIÓN .....	114
4.3.2.5. REDUCCION DE LAS INTERFERENCIAS EN SU ORIGEN .....	116

4.3.2.6.	REDUCCION DE LAS INTERFERENCIAS EN EL EQUIPO RECEPTOR .....	117
4.4.	DISEÑO .....	121

**CAPITULO 5**

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	129
5.1.	CONCLUSIONES .....	129
5.2.	RECOMENDACIONES .....	135

**ANEXOS** ..... 139

A.	PLANOS .....	I
A.1.	PLANTA DEL SEMISÓTANO .....	II
A.2.	UBICACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO .....	III
A.3.	INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ILUMINACIÓN .....	IV
A.4.	INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE FUERZA .....	V
A.5.	TUBERÍA PARA LA INSTALACION ELECTRICA DE FUERZA .....	VI
B.	DIAGRAMA UNIFILAR DEL SUMINISTRO DE ENERGIA .....	VII
C.	DISTRIBUCION DE CARGAS EN EL TABLERO PRINCIPAL DE DISTRIBUCIÓN .....	VIII
D.	DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL .....	IX
E.	DIAGRAMA DESCRIPTIVO DE LAS MESAS DE TRABAJO .....	X
F.	DESCRIPCION DE LA MAQUINAS ELECTRICAS ACTUALES .....	XI
G.	MODULOS PARA ANALIZADORES INDUSTRIALES .....	XII
G.1.	VIP ENERGY .....	XIII
G.2.	POWER LOGIC .....	XIV
H.	HOJAS DE DATOS DE LOS NUEVOS EQUIPOS .....	XV
H.1.	EQUIPOS SELECCIONADOS .....	XVI
H.2.	OPCIONES PRESENTADAS .....	XVII

**BIBLIOGRAFIA** ..... 140

# CAPITULO 1

## JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

### 1.1. JUSTIFICACIÓN

Existen diferentes clases de máquinas eléctricas: motores, generadores, transformadores, cada uno de ellas con otras subdivisiones de acuerdo a su construcción o funcionamiento pudiéndose mencionar las máquinas de inducción, sincrónicas, de corriente alterna o continua, que en todos los casos son utilizados en una gran variedad de aplicaciones.

Si bien es cierto que el principio de funcionamiento de las máquinas eléctricas no ha cambiado, si podemos decir que se ha mejorado y optimizado la operación y control de las mismas mediante la utilización de la tecnología cada día cambiante; es así como en el mercado de estos equipos se puede encontrar sofisticados sistemas de control y operación que dejan atrás los antiguos métodos usados para los mismos fines, notándose en ellos el objetivo de reducir espacio y tamaño siendo esa una de las aplicaciones de la electrónica de potencia y control. Cabe destacar que aunque los avances tecnológicos pretenden hacer más óptima la operación de los equipos, también cada nuevo producto actualizado requiere más conocimientos técnicos para utilizarlo con eficacia.

El laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica se ha convertido en un espacio clave dentro del adiestramiento técnico práctico que debe acompañar a los conocimientos teóricos presentados por las diferentes materias que conforman el pènsum académico, por lo tanto las máquinas, los equipos de control y operación, así como el sistema eléctrico del local deben estar acorde a los requerimientos tecnológicos del medio en el cual se desenvolverá un Ingeniero Eléctrico. Considerando esto, los equipos de entrenamiento de un laboratorio moderno debería satisfacer requisitos como:

1. Versatilidad, para adaptarse a diferentes modos de operación.
2. Flexibilidad, en la adaptabilidad a los cambios tecnológicos y docentes.
3. De tamaño compacto y liviano, para la instalación en cualquier edificio.
4. Totalmente integrado, con instrumentos diversos de medición.
5. De montaje rápido y fácil.

Es así como este trabajo presenta una readecuación óptima del suministro de energía para un laboratorio dotado de equipos que presentan las características anteriormente citadas, tomando en cuenta sus requerimientos y tratando de mantener, en lo posible, el diseño estructural y eléctrico como originalmente fue creado el laboratorio.

## 1.2. OBJETIVOS

La Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional a complementado la enseñanza teórica con el adiestramiento práctico desde sus inicios y para tal fin a creado e implementado diversos tipos de laboratorios con equipos eléctricos y electrónicos muy útiles en sus comienzos, tomando en cuenta que en 1965 se inaugura el edificio actual de la Facultad de Ingeniería Eléctrica implementando sus laboratorios donados por el fondo de la ONU destinado a la educación (UNESCO), los equipos no han sido renovados en más de 30 años por lo que se han convertido en equipos obsoletos para la enseñanza que requiere el avance tecnológico actual.

Por tal razón, este trabajo a planteado como objetivo realizar un diagnostico de la situación actual del sistema de suministro de energía eléctrica del Laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas, seguido de una descripción de los nuevos equipos para posteriormente elaborar el diseño del sistema de suministro de energía para los requerimientos del nuevo equipamiento de tal manera que este pueda ser utilizado el momento en que el nuevo laboratorio sea una realidad.

## **CAPITULO 2**

### **SISTEMA ACTUAL DE SUMINISTRO DE ENERGIA**

#### **2.1 GENERALIDADES**

Una instalación eléctrica esta conformada por varios elementos principales que tienen la finalidad de conducir, proteger y controlar la energía eléctrica y los dispositivos receptores, estos elementos son:

- a) Conductores eléctricos
- b) Materiales aislantes
- c) Canalizaciones eléctricas
- d) Conectores para las canalizaciones eléctricas
- e) Accesorios adicionales
- f) Dispositivos de protección

Teniendo presente que los elementos que conforman una instalación eléctrica están constituidos por materiales que presentan un deterioro de su vida útil conforme pasa el tiempo, se considera que el tiempo de vida de una instalación eléctrica es aquel que transcurre desde el momento en que fue creada hasta cuando se vuelve inservible. En la mayoría de proyectos se especifica un tiempo de vida aproximado puesto que en él in-

fluyen una multitud de factores, de todas maneras esto es muy útil conocer puesto que se ha efectuado una inversión en el proyecto y vale la pena tener una idea de cuánto durará la misma.

La vida de una instalación puede ser alargada si en el proyecto se consideran las previsiones necesarias para futuras adecuaciones o ampliaciones, y además se efectúa un buen diseño del sistema de protecciones, de esta manera se logra tener accesibilidad a las instalaciones para realizar trabajos de inspección y mantenimiento futuros dando a la instalación un buen grado de confiabilidad y seguridad.

Tomando en cuenta que los factores externos son los que determinan el tiempo de vida de la instalación, se repara en ciertos elementos que se ven afectados más que otros por dichos agentes pero que con un diseño bien realizado pueden ser superados sus efectos teniéndose entonces una instalación eléctrica segura, confiable y prevista para una larga duración.

### **2.1.1. ELEMENTOS DE UNA INSTALACION ELECTRICA**

Se describirán los elementos que intervienen en instalaciones eléctricas de bajo voltaje, como son las industriales, por ser estas las que abarcan el objetivo del presente trabajo.

En una instalación eléctrica se puede encontrar elementos de conducción, protección, control y recepción de la energía eléctrica. A estos elementos se los puede hallar mon-

tados de diferentes maneras como en instalaciones visibles, ocultas o especiales según los requerimientos del sistema.

#### **2.1.1.1. CONDUCTORES ELECTRICOS**

Dentro de una instalación eléctrica se necesita tener elementos de conducción que posean las mejores características de conductividad así como también que cumplan con ciertos requisitos en cuanto a sus propiedades eléctricas y mecánicas; un aspecto de consideración y que tiene mucha importancia cuando se selecciona estos elementos es también el económico.

Los elementos que reúnen las características citadas son hechos de cobre (Cu) o aluminio (Al) que comercialmente poseen las mejores propiedades de conductividad y, además, con un bajo costo.

Generalmente en las instalaciones eléctricas se emplean conductores aislados, es decir, están recubiertos por un material aislante de tipo termoplástico que recibe distintas denominaciones de acuerdo al fabricante. Comercialmente todos los tipos de conductores tienen propiedades específicas que establecen la diferencia de unos con otros.

Un conductor puede estar expuesto a varios factores o agentes que están determinados por el sitio o la naturaleza de la instalación, estos factores pueden ser: mecánicos, químicos, eléctricos.

**a) Agentes Mecánicos.**

Un conductor está sujeto a ataques mecánicos debidos principalmente a agentes externos durante el manejo, instalación o manipulación de los mismos, que pueden afectar de una u otra manera las características originales del conductor, dañándolo y con ello aumentando el riesgo de falla de operación; por lo tanto es necesario prevenir estos ataques trabajando eficiente y cuidadosamente junto con el empleo de técnicas adecuadas para el manejo e instalación de conductores.

Los diferentes agentes externos que afectan mecánicamente al conductor pueden ser:

***Presión mecánica.-*** Esta se puede dar en el momento de manejar los conductores al colocar objetos pesados sobre ellos, lo que ocasiona una deformación permanente del aislamiento o fisuras en el mismo que puede ocasionar futuras fallas en la instalación por el debilitamiento en la zona dañada.

***Abrasión.-*** Se presenta normalmente al introducir los conductores a las canalizaciones cuando estas se encuentran ásperas o con puntas dando lugar a que el aislamiento del conductor se raspe, corte o perfore aumentando las probabilidades de falla en el futuro.

***Elongación.-*** Este fenómeno se puede presentar cuando dentro de una instalación eléctrica se tiene más de dos curvas de 90° en una trayectoria unitaria de tubería o

cuando se trata de introducir en el tubo conduit más del número de conductores permitido por las normas o reglamentos.

Los conductores de cobre presentan un límite sobre el cual llegan a alargarse por lo que se debe tener cuidado de que la tensión aplicada no exceda a  $7 \text{ kg/mm}^2$ , de lo contrario ese alargamiento provoca problemas de aumento de la resistencia eléctrica por la disminución de la sección del conductor, además, con esa disminución de la sección el material aislante tendrá la facilidad de deslizarse y provocar problemas al estar más expuestos a falla por aislamiento.

***Doblez a 180°.*** - Cuando las moléculas del material aislante que se encuentra en el exterior se ven sometidas a la tensión y las que están en el interior a la compresión se presenta este fenómeno conocido técnicamente como la formación de “cocas”. Este problema aparece principalmente por el mal manejo del material.

#### **b) Agentes Químicos.**

Las instalaciones eléctricas pueden estar ubicadas en lugares en los que el ambiente este cargado de productos químicos, en ellas se puede encontrar cuatro tipos generales de agentes químicos contaminantes que son:

- Agua o humedad
- Hidrocarburos
- Ácidos
- Alcalis

Si el lugar en donde se encuentra la instalación contiene estos agentes todo el ambiente estará contaminado, de tal manera que los conductores están en contacto permanente con ellos pudiendo ser afectado primeramente su recubrimiento aislante, disminuyendo su espesor o formándose grietas con trazos de sulfatación u oxidación en el aislamiento el cual se manifiesta como un desprendimiento en forma de escamas.

**c) Agentes Eléctricos.**

Tomando en cuenta los límites de seguridad, lo que determina las condiciones de operación es la rigidez dieléctrica del aislamiento que mantiene la diferencia de potencial dentro de esos límites permitiendo soportar las sobrecargas transitorias y los impulsos provocados al ocurrir fallas de corto circuito.

Generalmente las características eléctricas de los materiales aislantes, para conductores de baja tensión, se las ha determinado de tal manera que son mucho mayores que las especificadas para la tensión máxima de trabajo que esta a niveles de voltaje del orden de 600 voltios. Por esta razón difícilmente falla el aislamiento de los conductores por causas eléctricas en instalaciones de bajo voltaje.

La razón principal de las fallas la constituye los fenómenos térmicos provocados por la circulación de corriente cuando se producen sobrecargas sostenidas o en el caso de deficiencias en el sistema de protecciones al no interrumpir la corriente en el momento de ocurrir un corto circuito, pues en ese caso circulará a través del conductor corrientes extremadamente altas que superan los valores tolerables provocando el calentamiento y

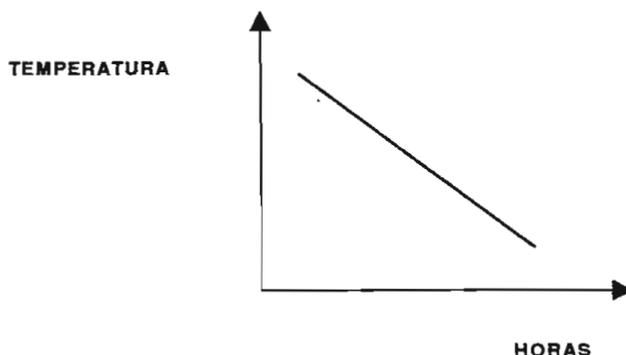
destrucción del aislamiento y del conductor en el caso de que no operen las respectivas protecciones a tiempo.

#### **2.1.1.2. MATERIALES AISLANTES**

Con el paso del tiempo una instalación eléctrica puede deteriorarse debido al envejecimiento de los materiales utilizados, por lo tanto es esa circunstancia la que determina el tiempo de vida de una instalación, siendo principalmente los materiales aislantes los que más deterioro presentan a lo largo del tiempo. Estos materiales se los utiliza como forros de conductores, cintas aislantes, soportes, cubiertas protectoras y barnices y en cada caso pueden estar sujetos a esfuerzos térmicos, físicos o químicos que dañan sus características y cualidades propias, deteriorándose o envejeciéndose más o menos rápido mermando por lo tanto la vida útil de la instalación.

Los materiales aislantes se clasifican de acuerdo al grado de estabilidad térmica teniendo el término *clase de aislamiento* referido a la máxima temperatura que puede soportar el material antes de que se presenten cambios irreversibles en su estructura molecular. La mayor parte de estos materiales son de naturaleza orgánica y su tiempo de vida depende del número de recombinaciones moleculares irreversibles a las que se ve sometido durante el paso del tiempo y a causa de la temperatura.

Con el fin de ilustrar gráficamente esta característica se ha llegado a obtener curvas logarítmicas que representan el tiempo de vida del aislamiento en función de la temperatura (Figura 2.1)<sup>1</sup>.



**Figura 2.1**

Conociendo ahora la causa principal del deterioro de los materiales aislantes se puede decir de forma aproximada que la vida del aislamiento se reduce a la mitad por cada 7° u 8° C de temperatura por sobre el nivel máximo permitido, es decir, el nivel de estabilidad térmica del material.

El aislamiento de los conductores de servicio eléctrico de baja tensión, como se ha visto, es determinante para el tiempo de duración de la instalación por lo que estos conductores deberán tener una envoltura aislante que normalmente resista la exposición a la intemperie o las condiciones del medio en que se encuentren.

---

<sup>1</sup> INSTALACIONES ELECTRICAS, BRATU, CAMPERO

### 2.1.1.3. CANALIZACIONES ELECTRICAS

Las canalizaciones eléctricas son todos aquellos dispositivos empleados para contener a los conductores en las instalaciones eléctricas, proporcionándoles una protección contra los efectos externos que pueden afectar o deteriorar físicamente a los conductores y proteger a la instalación misma contra posibles incendios producidos por los arcos que se forman durante un cortocircuito, además, las canalizaciones proveen el camino por el que se distribuirá los conductores en el edificio.

Dentro de los medios de canalización más comúnmente usados en las instalaciones eléctricas se tiene:

**Tubos conduit:** Son tuberías que se las encuentra hechas de diferentes materiales, pudiendo ser estos metálicos o plásticos y rígidos o flexibles dependiendo de la aplicación; se los utiliza empotrados en las paredes o a la intemperie y son los más comúnmente empleados en instalaciones residenciales. Según los materiales de los que están hechos pueden considerarse resistentes a los agentes externos, esto dependerá en gran manera de la aplicación y sitio de ubicación de la instalación.

Los conductores pueden ser afectados por las tuberías en el momento de pasarlos por su interior rasgándose o cortándose el aislamiento al existir irregularidades en las aberturas de los extremos del tubo y como ya se menciono anteriormente esto puede ser causa de fallas en el sistema eléctrico, por lo tanto es necesario verificar la entrada y salida del tubo para determinar la existencia de irregularidades en esas entradas y también hay que

tener cuidado en la manipulación de los conductores en el momento de ingresarlos por los tubos para evitar rasgaduras o cortes en el aislante.

**Ductos:** Son canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapa y son utilizados en instalaciones visibles como puede ser en laboratorios o industrias. Por el material de que están hechos y por su forma son sistemas que ofrecen protección a los conductores que atraviesan por su interior contra agentes mecánicos externos, aunque su resistencia se ve limitada al tipo de aplicación, lugar y propósito de la instalación por lo que están sujetas a deformación en el caso de que se les aplique excesivas cargas físicas, golpes u otros agentes físicos.

**Charolas:** Son similares a los ductos en su aplicación, su uso depende de los lugares en donde se realice la instalación.

#### **2.1.1.4. CONECTORES PARA CANALIZACIONES ELECTRICAS**

En una instalación eléctrica se encuentran dispositivos de control, protección o salidas para receptores que necesitan acoplarse con la alimentación que viene por los cables, también se tienen canalizaciones eléctricas que requieren una interconexión entre sí, para tal efecto se tienen los llamados conectores para canalizaciones eléctricas que son básicamente cajas de conexión y sus accesorios de diferentes tipos dependiendo de la aplicación. En estos conectores el daño causado sobre ellos por diferentes agentes externos es mínimo por lo que pueden tener una larga vida útil.

### **2.1.1.5. ACCESORIOS ADICIONALES**

Los accesorios adicionales en las instalaciones eléctricas convencionales son elementos que llevan corriente pero que no la consumen, estos pueden ser de diversas clases y características, dependiendo del tipo de instalación, así, se puede tener los siguientes:

- Portalámparas
- Apagadores de palanca, de botón o de presión
- Contactos (de tipo doméstico y comercial e industrial)

Estos accesorios, en algunos casos, están expuestos a la manipulación continua por lo que su deterioro puede ser extremo causando problemas de fallas o cortocircuitos, aunque también por su sencillez el reemplazo o reposición de los mismos es simple y rápida.

### **2.1.1.6. DISPOSITIVOS DE PROTECCION**

Cuando circula una corriente eléctrica por un alambre es inevitable que este se caliente, así, conforme aumente el número de Amperios que circulan aumenta también la temperatura del alambre. En general, el calor producido es proporcional al cuadrado de la corriente para cualquier tamaño de alambre.

Cuando la temperatura se incrementa, el calor puede dañar el aislamiento del alambre

aumentando así el riesgo de que se produzca una falla, y si es demasiado el calor este puede provocar un incendio. Por tanto, es necesario limitar la corriente que circulará por el conductor a un valor máximo de tal manera que no exista los riesgos anteriormente citados.

Los dispositivos de protección tienen como finalidad detectar y aislar las fallas producidas dentro de una instalación eléctrica, limitando las sobrecargas y los efectos de los arcos eléctricos en un corto circuito.

Para contar con un sistema completo de protección es necesario tener los siguientes dispositivos: tableros de distribución, fusibles e interruptores termo magnéticos.

Los **tableros de distribución** están constituidos por dos o más interruptores de navaja, con palanca o con interruptores termo magnéticos desde donde se reparte o distribuye la energía hacia los centros de carga por lo que se los instala cerca de ellos y en lugares protegidos de la intemperie y de otros agentes por lo que son muy poco afectados por el medio en donde se encuentran, dándose más bien el deterioro de los elementos que los conforman antes que del propio tablero.

Los **fusibles** son elementos de protección que están formados de un alambre de aleación de plomo y estaño que tiene un bajo punto de fusión que permite que el alambre se funda cuando se excede del límite de diseño interrumpiendo de esa manera la alimentación. Los fusibles pueden ser utilizados en la protección de cualquier circuito ya que se los encuentra en diversos rangos de capacidad.

Estos fusibles pueden estar sujetos a un deterioro que afecte en más o menos grado el límite de fundición del material ya sea por envejecimiento o por un mal dimensionamiento del mismo, por lo que la única manera de habilitar esa protección es sustituyendo el elemento defectuoso.

Los dispositivos de protección llamados **interruptores electromagnéticos (Breakers)** están diseñados para abrir el circuito en forma automática en el momento en que ocurre una falla o sobrecarga de corriente en el sistema. Están formados por un elemento térmico y otro magnético que en conjunto producen la desconexión y apertura del circuito en falla que al pasar la corriente lo calienta y por lo tanto los deforma, habiendo un cambio de posición del elemento que acciona el mecanismo de disparo.

Estos interruptores están sujetos al desgaste de sus partes mecánicas por lo que tienen ya un número predeterminado de operaciones dependiendo del fabricante y de sus aplicaciones. El diseño de sistemas de protección utilizando estos interruptores se lo realiza en base a una serie de curvas características propias de cada interruptor y fabricante.

Se prefiere el uso de interruptores electromagnéticos a los fusibles, ya que cuando se activan los interruptores se debe corregir la causa de la falla y simplemente volverlo a su posición normal de protección, mientras que cuando se funde un fusible se lo debe reemplazar por completo pudiendo ser difícil encontrar su repuesto.

**Capacidades estándar.** Los dispositivos de protección, fusibles e interruptores, existen en capacidades estándar como son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, y 200 Amperios

El diseño del sistema de protecciones se lo describirá más adelante cuando se trate ya el objeto de este trabajo y se proceda con el diseño completo del sistema de Suministro de energía para el Laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas.

Se debe enfatizar la necesidad de tener estos dispositivos presentes en cualquier instalación eléctrica y, considerando que ninguna instalación puede estar libre de fallas accidentales que provoquen cortocircuitos, es muy importante realizar un correcto diseño de las protecciones del sistema eléctrico para que estas actúen eficazmente al producirse una falla desconectando o aislando el área donde ocurre la falla, inmediatamente o en un tiempo determinado por el diseñador, de modo que no resulte peligroso para el personal, equipo o las instalaciones en general.

Dentro de los elementos de protección de un sistema o de una instalación eléctrica se puede incluir las *instalaciones de puesta a tierra*, las cuales proveen una protección especial para los operadores o personas que están en contacto con los equipos, máquinas, motores, cuyas cubiertas o carcasas pueden entrar en contacto con elementos cargados con alto voltaje que resultarían ser peligrosos para el personal que las opera.

Estas instalaciones de puesta a tierra están asociadas con los diferentes dispositivos de protección anteriormente descritos.

## 2.1.2. INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

Toda ligazón conductora directa, metálica, entre determinados elementos o partes de una instalación o edificio y el potencial de tierra se conoce como una *puesta a tierra*. Esta unión no debe tener fusible ni conexión alguna y debe ser de sección suficiente. La conexión a tierra se la realiza utilizando un electrodo o grupo de ellos enterrados en el suelo.

Las instalaciones de puesta a tierra cumplen con diversos objetivos como son el mantener al potencial de tierra una parte del circuito recorrido por una corriente (neutro en transformadores, retorno por tierra en vehículos eléctricos, etc.), puede servir como protección contra contactos accidentales de la partes de una instalación no destinadas a estar bajo tensión y para disipar sobre tensiones, sean de origen atmosférico o de origen en instalaciones eléctricas. Si se toma en cuenta que la mayoría de aparatos o máquinas eléctricas están constituidos por armazones metálicos, el peligro de que se produzca una descarga desde el armazón hacia las personas es grande.

Tomando un ejemplo suponga que un motor de 208 V está defectuoso y la bobina dentro del motor llega accidentalmente a estar en contacto eléctrico en un punto del armazón metálico y este no se encuentra aterrizado, como se muestra en la Figura 2.2. Esta falla representa un riesgo para una persona que solo toque el armazón puesto que estará completando el circuito a través de su cuerpo a tierra y recibirá una descarga de 120 V. Esta situación es potencialmente peligrosa ya que estas *descargas pueden ser fatales*. Ahora, teniendo el mismo motor y el mismo contacto eléctrico accidental entre

una bobina y el armazón pero estando este conectado a tierra por medio de un conductor de protección como se muestra en la Figura 2.3, la instalación se vuelve segura para la persona que entra en contacto con el armazón ya que la corriente fluirá por el conductor de protección a tierra si antes no se fundió el fusible de alguna fase.

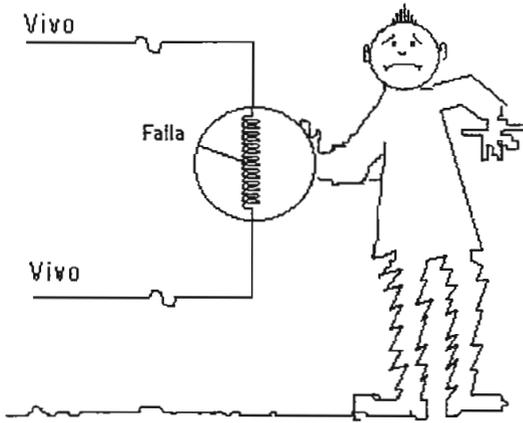


Figura 2.2

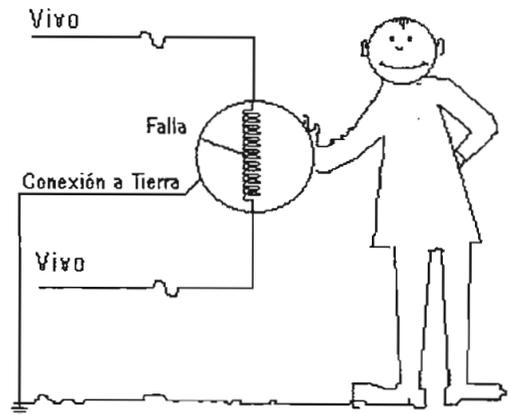


Figura 2.3

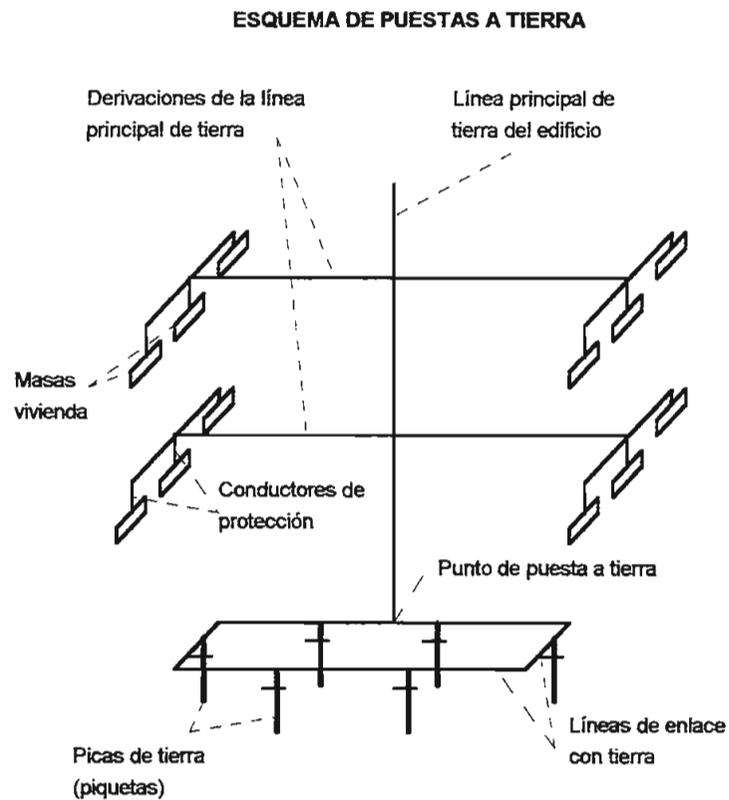
Por lo tanto, considerando el objetivo de protección para las personas y el equipo en el laboratorio, entenderemos que la puesta a tierra limitará la tensión que con respecto a tierra pueda aparecer en cualquier elemento conductor del edificio asegurando con ello la actuación de las protecciones de la instalación eléctrica, cumpliendo de esta manera con las siguientes misiones:

- **Proteger a las personas**, limitando la tensión que respecto a tierra puedan alcanzar las masas metálicas.
- **Proteger a personas y materiales**, asegurando la actuación de los dispositivos de protección.

- *Facilitar el paso a tierra de las corrientes* de defecto y de las de descarga de origen atmosférico u otro.

### 2.1.2.1. ELEMENTOS QUE COMPREDEN LA PUESTA A TIERRA

Todo Sistema de Puesta a Tierra esta constituido por ciertos elementos que la caracterizan, estas partes se las puede observar en la Figura 2.4



**Figura 2.4**

Así, se puede identificar en todo sistema de Puesta a Tierra las siguientes partes:

- Tomas de tierra
- Líneas principales de tierra
- Derivaciones de las líneas principales de tierra
- Conductores de protección

**Tomas de tierra.** Las tomas de tierra están constituidas por los siguientes elementos:

- ***Electrodo.*** Es la masa metálica que se encuentra permanentemente en contacto con el terreno para permitir el paso de las corrientes de defecto hacia el mismo.
- ***Línea de enlace con tierra.*** Está formada por los conductores que unen el electrodo o conjunto de ellos con el punto de puesta a tierra.
- ***Punto de puesta a tierra.*** Es el punto situado en un lugar accesible (fuera del terreno, en arqueta, etc.), que sirve de unión entre la línea de enlace con tierra y la línea principal de tierra. Pueden existir instalaciones con varios puntos de puesta a tierra.

**Líneas principales de tierra.** Están constituidas por los conductores o el conductor que parte del punto de puesta a tierra hasta que se derivan hacia los distintos conductores de protección de las instalaciones.

**Derivaciones de las líneas principales de tierra** Son los conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de la instalación.

**Conductores de protección** Son aquellos conductores que unen eléctricamente las distintas masas o conjunto de ellas, con las derivaciones de la línea principal de tierra.

#### 2.1.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

A continuación se describe las características que deben tener los elementos de una correcta Puesta a Tierra:

**Líneas de enlace con tierra.** Estas líneas estarán formadas por conductores de cobre, de sección no menor a  $35 \text{ mm}^2$  y sin aislamiento.

**Líneas principales de tierra.** Son conductores aislados de cobre de  $16 \text{ mm}^2$  de sección mínima.

**Derivaciones y conductores de protección** Serán generalmente conductores aislados de cobre, cuya sección mínima está en función de la de los conductores de fase de la instalación, esta correspondencia de secciones (S) se muestra en el siguiente cuadro:

<i>Sección conductores de fase (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Sección protección (mm<sup>2</sup>)</i>
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

### **2.1.2.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA PUESTA A TIERRA**

- Todas las conexiones de puesta a tierra deben ser directas y no deben instalarse en las mismas ningún tipo de fusible ni protección alguna, y deben ser realizadas utilizando presillas de conexión.
- Se la puede distribuir por donde atraviesan los conductores eléctricos o por canalizaciones específicas.
- Siempre los conductores de la puesta a tierra deben ser aislados y tener una señalización (color, etiquetas, etc. ) que facilite su identificación.
- Nunca se debe utilizar como conductores de puesta a tierra las tuberías de agua, gas, calefacción o desagües.
- Es conveniente realizar una revisión de la toma de tierra en periodos cortos de tiempo (5 años como mínimo) para verificar el estado de los conductores así como de sus uniones y con ello efectuar la limpieza de óxidos y/o los reemplazos de los elementos si fuera el caso.
- En un edificio se debe realizar una conexión de puesta a tierra de los siguientes elementos:
  - Todas las tuberías metálicas accesibles.
  - Toda masa metálica importante (estructura, maquinaria, etc.)
  - Las masas metálicas accesibles de los aparatos receptores de las tensiones usuales.
  - Los montacargas y ascensores en sus partes metálicas.
  - Los depósitos de combustibles.
  - Las instalaciones de calefacción.

- Las instalaciones de antenas colectivas y dichas antenas.
  - Etc.
- 
- En la actualidad muchos electrodomésticos, máquinas, computadoras y otros equipos eléctricos y electrónicos están provistos de enchufes que cuentan con un terminal adicional que sirve para conectar el equipo al sistema de puesta a tierra. Por lo tanto es recomendable realizar instalaciones eléctricas con tomacorrientes que cuenten con una toma adicional para la puesta tierra (polarizados).
  - Se recomienda realizar la puesta a tierra de todas las partes metálicas de los receptores que se encuentren en locales mojados o con riesgo, en donde las tensiones sean superiores a 24 V.

### **2.1.3. INTALACIONES ELECTRICAS DE MOTORES**

Considerando el objetivo del presente trabajo, se presenta a continuación una descripción de las instalaciones eléctricas para motores eléctricos.

#### **2.1.3.1. CONCEPTOS**

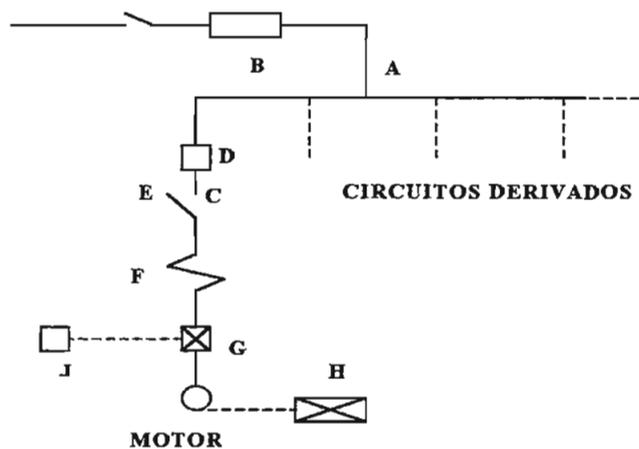
**Corriente nominal.** Cuando un motor está trabajando a plena carga (potencia nominal) este requiere o demanda una corriente, esta es la que se conoce como corriente nominal. El valor de esta corriente se encuentra indicada en la placa de identificación del motor.

**Corriente de arranque.** Es la corriente que aparece en el instante en que el motor es puesto en operación y depende de la reactancia inductiva del motor. El valor de esta corriente de arranque es mayor que la corriente nominal.

**Corriente de sobrecarga.** Un motor puede, generalmente, entregar más de su potencia nominal, pero con ello consumirá más corriente y se sobrecalentará. Si la sobrecarga es excesiva, el motor se quemará por lo que se requiere de dispositivos de protección de sobrecarga.

### 2.1.3.2. ELEMENTOS

Teniendo presentes los conceptos anteriormente citados se puede describir los elementos que intervienen en una instalación eléctrica de motores (Figura 2.5):



**Figura 2.5**

***Alimentador (A).*** La energía eléctrica necesaria para alimentar a un grupo de motores se la suministra a través de un conductor llamado alimentador.

***Protección del alimentador (B).*** Tiene como finalidad proteger al conductor contra sobrecargas. La protección puede ser por medio fusibles o interruptores automáticos.

***Circuitos derivados (C).*** Son aquellos conductores que van desde el tablero de distribución o del alimentador a cada motor de la instalación.

***Protección del circuito derivado (D).*** Se la hace por medio de fusibles. Esta protección no es para el motor sino para proteger el conductor y debe soportar la corriente que aparece en el momento del arranque del motor permitiendo su operación sin que se abra el circuito.

***Desconectador (E).*** Cuando se necesita realizar ajustes o reparaciones en el motor es necesario aislarlo del circuito derivado para evitar accidentes, esto se logra mediante el desconectador que consiste de un interruptor de navajas.

***Protección del motor (F).*** Protege al motor contra sobrecargas, evita el sobre calentamiento permitiendo únicamente una sobrecarga del 25%.

***Control del motor (G).*** Es el dispositivo que sirve para arrancar el motor, controlarlo o para la operación del mismo y depende del tipo de motor. Este dispositivo puede ser un simple interruptor de navajas, un desconectador manual o automático con resis-

tencias o reactancias que se ponen en serie cuando arranca el motor y luego se desconectan.

Se encuentran también desconectores dotados de un autotransformador que se conecta al arranque para empezar a funcionar a voltaje reducido y se desconecta cuando el motor ha alcanzado su velocidad nominal, quedando este a voltaje pleno. La resistencia y reactancia del autotransformador tienen por objeto limitar la corriente de arranque del motor, a fin de que no existan caídas de voltaje grandes durante el arranque de motores eléctricos de gran capacidad.

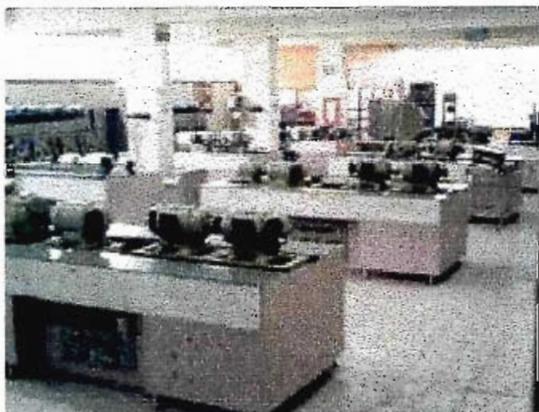
***Control secundario del motor (H).*** Se lo realiza en los motores de rotor devanado y consiste en un reóstato que se conecta al devanado del rotor por medio de anillos rozantes. En el momento de arrancar el motor se ponen todas las resistencias en serie y se va decreciendo poco a poco hasta que el motor adquiere su velocidad nominal. De esta manera se logra que el motor tome una corriente relativamente baja.

***Estación de botones (J).*** En los casos en que el motor tiene arranque magnético o electromagnético se utiliza el control del motor a distancia o a control remoto. En este tipo de arranque los contactos pueden abrirse o cerrarse por medio de una estación de botones ubicada en un lugar conveniente.

## 2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS ACTUALES

### 2.2.1. UBICACIÓN FÍSICA

El laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas se halla ubicado físicamente en el subsuelo del edificio que ocupa la Facultad de Ingeniería Eléctrica (edificio antiguo), como se muestra en el plano del **Anexo A.1**, en ese espacio se encuentra instalado con mesas de trabajo, motores, transformadores y equipos de control y medición dentro de una superficie aproximada de  $264 \text{ m}^2$  (Figura 2.6) más un área adicional de  $44 \text{ m}^2$  en donde se encuentran ubicados el equipo rectificador, el transformador de tensión variable y motores grandes que conforman el grupo Ward Leonard (Figura 2.7), siendo todos ellos parte de las fuentes de energía.



**Figura 2.6**



**Figura 2.7**

Dado que las necesidades de espacio son susceptibles de cambiar continuamente la Facultad ha realizado obras de ampliación y remodelación, teniendo como mira el mejor

uso de áreas que anteriormente estaban desperdiciadas notándose que en todos los casos esto no ha causado daños que puedan afectar a la edificación.

## 2.2.2. INSTALACIONES ELECTRICAS

Como es de suponer, una sala que posea máquinas, motores o cualquier equipamiento eléctrico debe contar con una buena instalación eléctrica la cual debe cumplir con los servicios que fueron especificados para el proyecto, es decir, debe proporcionar la energía necesaria para satisfacer los requerimientos de los distintos elementos receptores que la transformaran según sean las necesidades con total confiabilidad y seguridad.

Se puede entender como instalación eléctrica al “conjunto de elementos necesarios para conducir y transformar la energía eléctrica, para que sea empleada en las máquinas y aparatos receptores para su utilización final”<sup>2</sup>. Además corresponde a cualquier tipo de instalaciones y va desde la generación pasando por las etapas de transformación, transmisión y distribución hasta la utilización misma de la energía eléctrica.

De acuerdo al voltaje empleado en los sistemas, se pueden clasificar en instalaciones eléctricas de:

<b>Alto Voltaje</b>	85, 115, 230, 400 kV
<b>Extra alto voltaje</b>	Más de 400 kV
<b>Mediano voltaje</b>	69 kV
<b>Distribución y bajo voltaje</b>	23, 20, 13.8, 4.16, 0.44, 0.22, 0.127 kV

<sup>2</sup> Enriquez Harper, Manual de Instalaciones Eléctricas ..., pag.65

Toda instalación eléctrica debe cumplir con ciertos requisitos como son: seguridad, eficiencia, economía, ser accesible y de fácil mantenimiento y además cumplir con los requisitos técnicos que se hallan en las normas o reglamentos de instalaciones eléctricas que en el caso del Ecuador se encuentran establecidos en el Código Eléctrico Ecuatoriano.

En el Laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas se encuentran elementos propios de la instalación eléctrica de bajo voltaje, los cuales fueron detallados anteriormente, y que han sido diseñados para cumplir las especificaciones propias de las máquinas actualmente instaladas pero que posiblemente deberán ser sometidos a modificaciones para adaptarlos o reemplazarlos dependiendo de las características y requerimientos de los nuevos equipos.

Como se describirá más adelante, existen equipos que no están siendo utilizados por estar en malas condiciones, defectuosos o porque simplemente no se ha hallado una aplicación práctica actual para los mismos pero que no afectan a la instalación eléctrica en general.

Para visualizar la distribución del suministro de energía, la interconexión de sus protecciones y las diferentes cargas que se encuentra en el edificio antiguo de Ingeniería Eléctrica, se ha elaborado el diagrama unifilar de la instalación eléctrica mostrado en el **Anexo B**, notándose que en él se encuentra representados los componentes de la instalación eléctrica con sus respectivos símbolos y referencias. En este diagrama unifilar se muestra el suministro de energía desde la Empresa Eléctrica y desde el grupo de Emer-

gencia que llegan a la Barra del Tablero de Transferencia (TT) de esta hacia la Barra Principal (BP) y desde aquí se reparte a las Barras de Distribución (B1 y B2), y a través de interruptores electromagnéticos de protección hacia las cargas.

#### **2.2.2.1. CAMARA DE TRANSFORMACION**

Es el espacio (cuarto o habitación) en donde se encuentra ubicado uno o varios transformadores que son los aparatos que convierten la energía eléctrica de CA de un nivel de voltaje dado, en energía eléctrica de CA a otro nivel de voltaje dependiendo de la acción de un campo magnético para lograr ese cambio y sin tener ninguna parte móvil.

El transformador ubicado en el subsuelo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica es un transformador trifásico enfriado por aceite y tiene la capacidad de entregar una potencia de 150 kVA, además, suministra energía exclusivamente a esta facultad

#### **2.2.2.2. TABLERO PRINCIPAL DE DISTRIBUCION**

Un tablero de distribución es el gabinete a donde llegan todos los alambres de servicio de alimentación y en el que se encuentra además: barras conductoras, dispositivos de sobre corriente automáticos con o sin interruptores para el control de luz, el calor o circuitos de potencia para todo el edificio. Cada tablero es diseñado para albergar un cierto número de dispositivos de sobre corriente.

El tablero instalado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica está ubicado en el subsuelo del edificio antiguo y cuenta con interruptores electromagnéticos de protección para cada grupo de carga existente en todo este edificio. Incluye además interruptores fusibles de cuchillas para ciertas cargas, como es el del mismo Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Este tablero de distribución principal reparte la energía a otros tableros situados en diferentes lugares del edificio y que cuentan también con interruptores electromagnéticos de protección. El detalle de la distribución de las cargas en este tablero principal se encuentra en la Tabla del **Anexo C**.

### **2.2.2.3. TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICO**

Este tablero tiene la finalidad de realizar la transferencia entre la alimentación de la red y la alimentación proveniente del grupo electrógeno de emergencia, mantiene dos modos de operación: automático y/o manual.

Está conformado por el tablero de control en donde se encuentra medidores de voltaje, de corriente, de temperatura y diferentes alarmas luminosas como se muestra en la Figura 2.9.

3Ø 208 V 600 A 160 KW BAT 24V <sub>DC</sub>						
TRANS. NORM. MOT.  TRANSFERENCIA	IMPULSOS #1 ○ #2 + #3 +	FALLA ○	PARADA +	BATERIA CARGA ○ FALLA ○	FALLA VOLTAJE ○	NORMAL ○
OFF ON  GRUPO ELEC.	SISTEMA DE ARRANQUE Y PARADA			RED EMPRESA ELECTRICA		
	ALTA TEMPERATURA +	BAJA PRES. ACEITE +	SILENCIA BOCINA 	RESET 	FALLA VOLT/FREC + + ALTO ○ + BAJO ○	NORMAL ○
	MOTOR GRUPO ELECTROGENO		ALARMA		GENERADOR GRUPO ELECTROGENO	

Figura 2.9

#### 2.2.2.4. TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL

Mediante este tablero se puede controlar, entre otras, las funciones de selección de fuentes, selección de mesas, suministro de energía, control de voltaje, instrumentos de medida y protecciones, todos ellos organizados en Paneles como se muestra en el **Anexo D**.

Cada mesa, independientemente, puede alimentar equipos que requieran diferentes clases de energía como: corriente continua, corriente alterna, tensión fija, tensión variable, etc. Para suministrar esos diferentes tipos de energía a cada una de las mesas se tiene

dispositivos de control ubicados en un armario grande en el interior del Laboratorio, este armario constituye el Tablero de Control Principal y se encuentra conformado por un conjunto de interruptores y accionamientos asociados en paneles que pueden ser alimentados con el tipo de energía que se necesite proveer a las mesas. Cabe especificar que los interruptores son independientes para cada mesa, pudiéndose alimentar a cada una de ellas con diferente tipo de energía (Panel 1 y 2). Para evitar corto circuitos al suministrar energías diferentes en un mismo punto de las mesas (Tensión a elegir) se cuenta con interruptores accionados por llave (Panel 10), existiendo una sola para cada mesa por lo que será imposible activar dos tipos de tensión simultáneamente en cada mesa si no se cuenta con otra llave. Igualmente organizados en los respectivos paneles (Paneles 2,3,4,5,6,7) se encuentran los mandos para la selección y control de las diferentes fuentes.

En el Tablero de Control se hallan ubicados únicamente los mandos para cada equipo que suministra la energía, quedando estos relegados a otros espacios como son la sala adjunta al laboratorio, denominada cuarto rectificador, en donde se encuentra las máquinas que forman el grupo Ward Leonard de frecuencia variable, la fuente de Corriente Continua variable así como rectificadores a base de diodos y el transformador para voltaje trifásico variable.

Todas las instalaciones eléctricas desde las fuentes a los controles y de estos a las mesas tienen asociados sus respectivas protecciones mediante Breakers o fusibles todos ellos ubicados detrás del Tablero de Control.

En el Panel 9 de este tablero se encuentra los mandos para el control remoto, estos permiten gobernar los reóstatos de campo y la relación de transformación del transformador sin necesidad de estar frente a ellos permitiendo con esto enviar a la mesa activa la magnitud de energía necesaria para las experiencias a realizar.

#### **2.2.2.5. FUENTES DE ENERGIA**

Para cumplir con su objetivo el laboratorio de máquinas eléctricas requiere de distintos tipos de fuentes de alimentación, según esto se encuentran disponibles las siguientes:

- a.** Fuentes de Corriente Alterna
  - *fuerce de corriente trifásica tensión fija*
  - *fuerce de corriente trifásica tensión variable*
- b.** Fuentes de Corriente Continua
  - *fuerce de corriente tensión fija*
  - *fuerce de corriente tensión variable*
- c.** Fuente de frecuencia variable
- d.** Grupo de emergencia

El control para cada una de estas se encuentra ubicado en el tablero de mandos del laboratorio, desde ahí se suministra a cada mesa según los requerimientos.

## **a. FUENTES DE CORRIENTE ALTERNA**

El laboratorio de máquinas eléctricas es un espacio en donde se realizan experiencias con diferentes tipos de equipos eléctricos como son transformadores, motores y generadores, todos con sus distintas clases y configuraciones. La mayoría de las experiencias con máquinas eléctricas requieren para su ejecución de una fuente de corriente alterna, siendo la más común la trifásica. En base a este tipo de fuente se encuentran distribuidos en el tablero de control principal los mandos para diferentes opciones de alimentación con corriente alterna como se describe en las líneas siguientes:

**PANEL 1.** Para la alimentación de equipos o máquinas que requieren un nivel de *voltaje constante* en magnitud y frecuencia se dispone de una fuente de corriente alterna trifásica con voltaje de línea de 220 Voltios y frecuencia de 60 Hz. Este suministro de energía proviene directamente del transformador principal de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, el cual cuenta con sus respectivas protecciones.

**PANEL 3.** Se obtiene corriente trifásica con *voltaje variable* a partir de un transformador trifásico con tensión nominal del primario de 220 Voltios y de tensión en la salida del secundario de 0 – 506 Voltios con frecuencia constante de 60 Hz.

## **b. FUENTES DE CORRIENTE CONTINUA**

Cuando se necesita corriente continua para usos industriales, se obtiene de ordinario transformando de algún modo la corriente alterna de la red de distribución en corriente

continua, siendo otra opción el obtenerla de bancos de baterías. Los métodos de obtener este tipo de energía, disponibles en el laboratorio, se los considera a continuación:

**Rectificadores.-** Un rectificador es un circuito que transforma o convierte la energía de CA a CC utilizando para el efecto diodos semiconductores.

Se ha comprobado que, para convertir la corriente alterna en continua, resulta más económico emplear rectificadores de gran potencia que máquinas rotativas.

**Bancos de Baterías.-** Son dispositivos que por reacción química entre varios elementos transforman esta energía química en corriente continua.

Para obtener los voltajes deseados se conforma con baterías individuales los denominados *Baterías de Acumuladores*.

Existen diversos tipos de baterías según los materiales que emplean en su construcción, así se tienen acumuladores formados de Plomo y ácido, que son los más utilizados y aunque su uso presenta molestias, como el ser sensibles al fenómeno de sulfatación y además de que su vida es bastante limitada, su bajo precio de adquisición, y su elevada f.e.m. por elemento, ha aconsejado su uso con preferencia a otros sistemas de acumuladores. Por otro lado se encuentran las baterías que tienen la facultad de no darse en ellas el fenómeno de sulfatación: estas baterías han recibido el nombre de *baterías alcalinas*, que reemplazan el uso del Plomo por otros materiales como son el Hierro y el Níquel.

**Grupos Motor - Generador de CC.-** La transformación de corriente alterna a corriente continua puede conseguirse por medio de máquinas rotativas, tales como los grupos motor- generador movidos por un motor de inducción o sincrónico, o por medio de conmutatrices o convertidores sincrónicos. En todos estos sistemas existen partes móviles por lo que es inevitable que se produzcan pérdidas mecánicas.

De acuerdo a la ubicación de las fuentes en cada panel del actual Laboratorio, se presenta una descripción de estas a continuación.

**PANEL 3.** En este panel se encuentra una fuente formada por un Rectificador de corriente alterna que proporciona tensión *continua fija*. El rectificador está constituido por un circuito de diodos y uno de protección cuyos componentes, por su antigüedad, ya son difíciles de conseguir en el mercado.

Para mantener la vida útil de este rectificador es necesario revisar los elementos que lo conforman y especialmente comprobar el correcto funcionamiento y diseño de los circuitos de protección, principalmente para evitar las corrientes inversas, las variaciones

bruscas de corriente  $\frac{di}{dt}$  y las de voltaje  $\frac{dv}{dt}$ .

**PANEL 4.** Tiene el control para suministrar corriente *continua variable* proveniente de un banco de baterías. Originalmente de esta fuente se podía obtener voltajes de 6 – 12 – 48 – 110 Voltios CC provenientes de baterías de plomo ubicadas en un cuarto contiguo al Laboratorio.

El utilizar la tensión proveniente de un banco de baterías tiene como ventaja que en sus bornes se obtiene una corriente continua pura y sin rizado que puede ser requerida en ciertas aplicaciones para evitar ruido y obtener resultados exactos. Asociado a esta fuente de continua se encuentra un circuito cargador de baterías, necesario para mantenerlas en buenas condiciones y que esta conformado por un equipo rectificador.

Como ya se menciona, en la actualidad se cuenta con diferentes tipos de baterías en el mercado, como las de Níquel – Cadmio, que pueden ser una opción de reemplazo conveniente para habilitar este tipo de fuente para el laboratorio.

**PANEL 6.** Una fuente de corriente *continua con tensión variable* conformado por un convertidor alterna a continua tiene su control en este panel. La corriente es obtenida de un grupo Motor–Generador con un rango de variación de 0 – 300 Voltios CC. Este grupo está formado por un motor 3Ø de inducción y un generador de CC cuyo campo es alimentado por un voltaje CC obtenido de un rectificador y controlado por un reóstato.

### **c. FUENTE DE FRECUENCIA VARIABLE**

Para ciertas aplicaciones, como es el caso del control de la velocidad del motor trifásico de inducción, se utiliza el método de variar la frecuencia del voltaje de alimentación. Si se puede ajustar la frecuencia del voltaje que alimenta al motor, entonces también se puede ajustar la velocidad del motor siempre tomando en cuenta que con la variación de frecuencia es necesaria también una variación, en la misma forma, de la magnitud del voltaje. Este es el principio para el accionamiento de velocidad ajustable para los moto-

res de corriente alterna disponible en el tablero de control del laboratorio como se describe a continuación:

**PANEL 5.** En este panel se encuentran ubicados los controles de un convertidor de frecuencia constituido por un sistema Ward – Leonard.

Para modificar la frecuencia del voltaje de alimentación primeramente es necesario rectificar el voltaje o corriente de frecuencia constante, para obtener una corriente continua, entonces se invierte este voltaje CC para obtener una salida de frecuencia ajustable.

En el sistema Ward – Leonard el primer paso se lo lleva a cabo con un grupo motor – generador en el cual se tiene un motor de inducción (48.25 HP) como motor primario para un generador de DC (37.53 HP); el voltaje obtenido es invertido al alimentar a un motor DC (33.51 HP) que impulsa a su vez a un generador sincrónico (alternador de 28 kVA) consiguiéndose de esta manera, mecánicamente, un voltaje trifásico con magnitud y frecuencia variable en un rango de 0 – 300 voltios y 15 – 100 Hz.

Tanto el generador de DC, el motor DC y el alternador tienen un suministro de corriente continua para alimentar el circuito de campo a través de Reóstatos controlados remotamente.

#### **d. GRUPO DE EMERGENCIA**

Como una fuente utilizada en casos de emergencia se encuentra su control en el tablero principal de mando. Esta fuente tiene un voltaje nominal de 120/208 voltios trifásico y una frecuencia de 60 Hz con una potencia de 150 kW suficiente para alimentar cargas pequeñas y necesarias cuando se pierde la alimentación de la red perteneciente a la empresa eléctrica que suministra la energía. Este grupo mantiene una interconexión con las Facultades de Química y Eléctrica, el Rectorado, la sala de Computación, el Teatro y la Biblioteca General.

**PANEL 7.** Esta fuente está conformada por un grupo electrógeno constituido por un generador y una máquina motriz a diesel, capaz de generar una potencia de 150 kW.

#### **2.2.2.6. MESAS DE TRABAJO**

Se encuentran instaladas ocho mesas de trabajo distribuidas según se muestra en el **Anexo A.2.** y equipadas cada una con dos paneles de suministro de energía, uno a cada lado de la mesa, pudiendo realizar las prácticas con dos grupos de trabajo simultáneamente, esto se detalla en el **Anexo E.**

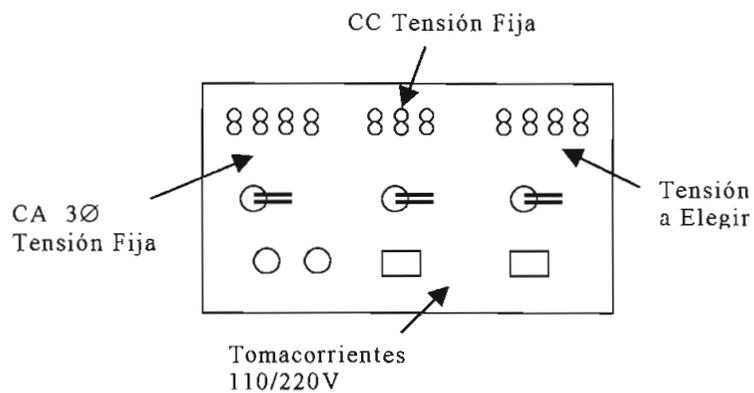
Cada mesa cuenta con estructuras sobre las que se encuentran montados grupos de máquinas, como se muestra en la figura 2.10, todas ellas puestas a tierra al estar en contacto con la superficie metálica de la mesa que cuenta con una conexión a tierra. En

el frente se tiene el panel de conexiones, control y alimentación todo esto necesario para realizar las experiencias con las equipos.



**Figura 2.10**

Todas las ocho mesas de trabajo se encuentran habilitadas y cada una tiene un panel de suministro de energía a cada lado de la mesa, detallado en la Figura 2.11, en el que se encuentran las diferentes salidas para el suministro de energía.



**Figura 2.11**

En cada mesa se realizan experiencias con transformadores, motores, generadores y grupos motor - generador de diverso tipos.

### **2.2.2.7. MAQUINAS ELECTRICAS**

Una máquina eléctrica es un artefacto que puede convertir energía eléctrica en energía mecánica denominándose en este caso *motor*, o energía mecánica en energía eléctrica llamado *generador*. Como cualquier máquina eléctrica es capaz de convertir potencia en ambos sentidos, toda máquina puede utilizarse, ya sea como motor, ya como generador. Estas máquinas eléctricas convierten energía de una forma a otra por la acción de un campo magnético.

### **MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA (CA)**

Las máquinas de CA son generadores que convierten energía mecánica en energía eléctrica de CA y motores que convierten energía eléctrica de CA en energía mecánica. Hay dos clases principales de máquinas de CA, las sincrónicas y las de inducción. Las *máquinas sincrónicas* son motores y generadores cuya corriente de campo la suministra una fuente externa de potencia de CC mientras que las *máquinas de inducción* son motores y generadores cuya corriente de campo se suministra mediante inducción magnética (acción transformadora) dentro de sus embobinados de campo.

Las máquinas de CA difieren de las de CC en que los *embobinados del inducido* están siempre localizados en el estator mientras que los embobinados de campo están localizados en el *rotor*. El campo magnético giratorio originado en los embobinados de campo de una máquina de CA induce un sistema trifásico de voltajes de CA en los embobinados del inducido localizados en el estator. A la inversa, un conjunto trifásico de corrientes en los embobinados del inducido en el estator produce un campo magnético giratorio que interactúa con el campo magnético del rotor, produciendo un momento de torsión en la máquina. Estos dos efectos son la acción de la máquina de CA como generador y de la acción como motor.

## **MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA (CC)**

Las máquinas de CC son generadores que convierten energía mecánica en energía eléctrica de CC y motores que convierten energía eléctrica de CC en energía mecánica. La mayor parte de las máquinas de CC se asemejan a las de CA en que tienen voltajes y corrientes de CA que les circulan por su interior; producen CC sólo a la salida, porque hay un mecanismo que convierte el voltaje interior de CA en voltaje de CC en sus terminales. A este mecanismo se le denomina *colector*.

Una máquina de CC tiene dos embobinados principales: los embobinados del inducido y los de los inductores. Los *embobinados del inducido* se definen como aquellos en los que se induce un voltaje, en una máquina de CC normal se localizan en el rotor, y los *embobinados inductores* se definen como los que producen el flujo magnético principal en la máquina, estos embobinados se localizan en el estator.

En el laboratorio se encuentran instalados estos dos tipos de máquinas eléctricas con sus diversas clases permitiendo al estudiante tener un cabal conocimiento de cómo funcionan las mismas. Para cumplir con este fin es necesario que todas las máquinas se encuentren en buenas condiciones de funcionamiento para lo cual deberían tener un mantenimiento continuo según las condiciones de trabajo que en el caso de este laboratorio no ha sido exigente puesto que su uso se limita a las horas previstas para las prácticas lo cual no se puede comparar con las exigencias presentes en una industria que cuente con las mismas máquinas.

En el **Anexo F** se presentan tabuladas las características de cada una de las máquinas, así como también la ubicación física y la distribución de las mismas en cada mesa presente en el interior del laboratorio.

### **MAQUINA DEL PROYECTO BID 085**

Como parte de un trabajo, denominado Proyecto BID085, se ha incorporado al Laboratorio de Control de Maquinas un motor con las siguientes características:

30 HP	1780 rpm	34 A	460 V
-------	----------	------	-------

El Proyecto consiste, a breves rasgos, en diseñar e implementar un dispositivo electrónico para el control de la velocidad de este motor el mismo que se encuentra actualmente aun en desarrollo por lo que la máquina no esta siendo utilizada. Al final del proyecto esta máquina será incorporada como parte permanente del laboratorio de Control de Máquinas destinada al entrenamiento práctico de los estudiantes.

La alimentación para esta máquina proviene del Transformador (Regulador Doble de Inducción) ubicado en el cuarto del rectificador, el cual tiene un voltaje de salida de 0 a 506 V. El tipo de conductor para la alimentación es TW 1/0 AWG que recorre una distancia de 28 metros desde el motor hasta el alimentador principal de distribución.

#### 2.2.2.8. GRUPO DE EMERGENCIA

El grupo de emergencia es un grupo electrógeno, es decir, es un conjunto que transforma en energía eléctrica la energía mecánica de un motor. Este equipo fue donado por el Banco Central del Ecuador en el año de 1982 entrando en servicio en el año 1985, es un grupo electrógeno a diesel con una potencia de 150 kW cuyos datos generales de placa son los siguientes:

<b>MODELO</b>	D 150 M P X 8V	<b>SERIE</b> No	55397
<b>TIPO</b>	11038		150 KW
	187 KVA		

La **Máquina Motriz** esta conformada por:

- Motor Diesel General Motors modelo 6045-C, 8V-71
- Regulador de velocidad tipo hidráulico marca Woodward
- Capacidad de almacenamiento de combustible de 55 galones.

Los datos del **Generador** son:

187 KVA	<b>VOLTAJE NOMINAL</b> 120/208 V
<b>CORRIENTE NOMINAL</b> 519 A/fases	TRES FASES
<b>VELOCIDAD NOMINAL</b> 1800 r.p.m.	<b>FRECUENCIA</b> 60 Hz
<b>FACTOR DE POTENCIA</b> 0.8	<b>CAMPO DEL ALTERNADOR</b> 11.95 A

- **Sistema de excitación:** auto excitado

Modelo 150502E

Tipo 11038

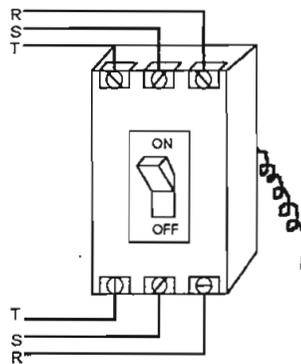
- Motor de Arranque de 24 V marca DELCO REMY

El grupo electrógeno es utilizado principalmente en ocasiones en que se ha cortado el suministro de energía de la red por una u otra razón, sin embargo, el grupo debe ser puesto en funcionamiento periódicamente para evitar el deterioro de sus componentes y así mantenerlo en buenas condiciones y listo para cuando surgen emergencias.

#### **2.2.2.9. PROTECCIONES**

Toda instalación eléctrica debe contar con un sistema que la proteja del efecto de las sobrecorrientes que aparecen en un cortocircuito o en una falla, estos elementos son indispensables puesto que las fallas pueden provocar daños permanentes en las instalaciones, las máquinas, los equipos y las personas. Tomando en cuenta que en el laboratorio existen muchos equipos y con muy variados usos, están asociados a ellos elementos de protección tipo fusible y/o interruptores termomagnéticos (Breakers).

Todas las protecciones de las máquinas se encuentran ubicadas en la parte posterior del tablero principal de control; estas protecciones se hallan numeradas de acuerdo a la mesa que corresponde y protegen en general el circuito de la mesa en donde se conectará las diferentes máquinas. En este laboratorio existen veintitrés interruptores termomagnéticos trifásicos o Breakers, como el de la Figura 2.12, y unos pocos dispositivos fusibles tipo tapón.



**Figura 2.12**

Las características de estos interruptores termomagnéticos se muestran en los datos siguientes:

<b>FRAME</b>	<b>POLE</b>
F-30B	3P
AC 600 V	
AMB. TEMP. 40°C	
<b>INTERRUPT. CAPACITY</b>	
AC 240 V	2,5 kA
AC 415 V	2,5 kA
AC 480 V	2,5 kA
AC 600 V	2,5 kA

### **2.2.2.10. CABLEADO GENERAL**

Toda instalación eléctrica necesita transportar la energía de la fuente, medidores o tableros hasta los puntos de alimentación de los equipos como son interruptores, tomacorrientes, luces, tableros de control, etc. y para ello se emplean los cables o conductores eléctricos.

### **2.2.2.11. CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA**

Como se menciono anteriormente el propósito de la puesta a tierra de las máquinas eléctricas es:

1. Fijar el nivel de potencial de todas las masas metálicas con respecto al suelo.
2. Proteger las máquinas y los aparatos de las sobre tensiones.
3. Asegurar la protección del personal en lo que se refiere a los peligros de la corriente eléctrica.

Puesto que las máquinas eléctricas presentes en el laboratorio están constituidas por una masa metálica, las personas que las operan están expuestas a accidentes por el paso de corrientes de fuga por dichas masas.

Todas las mesas del laboratorio poseen una toma a tierra, de tal manera que toda masa metálica estará conectada a la misma. Las masas se conectan a la línea principal de

tierra del laboratorio por medio de derivaciones de la línea principal y de conductores de protección. La línea principal de tierra se enlaza a una malla ubicada bajo el suelo del laboratorio.

### **2.3. DIAGNOSTICO DE LA INSTALACIONES Y EQUIPOS ACTUALES**

Para complementar la Descripción de las instalaciones y equipos actuales del Laboratorio de Máquinas Eléctricas se presenta a continuación un Diagnostico de las mismas.

#### **A) ESTRUCTURA E INSTALACION FISICA**

En general la estructura del edificio se encuentra en buenas condiciones pudiéndose observar que no existen señales de humedad, deterioro o destrucción de las paredes, muros, columnas, o eventos que pudieran causar daños considerables al espacio ocupado por el laboratorio lo que afectaría el buen funcionamiento del mismo. Esta observación hace prever que se puede contar con la utilidad de esa construcción por muchos años más.

#### **B) CAMARA DE TRANSFORMACION**

El Transformador de 150 KVA ubicado en la Cámara de Transformación mantiene sus características de buen funcionamiento cubriendo las demandas de energía y potencia de las cargas conectadas a él a través del tablero principal de distribución.

### **C) TABLERO PRINCIPAL DE DISTRIBUCION**

Este tablero reparte la energía a todo el edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica a través de los diferentes dispositivos reunidos en él observándose que se lo ha mantenido en buenas condiciones de operación.

### **D) TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICO**

Actualmente este tablero no esta siendo usado en la función de transferencia automática ya que tiene fallas en la conexión en ese modo, además de no ser necesario el aplicarlo al sistema eléctrico de la Facultad.

### **E) TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL**

Este tablero controla la distribución de la energía desde las diferentes fuentes hacia cada mesa según los requerimientos, manteniéndose habilitada y en buen estado en toda su estructura

### **F) FUENTES DE CORRIENTE ALTERNA**

**F.1.** En el caso de la Fuente de CA Trifásica de *voltaje y frecuencia constante* se ha determinado que este sistema de suministro se encuentra en buenas condiciones puesto que proviene del Transformador Principal de Distribución.

**F.2.** El Transformador trifásico con 220V en el primario y salida del secundario de 0–560 Voltios a frecuencia constante provee *voltaje variable* al Laboratorio, este transformador mantiene en uso y en buenas condiciones aunque es necesario sugerir la utilización de otro tipo de variadores de voltaje, como son los Auto transformadores, para ciertas aplicaciones ya que al producirse cortocircuitos estos afectan al transformador reduciendo su tiempo de vida útil.

## **G) FUENTES DE CORRIENTE CONTINUA**

**G.1. Rectificador.** Este equipo tiene muchos años de uso por lo que sus componentes, especialmente los diodos, ya no se los encuentra fácilmente y su reemplazo sería muy costoso debiendo por lo tanto manejarlo con precaución para evitar dañar esos componentes. A pesar de eso, todo el circuito se encuentra funcionando y alimenta correctamente a las máquinas que requieren tensión continua fija.

**G.2. Baterías.** Hace algunos años el Laboratorio contaba con un grupo de baterías pero que se deterioraron muy rápido por el Ácido y el Plomo contenido en ellas debiendo ser desechadas por lo que actualmente no se cuenta con este tipo de fuente quedando disponible el equipo Cargador de Baterías que aún puede ser utilizado.

**G.3. Grupo Motor – Generador.** Este grupo formado por un motor trifásico de inducción y un generador de CC se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento siendo una fuente útil en muchas aplicaciones.

## **H) VARIADORES DE FRECUENCIA**

Para obtener frecuencias variables se cuenta con un grupo de máquinas denominado Grupo Ward – Leonard, este sistema se encuentra en condiciones de funcionamiento, pero es un método antiguo y poco eficiente considerando que en el mercado ya existen variadores de frecuencia basados en dispositivos semiconductores y que cubren amplios rangos de potencia. Por lo tanto es recomendable reemplazar el sistema Ward – Leonard por uno o varios variadores de frecuencia con semiconductores que resulten ser más eficientes, flexibles y con capacidad suficiente para cubrir los requerimientos del sistema.

#### **I) MESAS DE TRABAJO**

El Laboratorio cuenta con ocho mesas de trabajo, cada una tiene un panel de suministro de energía a cada lado, los mismos que, en todas las mesas, se encuentran en buenas condiciones de operación así como lo está la estructura de cada mesa.

#### **J) MAQUINAS ELECTRICAS**

Observando y haciendo un análisis de cada máquina se ha determinado que todas y cada una de ellas se encuentra en buen estado, permitiendo con esto un correcto funcionamiento de las mismas, sin embargo, tomando en cuenta los años que tienen estas máquinas desde su instalación hasta nuestros días, se puede considerar que su tiempo de vida esta llegando a su fin. Esto también indica que aunque el principio de funcionamiento básico de estas máquinas no ha cambiado respecto a la nueva tecnología, sí se debe tomar en cuenta que los controles usados para las máquinas existentes en el labora-

torio resultan, en los tiempos actuales, anticuados, complicados e incluso ineficientes en el momento de operarlos.

#### **K) GRUPO DE EMERGENCIA**

Este grupo de emergencia está sujeto a rutinas de mantenimiento periódicas que han hecho que aún se mantenga listo para el funcionamiento aunque el desgaste de sus partes móviles es inevitable y pueden presentar inconvenientes, además de que en funcionamiento esta sujeto a cargas cada vez más en aumento que exigen mucho del grupo lo que produce un desgaste mayor, por lo que se sugiere seguir un calendario o plan de mantenimiento continuo de cada equipo o máquina que lo conforma para alargar su vida útil.

#### **L) PROTECCIONES**

En general, todas las protecciones que tienen interruptores termomagnéticos están en buen estado de funcionamiento, mientras que las conformadas por fusibles del tipo Tapon algunas están fundidas y deben ser reemplazadas.

#### **M) CABLEADO GENERAL**

Al hacer un seguimiento y análisis visual de los conductores eléctricos del laboratorio se pudo observar que los cables que llegan al tablero de distribución general se encuen-

tran en buenas condiciones tanto en su aislamiento como en las uniones con los otros dispositivos y accesorios.

Realizando el mismo procedimiento con los cables que llegan a las mesas de trabajo se observa que al estar ubicados dentro de canales en el suelo se ha evitado el deterioro de su aislamiento y lo único que se nota en ellos es una acumulación de polvo y suciedad, que en todo caso no han perjudicado al conductor que se ha mantenido con todo eso en buenas condiciones.

Respecto a los cables que van a través de tuberías empotradas en las paredes, suelo o techo, lugares en los cuales es imposible realizar una observación del estado de los mismos, se ha estimado que al no existir fallas continuas, como cortocircuitos permanentes, el estado de ese cableado es bueno y puede seguir cumpliendo su cometido.

En estos casos los conductores no han sido afectados por agentes externos como la corrosión, sustancias químicas o agentes físicos que hagan necesario reemplazarlos.

## **N) CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA**

Mediante la observación de la conexión física de los conductores de protección que conectan las masas con la línea principal de tierra en cada mesa se determina que este sistema de conexiones se encuentra en buen estado, así como también lo está la malla de puesta a tierra propiamente dicha la cual presenta muy buenas características de conducción manteniéndose habilitada plenamente para cumplir los objetivos de una puesta a tierra.

**CUADRO RESUMIDO DE DESCRIPCIÓN Y DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS ACTUALES:**

<b>ELEMENTO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>DIAGNOSTICO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>ESTRUCTURA E INSTALACION FISICA</b>	Edificación, paredes, columnas	Buen Estado	
<b>CAMARA DE TRANSFORMACIÓN</b>	150 KVA	Buen Estado	Alimenta solo a la FIE
<b>TABLERO PRINCIPAL DE DISTRIBUCIÓN</b>	Armario de protecciones generales edificio antiguo	Buen Estado	
<b>TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICO</b>	Paso del suministro de la Empresa Eléctrica a la Planta de Emergencia	Falla en el Diseño del Mando Automático	No es necesaria su aplicación en Mando Automático en la FIE
<b>TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL</b>	Tablero que distribuye Energía a cada mesa	Buen Estado	Cambiar fusibles Tapón por Termomagnéticos
<b>FUENTES DE CORRIENTE ALTERNIA</b>	Trifásica Voltaje Constante y Voltaje Variable	Buen Estado	Del Transformador de Distribución y del Auto transformador
<b>FUENTES DE CORRIENTE CONTINUA</b>	Rectificador, Baterías, Grupo Motor Generador	Buen Estado No existe Baterías	Implementar Baterías
<b>VARIADORES DE FRECUENCIA</b>	Grupo Ward-Leonard	Buen Estado	Reemplazar por variadores de frecuencias individuales
<b>MESAS DE TRABAJO</b>	Mesas Dobles	Buen Estado	
<b>MAQUINAS ELECTRICAS</b>	Todas las existentes	Tiempo de vida útil por terminar	Reemplazar por equipos modulares
<b>GRUPO DE EMERGENCIA</b>	120 KW	Buen Estado	Realizar Rutinas de mantenimiento
<b>PROTECCIONES</b>	Termomagnéticos y algunos tipo Tapón	Termomagnéticos en Buen estado Tipo Tapón en mal estado	Reemplazar todo a Termomagnéticos
<b>CABLEADO GENERAL</b>	Alambres y cables de toda la Instalación Eléctrica	Buen Estado	Limpiar Canales
<b>CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA</b>	Cables y Malla de Puesta a Tierra	Buen Estado	Realizar verificación periódica de las conexiones

### 2.3.1. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE INCORPORAR LA MAQUINA DEL PROYECTO BID 085 AL SUMINSITRO DE ENERGIA.

Este Proyecto se ha iniciado recientemente en el Laboratorio de Control de Máquinas y esta conformado por una máquina de gran potencia por lo que es necesario determinar si es posible o no incorporarla al sistema de suministro de energía de la Facultad, para tal efecto se analiza ciertos parámetros detallados a continuación.

#### CALCULO DE LA DEMANDA EN EL EDIFICIO ANTIGUO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

En base a un censo de carga realizado en un trabajo de Tesis<sup>3</sup> y resumiendo los datos se tiene la siguiente tabla en la que se muestra las potencias de diferentes aparatos o equipos asumiendo factores de utilización, simultaneidad y en algunos casos el factor de potencia:

DESCRIP- CION	No	P Total (W)	fp	fu	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	fs	DMU (VA)
Lámparas	757	53695	0,95	0,60	32217,0	33912,630	10589,24	0,60	20347,58
Focos	31	2980	1,00	0,30	894,0	894,000	0,00	0,30	268,20
Reflectores	15	3000	0,95	0,30	900,0	947,384	295,82	0,20	189,47
Carga Resistiva	22	7280	1,00	0,25	1820,0	1820,000	0,00	0,20	364,00
Relojes	1	20	0,99	0,90	18,0	18,182	2,56	0,90	16,36
Máquinas/Fax	8	680	0,98	0,40	272,0	277,551	55,23	0,40	111,02
Monitores	64	11520	0,90	0,60	6912,0	7680,000	3347,64	0,70	5376,00
CPU	60	24000	0,98	0,60	14400,0	14693,880	2924,05	0,60	8816,33
Plot/Impres	32	5780	0,98	0,40	2312,0	2359,184	469,47	0,60	1415,51

<sup>3</sup>Lourdes Farinango, Estudio Dinámico del Grupo de Emergencia a Diesel de la FIE, Apéndice A

Laser/Copia	3	2242	0,98	0,50	1121,0	1143,878	227,63	0,50	571,94
Ventilador	2	46	0,95	0,10	4,6	4,842	1,51	0,10	0,48
Oscilador	26	1201	0,98	0,50	600,5	612,755	121,94	0,50	306,38
Radio/Grab	16	480	0,95	0,60	288,0	303,158	94,66	0,60	181,89
TV	1	450	0,98	0,40	180,0	183,674	36,55	0,20	36,73
Fuentes	46	5397	0,98	0,60	3238,2	3304,286	657,55	0,70	2313,00
Osciloscopio	40	3580	1,00	0,40	1432,0	1432,000	0,00	0,60	859,20
Multímetro	28	840	0,98	0,40	336,0	342,857	68,23	0,60	205,71
Proyector	8	5200	0,98	0,30	1560,0	1591,837	316,77	0,40	636,73
Aparatos Elec	32	2438	0,98	0,45	1097,1	1119,490	222,78	0,40	447,80
Analiza. Espec	1	430	0,90	0,15	64,5	71,667	31,24	0,20	14,33
Transformador	1	5000	0,98	0,20	1000,0	1020,408	203,06	0,30	306,12
Eq. Protección	7	1860	0,98	0,10	186,0	189,796	37,77	0,10	18,98
Eq. UHF Oscila	15	539	1,00	0,25	134,8	134,750	0,00	0,30	40,43
Motor DC	37	50549	0,85	0,35	17692,2	20814,290	10964,63	0,30	6244,29
M. Inducc 3F	12	25352	0,85	0,40	10140,8	11930,350	6284,72	0,50	5965,18
M. Inducc 1F	5	4511	0,85	0,30	1353,3	1592,118	838,70	0,30	477,64
M. Sincrónico	8	12020	0,85	0,35	4207,0	4949,412	2607,27	0,40	1979,76
M. W. Variable	2	7400	0,85	0,35	2590,0	3047,059	1605,14	0,40	1218,82
<b>TOTALES</b>		<b>238490</b>			<b>106970,9</b>	<b>116391,437</b>	<b>42004,16</b>		<b>58729,90</b>

En la tabla anterior se calcula las potencias Activa P en W, Aparente S en VA, Reactiva Q en VAR y en base a los Factores de Utilización  $f_u$  y de Simultaneidad  $f_s$  se determina la Demanda Máxima Unitaria DMU en VA aplicando las siguientes expresiones:

$P = P_{TOTAL} \times f_u$	$DMU = P \times f_s$
$S = \frac{P}{f_p}$	$D_{max} = \frac{\sum D_{mxi}}{f_d}$
$Q = \frac{P}{f_p} \times \text{sen} \theta$	

En donde

$D_{\max}$  : demanda máxima

$D_{\max i}$  : demanda máxima unitaria o de cada carga

fd : factor de diversidad, obtenido de tablas para un número de usuarios de 10

fd = 2.05 Tipo de usuario B y C<sup>4</sup>

Con esto se tiene que la Demanda máxima será:

$$D_{\max} = \frac{58729,90}{2.05}$$

$$D_{\max} = 28648.73 \text{ VA} = \mathbf{28.65 \text{ KVA}}$$

En base a este cálculo de la Demanda para el edificio antiguo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica se obtiene un dato importante para determinar si es posible o no incorporar otra carga, como es el motor del proyecto BID085, para que se alimente del transformador de distribución del edificio. Así, considerando la potencia del transformador de 150 KVA y la demanda máxima obtenida de 28.65 KVA se observa que existe suficiente potencia en el transformador como para que este acepte servir a otras cargas.

---

<sup>4</sup> EEQ, Normas para Sistemas de Distribución, Parte A, Apéndice A-11-D

## **TIPO DE ARRANQUE**

En base al objetivo del proyecto se tiene que el arranque de este motor siempre se lo realizara a través de el variador de velocidad diseñado por lo que, considerando las características de estos dispositivos en el arranque de un motor, la corriente en el momento del arranque será pequeña y no afectara a los elementos de protección o a la misma instalación eléctrica.

## **FUENTE DE ALIMENTACIÓN**

La alimentación para esta máquina proviene del Auto Transformador (Regulador Doble de Inducción) ubicado en el cuarto del rectificador, el cual tiene un voltaje de salida de 0 a 506 V y suple la necesidad de 460 V requeridos por la máquina.

Del Auto Transformador únicamente se puede obtener un nivel de voltaje seleccionado, por lo que su uso compartido con el Laboratorio de Máquinas Eléctricas y el motor del Proyecto Bid 085 estará limitado a alimentar a uno de ellos a la vez y no a los dos simultáneamente debido a la diferencia en los niveles de voltaje utilizados por cada uno.

## **CAIDA DE VOLTAJE**

En base a los datos obtenidos del motor del Proyecto Bid 085 se procede a determinar la caída de voltaje en el alimentador, esta es necesaria par determinar si la caída de voltaje en el conductor no excede los valores establecidos en el Código Eléctrico Ecuatoriano, caída máxima en los alimentadores de 3%.

Teniendo los siguientes datos

$$E_f = 460 \text{ V } 3\emptyset$$

$$I_{PC} = 34 \text{ A}$$

$$P = 30 \text{ hp} = 22380 \text{ W}$$

Conductor : TW 1/0 AWG

$$\text{Sección conductor } s = 53.4770 \text{ mm}^2$$

$$\text{Longitud conductor } L = 28 \text{ m}$$

Con estos se encuentra la Caída de Tensión Máxima Permisible para un alimentador 3 $\emptyset$ :

$$e_{\%} = \frac{2 \times \sqrt{3} \times L \times I}{E_f \times s}$$

$$e_{\%} = \frac{2 \times \sqrt{3} \times 28 \times 34}{460 \times 53.4770}$$

$$e_{\%} = 0.134 \%$$

Este valor de caída de voltaje es inferior que el valor permitido de 3%, aún si en el arranque se triplica la corriente la caída de voltaje seguirá siendo pequeña 0.402 %.

## **PUESTA A TIERRA**

Es importante anotar que este motor no posee aún una puesta a tierra, la cual es imprescindible como protección para las personas y el equipo, por lo que para que entre en funcionamiento el motor debe realizarse la puesta a tierra correspondiente acoplándola a la malla existente en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

**Resultado del análisis:** Considerando la capacidad del suministro de energía, la corriente a plena carga, el tipo de arranque, la caída de voltaje en el alimentador del motor y una vez realizada una correcta instalación de puesta a tierra, se concluye que la máquina del proyecto BID 085 puede ser incorporada y funcionar, pero no simultáneamente con los demás laboratorios puesto que toma la energía del Auto Transformador a un voltaje de 460 V con lo cual limita la utilización de ese equipo para otras aplicaciones en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas. Con esto se determina que ese *motor no puede funcionar simultáneamente con lo otros Laboratorios* y que será necesario establecer un cronograma de utilización para este motor y el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, ó utilizar para alimentar al motor un transformador específico para ese propósito dejando libre el Auto Transformador.

## CAPITULO 3

### SELECCIÓN DE LOS NUEVOS EQUIPOS

Para la renovación de los equipos del laboratorio se ha tomado en cuenta, como referencia, la estructura de las actuales prácticas de máquinas eléctricas o electrotecnia tratando de satisfacer los requerimientos educacionales para las aplicaciones industriales de la tecnología eléctrica. Estas prácticas están estructuradas de la siguiente manera:

Nº	TITULO
1	MODELACION DIGITAL DEL TRANSFORMADOR MONOFASICO, PARTE A
2	MODELACION DIGITAL DEL TRANSFORMADOR MONOFASICO, PARTE B
3	EL MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION. CIRCUITO EQUIVALENTE Y TRANSITORIOS DE ARRANQUE.
4	EL MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION. SIMULACION DIGITAL.
5	CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION.
6	LA MAQUINA SINCRONICA. OPERACIÓN EN PARALELO DE GENERADORES TRIFASICOS.
7	PARAMETROS ELECTRICOS DE LA MAQUINA SINCRONICA.
8	TRANSITORIOS Y CONSTANTES DE TIEMPO DE LA MAQUINA SINCRÓNICA. SIMULACION DIGITAL.

Como se puede observar en esta estructura los entrenamientos han estado siempre orientados al estudio de las máquinas eléctricas considerando su desempeño en *estado estable* y *estado dinámico*, siendo indispensable, para efectuar correctamente las prácti-

cas, contar con todo los instrumentos que faciliten la obtención de datos, medición de parámetros, muestra de gráficas o curvas y equipo complementario que permita realizar las experiencias fluidamente para alcanzar el objetivo de cada una.

De esta manera se afirma la necesidad de tener suficiente y adecuado instrumental, siendo el necesario para llevar a cabo las prácticas anteriormente citadas el siguiente:

<u>EQUIPO</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>
▪ Transformador Ferrenti	▪ Osciloscopio
▪ Motor trifásico de inducción	▪ Osciloscopio con memoria
▪ Autotransformador variable	▪ Vatímetro
▪ Set de Motor trifásico de inducción y Dinamo freno	▪ Amperímetro CA
▪ Grupo Máquina motriz Generador sincrónico	▪ Amperímetro CC
▪ Grupo Máquina motriz – Máquina sincrónica	▪ Voltímetro CA
▪ Interruptor tripolar de dos posiciones	▪ Voltímetro CC
▪ Convertidor Variador de frecuencia	▪ Ohmetro
▪ Set de cargas resistivas	▪ Tacómetro
▪ Reóstatos de campo	▪ Frecuencímetro
	▪ Analizador Industrial
	▪ Secuencímetro
	▪ Computadora con Software adecuado

Tomando como referencia la descripción anterior de los equipos e instrumentos necesarios para las prácticas de Máquinas Eléctricas y con el objetivo de contar con un laboratorio completo y moderno se ha considerado necesario renovar parte de los siguientes elementos:

***Máquinas eléctricas:*** motores, generadores, transformadores

***Sistema de suministro de energía:*** fuentes y cableado.

***Instrumentos de medida***

Para llevar a cabo esta renovación es necesario plantear ciertas restricciones que deberán ser tomadas en cuenta para desarrollar este proyecto.

## **RESTRICCIONES**

La implementación de los nuevos equipos en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas se realizará sobre los espacios disponibles ya creados y en base al actual sistema de suministro de energía por lo que aparecen Restricciones que deberán ser consideradas, estas son:

1. Adaptar al espacio físico actual disponible
2. Utilizar la estructura existente
3. Mantener el acceso principal y posterior del Laboratorio
4. No modificar la parte estructural del Laboratorio (paredes, columnas, techo, suelo)
5. Mantener la ventilación e iluminación actual

6. Utilizar la capacidad térmica y de conducción del cableado existente
7. No se cuenta con espacio independiente para Baterías
8. Equipo de medición obsoleto
9. Máquinas eléctricas estáticas y rotativas cerca o en el límite de su vida útil
10. Considerar la disponibilidad del recurso económico presente y futuro.

Teniendo presente estas restricciones se presenta a continuación la descripción de los diferentes equipos disponibles en el mercado para que, a partir del análisis de estas opciones, se proceda a seleccionar el mejor equipamiento para el Laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas.

### **3.1. EQUIPO DE ENTRENAMIENTO EN MAQUINAS ELECTRICAS**

Existen en el mercado diferentes casas fabricantes de equipos para la enseñanza práctica, se ha considerado dentro de algunas de ellas los equipos que presenten las mejores características para el entrenamiento de los estudiantes en los curso de Máquinas Eléctricas y Electrotecnia.

Una descripción más completa sobre los temas cubiertos y características de los sistemas nombrados a continuación se presentan en las páginas de catálogos y hojas de datos incluidas en el **Anexo H**.

**FABRICANTE:**     **LAB-VOLT**

**MODELO   Lab-Volt 8013**

El Sistema de Entrenamiento Electromecánico Lab-Volt 8013 es un programa modular con equipo tipo industrial de alta potencia presentado en tres secciones incluyendo ejercicios avanzados sobre aplicaciones industriales y uso de la energía eléctrica. El sistema presenta prácticas programadas sobre diferentes temas como: Circuitos de potencia, Máquinas de Corriente Continua, Transformadores y Máquinas de Corriente Alterna tanto monofásicos como trifásicos. Este sistema está conformado por máquinas que poseen características especiales con rangos de potencia de motor de 2 kW y de generador de 1.5 kW/KVA teniendo una alta inercia específica para simular máquinas de potencias grandes. El sistema tiene la capacidad de realizar con sus equipos experimentos avanzados sobre los diferentes estados de las máquinas, estable y dinámico.

**MODELO   Lab-Volt 8001**

Este sistema es un programa modular que cubre los mismos temas que el modelo Lab-Volt 8013, es decir: Circuitos de potencia, Máquinas de Corriente Continua, Transformadores y Máquinas de Corriente Alterna tanto monofásicos como trifásicos. La diferencia entre este y el anterior modelo radica en las potencias de los equipos, así, el modelo 8001 cuenta con máquinas que tienen un rango de motor de 0.2 kW y un rango del generador de 120 W/VA lo que además se traduce en una reducción del tamaño de las mismas siendo de esta manera un sistema totalmente modular.

**FABRICANTE: FEEDBACK POWERFRAMES**

**SISTEMA DE ENTRENAMIENTO COMPLETO EN MAQUINAS INDUSTRIALES MODELO 60-004**

El Equipo 60-004 es un sistema de entrenamiento en máquinas industriales de forma modular que está provisto de tres máquinas de corriente continua, cuatro monofásicas de corriente alterna y cinco máquinas trifásicas de corriente alterna, además cuenta con cinco paneles para fuentes de poder y veintiséis paneles de montaje para las cargas y otras opciones. Incluye además los instrumentos de medida análogos convencionales, electrónicos y digitales cuyas mediciones pueden ser mostradas en la pantalla de una computadora con el software adecuado. Las máquinas del sistema tienen un rango de potencia nominal de 250 W. Este módulo presenta prácticas estructuradas de acuerdo al programa de estudio requerido en forma de manuales y guías de laboratorio.

**3.1.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO**

Se ha presentado tres opciones de equipamiento para el Entrenamiento en Máquinas Eléctricas, cada una de ellas inicialmente ha sido considerada como una posibilidad para equipar el Laboratorio porque poseen las características requeridas en el programa de estudio de Máquinas Eléctricas en su parte práctica que orienta los entrenamientos al estudio de las máquinas en estado estable y estado dinámico.

A partir de esta selección inicial se toma en cuenta otros aspectos que debe cumplir un sistema para conformar un laboratorio moderno, estos son: debe ser versátil, compacto, flexible, liviano, totalmente integrado, de montaje rápido y fácil.

Teniendo presente estos requisitos y observando las características de cada uno de los tres sistemas se puede concluir que todos ellos representan un moderno equipo para laboratorio por su concepción tipo modular, en los tres casos, que facilita el montaje y la experimentación, de igual manera poseen un modelo integrado que permite la inclusión de un rango completo y compatible de instrumentos, también se constituyen en sistemas versátiles ya que su concepción constructiva presenta gran diversidad operacional pudiéndose efectuar experiencias de máquinas tradicionales y además proyectos individuales o personales.

Aunque todos los sistemas cumplen con los requisitos anotados, los módulos Lab-Volt 8001 y Feedback 60-004 están conformados por máquinas con rangos de potencia bajos (1/3 HP) lo que puede contribuir a obtener errores en los resultados cuando se trabaja bajo carga si esta es muy grande respecto a la inercia de la máquina. Mientras que si se considera mayor potencia en los motores y generadores, como en el sistema Lab-Volt 8013 de 2 kW, se puede obtener resultados más confiables ya que la inercia de las máquinas es lo suficientemente alta como para vencer ciertas cargas al efectuar las experiencias.

Por lo tanto, después de hacer este análisis, se considera como el equipo que reúne las características necesarias para cubrir satisfactoriamente la instrucción en Sistemas Elec-

tromecánicos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica al propuesto por los **Sistemas Lab-Volt** denominado: **SISTEMA ELECTROMECHANICO DE 2 KW MODELO 8013**

En base a este modelo se realizará el diseño del suministro de energía para el nuevo y moderno Laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas.

### 3.2. FUENTES

Luego de haber realizado un diagnostico inicial de los diferentes tipos de fuentes encontradas en el laboratorio se procede a determinar los equipos que deberían ser reemplazados por otros nuevos y aquellos que por su buen estado de funcionamiento pueden mantenerse, esto se describe en la siguiente tabla:

FUENTE	ESTADO	OBSERVACION
A. Corriente trifásica tensión fija	BUENO	MANTENER
B. Corriente trifásica tensión variable	BUENO	MANTENER
C. Corriente continua tensión fija	BUENO	MANTENER
D. Corriente continua tensión variable (Baterías)	INEXISTENTE	IMPLEMENTAR
E. Frecuencia variable	BUENO	REEMPLAZAR *
F. Emergencia	BUENO	MANTENER

\* Con la finalidad de modernizar el Laboratorio de Máquinas Eléctricas

De acuerdo a la descripción y observación presentada en la tabla anterior se encuentra que cuatro de las fuentes citadas se hallan en buen estado de funcionamiento pudiendo permanecer como parte útil del Laboratorio y no ser reemplazadas, mientras que otras dos fuentes sí deben ser sustituidas con equipos modernos y eficientes que cumplan con los requerimientos de los pñsums de estudio y entrenamiento en Máquinas Eléctricas que exige la nueva tecnología.

Así, considerando lo anterior, se ha encontrado algunas opciones de equipamiento con nueva tecnología una de las cuales se orienta a los convertidores de frecuencia o variadores de velocidad y otro a bancos de baterías de tipo Níquel - Cadmio, de estos se presenta a continuación una breve descripción.

### **3.2.1 CONVERTIDORES DE FRECUENCIA**

El actual Laboratorio de Control y Operación de Máquinas Eléctricas mantiene un convertidor de frecuencia basado en un grupo Ward - Leonard que cubre la demanda de voltaje y corriente, 500 Voltios y 100 Amperios, requerida por todo el conjunto de máquinas que utilizan esta fuente. Con estos parámetros se determina el rango de potencia que tiene el actual convertidor,  $P= V \cdot I$ , siendo el valor de  **$P= 50 \text{ kW}$** .

Esta potencia podía parecer alta para la tecnología de los convertidores de años atrás pero para nuestros días se encuentra en el mercado equipos que cubren sin problema estos rangos de potencia.

El avance tecnológico de los controles de velocidad aplicables a la industria actual determinan que los sistemas de entrenamiento en máquinas eléctricas para la educación estén también de acorde a esos avances, esto significa que al tener un sistema de máquinas, en el que sea posible regular la velocidad y el par, sería más conveniente aplicar convertidores de frecuencia independientes para cada motor, con esto los estudiantes entrarían en contacto directo con los controles de velocidad adquiriendo el conocimiento suficiente para aplicarlo a sistemas más grandes como los que se encuentra en la industria.

El Laboratorio de Máquinas Eléctricas cuenta con 1 Convertidor de frecuencia ABB ACS200 para control de velocidad de 0.55 kW a 4.0 kW para motores de inducción Jaula de Ardilla con voltaje de alimentación de 208 a 240 Voltios y de 380 a 480 Voltios, la frecuencia puede ser variada de 0 a 500 Hz con tiempos de aceleración de 0.1 a 1800 seg/120Hz y tiempos de desaceleración similares. Estos equipos han demostrado ser muy versátiles y fáciles de manejar por lo que representan una buena inversión.

No se justifica reemplazar el sistema Ward - Leonard actual de 50 kW por un convertidor de frecuencia de última tecnología para una similar potencia ya que, en primer lugar, se tendría un solo sistema para todo el conjunto de motores sin tener la posibilidad de realizar prácticas individuales e independientes y, en segundo lugar, el costo por un sistema que cubra mayor potencia aumentaría demasiado en relación al costo de sistemas individuales de menor potencia.

Es necesario aclarar que los convertidores de frecuencia son utilizados únicamente para regular la velocidad y el par en motores trifásicos de inducción y no se los puede destinar a trabajar como fuentes de voltaje variable o de frecuencia variable exclusivamente ya que el sistema de regulación de velocidad se basa en el principio de que si la tensión de alimentación se mantiene constante cuando, por ejemplo, se reduce la frecuencia, aumenta la densidad de flujo permisible, por tanto, cuando se varia la frecuencia es necesario variar la tensión aplicada de la misma forma para mantener el mismo grado de saturación y común densidad de flujo en el entrehierro, entonces para mantener el Torque constante, el voltaje se modifica según la variación de frecuencia con la relación:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

donde  $V_1, f_1$  son el voltaje y frecuencia nominales

$V_2, f_2$  son el voltaje y frecuencia a la nueva velocidad

Basado en este principio trabaja el convertidor de frecuencia por lo que nunca será posible obtener voltaje variable a una misma frecuencia o frecuencia variable a voltaje constante.

Ya que en el mercado se encuentra gran variedad de convertidores de frecuencia se ha considerado a los que reúnen las mejores características para que de ellos se seleccione la mejor opción, estos son:

**FABRICANTE: ASEA BROWN BOVERI**

**MODELO ACS 600**

Esta serie de convertidores es utilizado para regular la velocidad y el par de motores de jaula de ardilla con potencias desde 2.2 kW a 3000 kW. Poseen una gran versatilidad y fácil manejo a través de un panel de control programable.

Si se considera que los motores presentan potencias de más de 1.5 kW en las máquinas antiguas y de 2 kW en el sistema de entrenamiento seleccionado se puede tener dos opciones aplicables para el laboratorio, estas son:

- a) Un solo Convertidor de frecuencia de 50 kW
- b) Convertidores de frecuencia de 2.2 kW para cada motor

En la opción **(a)** se tendría un convertidor con capacidad de satisfacer demandas de hasta 50 kW pero, como ya se menciono anteriormente, utilizar un equipo de esta magnitud no resultaría conveniente por lo que esta opción puede ser descartada y se consideraría la opción **(b)** que presenta convertidores independientes para cada mesa o máquina con potencias de más de 2 kW.

## **OTROS**

Se ha encontrado en el mercado otros convertidores de frecuencia que podrían tener aplicación dentro del laboratorio puesto que mantienen características similares entre si, estos son:

**i. Convertidores LG**

**ii. Convertidores CUTLER-HAMMER**

Entre estos convertidores se presentan diferencias respecto a la cantidad de funciones que poseen, así como en los rangos de potencia y frecuencia con la que trabajan.

### **3.2.2 FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA TENSION VARIABLE**

Para ciertas aplicaciones en las que se requiere de voltajes CC puros, sin rizado, como cuando se realiza experiencias de trabajos de Tesis o investigación en los que es importante obtener resultados exactos, estos tipos de fuentes son necesarios. Estas fuentes de voltaje CC se las encuentra instaladas por ejemplo dentro de una subestación o en centrales de generación en donde es necesario mantener ininterrumpida la energía eléctrica que alimenta a los controles, siendo estas fuentes alternativas, en caso de fallas en el suministro normal de energía, o necesarias e indispensables en el caso de alimentar el campo de los generadores en las centrales de generación.

Originalmente el laboratorio contaba con este tipo de fuente conformada por un banco de baterías del tipo **Ácido - Plomo**, estas estaban asociadas a un circuito rectificador con diodos que actuaba como cargador de baterías.

El control del voltaje que este banco de baterías podía entregar esta localizado en el panel 4 del tablero de control principal, era posible obtener voltajes de: 6-12-24-48-110 Voltios CC desde el panel 10 de ese mismo tablero.

Este tipo de baterías presento un disminución considerable de su vida útil hasta el punto de ser destruidas y con eso deteriorar también las paredes del cuarto en el que se encontraban instaladas, todos estos efectos fueron provocados por el contenido de *ácido* y *plomo* en el interior de las mismas. Actualmente ya no se cuenta con este tipo de fuente en el laboratorio debido, como ya se menciona, a su total destrucción.

Se puede encontrar otro tipo de baterías conformadas de **Níquel - Cadmio**, estas presentan un mínimo deterioro en si mismas y para el ambiente lo que resulta en un mayor tiempo de vida siendo también más eficientes. Las diferentes empresas distribuidoras de estas baterías realizan el diseño y construcción de estos bancos de acuerdo al trabajo que van a desempeñar, así, para que se proceda a la construcción de un banco de baterías es necesario conocer datos como los voltajes, corriente y el tipo aplicación, que en el caso del Laboratorio de Máquinas Eléctricas será principalmente para alimentar el campo de motores sincrónicos cuyas corrientes son del orden de 1 Amperio y un voltaje de 110 Voltios.

Considerando los datos anteriores y suponiendo que se usarían 4 grupos de máquinas durante 4 horas diarias se determinaría la batería a emplear de la siguiente forma:

Consumo por día:

- 4 Grupos de Máquinas de 1 A durante 4 horas = 16 A-h

$$E = 16 \text{ A-h} \times 110 \text{ V} = 1760 \text{ W-h}$$

- Otro uso de 500 Watts durante 2 horas = 1000 W-h

Energía Total:  $ET = 1760 + 1000 \text{ W-h} = 2760 \text{ W-h}$

Capacidad por día:

$$Q = \frac{ET}{V}$$

$$Q = \frac{2760 \text{ W-h}}{110 \text{ V}} = 25.1 \text{ Amperios-hora}$$

Consumo asegurado durante tres días (Capacidad mínima de la Batería):

$$Q = 3 \times 25.1 = 75.3 \text{ Amperios-hora}$$

De acuerdo a estos cálculos se tiene que emplear baterías con una capacidad de 75 Amperios formando un banco de 110 Voltios. Estas Baterías de 12 V y 75 A-h, de ácido-plomo, tienen un costo individual aproximado de \$950.000, necesitándose diez de estas y equipo adicional como lo es un sostenedor de carga, para evitar la descarga cuando no están siendo utilizadas, y un cargador de baterías, existente en el Laboratorio.

Para la ubicación de esta fuente de energía se puede habilitar el antiguo cuarto de baterías manteniéndolo suficientemente ventilado y no descuidando el correcto mantenimiento de las Baterías.

### 3.2.3 SELECCIÓN DEL EQUIPO

Considerando los requerimientos de las máquinas y de los sistemas de entrenamiento orientados a la educación en forma paralela a los avances tecnológicos actuales se recomienda:

#### *En el caso de los convertidores de frecuencia:*

1. La utilización de convertidores de frecuencia individuales, es decir, uno para cada mesa que los requiera.
2. Que por las características técnicas, versatilidad y flexibilidad del equipo se seleccionen los del tipo **ABB** de la serie **ACS 600** o **ACS 200** disponibles para las potencias que se encuentran en los sistemas de entrenamiento del laboratorio, estas son de hasta 4 kW.

#### *En el caso de la fuente alternativa de corriente continua variable:*

1. La instalación de un grupo o banco de baterías del tipo **Níquel - Cadmio** que presenten características de durabilidad con tiempo de vida largo y flexibilidad para obtener de ese banco voltajes variables es la mejor alternativa pero debido a su alto costo se recomienda utilizar un banco de baterías comunes con las capacidades calculadas anteriormente.
2. Además, con la instalación de un banco de baterías, será necesario restablecer el sistema cargador de baterías, que aunque se encuentra en buenas condiciones se le debe dar un buen mantenimiento para que cumpla con su cometido.

### **3.3. EQUIPO ADICIONAL**

El nuevo Sistema de Entrenamiento en Máquinas Eléctricas cumple con el objetivo de contar con un laboratorio moderno y completo, para esto es necesario también complementarlo con un nuevo equipo de medición. Actualmente se cuenta en el mercado con excelentes instrumentos de medida, especialmente digitales, que de forma amplia, completa y exacta muestran magnitudes y gráficos necesarios para realizar una correcta interpretación de los resultados de las experiencias realizadas en el Sistema de entrenamiento.

Aunque el actual laboratorio dispone de un amplio surtido de instrumentos de medida, todos ellos son analógicos y demasiado antiguos, esto se refleja en su mal funcionamiento o inexactitud en el momento de utilizarlos lo que además representa pérdidas de tiempo debido a la repetición necesaria de las mediciones llegándose a obtener a la final resultados poco confiables.

Dentro de ese surtido de instrumentos son muy pocos los que pueden ser aún utilizados por lo que se recomienda reemplazarlos en su mayoría por instrumentos digitales que en el mercado existen en gran cantidad, variedad y con precios razonables.

#### **3.3.1 ANALIZADORES TRIFASICOS DE ENERGIA ELECTRICA**

En vista de los avances vertiginosos de la tecnología referente a los instrumentos de medida, los cuales ya están siendo utilizados en la industria dentro del país, y con el

objetivo de mejorar el entrenamiento práctico de los estudiantes se ha adquirido dos clases de analizadores industriales: cuatro del fabricante ELCONTROL ENERGY y uno del modelo POWER LOGIC. Estos instrumentos han sido diseñados para ser montados en paneles por lo que su costo disminuye respecto a equipos móviles. Esto representa una ventaja económica para la Facultad tomando en cuenta que, como se describe más adelante, estos instrumentos pueden ser montados fácilmente en módulos sencillos que permitan su manejo y movilización. Estos Instrumentos se describen a continuación:

**FABRICANTE:**     ELCONTROL ENERGY

**MODELO:**    **VIP ENERGY**

Este modelo es un instrumento de medición alojado en una caja de nueve módulos conforme a normas DIN. Puede ser utilizado en sistemas trifásicos de 3 ó 4 hilos (2 Voltimétricos y 2 Amperimétricos, o 3 Voltimétricos y 3 Amperimétricos) en baja, media o alta tensión (en los últimos dos casos, mediante conexión a transformadores Voltimétricos). Las magnitudes eléctricas que pueden ser medidas por este instrumento son: Voltaje, Corriente,  $\cos\phi$  o Factor de Potencia, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, Frecuencia, Energía, kVA pico, kW pico, kW media, kVA media, Kvar media, THDF, fecha y hora. El instrumento también suministra los valores pico de potencia activa y aparente en tiempos de integración de 10, 15, 20 y 30 minutos. En Total este instrumento cuenta con 43 instrumentos integrados en uno solo. El VIP ENERGY posee una elevada precisión (Clase 1 según IEC1036),

Se pueden realizar medidas con 2 o 3 Transformadores de voltaje externos, en configuración estrella o triángulo. Permite el uso de transformadores Voltimétricos con secundario 57,7; 63,5; 100; 115; 120; 173; 190; 200 y 220V. También permite medidas con 2 o 3 Transformadores de corriente externos o directas con transformador de corriente hasta 5 A como máximo. Permite utilizar Transformadores Amperimétricos con secundario 1; 2; 2,5 y 5 A. Los cuadros siguientes muestran la Sensibilidad y Precisión del instrumento

<b>Sensibilidad, Fondo de Escala y Precisión de la tensión alterna</b>			
<b>Rango Nominal</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Fondo Escala</b>	$\epsilon$ de 20%F.E. a 100%F.E.
140 Vrms	111 mV	140 V	0.3%F.E. + 0.3%Lect.
550 Vrms	480 mV	550 V	0.3%F.E. + 0.3%Lect.

<b>Sensibilidad, Fondo de Escala y Precisión de la corriente alterna</b>			
<b>Rango Nominal</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Fondo Escala</b>	$\epsilon$ de 20%F.E. a 100%F.E.
0,30 A	0,2 mA	0,30 A	0.5%F.E. + 0.5%Lect.
1,50 A	1 mA	1,50 A	0.3%F.E. + 0.3%Lect.
5,00 A	3,2 mA	5,00 A	0.3%F.E. + 0.3%Lect.

Es importante mencionar que mediante este instrumento se ha obtenido medidas que son coherentes con los valores esperados y que van de acuerdo con la teoría de máquinas eléctricas, los mismos que siendo medidos con otros instrumentos existentes en el laboratorio presentan valores que no están dentro de rangos aceptables e inclusive arrojan valores totalmente alejados de los verdaderos. Por lo tanto, si en la experimentación es necesario obtener medidas lo más reales posible, se las puede realizar mediante este

instrumento VIP ENERGY, además, por comparación de resultados, se ha comprobado lo obsoletos que pueden resultar los equipos de medida antiguos del laboratorio.

Igualmente, mediante la experimentación, se ha comprobado que este analizador industrial no arroja valores reales cuando se da el caso de cargas no lineales como lo son las medidas *a la salida* de un convertidor de frecuencia utilizado para variar la velocidad de los motores de inducción ya que este convertidor produce demasiada distorsión armónica a su salida; otro caso de carga no lineal es la carga típica de las computadoras. Con esta observación se aclara que este analizador puede ser utilizado únicamente en casos donde la carga es lineal o antes de cargas que introduzcan demasiados armónicos como el caso de un variador de velocidad.

Al Laboratorio de Máquinas Eléctricas se lo ha dotado de tres de estos instrumentos que serán utilizados a partir de Octubre de 1999. Puesto que estos instrumentos serán utilizados frecuentemente, se ha visto la necesidad de montarlos en módulos que, de una manera didáctica, faciliten la manipulación de los terminales para las diferentes conexiones. Estos módulos han sido diseñados en madera y en dos variaciones: una para que el instrumento y su panel actual sean ubicados externa y temporalmente sobre el módulo, y otra en la que el instrumento es fijado interna y permanentemente en el frente del módulo lo que permitirá una optimización del espacio. Estos diseños se presentan detallados en el **Anexo G.1**.

**FABRICANTE:** ELCONTROL ENERGY

**MODELO:** NANOVIP PLUS

Este instrumento esta diseñado para el control de los sistemas eléctricos monofásicos o trifásicos simétricos y equilibrados, es un instrumento portátil de medición, de pequeñas dimensiones, capaz de medir mas de 100 parámetros fundamentales y de visualizarlos en una pantalla de cristal liquido, permite la medición exacta de las magnitudes eléctricas.

Permite la medición precisa de Voltios, Amperios, Watt, Factor de Potencia, Var, VA, Hz,  $\pm$  kw/h (inductivo / capacitivo),  $\pm$  kvarh (inductivo /capacitivo). Las mediciones efectuadas arrojan valores reales eficaces, con una precisión del orden del 1%, con una variación de potencia entre 7 W y 150 kW (con la pinza estándar de 200A/1V) o entre 35W y 750 kW (con la pinza de 1000A/1V). Mide Armónicas, Valor absoluto y porcentaje de las armónicas de Voltaje, Corriente de 1 a 24, su componente DC y el factor de desplazamiento. La Distorsión Armónica Total de Voltaje, Corriente referido a la fundamental o al valor RMS, el valor absoluto y porcentaje de Cresta de Voltaje, Corriente y su valor de Cresta. Este instrumento tiene la virtud de poder transferir los datos a una computadora mediante un software adecuado y a través del puerto serial de la misma.

<b>Sensibilidad, Fondo de Escala y Precisión de la tensión alterna</b>			
<b>Gama Nominal</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Fondo Escala</b>	<b><math>\epsilon</math> de 20%F.E. a 100%F.E.</b>
37 Vrms	24 mV	37,0 V	0.5%F.E. + 0.5%Lect.
147 Vrms	111 mV	174 V	0.3%F.E. + 0.3%Lect.
750 Vrms	480 mV	750 V	0.3%F.E. + 0.3%Lect.

<b>Sensibilidad, Fondo de Escala y Precisión de la corriente alterna</b>			
<b>Gama Nominal</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Fondo Escala</b>	<b>ε de 20%F.E. a 100%F.E.</b>
50 mV	32 μV	50 mV	0.5%F.E. + 0.5%Lect.
232 mV	140 μV	232 mV	0.3%F.E. + 0.3%Lect.
1 V	640 μV	1 V	0.3%F.E. + 0.3%Lect.

**FABRICANTE:**     **POWERLOGIC**

**CIRCUIT MONITOR**     **Series 2000**

El POWERLOGIC es un dispositivo de control multifuncional, con instrumentación digital y adquisición de datos. Puede reemplazar una gran cantidad de instrumentos individuales de medida, relés, transductores y otros componentes. Este dispositivo trabaja conjuntamente con su propio software de comunicaciones y control para computaras, acompañado también de un módulo de voltaje / alimentación que permite la conexión directa de un solo monitor de circuitos a los sistemas de 480Y/277V sin la necesidad de transformadores de tensión o de alimentación de control.

El Circuit Monitor es un medidor de valores específicos reales de una excepcional precisión en la medición de cargas altamente no lineales.

Este equipo es una de las más recientes y acertadas adquisiciones realizadas por la Facultad de Ingeniería Eléctrica, esto permitirá realizar experiencias de las que se obtenga resultados totalmente reales y que podrán ser contrastados con otras mediciones anteriores lo que dará una apreciación más verdadera de los fenómenos eléctricos. Un detalle de las características de este instrumento y el módulo de tensión / alimentación se presentan en el **Anexo H**.

Este instrumento, por sus características y utilidad, será empleado además fuera de la facultad en empresas que lo requieran por lo que para facilitar su transporte y manipulación se ha diseñado un módulo portátil hecho en madera en el que será montado con sus terminales accesibles y de acuerdo a la distribución presentada en el manual de conexiones. El diseño de este módulo se detalla en el **Anexo G.2**.

### **3.3.2 OSCILOSCOPIO**

Considerando que las prácticas están orientadas a realizar experiencias en las que se requiere el análisis de resultados gráficos, para obtenerlos es necesario contar con un buen Osciloscopio por lo que se hace indispensable y prioritario el adquirir algunos de estos instrumentos. Es así que se ha seleccionado un tipo de Osciloscopio que cumple con los requerimientos establecidos para realizar correctamente la experiencias.

**FABRICANTE: HEWLETT PACKARD**

**MODELO HP 54603B**

Este es un Osciloscopio de tipo digital de propósito general con un ancho de banda de 60 MHz y dos canales de entrada que cumplen totalmente con los requerimientos de las experiencias a realizar en el laboratorio.

La tecnología digital de este Osciloscopio permite trabajar con los resultados de las mediciones enviándolos, por medio de un módulo adicional, hacia la computadora y mediante un software provisto por el fabricante se puede realizar fácilmente el análisis,

la documentación y la presentación de los resultados. Más datos sobre las características de este modelo de Osciloscopio se presentan en las páginas del **Anexo H**.

### **3.3.3 MODULOS DE MEDICION PARA COMPUTADORAS**

Actualmente se ha desarrollado un dispositivo o módulo que se acopla a una computadora para transformarla en instrumentos de medición digitales, por medio de software propio, que pueden resultar más versátiles y económicos que contar con cada uno de ellos individualmente, estos módulos se describen a continuación.

**FABRICANTE:**     **ALLISON TECHNOLOGY CORPORATION**

#### **SERIE       O-SCOPE II**

Este equipo es un módulo que se adhiere a la computadora para ser usado como equipo de medición y prueba, es decir hace el papel de Voltímetro digital, Frecuencímetro, Analizador de espectros de frecuencia, Osciloscopio, etc. Este módulo se conecta a la computadora a través del pórtico paralelo o de impresora transformando a la computadora en un Osciloscopio digital.

En esta línea se tiene el modelo O-Scope II que cuenta con opciones para mostrar en pantalla, grabar en disco e imprimir. El ancho de banda que posee es de 250 kHz. Características adicionales de estos módulos se presentan detalladas en el **Anexo H**.

**FABRICANTE:**     **AMAZE ELECTRONICS CORPORATION**

**MODELO**    **PC-MULTISCOPE 2**

Este es un dispositivo que se conecta a la computadora mediante el pórtico de impresora y transformando a la computadora en instrumentos como: Osciloscopio digital de dos canales, voltímetro digital, medidor digital de frecuencia, analizador de formas de onda, y un analizador continuo de espectros. Este módulo funciona en un ambiente Windows mediante un software provisto con el equipo, cuneta con un ancho de banda analógico de 10 MHz. Información adicional sobre las características de este módulo se la encuentra detallada en el **Anexo H** del presente trabajo.

**3.3.4**            **SELECCIÓN DEL EQUIPO**

Por las características anotadas anteriormente se selecciona como el mejor Osciloscopio el modelo **HP 54603B**, que se adapta completamente a las necesidades del laboratorio recomendándose por lo tanto su adquisición.

Los dispositivos con software para PCs representan una buena opción para contar con instrumentos digitales a bajo costo, además que se aprovecha la existencia de computadoras en el laboratorio. Las características presentadas por estos dispositivos se acoplan de buena manera a las necesidades y requerimientos de las Prácticas de Máquinas Eléctricas por lo que se recomienda adquirirlos. La selección entre los dos módulos presentados se la hace considerando los parámetros que se obtienen en las experiencias, así el más conveniente es el de **ALLISON TECHNOLOGY CORPORATION** la serie **O-SCOPE II**.

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA**

El suministro de energía eléctrica desde las fuentes de alimentación hacia las cargas requiere de un conjunto de elementos necesarios para cumplir con ese cometido, estos elementos deben satisfacer ciertos requisitos que determinarán el arreglo o disposición que llevan dentro de una instalación junto con los aspectos funcionales y de estética, esta determinación de las características de los elementos se denomina Diseño de la Instalación Eléctrica.

Es importante recalcar que los nuevos equipamientos requieren una readecuación del sistema de alimentación y no un diseño completo y total del sistema de suministro de energía de todo el Laboratorio el mismo que se encuentra habilitado y en muy buenas condiciones; por lo tanto, el siguiente diseño se enfoca en la determinación de las características del cableado y de las protecciones que formarán parte del sistema de suministro de energía hacia los nuevos sistemas.

#### 4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para cada tipo de instalación eléctrica, residencial, comercial o industrial se deberá considerar diferentes criterios para el desarrollo del diseño, las que estarán de acuerdo a las normas y técnicas vigentes para instalaciones eléctricas

Desde el inicio de un proyecto de instalaciones eléctricas es necesario tomar en consideración los siguientes requisitos:

**Capacidad.** En todo sistema eléctrico la demanda de energía puede incrementarse por la inclusión de nuevos equipos o artefactos eléctricos, por tal motivo el sistema eléctrico debe estar diseñado para cubrir todos los requerimientos actuales y considerar también el pronóstico de carga para instalaciones futuras con su demanda prevista para un lapso de tiempo determinado.

**Flexibilidad.** En cualquier tipo de instalación eléctrica se debe realizar una distribución adecuada de los circuitos, tuberías y alambrado de acuerdo a la ubicación de las cargas que se van a alimentar, distribuyéndolas de una manera flexible y que permita realizar modificaciones o cambios sin que esto represente problemas técnicos complejos o gastos excesivos.

**Accesibilidad.** Una instalación eléctrica debe ser de fácil acceso para efectuar labores de mantenimiento y servicio en general independientemente de la localización de las máquinas o aparatos que alimenta.

**Confiabilidad.** Dependiendo del tipo de instalación varía el grado de seguridad en el suministro de la energía eléctrica, entendiéndose esto, desde el punto de vista de planeación, como la probabilidad de que esté dentro de servicio un determinado tiempo; esto en forma independiente de la garantía o confiabilidad que se tenga en el suministro de la energía por parte de las compañías suministradoras. Para lograr lo anterior es necesario analizar varias alternativas considerando la mejor y siempre tomando en cuenta el aspecto económico.

El Laboratorio de Operación y Control de Máquinas Eléctricas se encuentra ya instalado en la actualidad por lo que el proyecto consiste en aprovechar la infraestructura existente para implementar un nuevo equipamiento.

En el Capítulo 2 de este trabajo se ha presentado una descripción detallada de la ubicación física, elementos, equipos y máquinas que conforman el Laboratorio, acompañando esto con un diagnóstico y evaluación del sistema actual de suministro de energía determinando así lo que debe ser reemplazado y lo que puede mantenerse aún en funcionamiento, posteriormente se realizó la selección del nuevo equipo en base a aspectos didácticos y prácticos restando únicamente considerar los requerimientos eléctricos y físicos de esos nuevos equipos para determinar las características que debe tener el suministro de energía propiamente dicho para satisfacer la demanda de esas cargas.

Considerando el diagnóstico general del Laboratorio se ha determinado que la mayoría de instalaciones eléctricas existentes en él se las puede mantener inalteradas y prestando el servicio para las que fueron diseñadas, estas son: acometida, alimentación desde el

transformador a los tableros, iluminación, interruptores, tomacorrientes junto con ciertas protecciones.

Se tratará de aprovechar al máximo el espacio disponible así como determinadas instalaciones, como ya se menciono anteriormente, y de acuerdo a los requerimientos de los nuevos equipos.

Considerando el objetivo del Laboratorio de Máquinas Eléctricas: *complementar la enseñanza teórica con el adiestramiento práctico*, el diseño del suministro de energía estará orientado principalmente a la instalación eléctrica para fuerza y en particular para motores eléctricos que conforman los nuevos equipos de entrenamiento.

## **4.2. METODOLOGIA DE DISEÑO**

### **4.2.1. DETERMINACION DE LA CARGA DE LA INSTALACION ELECTRICA**

Para diseñar una instalación eléctrica es necesario conocer la potencia o carga que se va a alimentar. Esta carga representa a la potencia que será demandada por la instalación y es diferente de la suma de las capacidades de los equipos que serán instalados. La información obtenida a este respecto será de gran importancia ya que permitirá realizar un diseño que cumpla con todos los requerimientos técnicos y económicos.

La determinación de la carga requiere criterios acertados para definir las instalaciones que deben prepararse para futuras ampliaciones, así, una excesiva reserva representara una inversión innecesaria y en caso contrario, pudiera resultar en reservas escasas que provoquen problemas a corto plazo.

Para la definición de la carga se cuenta con varias alternativas como son:

*Estimación de la carga por similitud* en la cual se fija una carga aproximada de la instalación utilizando valores típicos provenientes de la observación de instalaciones ya establecidas y que tienen similitud de equipos o procesos en operación. En este caso es necesario considerar factores que puedan aumentar o disminuir la carga como los debidos a procesos de producción específicos, maquinaria más moderna, capacidad de producción, etc.

*Cálculo analítico*, es necesario un cálculo más preciso para determinar las capacidades de los elementos de una instalación eléctrica y las secciones de los conductores, este se inicia cuando se conocen los valores de consumo de energía de cada equipo y los servicios que serán alimentados por la instalación. Para realizar esta determinación de la carga son necesarios algunos términos los cuales se presentan a continuación.

**Carga o potencia instalada ( $P_{inst}$ )** .- Es la sumatoria de los consumos nominales de cada elemento de acuerdo a los datos de placa propios:

$$P_{inst} = \sum P_j$$

Donde  $P_j$  = potencia de cada elemento,

$$j = 1,2,3,\dots,n$$

**Demanda máxima ( $P_{\text{máx}}$ )** .- Es la carga o potencia máxima que podría ocurrir en una instalación.

**Factor de carga ( $f_c$ )** .- Es el cociente de la potencia o demanda máxima entre la potencia (carga) instalada:

$$P_{\text{máx}} = (f_c) \cdot P_{\text{inst}}$$

Este factor de carga se los encuentra tabulados representando valores típicos obtenidos de la experiencia.

#### **4.2.2. CALCULO Y ESPECIFICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS**

El cálculo de la sección de los alimentadores es una de las tareas más importantes en el diseño de instalaciones eléctricas puesto que al ser estos los conductores que suministrarán la energía eléctrica a la carga deberán proveer seguridad y confiabilidad para que la instalación tenga un buen funcionamiento, además, de ello depende el costo de la inversión inicial y de los gastos de operación y mantenimiento.

#### **4.2.2.1. CRITERIOS PARA EL CALCULO DE CONDUCTORES**

Los calibres de los conductores deben ser especificados dentro de los estándares AWG (American Wire Gage) o en MCM (miles de circular mils). Adicionalmente el calculo de los conductores permitirá dimensionar la instalación eléctrica de forma que cumpla con los requisitos de un sistema confiable y económico.

Para aplicar los criterios para el calculo de conductores es necesario primero determinar la carga de la instalación eléctrica, es decir, la corriente que circulará por cada uno de los conductores en condiciones de plena carga o corriente nominal, procedimiento descrito anteriormente. Esta estimación cuidadosa de la carga es de gran importancia para obtener un calculo confiable de la sección de los conductores.

Habiéndose determinado la carga de la instalación eléctrica se procederá a realizar los cálculos para especificar los conductores eléctricos utilizando los siguientes criterios: capacidad de conducción de corriente para las condiciones de instalación, caída de voltaje permitida, capacidad para soportar la corriente de cortocircuito y calibre mínimo permitido para aplicaciones específicas.

Cabe mencionar que puede ser probable que los resultados obtenidos mediante la aplicación de estos criterios pueda diferir uno de otro, por lo que se seleccionara el resultado que muestre la mayor sección del conductor ya que de esta manera se cumplirá con todos los demás criterios.

## **CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE**

La capacidad de conducción de corriente de un conductor se relaciona con la capacidad de aislamiento a las temperaturas elevadas, tomando en cuenta que por lo general los conductores se encuentran juntos dentro de canalizaciones en las instalaciones eléctricas, que se comportan como emisoras de calor y también por temperaturas ambientes superiores a los 40°C.

De ahí que esa capacidad se vea limitada por los siguientes factores: *Conductividad del metal conductor* y *capacidad térmica del aislamiento*.

Cuando se genera calor debido a las sobrecargas permanentes entonces se llega a destruir los aislamientos mucho antes de que el material conductor llegue a su temperatura de fusión, debido a que la capacidad térmica del material aislante es mucho menor que la del conductor; considerando esto se ve la necesidad de limitar la temperatura de trabajo de los conductores de manera que no se llegue a los puntos de fusión de los aislamientos.

En la práctica es aconsejable no trabajar con el conductor a temperaturas que excedan a las de reblandecimiento de éste con un régimen de trabajo permanente. En base a datos experimentales se ha llegado a establecer tablas de capacidad de conducción de corriente para distintos conductores bajo distintas condiciones de instalación, desde el punto de vista del medio de canalización.

Como la capacidad de conducción de corriente de un conductor esta limitada por la temperatura y las restricciones de tipo térmico de su aislamiento, es necesario establecer un número limitado de conductores dentro de un tubo conduit de tal manera que permita un arreglo físico de los mismos de acuerdo a la sección del tubo, para que sea fácil la manipulación de los conductores y exista espacio suficiente para permitir la correcta disipación del calor generado. Para lograr esto se establece una relación entre las secciones del tubo y los conductores, esta es:

$$F = \frac{a}{A}$$

donde  $F$  = Factor de relleno

$a$  = área total de los conductores

$A$  = área interior del tubo en  $\text{mm}^2$  o  $\text{plg}^2$

Con esta relación se obtiene el factor de relleno el cual puede tener los siguientes valores:

$$F = 53\%, 31\%, 43\%, 40\%$$

De acuerdo a estas relaciones y a datos experimentales se ha tabulado esos datos y se los presenta en las siguientes tablas:

**TABLA 4.A** Capacidad de corriente de conductores de cu basada en una temperatura ambiente de 30°C

CALIBRE	TIPO T.W. 60°C				VINANEL 900 75°C			
	1 a 3	4 a 6	6 a 9	1	1 a 3	4 a 6	6 a 9	1
	A.W.G. COND.	COND.	COND.	COND.	COND.	COND.	COND.	COND.
K.C.M.	TUBO	TUBO	TUBO	AIRE	TUBO	TUBO	TUBO	AIRE
14	15	12	10	20	15	12	10	20
12	20	16	14	25	20	16	14	25
10	30	24	21	40	30	24	21	40
8	40	32	28	55	45	36	31	65
6	55	44	38	80	65	52	45	95
4	70	56	49	105	85	68	59	125
2	95	76	66	140	115	92	80	170
0	125	100	87	195	150	120	105	230
00	145	116	110	225	175	140	122	265
000	165	132	115	260	200	160	140	310
0000	195	156	132	300	230	184	161	360
250	215	172	150	340	255	204	178	405
300	240	192	168	375	285	228	199	445
350	260	208	182	420	310	248	217	505
400	280	224	196	455	335	268	234	545
500	320	256	224	515	380	304	266	680
600	355	284	248	575				
750	400	320	280	655				
1000	455	364	318	780				
TEMP.	FACTOR DE CORRECCION PARA TEMPERATURA AMBIENTE MAYOR DE 30°C							
40	0.82	0.82	0.82	0.82	0.88	0.88	0.88	0.88
45	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82	0.82	0.82	0.82
50	0.58	0.58	0.58	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75
55	0.41	0.41	0.41	0.41	0.67	0.67	0.67	0.67
60	—	—	—	—	0.58	0.58	0.58	0.58

**TABLA 4.B** Número de conductores tipo TW y Vinanel 900 normal que pueden instalarse dentro de un tubo conduit de acuerdo con los factores de relleno establecidos.

CALIBRE	TAMAÑO DEL TUBO CONDUIT											
	A.W.G.	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ¼"	3"	3 ½"	4"	5"
K.C.M.	13 mm	19 mm	25 mm	31 mm	38 mm	51 mm	64 mm	76 mm	89 mm	101 mm	127 mm	152 mm
18	13	24	39	68	92							
16	11	19	31	54	74							
14	9	13	25	44	60	99						
12	7	12	20	34	47	78						
10	5	9	15	26	36	60	85					
8	3	5	8	14	20	32	46	72				
6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62		
4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	46	63	
2	1	1	1	4	5	9	12	20	26	34	54	78
1	0	1	1	2	4	6	8	14	19	25	39	57
0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	21	33	45
00	0	1	1	1	3	4	6	10	14	18	28	41
000	0	0	1	1	1	4	4	9	12	15	24	35
0000	0	0	1	1	1	3	4	7	10	13	20	29
250				1	1	2	3	6	8	10	16	23
300				1	1	1	2	5	7	9	14	20
350					1	1	1	1	6	8	12	18
400						1	1	1	5	7	11	16
500						1	1	1	4	6	9	13
600							1	1	3	5	7	11
700							1	1	3	4	6	10
750							1	1	3	4	6	9
800							1	1	3	4	6	8
900							1	1	3	3	5	8
1000							1	1	2	3	5	7

## CAIDA DE VOLTAJE

La caída de voltaje es la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando por el circula la corriente nominal. Esta diferencia expresada en porcentaje se la conoce como *regulación de voltaje*.

En el calculo del calibre de los conductores es necesario determinar también que la caída de voltaje en el conductor no exceda los valores establecidos por las normas técnicas para instalaciones eléctricas, de acuerdo al Código Eléctrico Ecuatoriano la caída de voltaje en los alimentadores no deberá ser mayor del 3%, pero se considerará que la máxima caída de voltaje de tensión total para los alimentadores y circuitos derivados, no deberá exceder del 5% al punto más alejado.

De acuerdo con esto se debe calcular la caída de voltaje tanto en los circuitos derivados como en los alimentadores aplicando las siguientes expresiones correspondientes a cada tipo de sistema:

MONOFASICO	TRIFASICO A TRES HILOS	TRIFASICO A CUATRO HILOS
$e\% = 4 \cdot \frac{LI}{V_n \cdot S}$	$e\% = 2 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot LI}{V_f \cdot S}$	$e\% = 2 \cdot \frac{LI}{V_n \cdot S}$

En donde

$e\%$  = Caída de voltaje en porcentaje

$I$  = Corriente en Amperios por conductor

$V_n$  = Voltaje de línea a neutro

$V_f$  = Voltaje entre fases

$S$  = Sección del conductor en  $\text{mm}^2$

$L$  = Longitud del conductor en metros

Mediante estas expresiones se encuentra el valor de caída de voltaje, comparando ese valor con el establecido en la Norma se establece el calibre de conductor, así, si el valor calculado de caída de voltaje es menor que el de la Norma se mantiene el calibre de conductor determinado con los respectivos cálculos, mientras que si la caída de voltaje calculada es mayor que la permitida se aumenta el calibre del conductor al inmediato superior y se realiza otro cálculo de caída de tensión. Se repiten los cálculos anteriores hasta obtener un calibre que cumpla con el valor establecido en la Norma de Instalaciones Eléctricas.

#### **4.2.2.2. CALCULO DE LA CORRIENTE EN UNA INSTALACION ELECTRICA DE MOTORES**

En el Capítulo 2, acápite 2.1.3.2. se describió los elementos que conforman una instalación eléctrica de motores en base al gráfico mostrado en la Figura 2.5, esos mismos elementos se presentan a continuación para el cálculo de sus respectivos valores.

**Alimentador (A).** Su calibre se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$I = 1.25 I_{pc}(\text{motor mayor}) + \sum I_{pc}(\text{otros motores})$$

donde  $I_{pc}$  = corriente a plena carga

$\sum I_{pc}$  = suma de las corrientes a plena carga de varios motores

**Protección del alimentador (B).** La corriente que soportará esta protección se la encuentra tomando en cuenta la corriente de arranque del motor mayor más la suma de las corrientes nominales de los otros motores.

$$I = I_{\text{arranque}}(\text{motor mayor}) + \sum I_{pc}(\text{otros motores})$$

donde  $I$  = corriente para seleccionar la protección del alimentador

$I_{pc}$  = corriente a plena carga de motores (corriente nominal)

**Circuitos derivados (C).** Esos conductores deben ser calculados para una sobrecarga de 25%, con lo que el calibre del circuito derivado se calcula con una corriente:

$$I = 1.25 I_{pc}$$

Donde  $I$  = corriente del circuito derivado.

$I_{pc}$  = corriente a plena carga del motor.

**Protección del circuito derivado (D).** Se la calcula para una corriente que puede ser la corriente de arranque o de corto circuito y se la hace por medio de fusibles. Las características de operación de los fusibles viene expresada a través de las curvas de fusión, las que relacionan el tiempo en que demora fundirse el fusible, en función de la corriente que circula. Las curvas de fusión son proporcionadas por el fabricante.

**Desconector (E).** El interruptor de navajas debe soportar una corriente mínima:

$$I = 1.15 I_{pc}.$$

donde  $I_{pc}$  = corriente a plena carga del motor

**Protección del motor (F).** La protección del motor se selecciona para una corriente que es 25% mayor que la corriente nominal:

$$I = 1.25 I_{pc}.$$

donde  $I_{pc}$  = corriente a plena carga del motor

Los valores de intensidad de corriente a plena carga para motores jaula de ardilla y sincrónicos se los encuentra tabulados (Tabla 4.C) y corresponden a valores típicos en motores que giren a velocidades estándar, para motores con correas y motores con características normales de par resistente.

Es necesario tomar en cuenta que para motores que trabajen con velocidades especialmente bajas o para pares resistentes especialmente grandes, que necesitan más

intensidad de corriente, se empleará la corriente de régimen indicada en la placa respectiva.

**Tabla 4.C** Intensidad de corriente a plena carga para motores de CA. trifásicos

C.V.	MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA Y ROTOR DEVANADO					MOTOR SINCRONICO f FACTOR DE POTENCIA UNIDAD			
	110V	220V	440V	550V	2300V	220V	440V	550V	2300V
½	4	2	1	0.8					
¾	506	2.8	1.4	1.1					
1	7	3.5	1.8	1.4					
1 ½	10	5	2.5	2.0					
2	13	6.5	3.3	2.6					
3	-	9	4.5	4					
5	-	15	7.5	6					
7 ½	-	22	11	9					
10	-	27	14	11					
15	-	40	20	16					
20	-	52	26	21	7	54	27	22	5.4
25	-	64	32	26	8.5	65	33	26	6.5
30	-	48	39	31	10.5	86	43	35	8
40	-	104	52	41	13	108	54	44	10
50	-	125	63	50	16	128	64	51	12
60	-	150	75	60	19	161	81	65	15
75	-	185	93	74	25	211	106	85	20
100	-	246	123	98	31	264	132	106	25

Refiriéndose a la tabla anterior se encuentran las intensidades de corrientes a plena carga para motores de 208 V y 200 V incrementando la intensidad de corriente a plena carga correspondiente al motor de 220 V en un 6 y 10% respectivamente.

### **4.3. PREVISIONES**

#### **4.3.1. EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

Una descripción más detallada de las puestas a tierra se presenta en el Capítulo 2, acápite 2.1.2, mostrándose como una de las principales objetivos prevenir posibles accidentes en las personas o daños en el equipo cuando se produzcan contactos accidentales de alambres vivos con las masas metálicas. Tomando en cuenta esto, la instalación de electrodos de puesta a tierra en el área ocupada por el Laboratorio de Máquinas Eléctricas es una obra indispensable que ha sido prevista y realizada paralelamente a la construcción del Laboratorio encontrándose formada por una malla de conductores y electrodos enterrados bajo el piso del Laboratorio.

Esta malla de tierra presenta buenas características de conducción cumpliendo plenamente con su finalidad por lo que se aconseja utilizarla para la interconexión con los nuevos equipos.

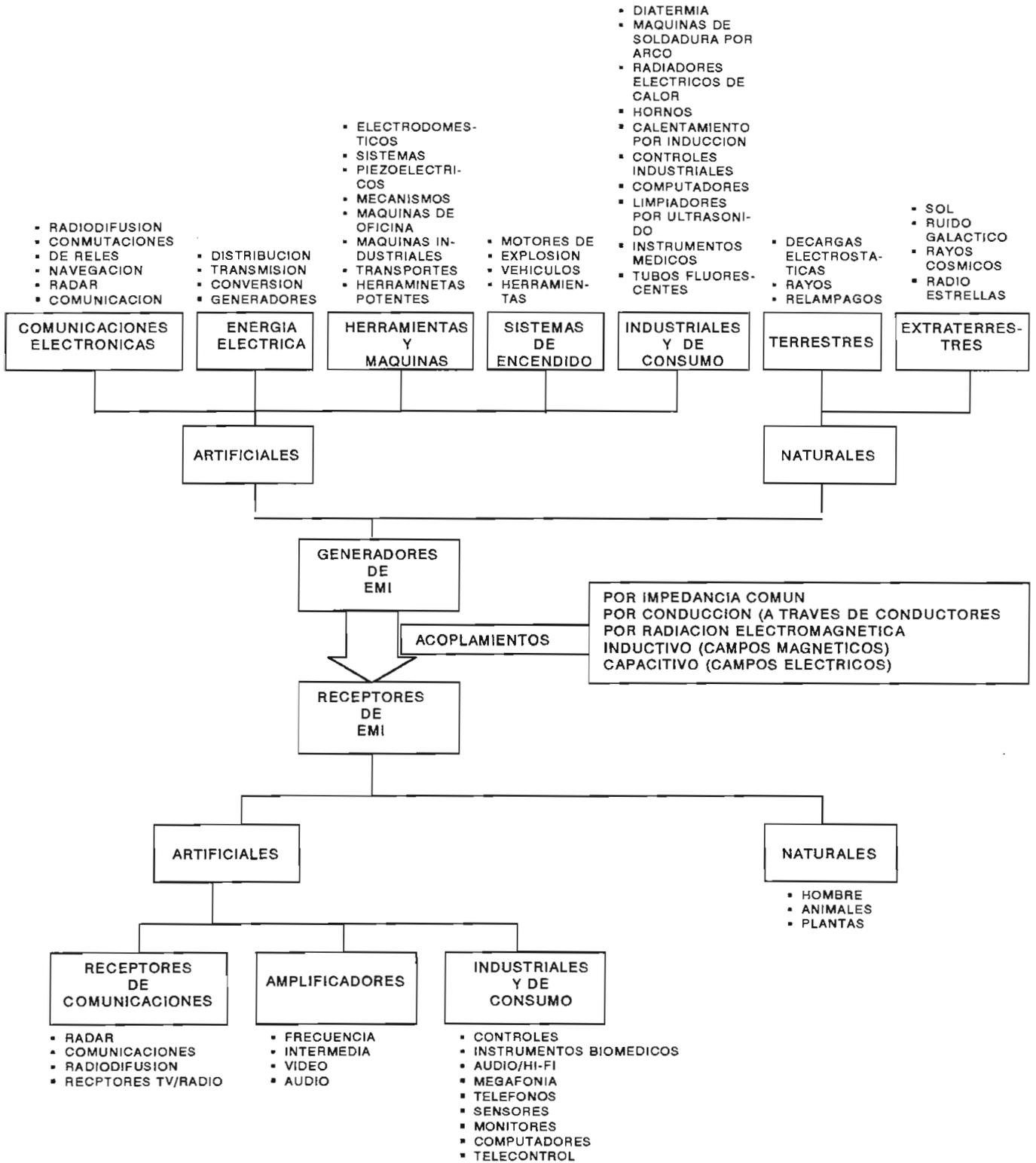
#### **4.3.2. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS**

##### **4.3.2.1. INTRODUCCION.-**

Estas interferencias son señales de tipo electromagnético que perturban el funcionamiento normal de un sistema eléctrico o electrónico, afectando a las magnitudes eléctricas o magnéticas (tensión, corriente o campo electromagnético) de sus circuitos, aunque sus efectos no son evidentes externamente.

Las interferencias electromagnéticas provocan en los sistemas digitales y analógicos desordenes de varios tipos que pueden causar desde problemas leves cuando picos de tensión se inducen en líneas de señal sensibles, y en situaciones de alto nivel de interferencia, tales como los ambientes industriales, el automóvil, etc., los transitorios pueden causar incluso fallos permanentes en el hardware, si el sistema no esta debidamente protegido.

Para que exista interferencias electromagnéticas se requiere que exista un generador de perturbaciones, un circuito afectado por ellas o receptor que sea susceptible a las interferencias y un camino de acoplamiento que las transmita al circuito afectado. Conociendo esto se tiene tres modos de eliminar las interferencias electromagnéticas: eliminarlas en la fuente, insensibilizar el receptor o disminuir la energía transmitida a través del canal de acoplamiento, pudiéndose aplicar también dos o tres de estos métodos simultáneamente.



**Figura 4.1.** Diagrama general de los generadores y receptores de interferencias electromagnéticas con sus caminos de acoplamiento.

Se puede tener una clasificación de las interferencias electromagnéticas de acuerdo a los generadores y receptores de las mismas como se puede observar en la Figura 4.1.

Los tipos de perturbaciones o interferencias, métodos de medida y límites tolerados se establecen en función de la banda de frecuencias de interferencia, ya que la facilidad de propagación depende de dicho parámetro. Según las Normas Internacionales las interferencias se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- a) Perturbaciones de baja frecuencia  $f < 10 \text{ kHz}$ : en este grupo se encuentran la mayor parte de las perturbaciones transmitidas por la red y las fuentes de alimentación.
- b) Perturbaciones entre  $10 \text{ kHz}$  a  $150 \text{ kHz}$ : Son las interferencias producidas principalmente a impulsos de intensidad y fenómenos transitorios de tensión producidos por la conmutación de relés, interruptores u otros dispositivos electromecánicos, así como convertidores estáticos como equipos de tiristores, fuentes conmutadas, etc.
- c) Perturbaciones en la banda de  $150 \text{ kHz}$  a  $30 \text{ MHz}$ : tienen origen del mismo modo que en el grupo b) siendo su propagación fundamentalmente por radiación y acoplamiento.
- d) Perturbaciones en la banda de  $30 \text{ MHz}$  a  $300 \text{ MHz}$ : El medio de propagación es básicamente por radiación.
- e) Perturbaciones en la banda de  $500 \text{ MHz}$  a  $18 \text{ GHz}$ : Siendo el origen de estas perturbaciones los equipos de comunicaciones o los propios circuitos lógicos de conmutación muy rápida y el medio de propagación principal es la radiación.

Una de las principales causas de perturbaciones de banda ancha, que tienen origen en la red de alimentación, son los transitorios producidos por conexión o desconexión de ciertos tipos de cargas. Así, se puede tener transitorios de conexión y desconexión de transformadores, por cortocircuitos y transitorios en líneas largas en donde se debe considerar un circuito con inductancia y capacidad distribuidas, dando lugar a la aparición de perturbaciones reflejadas en las terminaciones de línea, que se superponen a las perturbación inicial.

El origen de la mayor parte de las interferencias esta en el comportamiento de ciertos tipos de cargas que se encuentran en los ambientes industriales y domésticos.

Considerando las máquinas eléctricas rotativas se distingue dos tipos de máquinas compatibles con las emisiones electromagnéticas, estas son: máquinas con colector o anillos rozantes y máquinas de rotor en cortocircuito.

Ambos tipos de máquinas suelen provocar caídas de tensión y perturbaciones simétricas en las red durante el arranque, debido a la alta corriente que absorben en ese momento. Además, debido a la capacidad entre devanados y carcasa y a los flujos de dispersión, suelen provocar perturbaciones asimétricas (corrientes de fuga) a través del conductor de protección a frecuencias múltiplos de la red. Sin embargo, la principal causa de interferencias procede de las máquinas de corriente continua y máquinas de colector, que a causa del arco de conmutación generan perturbaciones de banda ancha con frentes abruptos y niveles de energía elevados.

Los peligros de interferencia en las máquinas proceden de:

- La conducción de perturbaciones de baja frecuencia a través de la red
- Los campos de dispersión a través de las aberturas de la carcasa
- Radiación de los cables, sobre todo en las inmediaciones de la caja de bornes.

Se puede tomar ciertas medidas de protección en estos casos, siendo estas las siguientes:

- Empleo de máquinas de cortocircuito cuando sea posible, pues son mucho más cerradas y carecen de problemas de conmutación.
- En máquinas de corriente continua introducir reactancias en serie para filtrar la corriente, mejorar el factor de forma y evitar la propagación por conducción de las componentes de radio frecuencia.
- Elegir máquinas de construcción lo mas cerrada posible y realizar una conexión a tierra con la mínima impedancia posible.
- Utilizar mangueras de cables con blindaje o como mínimo mangueras con conductor de protección y cables torcidos.
- Instalar los cables en tubos o bandejas metálicas lo más cerradas posible y unidas a tierra en varios puntos.
- Para conexión a la caja de bornes utilizar tubos con recubrimiento de espiral metálico, asegurando que las uniones mantienen un buen contacto entre sí y, por tanto, a tierra.

Se encuentra también equipos domésticos que incorporan dispositivos similares a los de uso industrial, aunque suelen manejar potencias muy inferiores, que pueden ser fuentes de perturbación. Existen Normas que establecen limitaciones y condiciones para estos equipos exigiendo su protección para evitar la emanación de interferencias electromagnéticas por encima de ciertos niveles. Para esto se exige el empleo de filtros de entrada que eviten la propagación de interferencias electromagnéticas conducidas y el blindaje para impedir que los cables de conexión puedan actuar como antenas que transmitan las interferencias al exterior por radiación.

Además de estas cargas se puede encontrar muchas más que pueden ser emisoras de interferencias electromagnéticas, como por ejemplo las luminarias con lámparas de descarga, fluorescentes, hornos de inducción, soldaduras por puntos, sistemas de microondas, equipos de ultrasonidos, herramientas portátiles, detectores de proximidad, equipos de telemando, equipos de megafonía, computadoras, sistemas de alimentación ininterrumpida, etc.

#### **4.3.2.2. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LAS COMPUTADORAS**

Junto al área ocupada por el Laboratorio de Máquinas Eléctricas se encuentra una sala destinada al uso de computadoras, en esta sala se desarrollan las prácticas de simulación de máquinas eléctricas, sistemas eléctricos de potencia entre otros, los mismos que requieren el uso de software determinados por lo que estas máquinas son constantemente

utilizadas, en muchas ocasiones, simultáneamente al uso de las máquinas eléctricas rotativas del laboratorio contiguo. Por tener estas computadoras un uso muy importante dentro de la enseñanza académica, es necesario tomar algunas precauciones contra las interferencias electromagnéticas conducidas en la instalación de cualquier computadora. Es conveniente destinar una línea especial para la computadora central o para el conjunto de PC. A esta línea no debe conectarse ningún otro tipo de máquina industrial, sobre todo máquinas de soldadura eléctrica, máquinas con grandes motores o cualquier otro tipo que se sospeche pueda generar altos niveles de interferencia. También conviene instalar una buena toma de tierra, y en la entrada de esta línea independiente de red se debería instalar un transformador de aislamiento.

Aunque no es obligatorio apantallar el cable de alimentación de red, el hacerlo puede ser una muy buena ayuda complementaria para evitar interferencias. Para realizar esto es necesario extender el apantallado en el lado de del equipo lo mas cerca que sea posible del conector de entrada de red, sin llegar a conectar el blindaje en ese lado. En el lado del enchufe se debe conectar el blindaje junto al cable de toma de tierra en el terminal de toma de tierra. Si se sospecha que la toma de tierra es ruidosa, es preferible conectar la pantalla en el lado de la computadora, pero nunca en los dos lados. Cuando se tiene varios periféricos como impresoras scanners, plotters, etc., conviene enchufar todos sus cables de alimentación en una única regleta de tomas de corriente. Si se enchufaran en tomas muy separadas físicamente, la instalación eléctrica típica sería propensa a la formación de bucles de corriente en las conexiones de toma de tierra a través de los cables de alimentación, los cables de datos que interconectan los periféricos y la unidad central. Esos bucles podrían fácilmente captar interferencias y estas

serían conducidas a los equipos a través de sus conexiones de tierra. Con la regleta de enchufes, la conexión de toma de tierra de todos los equipos se hace prácticamente en un solo punto, sin que se forme el perjudicial bucle.

La Figura 4.2 muestra la instalación de una computadora central que puede servir de referencia para aplicar las técnicas expuestas, en menor medida, a las redes locales de PCs.

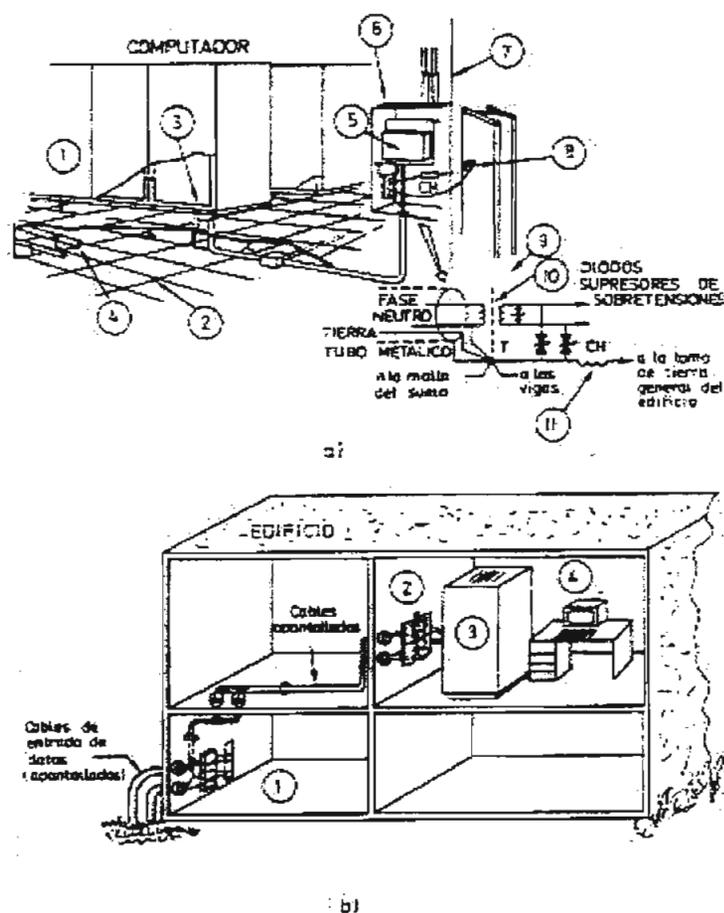


Figura 4.2. Instalación de una computadora central

En la figura anterior se tiene:

(a) Instalación general de una computadora. En el caso de una red local de computadoras personales no sería necesario incorporar la instalación completa aquí presentada.

(1) Paneles antiestáticos para el suelo con  $R \leq 10^9 \Omega/\text{cm}$ . (2) Malla de referencia de tierra. Puede ser hecha de tirantes corrugados de conductor de cobre de 5 mm de diámetro. (3) Conexión de las carcasas metálicas de los armarios del computador, hecha con malla gruesa de cobre, a la malla de referencia de tierra con buenas soldaduras. (4) Las tuberías de agua, aire acondicionado, aire a presión y vapor, (las que haya) deben estar conectadas a tierra a través de la malla de tierra de referencia. (5) Transformador de aislamiento con pantalla de Faraday y diodos supresores de transitorios para proteger la entrada de alimentación de red. (6) Caja metálica de empalmes que se conecta a tierra en el mismo punto donde se conecta el tubo metálico. (7) Toma de tierra general del edificio. (8) Conexión a la viga o columna metálica más próxima. (9) Transformador de aislamiento. (10) Pantalla de Faraday. (11) Choque inductivo cuyo valor dependerá del tipo de EMI detectado en la toma de tierra general del edificio.

(b) Protecciones a instalar en el caso de necesitar interconectar un gran computador o una red local de PC a líneas de datos provenientes del exterior del edificio.

(1) Protección primaria (descargadores de gas, varistores) en la entrada del edificio. (2) Protección secundaria en la misma habitación del computador. (3) Computador o red local de PC. (4) Consola terminal del computador u ordenador personal.

#### **4.3.2.3. RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LAS INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS EN EQUIPOS YA CONSTRUIDOS**

Para resolver el problema de las interferencias electromagnéticas, es más importante, más fácil y más eficaz realizarlo en las fases de diseño del equipo que cuando esta ya en

servicio. Por tanto, se deben realizar diseños de equipos que no sean fuentes de interferencias o susceptibles a las mismas.

En nuestro caso se presenta el problema de las interferencias electromagnéticas entre equipos ya construidos y que están o estarán en servicio, por lo que se considerará a continuación ciertas recomendaciones para los equipos a nivel de usuario.

#### **4.3.2.4. NORMAS PRACTICAS DE INTERCONEXIÓN**

- Para disminuir el riesgo de inducción magnética es necesario que exista una menor área entre cada cable que transmite una señal y su conductor de retorno, esto se logra trenzando cada uno de los cables mencionados.
- Esto permite la transmisión de señales a mayores frecuencias sin que se produzca una distorsión significativa y se reducen los efectos de carga inductiva sobre la fuente. La menor distancia entre conductores produce la cancelación de sus campos magnéticos respectivos, reduciendo también así el acoplamiento inductivo con otros conductores de señal.
- Cuando se utiliza cables multiconductores para transmitir varias señales individuales sensibles, estos deben consistir en pares trenzados teniendo cada par trenzado su pantalla, que debe estar aislada de las de los otros pares durante la transmisión.
- Los cables multiconductores deben tener una pantalla general.
- Los conductores y las pantallas que no se usen deben conectarse a masa y nunca dejarse al aire. Cuando se usen cables multiconductores, la mitad de estos conduc-

tores y pantallas que no se usen se deben conectar en un extremo, y la otra mitad en el otro extremo.

- Los cables de potencia deben situarse lo mas próximos que sea posible entre sí, para maximizar la cancelación mutua de los campos magnéticos generados por los conductores.
- Es conveniente que los conductores que transporten corrientes alternas vayan trenzados con sus conductores de retorno.
- Todas las pantallas electrostáticas se deben terminar en un solo punto. Este punto debe estar al mismo potencial eléctrico que aquel con respecto con al cual esté referenciada la señal; es decir, el conductor de potencial cero del equipo, o punto de masa.
- La pantalla de un cable coaxial se usa a menudo como conductor de retorno de señal. Cuando es así, la pantalla debe ser considerada como un conductor normal de un cable de dos conductores, y no se debe suponer que existe efecto alguno de apantallamiento electrostático. Para conseguir tal efecto se debe usar en este caso un cable comercial triaxial o cuadraxial (cables coaxiales apantallados con varios blindajes).
- Los conductores de señal de bajo nivel no deben ir paralelos con los conductores de alta intensidad o alta tensión.
- No se deben enterrar conductos metálicos que contengan cables de señal cerca de líneas de transmisión de voltaje desconocido, o en las proximidades de corrientes de tierra.
- El cableado debe llevarse preferentemente alrededor, antes que a través de áreas con interferencias. Si dos cables que llevan señales con diferentes clasificación de-

ben cruzarse, deben hacerlo a 90°, antes que hacerlo gradualmente a lo largo de un gran trecho.

- Los cables de datos y de señal se deben clasificar de acuerdo con los cables adyacentes. Si dos cables transportan tensiones, corrientes o frecuencias muy distintos, deben llevarse físicamente separados.

#### **4.3.2.5. REDUCCION DE LAS INTERFERENCIAS EN SU ORIGEN**

Existen métodos que se pueden aplicar cuando los equipos están ya instalados tomando en cuenta el ambiente en el que se encuentran, a continuación se presenta un resumen de ellos:

- Suprimir los arcos producidos por la conmutación de contactos.
- Supresión con redes RC, conectadas en paralelo con la carga, generalmente inductiva, o con el propio contacto. Para relés CA o CC, una resistencia de 220  $\Omega$  en serie con un condensador de 470  $\eta$ F, 1000 V con buena respuesta a alta frecuencia, suele ser suficiente. Es más efectivo conectar la red en paralelo con la carga que en los contactos.
- Si se usan limitadores de tensión (semiconductores, varistores, descargadores, etc.) se los debe combinar, preferiblemente, con la red RC

Al usar redes de supresión de interferencias se puede ver modificada la velocidad de operación de la carga.

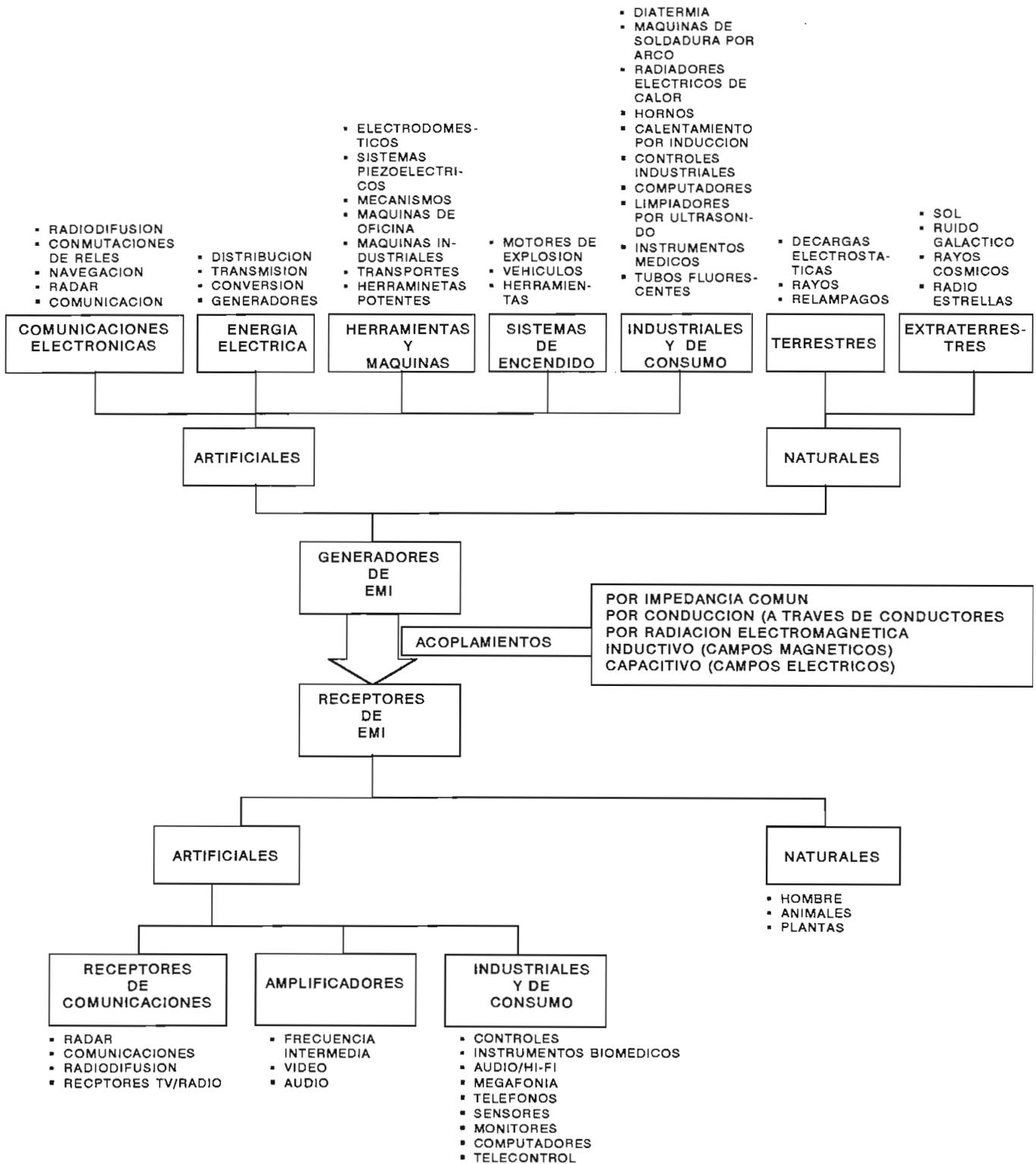
- Cargas inductivas. Se debe instalar redes RC con o sin limitadores de tensión en todas las cargas inductivas existentes (motores, electroválvulas, bobinas, etc.)
- Rectificadores y equipos con tiristores. Es posible reducir las interferencias producidas por estos elementos utilizando inductores adecuados en serie con el elemento que conmuta, lo cual obligara también a utilizar una red RC en paralelo con el tiristor para proporcionar la corriente de mantenimiento necesaria inicialmente hasta que la corriente de carga aumente a ese nivel.
- Sobretensiones transitorias. Se utilizan descargadores para descargas atmosféricas de acuerdo con la tensión de la línea y conectados desde cada conductor de potencia hasta tierra. Se pueden utilizar otros limitadores de tensión, siempre que tengan la potencia suficiente para soportar el transitorio.
- Cuando sea posible se debe encerrar las fuentes de interferencias en compartimentos apantallados y evitar los bucles de corriente o minimizar sus áreas.

#### **4.3.2.6. REDUCCION DE INTERFERENCIAS EN EL EQUIPO RECEPTOR**

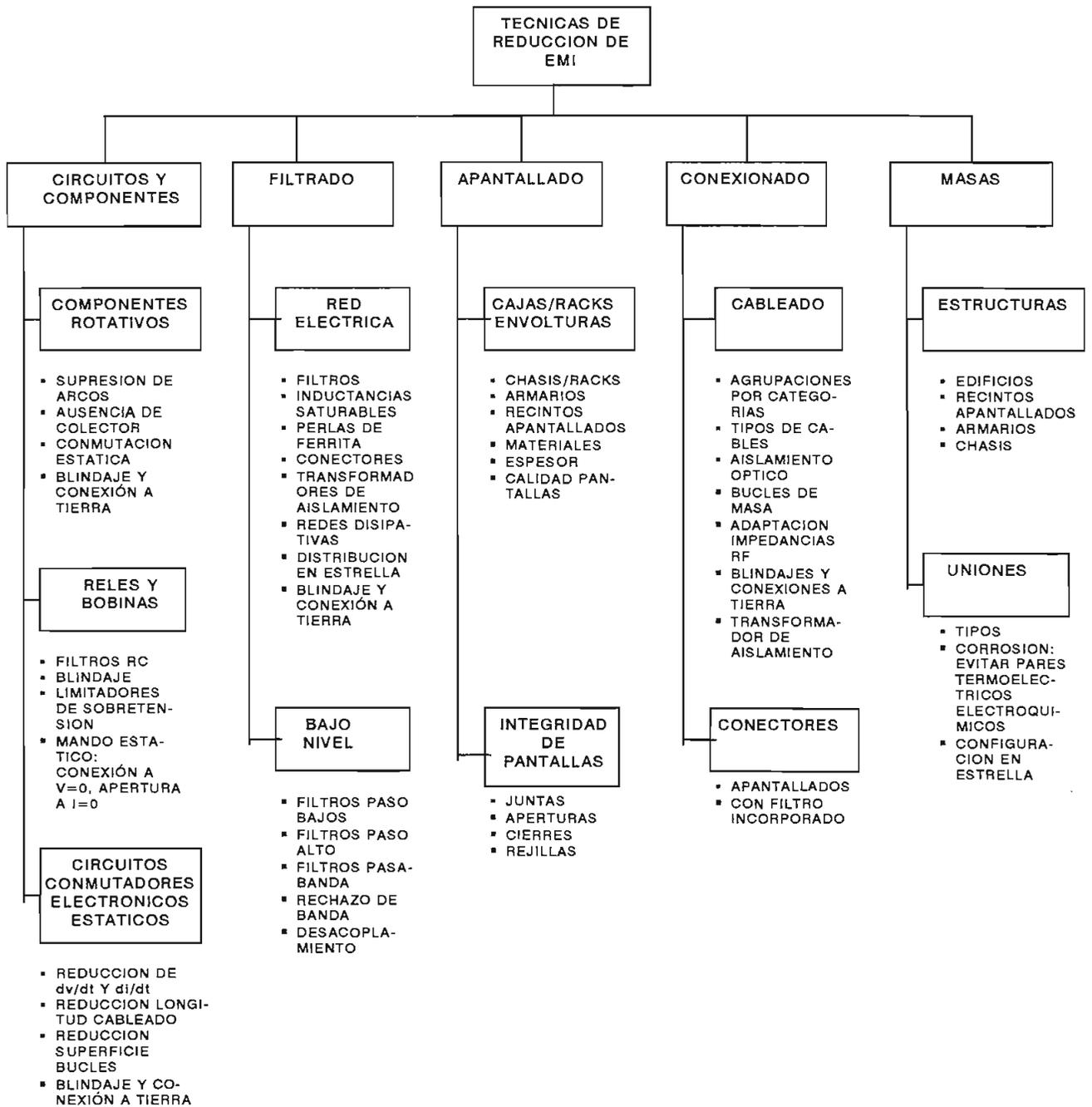
- Trenzar y apantallar los cables de señal
- Conectar a masa la pantalla de los cables utilizados para proteger señales de baja frecuencia y bajo nivel en un solo extremo
- Conectar a masa los dos extremos de la pantalla de los cables coaxiales cuando existen señales de alta frecuencia.
- Hacer las conexiones de masa lo mas cortas posible

- Utilizar un solo punto de masa para todo el sistema y conectarlo a tierra.
- Utilizar filtros selectivos de frecuencia cuando sean aplicables
- Utilizar compartimentos apantallados para circuitos especialmente sensibles
- Utilizar planos de masa
- Proporcionar un adecuado filtrado a la alimentación de los equipos.
- Un blindaje puesto a masa en uno o más puntos apantalla contra campos eléctricos.

En las figuras 4.3. y 4.4. se resumen los emisores y receptores de interferencias electromagnéticas y las técnicas de reducción de las mismas.



**Figura 4.3.** Diagrama general de los generadores y receptores de interferencias electromagnéticas con sus caminos de acoplamiento.



**Fig 4.4.**

**Diagrama resumido de técnicas de reducción de interferencias electromagnéticas.**

#### 4.4. DISEÑO

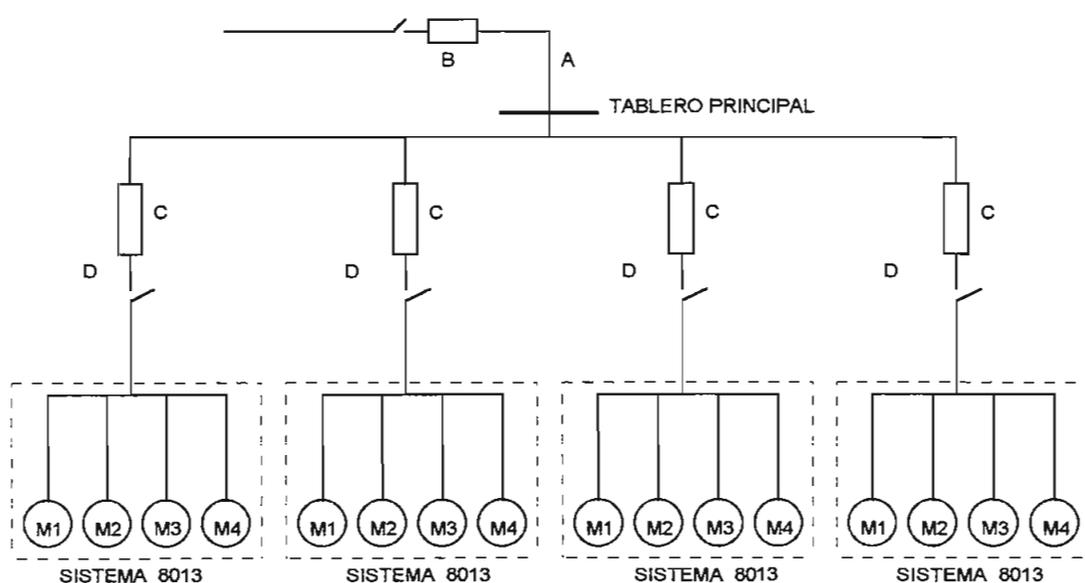
Para desarrollar el diseño de la instalación eléctrica para los nuevos requerimientos se toma como referencia los datos de las hojas de especificaciones del sistema completo Lab-Volt 8013 que detallan lo siguiente:

<b>Power Input</b>	120/208V – 60 Hz – 3 fases – 5 conductores – conexión estrella – incluye neutro y tierra
<b>Input Line Current</b>	15 A
<b>Motor rating</b>	2 kW
<b>Generator rating</b>	1.5 kW/kVA
<b>Space required per system workstation</b>	(*) 10 m <sup>2</sup>
<b>Standard-size Module Dimension</b>	30.8H x 28.6W x 50.0D cm
<b>Half-size Module Dimension</b>	15.4H x 28.6W x 41.9D cm
<b>Mobile Workstation</b>	130H x 90W x 50D cm
<b>Storage Cabinet</b>	160H x 120W x 50D cm
<b>Motor (including Carriage) Dimension</b>	83.0H x 40.0W x 60.5D cm
<b>Weight: System 8013-1</b>	963 kg (2119 lbs)

(\*) Esta área requerida considera todo los elementos del sistema electromecánico, es decir, la estación de trabajo, el gabinete de almacenaje y los cuatro motores en sus carros. Como se verá más adelante, esta área de trabajo se ha disminuido considerablemente.

Se ha determinado implementar en el Laboratorio cuatro Sistemas de entrenamiento electromecánico Lab-Volt 8013 completos, el diagrama unifilar para esta distribución se

presenta en la **Figura 4.5** En este diagrama se identifica los elementos descritos en el capítulo 2 acápite 2.1.3.2, estos son el alimentador (A) y su protección (B), los circuitos derivados (D) y sus respectivas protecciones (C), los controles de los motores junto con los aparatos de medición y protección se encuentran integrados en los paneles del sistema de entrenamiento Lab-Volt.



**Figura 4.5** Diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas de los sistemas de entrenamiento Lab-Volt 8013

De donde se tiene los siguientes elementos:

MOTOR	TIPO	POTENCIA
M1/G1	Motor/Generador DC	2 kW/1.5 kW/kVA
M2	Motor de Inducción JA 3Ø	2 kW
M3	Motor de Inducción RD 3Ø	2 kW
M4/G4	Motor/Generador Síncronico 3Ø	2 kW/1.5 kW/kVA
JA: Jaula de Ardilla      RD: Rotor Devanado		
2 kW/1.5 kW = 2.68 hp/2 hp		

En cada estación de trabajo Lab-Volt 8013 se encuentra una fuente de suministro de energía separada que provee toda la alimentación AC y DC necesaria para cada estación de trabajo. Con esto se aprovecha al máximo el equipo de laboratorio a la vez que se reduce las interferencias con otros experimentos de laboratorio que se realicen simultáneamente.

## **CALCULOS**

El sistema Lab-Volt 8013 es un moderno sistema modular conformado por paneles que pueden ser fácilmente insertados en la estación de trabajo. Todo el sistema de medida, control y protección viene integrado en los respectivos módulos, además que la interconexión de las máquinas con el sistema modular se realiza con cables incluidos en el sistema. Esto da a entender que todo el sistema está diseñado para un correcto desempeño en los experimentos establecidos para el mismo. Los cálculos presentados a continuación permiten determinar el calibre y protecciones de los circuitos derivados y alimentador para los cuatro Sistemas Electromecánicos Lab-Volt 8013 los mismos que podrán ser implementados al sistema original sin que exista ninguna interferencia con los circuitos de las mesas que conforman el actual laboratorio.

Para cada sistema completo Lab-Volt 8013 se tiene, según los datos del fabricante, una corriente de entrada al sistema  $I_S = 15A$  que será utilizada en los siguientes cálculos:

### **CIRCUITO DERIVADO (D)**

Desde la salida de fuerza hasta el tablero de control.

$$I = 1.25 \times I_S = 1.25 \times 15$$

$$I = 18.75A$$

Calibre del Conductor según la tabla 4.A: **12 AWG**

#### **Protección circuito derivado (C):**

$$I = 1.5 \times I_S = 1.5 \times 15$$

$$I = 22.5A$$

Termomagnético: **25A**

### **CIRCUITO ALIMENTADOR (A)**

Desde el tablero de control hasta el tablero principal.

$$I = 1.25 \times I_S + \Sigma I_S$$

$$I = 1.25 \times 15 + 15 + 15 + 15$$

$$I = 63.75A$$

Calibre conductor según tabla 4.A: **4 AWG**

#### **Protección Alimentador:**

$$I = 2.5 \times I_S + \Sigma I_S$$

$$I = 82.5A$$

Termomagnético: **80 A**

## CAIDA DE VOLTAJE

Considerando que se trata de un sistema trifásico de cuatro hilos se empleará la siguiente expresión:

$$e\% = 2 \cdot \frac{LI}{V_n \cdot S}$$

Para los Circuitos derivados de los cuatro sistemas se tiene los siguientes datos:

<b>Circuitos Derivados</b>				
<b>SISTEMA</b>	<b>L</b>	<b>I</b>	<b>S</b>	<b>e%</b>
<b>1</b>	30 m	20 A	3.3090 mm <sup>2</sup>	1.648%
<b>2</b>	33 m	20 A	3.3090 mm <sup>2</sup>	1.813%
<b>3</b>	35 m	20 A	3.3090 mm <sup>2</sup>	1.923%
<b>4</b>	30 m	20 A	3.3090 mm <sup>2</sup>	1.648%
<b>Circuito Alimentador</b>				
	20 m	55 A	13.3030 mm <sup>2</sup>	0.752%

Como se puede observar en la anterior tabla, las caídas de voltaje en los circuitos derivados y alimentador son significativamente menores que la máxima especificada en la norma, 5% y 3% respectivamente, lo que indica que los calibres de conductores son adecuados para esta aplicación, a continuación se presenta un resumen de los resultados:

CIRCUITO DERIVADO		CIRCUITO ALIMENTADOR	
CALIBRE	PROTECCION (TERMOMAGNETICO)	CALIBRE	PROTECCION (TERMOMAGNETICO)
12 AWG	25 A	4 AWG	80 A
<b>PUESTA A TIERRA CALIBRE 12 AWG</b>			

Una estimación de la cantidad de material y sus costos se detalla en la siguiente tabla:

COSTO DEL MATERIAL			
CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	TOTAL DE MATERIAL (UNIDADES)	PRECIO TOTAL (\$)
Alambre TW, No. 12 AWG 3 FASES+1NEUTRO	S/.4 000	370 metros	S/.1'480 000
Alambre TW, No. 12 AWG 1 TIERRA	S/.4 000	30 metros	S/.120 000
Interruptor Termomagnético 3Øx25A	S/.854 500	4	S/.3'418 000
Interruptor Termomagnético del Alimentador 3Øx80A	S/.1'550 250	1	S/.1'550 250
Alambre TW, No. 4 AWG 3FASES+1NEUTRO	S/.75 000	20 metros /fase	S/.1'500 000
Tubo Conduit metálico de 3/4"	S/.70 000 (c/3m)	7.5 metros	S/.210 000
Cajas de conexión de 4"	S/.17 000	4	S/.68 000
		<b>TOTAL:</b>	S/.8 346 250

### OBSERVACIONES:

El actual Laboratorio cuenta con un sistema de canalizaciones para el alambrado hacia cada mesa instalada el mismo que será utilizado también para llevar los alambres desde

los nuevos terminales de los Sistemas Lab-Volt hacia el Tablero de Control y de este hacia el Tablero Principal. Estos canales cuentan con espacio suficiente como para que el nuevo tendido de alambres no interfiera con el antiguo, existiendo además una ventilación adecuada por lo que se los aprovechará para el presente diseño.

## **DISTRIBUCIÓN FÍSICA EN EL LABORATORIO**

Tomando en cuenta el uso continuo que se da a los equipos y máquinas actuales por parte de estudiantes de diferentes facultades o tecnologías, y la construcción misma de las mesas existentes formadas por una mezcla de concreto que representarían un alto costo el desarmarlas, se ha considerado mantener inamovibles las mesa actuales y ubicar los sistemas Lab-Volt 8013 en el espacio libre que se encuentra en la parte posterior del Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Puesto que el sistema Lab-Volt 8013 completo incluye un armario o gabinete cuya función es únicamente proveer el espacio para almacenar los módulos ordenadamente, se ha determinado que estos gabinetes no formen parte del área de trabajo propiamente dicha por lo que el espacio requerido por cada sistema de entrenamiento se reduce a un área  $A = 2\text{m} \times 2\text{m} = 4\text{m}^2$ .

La distribución de estos sistemas dentro del Laboratorio de Máquinas Eléctricas está representado en el Plano de ubicación del equipo de trabajo del **Anexo A.2**.

El suministro de energía eléctrica necesaria para estos sistemas se lo llevará a través de cables, anteriormente dimensionados, y utilizando los conductos o canales existentes lo que representará un proceso relativamente fácil.

Debido a que la estación de trabajo (WorkStation) tiene integrada una superficie horizontal móvil, no será necesario construir o contar con mesas extras, teniéndose de esta manera todo el espacio libre para el correcto desarrollo de las experiencias; así mismo, el espacio o área de trabajo necesaria para las experiencias se la podrá distribuir a conveniencia ya que todos los equipos del sistema Lab-Volt 8013 están montados sobre gabinetes que poseen ruedas lo que facilita la ubicación de los mismos.

# CAPITULO 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Como una parte importante dentro del objetivo del presente trabajo se ha realizado un diagnóstico del sistema actual de suministro de energía, de las fuentes y las máquinas que conforma el actual Laboratorio de Máquinas Eléctricas, este análisis se considera para la selección de los nuevos equipos y finalmente se procede al cálculo de la instalación eléctrica. Las conclusiones sobre estos temas se presentan a continuación:

- La parte mas importante del laboratorio es el sistema del suministro de energía desde el transformador al tablero principal de distribución y de éste al tablero de control principal distribuyéndose desde allí a cada una de las mesas a través de un sistema de cableado el cual se encuentra en buenas condiciones manteniendo aún su vida útil.
- Tratándose del sistema de protecciones del laboratorio de máquinas eléctricas, específicamente el del tablero de control principal, como se ha visto se encuentra conformado por dos clases de dispositivos: interruptores electromagnéticos y fusibles tipo tapón, estos últimos se encuentran en su mayoría fundidos y por ser dispositivos antiguos, su reemplazo se vuelve un problema ya que no se los encuentra en el mer-

cado lo que puede causar interrupción en los sistemas de suministros o distribución de energía que los utiliza.

- Las fuentes de energía en su mayoría se encuentran en buenas condiciones de operación a pesar de lo anticuada que pueda resultar alguna de ellas como lo es el sistema Ward-Leonard de frecuencia variable.
- Hace algunos años atrás la Facultad de Ingeniería Eléctrica contaba para sus laboratorios con una fuente de corriente continua proveniente de un banco de baterías, lamentablemente, debido a que eran del tipo Ácido Plomo, su deterioro fue inevitable quedando inservibles en su totalidad. Implementar una fuente de este tipo puede resultar ser muy útil para aplicaciones en las que se requiere de voltajes continuos puros, sin rizado, como en el caso de trabajos de Tesis o investigación en los que los resultados deben ser lo más exactos posible.
- En lo que respecta a los sistemas de entrenamiento actuales, si bien es cierto que las máquinas que los conforman funcionan en su mayoría, ya están pasando su tiempo de vida útil lo que resultará en que aparezcan fallas frecuentes en su funcionamiento.
- La instrumentación del laboratorio presenta errores en sus mediciones debido a la antigüedad de los mismos por lo que se requiere una modernización urgente con el fin de obtener resultados confiables y exactos.

- Como se ha descrito en este trabajo la fuente de frecuencia variable -grupo Ward Leonard- aún puede seguir funcionando, sin embargo resulta inexacto entregando variaciones de frecuencia con formas de onda distorsionadas en comparación con variadores modernos que, siendo pequeños, compactos y fáciles de maniobrar y movilizar, reemplazan al grupo antes mencionado superándolo en muchos o en todos los aspectos de su desempeño, pero aunque parecería lógico reemplazarlo por *un solo* convertidor de frecuencia de última tecnología que cubra los mismos requerimientos, no se justifica este reemplazo ya que se tendría un solo sistema para todo el conjunto de motores perdiéndose la posibilidad de realizar prácticas individuales e independientes y además que el costo por un sistema de esas características que cubra una mayor potencia sería demasiado alto en relación al costo de sistemas individuales de menor potencia.
  
- Es importante señalar que el tablero de transferencia en su modo automático nunca ha entrado en funcionamiento debido a que presenta problemas con el Relé de frecuencia y uno de sus disyuntores, siendo necesario un análisis más minucioso de sus esquemas eléctricos para solucionar estos inconvenientes.
  
- Toda instalación eléctrica debe contar con una correcta puesta a tierra que cumple con objetivos muy importantes como son el de dar protección, tanto a las personas como a los equipos, contra sobrevoltajes accidentales y el facilitar el paso a tierra de las corrientes de defectos y de las descargas de origen atmosférico. Con esto, por tener el laboratorio máquinas con carcasa metálica el riesgo de descargas accidentales a las personas que las opera es alto si en ellas se produce una falla o contacto acci-

dental de un alambre vivo con las parte metálicas. Por lo tanto es indispensable que todo equipo de laboratorio este puesto a tierra mediante la malla con electrodos existente bajo el piso del mismo, la cual presenta buenas características de conducción.

- El Proyecto BID 085 pretende incorporar al Laboratorio de Control de Máquinas, y con él al sistema de suministro de energía de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, un motor con potencia de 30 HP , 34 A de corriente a plena carga y 460 V trifásico y para determinar si eso es posible fue necesario realizar un análisis del cual se tiene lo siguiente:
  - El arranque del motor será por medio de un variador de velocidad por lo que la corriente en el arranque no afectará a la instalación eléctrica.
  - La alimentación para el motor proviene del Autotransformador (Regulador doble de Inducción) el cual no puede entregar diferentes voltajes simultáneamente por lo que no podrá ser utilizado para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas cuando lo utilice el motor del Proyecto BID 085 y viceversa.
  - De acuerdo al cálculo de la demanda del edificio de la Facultad, el Transformador de Distribución tiene capacidad sobrante como para aceptar otra carga como la de ese motor.
  - Se determino que la caída de voltaje en el alimentador del motor esta dentro del limite establecido en el Código Eléctrico Ecuatoriano.
  - La instalación de este motor no cuenta, aún, con un sistema de puesta a tierra.

Por lo tanto, en base a este análisis, se concluye que el motor del Proyecto BID 085 no puede ser incorporado al Sistema de suministro de energía mientras no se realice una correcta Puesta a Tierra del mismo y se elabore un cronograma de utilización de ese equipo para evitar problemas con el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

- Para realizar un diagnóstico mas exacto de las diferentes máquinas eléctricas de laboratorio seria necesario contar con datos históricos, es decir, con datos acerca de eventos tales como fallas, reparaciones, último mantenimiento, disponibilidad de repuesto, etc.. de cada una de las máquinas para, con este registro, tener una idea mas real del estado de las mismas.
  
- Actualmente se cuenta con una gran variedad de sistemas modulares de entrenamiento para los distintos campos de la técnica que en el caso del presente trabajo se enfoca en los sistemas de entrenamiento en máquinas eléctricas o electromecánicas, estos sistemas presentan características tanto técnicas como didácticas que los convierte en excelentes medios de aprendizaje y adiestramiento para la formación de profesionales que, por decirlo así, cuenten con una instrucción actualizada.
  
- Para implementar el sistema de Entrenamiento en Maquinas Eléctricas se ha considerado las opciones presentadas por los fabricantes Lab-Volt y FeedBack tomando en cuenta para la selección que estos sistemas son versátiles, compactos, flexibles, livianos, totalmente integrados, de montaje rápido y fácil pero que en el caso del modelo 8001 de Lab-Volt y del 60-004 de FeedBack se emplean motores y generadores con rangos de potencia bajos (1/3 HP) que pueden entregar parámetros

erróneos cuando se trabaja bajo carga si esta es muy grande respecto a la inercia de la Máquina, por lo que se selecciona el sistema Lab-Volt 8013 con rangos de potencia de 2 kW, los mismos que tendrían un mejor desempeño en las experiencias del laboratorio.

- Para diseñar una instalación eléctrica de motores se realizan los cálculos en base a la Corriente Nominal o a Plena carga y la Corriente de Arranque del motor la que a su vez depende del tipo de arranque a emplear, siendo el directo el más crítico puesto que es el que mayor corriente absorbe de la alimentación en ese instante por lo que el circuito debe estar dimensionado para este caso si no se emplea un método fijo de arranque.
  
- Con la implementación de nuevos y modernos instrumentos de medición se ha logrado contrastar los resultados obtenidos con los antiguos instrumentos del laboratorio llegándose a obtener resultados reales que difieren considerablemente de los anteriores y que fueron utilizados en la enseñanza práctica de los alumnos, lo cual llega a ser perjudicial para los futuros profesionales ya que los resultados con los que se trabajo vienen a ser únicamente referenciales y concuerdan con la teoría. Por lo tanto se justifica totalmente la modernización y actualización de los instrumentos de medición.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- El sistema de protecciones debe ser revisado y actualizado en lo que se refiere a fusibles tipo Tapón, puesto que algunos de ellos están fundidos y deben ser reemplazados y se sugiere como la mejor opción reemplazarlos todos por Interruptores Termomagnéticos de capacidad adecuada.
  
- La fuente de corriente continua desempeña un papel importante para el correcto desarrollo de los diversos Proyectos que puedan presentarse, por esta razón es recomendable implementar nuevamente esta fuente, tomando en cuenta que en el mercado se encuentra empresas especializadas en el diseño y comercialización de los bancos de baterías de acuerdo a las necesidades y aplicaciones. Cabe mencionar que en el mercado nacional se encuentra Baterías solo del tipo Plomo – Ácido, libres de mantenimiento, con precios que oscilan alrededor de los S/. 900.000 cada una lo que las hace una buena opción considerando que las del tipo Níquel – Cadmio se las debería importar y por lo tanto su costo se incrementaría considerablemente.
  
- Puesto que las máquinas de los sistemas de entrenamiento actuales están llegando al límite de su vida útil, se recomienda que una vez que estas salgan de servicio no se las reemplace por otras máquinas de similares, sino que sean reemplazadas por equipos modulares verticales como los que se propone en la ampliación del Laboratorio para ser utilizados sobre las mesas y empleando las mismas acometidas eléctricas de cada mesa. La adquisición de estos módulos puede ser programada tomando en cuenta el aspecto económico.

- Se recomienda, en lo que respecta a la instrumentación del Laboratorio, cambiar el instrumental analógico por digital.
- Tomando en cuenta la necesidad de obtener variaciones de frecuencia con ondas no distorsionadas se sugiere reemplazar el sistema Ward – Leonard por tres o cuatro sistemas estáticos individuales como los de la marca ABB ACS200 o ACS600 cuyos costos están, a la fecha, entre los \$800.USD.
- Para habilitar el tablero de transferencia en su modo automático sería conveniente realizar un análisis previo de cuan conveniente puede ser utilizar un control de transferencia automático dentro de las instalaciones de la FIE en donde el uso de la energía eléctrica se limita a los horarios de trabajo.
- Es recomendable efectuar chequeos periódicos, cada dos o tres años, de la malla de puesta a tierra, el estado de sus conexiones, conectores y cableado todo esto con un análisis visual de cada elemento.
- Se recomienda, para la utilización del motor del proyecto BID 085, realizar la correcta puesta a tierra del equipo y emplear un transformador independiente del que se pueda obtener los 460 V trifásicos necesarios para alimentar al motor, con esto se libera al autotransformador para que sea utilizado por los otros Laboratorios sin necesidad de elaborar un cronograma de utilización. Además, de acuerdo al análisis de la factibilidad de incorporar ese motor al suministro de energía, la instalación

eléctrica, el transformador de distribución y las protecciones tienen capacidad suficiente como para soportar esa carga adicional.

- Considerando que el laboratorio cuenta con un buen número de máquinas y que éstas han mantenido una frecuencia de uso alta, entonces es lógico realizar un mantenimiento igualmente frecuente de las mismas que con un mínimo costo logre un mayor tiempo de servicio, así como minimice los riesgos de averías imprevistas. Para establecer un buen programa de mantenimiento se cuenta con herramientas que facilitan tal proceso recomendándose la utilización del Programa de Mantenimiento Preventivo de Máquinas Eléctricas (PMPME), desarrollado como parte de la tesis “Optimización de Mantenimiento Preventivo de Máquinas Eléctricas mediante un programa computacional” que presenta un programa que permite automatizar el control del mantenimiento de máquinas eléctricas. Con el uso de éste programa se obtendrán beneficios y resultados como:

- Los trabajos quedarán indicados en la fecha
- Se contaría con tiempo para preparar reparaciones
- Se obtendría un funcionamiento mas eficiente de los equipos
- Aumentaría el rendimiento de las horas hombre
- Disminuiría el costo de mantenimiento
- Habría una reducción en fallas repetitivas y sus causales
- Se tendría seguridad en el trabajo del equipo
- Se establecería de niveles estadísticos

- De acuerdo al diseño del suministro de energía para los nuevos equipos se tiene la ubicación de los mismos en un área específica del laboratorio en donde disponiendo de un canal ya existente, por donde se ha realizado el tendido del cableado eléctrico original, se utilizará esta misma vía para los nuevos cables pero con la sugerencia de llevarlos sobre charolas o en bandejas ubicadas dentro del mismo canal para evitar que el nuevo cableado aplaste al ya existente y llegue a producir calentamiento al interferir con la adecuada ventilación, cortes o fallas por contacto.
  
- Las interferencias son señales de tipo electromagnético que perturban el normal funcionamiento de un sistema eléctrico o electrónico. Así, al existir una sala de computadoras junto al laboratorio de Maquinas Eléctricas puede presentarse claramente un receptor y un emisor de interferencias respectivamente, razón por la cual se recomienda tomar las debidas precauciones siendo conveniente destinar una línea de alimentación exclusiva para el conjunto de computadoras, a la entrada de esta línea independiente de red se deberá instalar un transformador de aislamiento y será indispensable tener instalada una buena toma de tierra.

## **ANEXOS**

# **ANEXO A**

## **PLANOS**

## **ANEXO B**

### **DIAGRAMA UNIFILAR DEL SUMINISTRO DE ENERGIA**

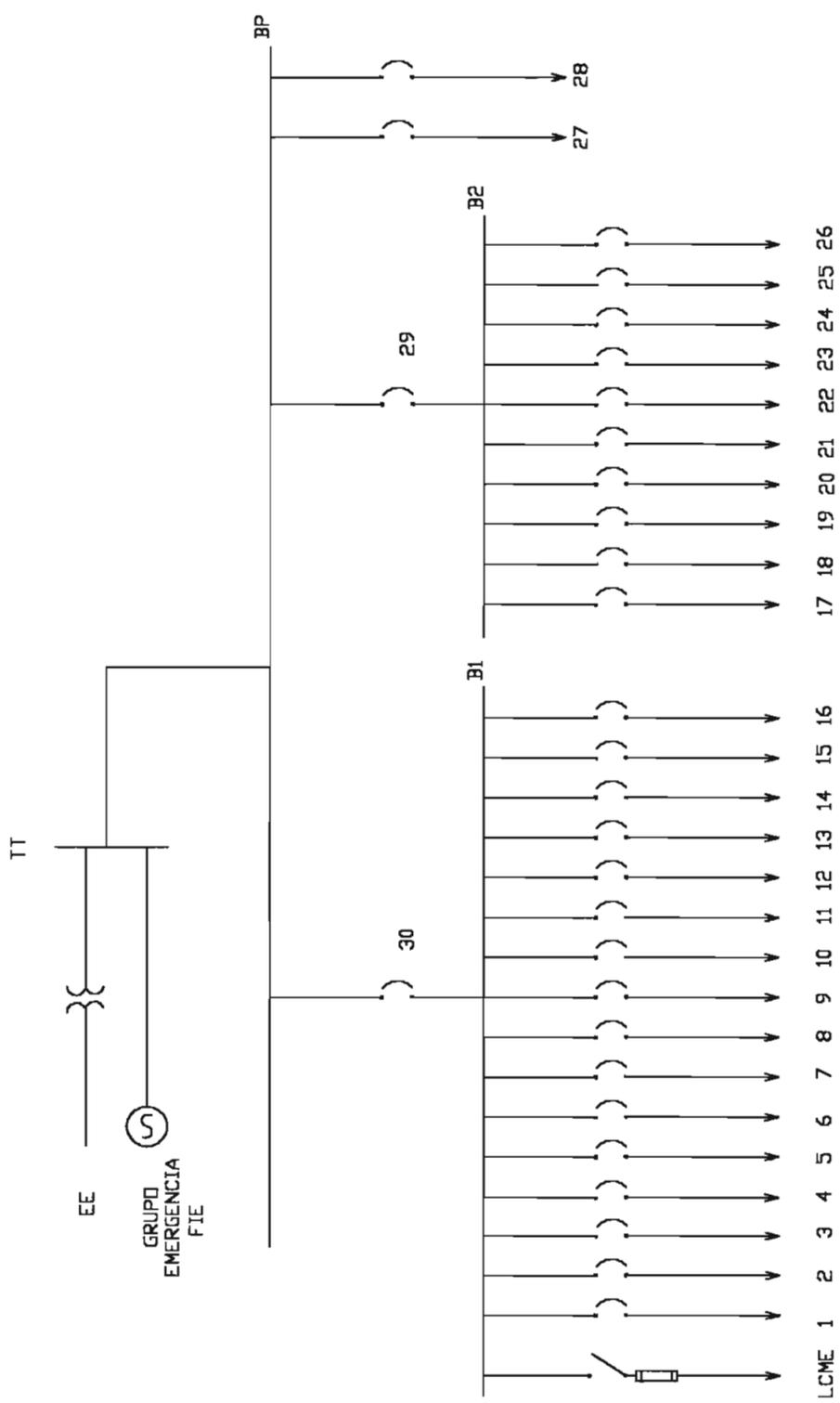


FIGURA B.1. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SUMINISTRO DE ENERGIA

# **ANEXO C**

## **DISTRIBUCION DE CARGAS EN EL TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL**

BREAKER N°	NUMERO DE POLOS	CORRIENTE A	VOLTAJE V	FASE UTILIZADA	ZONA ALIMENTADA
1	3	20	240	RST	LAB. ELECTRONICA (F)
2	3	20	240	S	AULA E207 (I)
3	3	30	240	RST	ELECTRONICA
4	3	20	240	RST	NO ASIGNADO
5	3	30	240	RT	SUBDECANATO
6	3	30	240	RT	LAB. ELECTRONICA - AULA E207 (I)
7	3	70	240	RST	LAB. ELECTRONICA DE POTENCIA (MESAS)
8	3	50	240	RST	NO ASIGNADO
9	3	20	240	ST	LAB. SEP (F)
10	3	20	240	RST	LAB. DISEÑO (F)
11	3	20	240	RST	LAB. ELECTRONICA (F)
12	3	20	240	RST	NO ASIGNADO
13	3	30	240	RST	NO ASIGNADO
14	3	30	240	RST	CONTROL INDUSTRIAL - HALL DEL SUBSUELO
15	3	50	240	RST	INSTRUMENTACION - TOMAS DEL HALL
16	3	50	240	RST	LAB. ALTO VOLTAJE
17	3	30	240	RST	TALLER ELECTRICO - HALL DEL SUBSUELO (I)
18	3	30	240	RST	MONTACARGAS
19	3	50	240	RST	NO ASIGNADO
20	3	50	240	RST	NO ASIGNADO
21	3	30	240	RST	NO ASIGNADO
22	3	50	240	RST	NO ASIGNADO
23	3	30	240	RST	DECANATO - LAB. INFORMATICA Y POTENCIA
24	3	30	240	RST	TALLER ELECTRICO (F)
25	3	50	600	RST	LAB. CIRCUITOS
26	3	50	600	RST	OFICINA ELECTRONICA - HALL TERCER PISO (I)
27	3	125	600	RST	GENERAL DE TRANSFERENCIA AL GENERADOR (OFF)
28	3	200	600	RST	GENERAL DE TRANSFERENCIA AL GENERADOR (OFF)
29	3	100	600	RST	INTERRUPTOR GENERAL DEL TABLERO DE DISTRIBUCION
30	3	250/400	600	RST	INTERRUPTOR GENERAL DEL TABLERO DE DISTRIBUCION
31	3	200	600	RST	NO ASIGNADO
LCME	3	150	250	RST	LAB. CONTROL DE MAQUINAS ELECTRICAS

Figura C.1. Distribución de protecciones en el Tablero Principal de Distribución (numeración de acuerdo al diagrama unifilar)

# **ANEXO D**

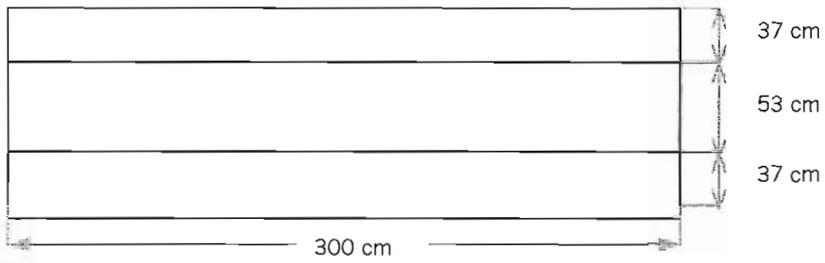
**DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO**

**DE CONTROL PRINCIPAL**

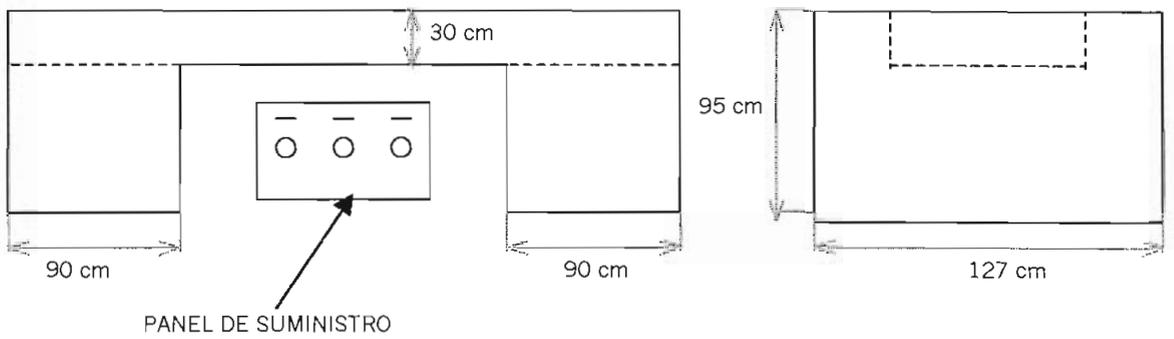
# **ANEXO E**

## **DIAGRAMA DESCRIPTIVO DE LAS MESAS DE TRABAJO**

En los siguientes esquemas se presenta como están conformadas las mesas de trabajo incluyendo sus dimensiones:



**Vista Superior**



**Vista Frontal**

**Vista Lateral**

# **ANEXO F**

## **DESCRIPCION DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS ACTUALES**

MAQUINA	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
CLASE	INDUCCION	INDUCCION	SINCRONICA	MOT. SHUNT	MOT. REPULSION	MOT. GEN.	MOTOR
TYPE	S611	S611	S611	S611	S611		1KD1205-4BB60
VOLT	110	110	220	220/380	220	230 D	220 D
P (CV)	2	3.5			0.3		
Nº	16	1	2	19	9		
I (AMP)	18	28	7.25	9,9-13,5/5,7-7,8	3.15	8.7	18 (10)
P (WATTS)				850-3300			4100 (1450)
Ex (VOLT)	110	110					
Tm (rpm)	1800	1800	1800	675-2500	1800	1800	2100 (750)
n (%)					35		
VA			2750			3500	
ph			3		1	3	3
frec (Hz)			60	60	60	60	60
fp			0.8	0,49-0,95	0.7	0.8	

Tabla A.F.1. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio (Sala principal)

MAQUINA	E1	E2	F1	F2	G1	G2	G3
CLASE	CC	CC	AMPLIDINA	AMPLIDINA	WARD LEONARD	WARD LEONARD	WARD LEONARD
TYPE	S611	S611	S611	S611	S611	S611	S611
VOLT	110	110	220/380	220	110	110	220/380
P (CV)	2	3.5	5				4
Nº	16	1	20	20	16	16	16
I (AMP)	18	28	14/8,1	10,5	1,8	18,2	11/6,5
P (WATTS)				2300	200	2000	
Ex (VOLT)	110	110		110/15	110	110	
Tm (rpm)	1800	1800	3450	3450	1800	1800	1800
n (%)							
VA							
ph			3				3
frec (Hz)			60				60
fp							

Tabla A.F.1. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio (Sala principal)

MAQUINA	H	II	I2	J1	J2
CLASE	FRENO FOUCAULT	AC	FRENO DINAMOMETRICO	BALANZA	GEN.SHUNT
TYPE		S611	S611	S611	
VOLT		220/380	110	110	110
P (CV)	2				
N°		17	4	1	
I (AMP)		7/4,04	22.7	18.2	48
P (WATTS)			2500	2000	5000
Ex (VOLT)	110 Vcc		110	110	
Tm (rpm)	1800/4000max	1800	1800	1800	2000/3600
n (%)					
V/A					
ph		3			
frec (Hz)		60			
fp					

Tabla A.F.1. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio (Sala principal)

MAQUINA	K1	K2	L1	L2
CLASE	HAMPDEN	HAMPDEN	GEN. SHUNT	INDUCCION
TYPE	DM-100	DM-100		S611
VOLT	125	125	110	220/380
P (CV)	1/3 HP	1/3 HP		5.5
N°				3
I (AMP)	3.5	3.5	40	16,3/9,55
P (WATTS)			5000	
Ex (VOLT)				
Tm (rpm)	1725			1740
n (%)				
VA				
ph				3
frec (Hz)				60
fp				0.8

Tabla A.F.1. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio (Sala principal)

GRUPO DE MAQUINAS MQR1

TIPO	G1092-4	B3	P22	TIPO	R1226-4	B3	P22
GENERADOR CC	N° N617197	VDE 0530		MOTOR INDUCC	N° N825396	VDE 0530	60 P/S
CL...- aislamiento:	POLO PRAL. E	POLO AUX. B	INDUC. B	CL...- aislamiento:	E		
V	A	rpm	KW	V	A	rpm	KW
300	63	1745	19	220 DELTA	79	1745	22.2
EXCIT.	SEPARADA	186 V	2.4 A	ROTOR	JAULA ARDILLA	KL13	fp
3000 m	SOBRE NIVEL DEL MAR			3000 msnm	REFRIGERANTE	30 C	0.84
REFRIGERANTE	30 C			DIN TAMANO CONS.	160L		

GRUPO DE MAQUINAS MQR2

TIPO	G1592-4	B3	P22	TIPO	R1426-4	B3	P22
GENERADOR CC	N° N616993	VDE 0530		MOTOR INDUCC	N° N825837	VDE 0530	60 P/S
CL...- aislamiento:	POLO PRAL. E	POLO AUX. B	INDUC. B	CL...- aislamiento:	E		
V	A	rpm	KW	V	A	rpm	KW
75	117	1755	8.8	220 DELTA	120	1755	36
245	115	1755	28.2	ROTOR	JAULA ARDILLA	KL13	fp
390	72	1755	28	3000 msnm	REFRIGERANTE	30 C	0.87
EXCIT.	SEPARADA	178 ... 24 V	4,4 ... 0,4 A	DIN TAMANO CONS.	180L		
3000 m	SOBRE NIVEL DEL MAR	REFRIGERANTE	30 C				

GRUPO DE MAQUINAS MQR3

Tabla A.F.2. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio  
(Cuarto del Rectificador)

TIPO	OF1292-4	B3	P22	TIPO	QG1292-4	B3	P22
ALTERN.TRIF.	N° N790787		1964	INDUCCION	N° N617366	VDE 0530	
CL... aislamiento:	B	REFR. 30C	15/60/100 P/S	CL... aislamiento:	POLO PRAL. E	POLO AUX. B	INDUC. B
V Y	A	rpm	KVA	V Y	A	rpm	KVA
57	70	450	7	75	117	450	6.5
230	70	1800	28	245	115	1800	25
385	42	3000	28	390	72	3000	25
100/60 V	8/5 A		fp	EXCIT.	SEPARADA	190 V	1.8 A
VENT.SEP.	0.145 m/s	26 mm c.d.a.	0.8	VENTILACION	SEPARADA	0.155 m/s	
				3000 m	SOBRE NIVL MAR	REFRIGERANTE	30 C

VENTILADOR	TIPO	L258	N° N901794
MOTOR TIPO	R8.9 - 2E4		
0.22 KW	220/380 D/Y V	60 P/S	
1.17/0.68 A	3400 rpm		

Tabla A.F.2. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio  
(Cuarto del Rectificador)

MAQ M1

AEG		AEG	
TYPE	EU 45	TYPE	EU 45
G.MOT.	N° 456301	EU	N° 456301
220 V	10.5 A	150 V	8.4 A
DB 1.8 KW		DB 1.8 KW	fp 1
1500 rpm		1800 rpm	60 Hz
Erreg	165 V 0.95 A	Erreg	140 V 0.82 A
ISOL-KL. E/B	POO	ISOL-KL. E/B	POO
VDE	530/3.59	VDE	530/3.59

MAQ M2

AEG		AEG	
TYPE	DGA 45/4	TYPE	DGA 45/4
D - MOT	N° 456303	D - GEN	N° 456303
D/Y 230/400 V	4,45/2,56 A	D/Y 230/400 V	3.8/2,17 A
DB 1,5 KW	fp 1	DB 1,5 KVA	fp 0,9
1800 rpm		1800 rpm	60 Hz
Erreg	140 V 0.66 A	Erreg	165 V 0.78 A
ISOL-KL. E/B	POO	ISOL-KL. E/B	POO
VDE	530/3.59	VDE	530/3.59

MAQ M3

AEG		AEG	
TYPE	DGA 45/4	TYPE	DGA 45/4
D - MOT	N° 456302	D - GEN	N° 456302
D/Y 230/400 V	4,45/2,56 A	D/Y 230/400 V	3.8/2,17 A
DB 1,5 KW	fp 1	DB 1,5 KVA	fp 0,9
1800 rpm		1800 rpm	60 Hz
Erreg	140 V 0.66 A	Erreg	165 V 0.78 A
ISOL-KL. E/B	POO	ISOL-KL. E/B	POO
VDE	530/3.59	VDE	530/3.59

MAQ M4

TYPE	A		2.2	n/4R
D MOT.	N° 9007338			AEG
D/Y	220/380 V		8/4,6 A	
1,8 KW	fp 0,77			
1650 rpm		60 Hz		
Lfr	Y		7,8 V	15 A
VDE	530/55		ISOL-KL	EPR

Tabla A.F.3. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio (Grupo M)

MAQ N1

AEG		AEG	
TYPE	G 27	TYPE	G 27
G - GEN	N° 667795	G - MOT	N° 667795
220 V	4,1 A	220 V	4,85 A
DB	0,9 KW	DB	0,8 KW
2300 rpm		1340/2300 rpm	
ISOL-KL E/B	POO	ISOL-KL E/B	POO
VDE	530/7.55	VDE	530/3.59

MAQ N2

AEG		AEG	
TYPE	G 27	TYPE	G 27
G - GEN	N° 667813	G - MOT	N° 667813
220 V	4,1 A	220 V	4,85 A
DB	0,9 KW	DB	0,8 KW
2300 rpm		1340/2300 (3600) rpm	
ISOL-KL B	POO	ISOL-KL B	POO
VDE	530/7.55	VDE	530/3.59

MAQ N3

AEG		AEG	
TYPE	G 27	TYPE	G 27
G - GEN	N° 667805	G - MOT	N° 667805
220 V	4,1 A	220 V	4,85 A
DB	0,9 KW	DB	0,8 KW
2300 rpm		1340/2300 (3600) rpm	
ISOL-KL B	POO	ISOL-KL B	POO
VDE	530/7.55	VDE	530/3.59

MAQ N4

AEG		AEG	
TYPE	G 27	TYPE	G 27
G - GEN	N° 667792	G - MOT	N° 667792
220 V	4,1 A	220 V	4,85 A
DB	0,9 KW	DB	0,8 KW
2300 rpm		1340/2300 rpm	
ISOL-KL E/B	POO	ISOL-KL E/B	POO
VDE	530/7.55	VDE	530/3.59

Tabla A.F.4. Datos de placa de las máquinas del Laboratorio (Grupo N)

SIEMENS		
RECTIFICADOR DE SEMICONDUCTOR		
TIPO	G 68 - D	115 + 115/25 W - 2
3 x 220 V	f 50 - 60 c/s	115 + 115 V
25 A	CLASE DE CARGA	RES.

TABLA A.9.5. Datos de placa del Rectificador

CARGADOR DE BATERIAS		
TYPE	GBD	Nº 32056
3 x 220 V	60 Hz	88 A

TABLA A.F.6. Datos de placa del Cargador de Baterias

REGULADOR DOBLE DE INDUCCION			
TIPO	RT + RT 1372	DDT/sp	
Nº N790356/357	VDE 0532	1964	PROTECCION POO
AISLAMIENTO A	SERIE 0.5	REFRIG. F	60 c/s
P PROPIA NOM.	2 x 25 KVA	fp 0,8	
P NOM. DE PASO	88 KVA	PERMANENTE	
TENSION NOM. PRIM	220 V	SEC 2 x 143/ 3 V	
INTENSIDAD NOM. PRIM.	2 x 88 A	SEC 100 A	
UVW	GRUPO CONEXION	Y0	zyx
ENTRADA	220 V	SALIDA	0...506 V

VENTILADOR	TIPO		Nº N901791
MOTOR TIPO	R 19 - 2 E 5	3370 rpm	
0,55 KW	220/380 D/Y V	2,35/1,35 A	60 c/s

TABLA A.F.7. Datos de placa del Regulador de Inducción

# **ANEXO G**

## **MODULOS PARA ANALIZADORES INDUSTRIALES**

# **ANEXO H**

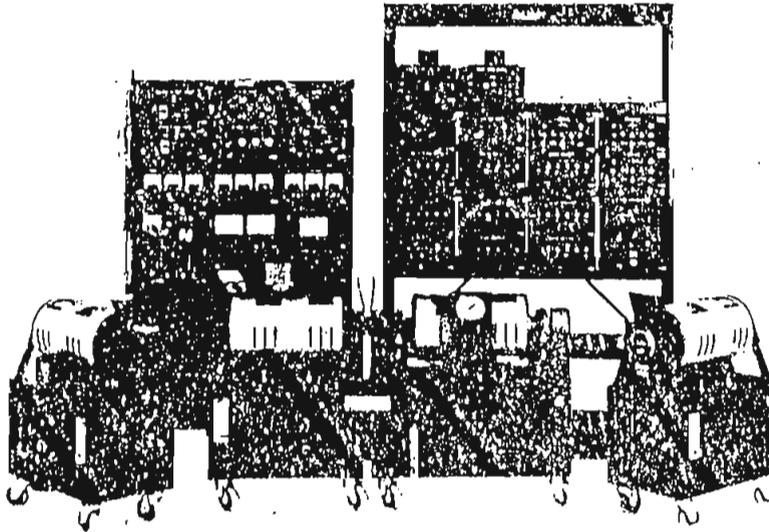
## **DATOS TÉCNICOS DE LOS NUEVOS EQUIPOS**

## **ANEXO H.1.**

### **EQUIPOS SELECCIONADOS**

## HIGH POWER ELECTROMECHANICAL TRAINING SYSTEM SERIES 8013

Electromechanical System  
(EMS) 2 kW



SERIES 8013

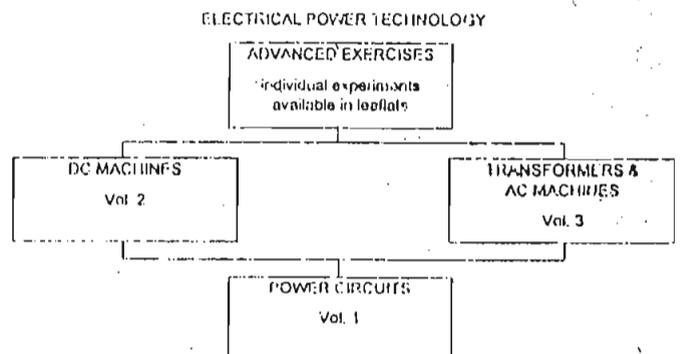
### GENERAL DESCRIPTION

The Lab-Volt High Power Electromechanical Training System, Series 8013, is a modern, modular, instructional program. It represents a new approach to teaching electric power technology by providing new opportunities for laboratory observations. The program, presented in three subsystems and advanced exercises, deals with the different techniques associated with the generation and use of electrical energy. The subsystems cover the common machines, and each subsystem is offered with its own student manual. The advanced exercises have been developed for intermediate and advanced programs. Each exercise is available in individual leaflet form.

Each subsystem is available as a package that consists of the equipment necessary to perform the laboratory exercises contained in the correlated student manual.

This modular, instructional program provides the instructor with complete versatility for selecting a program adapted to students' specific career objectives.

The system was developed by educators to satisfy educational requirements that include industrial appli-



cations of electrical power technology. The design objective was to develop a 2 kW educational system of equipment that operates like industrial equipment. Through careful attention to engineering detail, the Lab-Volt EMS System meets this objective: it provides laboratory results that are easy to understand, and data values that are easily observed. The data, when applied to formulas, provide results that verify electrical laws rather than deny them because of large operational tolerance errors.

# GH POWER ELECTROMECHANICAL TRAINING SYSTEM

## SERIES 8013

Laboratory manuals guide the student through the experiments and provide the necessary theoretical background for students to successfully complete the educational objective. These manuals contain experiments that correlate with the training equipment for "hands-on" involvement with the subject matter. The instructor can select those experiments that will satisfy the objectives of technical courses or university programs. The flexibility of this system allows the student to use his or her own initiative during laboratory sessions. Under the direction of an instructor, the student can gain the competencies required for successful employment.

There are two standard module sizes: full size, 154 mm (12.1 in.) high; and half size, 154 mm (6.1 in.) high. All modules can be inserted into a standard mobile workstation (Model 8110), and have plastic faceplates permanently mounted to the module chassis. The modules are constructed from heavy-gauge steel, finished in baked enamel. Symbols and diagrams specific to each module are clearly laser-screened on the plastic faceplates. Standard color-coded safety 4 mm sockets are used to interconnect all system components.

The mobile workstation is equipped with four swivel casters. It contains a general storage cabinet, a pull-out work surface at conventional table or desk level, and spaces to insert the modules required for each experiment. Six full-size, or twelve half-size modules, plus three additional half-size modules can be used simultaneously. For applications requiring additional modules, a bench workstation (Model 8131) can easily be bolted on top of the mobile workstation. These modules are guided into position along stainless steel guide rails, and are held securely in place by a locking mechanism. A module release tool is supplied with each console.

All unused modules can be placed in a fixed storage cabinet (Model 8150). Only the modules required for a given experiment are placed in the console so that the student is not distracted by the unused instruments. The student can learn step-by-step how to use each instrument and module.

Each system machine is permanently mounted on a heavy gauge steel, mobile carriage equipped with four swivel casters. All machines have a double-ended shaft and a quick-coupling mechanism for coupling to other machines in the system. The carriages are equipped with locking devices that permit the connection of two or more machines. Safety panels guard against accidental access to the coupling mechanism.

The machines have a 2 kW motor rating and a 1 kW/kVA generator rating. They have a specifically designed inertia to simulate large-power machines. The frames of the machines are equipped with transparent shatter-proof shields for inspection of the interior. In

addition, all machines are equipped with search coils through which the magnetic flux distribution at various locations in the machine can be observed on an oscilloscope. Machine windings are brought out to the faceplate of the connection module through a heavy-duty interconnecting cable fitted with a keyed connector; therefore, a particular machine can only be connected to its associated wiring module. All windings are individually accessible on the faceplate of the wiring module associated with that machine. Power windings are terminated on color-coded safety 4 mm sockets and search coils on 2 mm banana jacks. The different size sockets prevent accidental connections between power windings and search coils.

Resistance, inductance, and capacitance load components are housed in separate modules. They are designed to provide equal load magnitudes for all three types of loads. The load impedance can be varied in equal steps of unity value by switches provided in all load modules. These characteristics simplify the calculations required in the learning process.

The metering modules are designed to cover the complete range of measurements required with a minimum number of meters. The ac ammeter and voltmeter modules contain three meters each for simultaneously measuring all three currents and voltages on a three-phase system. All meters are designed to sustain starting currents even when used on a low range. Wattmeters are internally connected to read power directly when the input is connected to the source and the output to the load. Protection of vulnerable meter components is accomplished without fuses.

A separate power supply (Model 8525) for each workstation provides total control of the necessary power sources. This allows the student maximum use of laboratory equipment and reduces interference with other simultaneous laboratory experiments. The power supply module provides all ac and dc power required at each station.

The speed of the machines can be measured with a mechanical hand-held tachometer (Model 8920) or an electrical tachometer (Model 8930), which is easily mounted on the machine.

The machines and various components of the system are connected with flexible, PVC-insulated connecting leads terminated with 4 mm safety plugs. These leads (Model 8952) allow safe connection of components without danger of electrical shock, since the live parts of their plugs are concealed and insulated in such a way that they cannot be contacted accidentally. They come in three different lengths; each is identified with a distinctive color. A handy rack can be attached to the console side for inventory and storage of these leads.

# HIGH POWER ELECTROMECHANICAL TRAINING SYSTEM

## SERIES 8013

### TOPIC COVERAGE

#### VOLUME 1 – POWER CIRCUITS

Series and Parallel Equivalent Resistances  
 Resistances in Parallel  
 Resistances in Series and in Series-Parallel  
 Safety and the Power Supply  
 Ohm's Law  
 Circuit Solution, Part 1  
 Circuit Solution, Part 2  
 Prime Mover and Torque Measurement  
 The Wound-Rotor Induction Motor, Part 1  
 The Wound-Rotor Induction Motor, Part 2  
 AC Voltage and Current  
 AC Voltage and Current Measurement  
 The Wattmeter  
 Phase Angle, Real and Apparent Power  
 Capacitive Reactance  
 Inductive Reactance  
 Watt, Var, Volt-Ampere and Power Factor  
 Vectors and Phasors – Series Circuits  
 Vectors and Phasors – Parallel Circuits  
 Impedance  
 Three-Phase Circuits  
 Active, Reactive, and Apparent Power in Three-Phase Circuits  
 Three-Phase Power Measurement  
 Phase Sequence

5 The DC Series Motor  
 6 The DC Compound Motor  
 7 The Separately-Excited DC Shunt Generator  
 8 The Self-Excited DC Shunt Generator  
 9 The DC Compound Generator  
 10 The DC Motor Starter

#### VOLUME 3 – TRANSFORMERS AND AC MACHINES

1 The Single-Phase Transformer  
 2 Transformer Polarity  
 3 Transformer Regulation  
 4 The Autotransformer  
 5 Transformers in Parallel  
 6 The Distribution Transformer  
 7 Three-Phase Transformer Connections  
 8 Prime Mover and Torque Measurements  
 9 The Wound-Rotor Induction Motor, Part 1  
 10 The Wound-Rotor Induction Motor, Part 2  
 11 The Wound-Rotor Induction Motor, Part 3  
 12 The Squirrel Cage Induction Motor  
 13 The Synchronous Motor, Part 1  
 14 The Synchronous Motor, Part 2  
 15 The Synchronous Motor, Part 3  
 16 The Three-Phase Alternator  
 17 The Alternator Under Load  
 18 Alternator Synchronization  
 19 Alternator Power  
 20 The Three-Phase Motor Starters  
 21 Frequency Conversion  
 22 Reactance and Frequency  
 23 Selsyn Control

#### VOLUME 2 – DC MACHINES

Prime Mover & Torque Measurement  
 The Direct Current Motor, Part 1  
 The Direct Current Motor, Part 2  
 The DC Shunt Motor

### SPECIFICATIONS

		120/208V – 60 Hz	220/380V – 50 Hz	240/415 – 50 Hz	
Electrical Distribution	Power Input	3-phase 5 wires star (wye) connected, including neutral and ground			
	Input Line Current	15A	10A	10A	
	Wall Outlet (Lab-Volt P/N)	24852-00	24183-00		
Physical Characteristics	Space required per system workstation	10 m <sup>2</sup> (108 ft <sup>2</sup> )			
	Standard-size Module Dimension	308 (12.1) H x 286 (11.3) W x 500 (19.7) D mm (in.)			
	Half-size Module Dimension	154 (6.1) H x 286 (11.3) W x 419 (16.5) D mm (in.)			
	Motor (Including Carriage) Dimension	830 (32.7) H x 400 (15.7) W x 605 (23.8) D mm (in.)			
	Weight: System 8013-1		NET		SHIPPING
		System 8013-1	963 kg (2119 lbs)	1432 kg (3150 lbs)	
		System 8013-2	351 kg (772.2 lbs)	481 kg (1058 lbs)	
System 8013-3		532 kg (1070 lbs)	780 kg (1716 lbs)		
System 8013-4	948 kg (2086 lbs)	1412 kg (3106 lbs)			

Shipping numbers shown are for English versions. Other languages are available. Consult your Lab-Volt representative for ordering information.

Other workstation models are available, as described in the Model 8110 data sheet on Cabinets.

Other types of tachometers are available, as described in the Accessories data sheet.

Other types of multimeters are available, as described in the Model 8946 data sheet on Multimeters.

— To Be Established

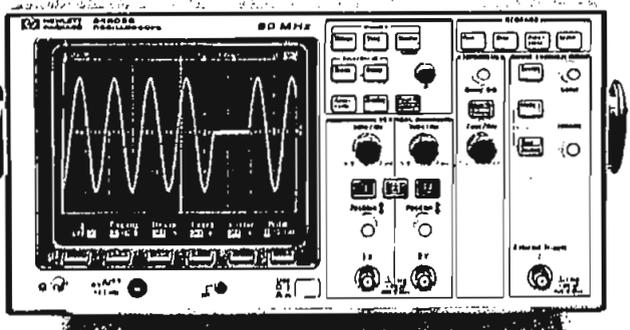
# HIGH POWER ELECTROMECHANICAL TRAINING SYSTEM SERIES 8013

## LIST OF EQUIPMENT FOR SYSTEM 8013-1

QTY	DESCRIPTION	MODEL NUMBER
	Complete High Power Electromechanical Training System (supported by three student Manuals, Vol. 1 to 3) . . . . .	8013-1X
1	Mobile Workstation <sup>2</sup> . . . . .	8110
1	Storage Cabinet . . . . .	8150
1	AC Voltmeter . . . . .	8426
1	DC Motor/Generator . . . . .	8501
1	Wiring Module for DC Motor/Generator . . . . .	8502
1	Four-Pole Squirrel-Cage Induction Motor . . . . .	8503
1	Wiring Module for Squirrel-Cage Induction Motor . . . . .	8504
1	Three-Phase Wound-Rotor Induction Motor . . . . .	8505
1	Wiring Module for Wound-Rotor Induction Motor . . . . .	8506
1	Three-Phase Synchronous Motor/Generator . . . . .	8507
1	Wiring Module for Synchronous Motor/Generator . . . . .	8508
3	Resistive Load . . . . .	8509
3	Inductive Load . . . . .	8510
3	Capacitive Load . . . . .	8511
3	Single-Phase Transformer . . . . .	8512
1	DC Voltmeter/Ammeter . . . . .	8513
1	AC Ammeter . . . . .	8514
1	Three-Phase Wattmeter/Varmeter . . . . .	8515
1	DC Breaker . . . . .	8517
1	Synchronizing Module . . . . .	8518
1	Manual DC Motor Starter . . . . .	8519
1	Synchronous Motor Starter . . . . .	8520
1	Three-Phase Full Voltage Starter . . . . .	8521
1	Three-Phase Rheostat . . . . .	8522
1	Three-Phase Power Factor Meter . . . . .	8523
2	Field Rheostat . . . . .	8524
1	Power Supply . . . . .	8525
1	Automatic DC Motor Starter . . . . .	8526
1	Connection Leads . . . . .	8952
1	Tachometer - Analog <sup>3</sup> . . . . .	8920
1	Electrical Tachometer . . . . .	8930
2	Coupler . . . . .	8943
1	Analog Multimeter <sup>4</sup> . . . . .	8946

# When your budget is limited but your need for quality isn't

These troubleshooting scopes deliver results you can count on at prices that fit any budget. And be sure to check out the rest of the HP 54600 Series scopes on pages 6-13.



### HP 54603B

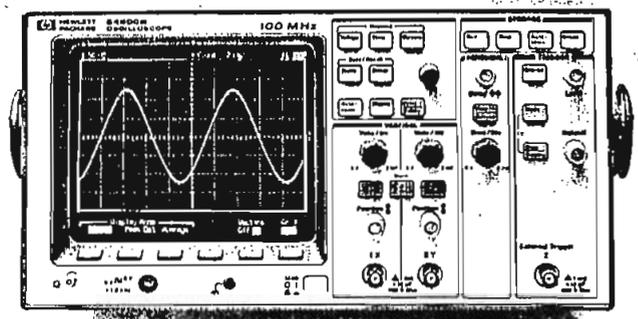
- 60-MHz bandwidth
- 2 input channels
- Timebase range from 5 ns/div to 5 s/div

Equipping a lab under tight budget restrictions used to mean giving up quality and capability. Not anymore. The HP 54603B delivers the features and performance you've always wanted. For colleges and universities, this scope is a great way to introduce students to the world of professional test equipment.

### HP 54600B

- 100-MHz bandwidth
- 2 input channels
- Timebase range from 2 ns/div to 5 s/div

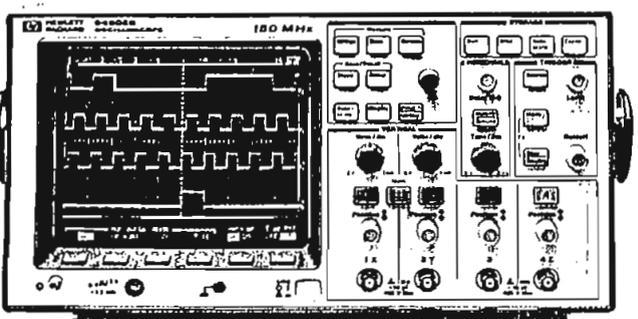
The HP 54600B is ideal for production test, field service and education, where you need solid, dependable scopes at a low price. With prices this low, you can afford to equip your staff without sacrificing measurement capability or confidence in the results.



### HP 54602B

- 150-MHz bandwidth
- 4 input channels (2+2)
- Timebase range from 2 ns/div to 5 s/div

For a high-quality lab scope when your needs go past 100 MHz, take a closer look at the HP 54602B. You get the same capabilities as the other HP 54600 Series scopes, with the added advantage of a 150-MHz bandwidth and 1-mV/div sensitivity.



**WITHIN BUDGET, WITHOUT COMPROMISE**

3B, HP 54600B and HP 54602B Oscilloscopes

	HP 54603B	HP 54600B	HP 54602B
Bandwidth	dc-60 MHz	dc-100 MHz	dc-150 MHz*
Bandwidth (ac coupled)	10 Hz-60 MHz	10 Hz-100 MHz	10 Hz-150 MHz*
Bandwidth (CH 3 & 4)	NA	NA	dc-250 MHz
Number of channels	2	2	4 (2 + 2)
Maximum sample rate (single shot)	20 MSa/s	20 MSa/s	20 MSa/s
Record length (maximum) (single shot)	4,000 points	4,000 points	4,000 points
Record length (single shot)	2,000 points	2,000 points	2,000 points
Display update rate	1,500,000 points/s	1,500,000 points/s	1,500,000 points/s
Vertical sensitivity (CH 1 & 2)	2 mV/div to 5 V/div	2 mV/div to 5 V/div	1 mV/div to 5 V/div
Vertical sensitivity (CH 3 & 4)	NA	NA	0.1 & 0.5 V/div
Accuracy	±2%	±1.5%	±1.5%
Timing error (calculated) (CH 1 & 2)	<5.83 ns	<3.5 ns	<2.33 ns
Timing error (CH 3 & 4)	NA	NA	<1.4 ns
Input impedance	1 MΩ, approx. 13 pF	1 MΩ, approx. 13 pF	1 MΩ, approx. 13 pF
Coupling (CH 1 & 2)	dc, ac or ground	dc, ac or ground	dc, ac or ground
Coupling (CH 3 & 4)	NA	NA	-dc, ground
Maximum input (dc + peak ac)	400 V	400 V	400 V
Time range (main & delayed)	5 ns/div to 5 s/div	2 ns/div to 5 s/div	2 ns/div to 5 s/div
Triggers sources	CH 1, 2, line, or ext.	CH 1, 2, line, or ext.	CH 1, 2, 3, 4, or line
Time base accuracy	±0.01%	±0.01%	±0.01%
Time base resolution	100 ps	100 ps	100 ps
Vertical sensitivity (dc to 25 MHz)	0.35 div or 3.5 mV	0.35 div or 3.5 mV	0.35 div or 3.5 mV**
Vertical sensitivity (dc to max. bandwidth)	1 div or 10 mV	1 div or 10 mV	1 div or 10 mV**
Resolution	8 bits		
Power requirements	Voltage: 100-240 Vac, 45-440 Hz, 220 VA maximum		
Weight	Approx. 6.2 kg (14 lbs)		
Dimensions (incl. handle)	172 mm H x 322 mm W x 317 mm D (6.8 x 12.7 x 12.5 in)		
Warranty	3 years		
Accessories information	101 HP 10098A accessory pouch and front panel cover 102 2 addl. HP 10071A probes (HP 54602B) 103 HP 54654A operator's training kit 104 HP 1185A carrying case 106 HP 34810B BenchLink Scope software for Windows* (see page 44) W50 additional 2-year warranty, available for HP 54600 Series oscilloscopes HP 1183A testmobile HP 34397A dc-to-ac inverter		

Maximum bandwidth on CH 1 & 2 is 100 MHz at 1, 2, and 5 mV/div.  
 HP 54602B, for ranges 1, 2, and 5 mV/div, sensitivity between 25 MHz and 100 MHz on CH 1 & 2 is 1.5 div or 3 mV.  
 \*Windows is a U.S. registered trademark of Microsoft Corporation.



HP 54600B

Putting a reliable trace on the display is just the first step in designing a great measurement solution.

To help you get the most from your scope investment, enhancement modules let you expand your measurement, storage and automation capabilities without buying a new scope. See page 16 for details.

## A GREAT MEASUREMENT SOLUTION

To help you work with your measurement results, HP BenchLink Scope makes it easy to move data from your scope to a PC for analysis, documentation and presentation. See page 44 for details.



Get more from your scope. Ask for a free copy of 8 Hints for Making Better Scope Measurements.

For quality and performance in a low-priced scope, call your local HP sales office.

# O-Scope Data Sheet

---

## INTRODUCTION

We have been designing and building PC-based systems for several years. The O-Scope line of test and measuring equipment began with the concept of adding T & M functions to a PC. That concept became reality two years ago and was later expanded. Now, O-Scopes are being used in place of conventional data loggers, chart recorders, voltmeters, X-Y plotters, frequency counters, spectrum analyzers and oscilloscopes. All O-Scopes are engineered and manufactured in the Houston area and distributed worldwide.

---

### O-SCOPE I, O-SCOPE Ip, and O-SCOPE Ie

The O-SCOPE I is a pocket-size module which plugs into the printer port, transforming a PC (286 or higher) into a digital storage oscilloscope. Included in the package are frequency spectrum and data logging modes of operation. Working with a desktop, laptop or notebook computer, displayed sweeps can be captured on the screen, saved to disk, and output to a printer via the DOS print screen function.

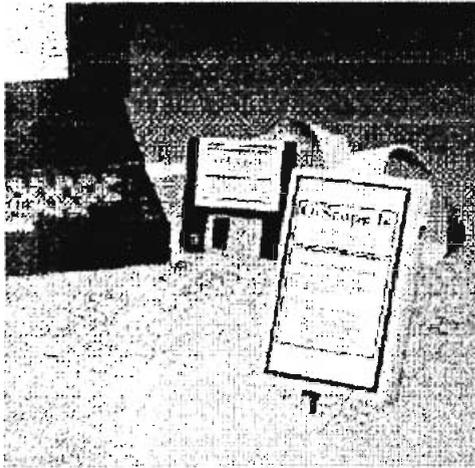
✧

In the oscilloscope mode, sweeps are displayed on a 6 x 10 division grid which is six times larger than a typical oscilloscope grid. Each Sweep is based on 500 sample points. Operating parameters such as input range, sweep rate, and trigger level are displayed and easily adjusted through the computer keyboard. Also displayed are calculated voltages, frequency and period.

In the spectrum mode, sweeps of a selected frequency range are based on a 256 point FFT. The highest peak is automatically scaled to zero dB so that no peaks are cut off. Because of the logarithmic intensity scale, even low harmonic content is visible.

The O-SCOPE Ip includes all of the software upgrades which have been added since the O-Scope I was first introduced. Some of the more popular new features are: Delayed Sweep; Extended Sweep; Pause/Review Mode; Roll Mode; Disk Log View Mode; Four Cursors; Date and Time Stamps; Separate Driver and API for Programming.

<http://www.atcweb.com/oscope.htm>



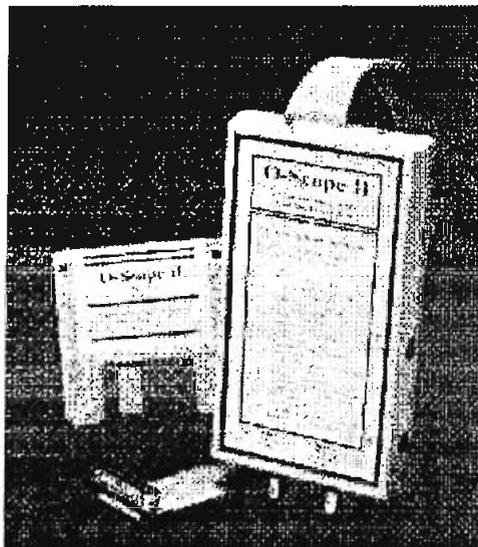
The O-SCOPE Ie includes all of the advantages of the Ip plus an external trigger

O-Scopes offer several features not found in conventional analog oscilloscopes.

First, they are small and lightweight; can be carried in toolkit or briefcase.

Second, trace sweeps can be stored on the display screen indefinitely. Third, sweep data can be logged to disk files and loaded into other programs. Fourth, the spectrum analyzer mode provides a graphic display of the frequencies of the incoming signal. Fifth, captured sweeps can be output to a printer. Sixth, numerical values for frequency, period and voltages (DC, RMS, MIN, MAX, and PEAK to PEAK) are continuously displayed.

---



O-SCOPE II

The O-SCOPE II is a dual trace unit with an external trigger. Like the O-SCOPE I, it converts a PC into a multi-function test and measuring instrument.

Information displayed on a desktop, laptop or notebook computer can be captured on the screen, saved to disk, and output to a printer via the DOS print screen function. The O-SCOPE II design features simultaneous 2-channel data sampling for accurate phase measurements in an X-Y presentation.

Use of the O-SCOPE II provides a true full-function digital storage oscilloscope

with bandwidths up to 250 KHz and sampling rates up to 1,000,000 per sec. The minimum PC required is a 286 with 12 MHz speed.

---

ONE O-SCOPE II can do the work of SIX instruments:

- 1. **Dual Trace Storage Oscilloscope:** The relatively large PC screen displays traces on a 6 x 10 division grid along with operating parameters and numerical voltage and frequency values.
  - 2. **Digital Voltmeter:** Numerical values of DC, RMS, MIN, MAX and PEAK to PEAK voltages for both channels are continuously displayed.
  - 3. **Frequency Counter:** The calculated values of signal frequency and period are updated on each sweep for each channel.
  - 4. **Frequency Spectrum Analyzer:** Sweeps of a selected range are presented on a calibrated graph with the option of averaging. Screen capture, logging to disk, and printing are other easily activated options.
  - 5. **Data Logger:** In either the Scope mode or the Spectrum mode, the sample points which make up a sweep along with vertical and horizontal scales and other data can be saved to disk. Up to 999 sweeps can be saved at the press of a key. More sweeps, up to the capacity of the computer memory, can be saved by creating additional files. This information is human readable (ASCII format) and can be imported into other programs for analysis, processing or printing.
  - 6. **X-Y Display Mode:** Simultaneous 2-channel sampling provides data for accurate display of phase relationships between two input signals. Channel 1 determines a point's vertical position while channel 2 determines the point's horizontal position. The print screen function on a screen capture will then provide an X-Y plot as long as 16 minutes or as short as 500 usec.
- 

## FEATURES

for Models:

	I	Ip	Ie	II	
AC or DC Coupling	X	X	X	X	
API for Programming			X	X	X
Data Logging to Disk		X	X	X	X
Delayed Sweep		X	X	X	
Delta Time Display		X	X	X	
Delta Volts Display		X	X	X	
Disk View Mode			X	X	X

DSP Sweep Expansion		X	X	X	
Dual Input Channels				X	
DVM Display	X	X	X	X	
Extended Sweep			X	X	X
External Trigger			X	X	
Four Cursors		X	X	X	
Frequency Counter	X	X	X	X	
Internal Trigger	X	X	X	X	
Pause & Review Mode		X	X	X	
Roll Mode		X	X	X	
Separate Driver			X	X	X
Set-Up Menus		X	X	X	
Simultaneous Sampling					X
Single Sweep Mode		X	X	X	
Small and Lightweight		X	X	X	X
Spectrum Display Mode		X	X	X	X
Spectrum Averaging	X	X	X	X	
Sweep Erase		X	X	X	
Sweep Expansion		X	X	X	X
Time & Date Stamps		X	X	X	
User Text to Screen & Disk		X	X	X	
X - Y Display Capability				X	

## SPECIFICATIONS

	O-SCOPE I	O-SCOPE II
SIZE	15 x 9 x 3 cm *	20 x 10 x 3 cm
WEIGHT(1)	250 gm	400 gm
POWER	12 VDC 50mA max	12 VDC 150 mA max
INPUT RANGES	50mV to 10V/div	50mV to 10V/div Dual Channel
SWEEP RATES(2)	500uS to 100S/div	50uS to 100S/div
BANDWIDTH	-3dB at 22kHz	-3dB at 250kHz
SAMPLE RATES	0.5 to 100,000/S	0.5 to 1,000,000/S
SPECTRUM RANGES	0-1Hz to 0-50kHz	0-1Hz to 0-500.kHz
ACCURACY(3)	3% Vert., 3% Horiz., 1% numeric disp.	2% Vert., 1% Horiz. 1% numeric disp.
INPUT	1 megOhm imp. with about 20pF cap. BNC connectors accept standard x1 and x10 probes. AC or DC input selection.	

DISPLAY 6 x 10 div. scope grid (or calib. freq. spectrum graph) along with alphanumeric operating

## General Test and Measurement Price List - July 1999

ITEM	DESCRIPTION	US\$
O-SCOPE II	DUAL TRACE DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE WITH EXTERNAL TRIGGER. Includes AC adapter, cable, software, and manual. Probes not included.	349.00
O-SCOPE Ip	SINGLE TRACE DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE MODULE WITH ENHANCED SOFTWARE. Includes AC adapter, cable, software, and manuals. Probe not included.	189.00
O-SCOPE Ie	SINGLE TRACE DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE MODULE WITH EXTERNAL TRIGGER. Includes AC adapter, cable, software, and manual. Probe not included.	249.00
SPECTRUM	Spectrum Analyzer Program for O-Scopes	49.00
SERIAL	SERIAL CHANNEL ANALYZER PROGRAM.	99.00
SERIAL CABLE	SERIAL BI-DIRECTIONAL MONITOR CABLE.	40.00
DFA-5	DIFFERENTIAL AMPLIFIER	129.00

## Accessories Price List - July 1999

ITEM	DESCRIPTION	US\$
PROBE x1,x10	OSCILLOSCOPE PROBE 60 MHz, X1, X10 Switchable.	25.00
SL METER	SOUND LEVEL METER with cable and connector.	56.00
SOFT SCOPE	O-SCOPE DEMO AND EDUCATIONAL SOFTWARE.	15.00
HARD CASE	CARRYING CASE for protection of O-Scope and Probe.	25.00
SOFT CASE	CARRYING CASE for protection of O-Scope and Probe.	15.00
R-BAT PACK	DC POWER BATTERY PACK, rechargeable for O-Scope I series or O-Scope II.	79.00
PORT CARD	PRINTER PORT CARD for IBM compatible desktop PC.	29.00
PORT SWITCH	MANUAL SWITCH for two printer port-connected devices.	25.00
U-ADAPTER	UNIVERSAL AC-DC POWER ADAPTER:	18.00



# PowerLogic™

## Circuit Monitor

Series 2000

### Installation and Operation



## CHAPTER 1—INTRODUCTION

### CHAPTER CONTENTS

This chapter offers a general description of the circuit monitor, describes important safety precautions, tells how to best use this bulletin, and lists related documents. Topics are discussed in the following order:

What is the Circuit Monitor? .....	1
Expanded Memory .....	3
Requirements for Using .....	4
Identifying the Series and Firmware Revisions .....	4
Model Numbers .....	4
Upgrading Existing Circuit Monitors .....	5
Memory Options Summary .....	5
Safety Precautions .....	6
Using This Bulletin .....	6
Notational Conventions .....	6
Topics Not Covered Here .....	7
Related Documents .....	7
Fax-On-Demand .....	7
Reference Manual .....	8

*Note: This edition of the circuit monitor instruction bulletin describes features available in series G4 or later and firmware version 17.009 (or higher). Series 2000 circuit monitors with older series numbers or firmware versions will not include all features described in this instruction bulletin. If you have Series 2000 circuit monitors that do not have the latest firmware version and you want to upgrade their firmware, contact your local Square D representative for information on purchasing the Class 3020 Type CM-2000U Circuit Monitor Firmware Upgrade Kit.*

### WHAT IS THE CIRCUIT MONITOR?

The POWERLOGIC® Circuit Monitor is a multifunction, digital instrumentation, data acquisition and control device. It can replace a variety of meters, relays, transducers and other components. The circuit monitor is equipped with RS-485 communications for integration into any power monitoring and control system. However, POWERLOGIC System Manager application software—written specifically for power monitoring and control—best supports the circuit monitor's advanced features.

The circuit monitor is a true rms meter capable of exceptionally accurate measurement of highly nonlinear loads. A sophisticated sampling technique enables accurate, true rms measurement through the 31st harmonic. Over 50 metered values plus extensive minimum and maximum data can be viewed from the six-digit LED display. Table 1-1 on page 3 provides a summary of circuit monitor instrumentation.

The circuit monitor is available in several models to meet a broad range of power monitoring and control applications. Table 1-2 on page 3 lists the circuit monitor models. Table 1-3 compares the features available by model.

Circuit monitor capabilities can be expanded using add-on modules that mount on the back of the circuit monitor. A voltage/power module and several input/output modules are available. See *I/O Capabilities* in the *Circuit Monitor Reference Manual* for a description of the available I/O modules.

## What is the Circuit Monitor? (cont.)

Using POWERLOGIC application software, users can upgrade circuit monitor firmware through either the RS-485 or front panel optical communications ports. This feature can be used to keep all circuit monitors up to date with the latest system enhancements.

Some of the circuit monitor's many features include:

- True rms metering (31st harmonic)
- Accepts standard CT and PT inputs
- Certified ANSI C12.16 revenue accuracy
- High accuracy—0.2% current and voltage
- Over 50 displayed meter values
- Min/Max displays for metered data
- Power quality readings—THD, K-factor, crest factor
- Real time harmonic magnitudes and angles
- Current and voltage sag/swell detection and recording
- On-board clock/calendar
- Easy front panel setup (password protected)
- RS-485 communications standard
- Front panel, RS-232 optical communications port standard
- Modular, field-installable analog and digital I/O
- 1 ms time stamping of status inputs for sequence-of-events recording
- I/O modules support programmable KYZ pulse output
- Setpoint-controlled alarm/relay functions
- On-board event and data logging
- Waveform and event captures, user-selectable for 4, 12, 36, 48, or 60 cycles
- 64 and 128 point/cycle waveform captures
- High-speed, triggered event capture
- Programming language for application specific solutions
- Downloadable firmware
- System connections
  - 3-phase, 3-wire Delta
  - 3-phase, 4-wire Wye
  - Metered or calculated neutral
  - Other metering connections
- Optional voltage/power module for direct connection to 480Y/277V
- Optional control power module for connecting to 18–60 Vdc control power
- Wide operating temperature range standard (-25 to +70°C)
- UL Listed, CSA certified, and CE marked
- MV-90™ billing compatible
- Pre-configured data log and alarms

**Table 1-1**  
**Summary of Circuit Monitor Instrumentation**

Real-Time Readings	Energy Readings
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Current (per phase, N, G, 3Ø)</li> <li>• Voltage (L-L, L-N)</li> <li>• Real Power (per phase, 3Ø)</li> <li>• Reactive Power (per phase, 3Ø)</li> <li>• Apparent Power (per phase, 3Ø)</li> <li>• Power Factor (per phase, 3Ø)</li> <li>• Frequency</li> <li>• Temperature (internal ambient)*</li> <li>• THD (current and voltage)</li> <li>• K-Factor (per phase)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accumulated Energy, Real</li> <li>• Accumulated Energy, Reactive</li> <li>• Accumulated Energy, Apparent*</li> <li>• Bidirectional Readings*</li> </ul>
	Power Analysis Values*
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crest Factor (per phase)</li> <li>• K-Factor Demand (per phase)</li> <li>• Displacement Power Factor (per phase, 3Ø)</li> <li>• Fundamental Voltages (per phase)</li> <li>• Fundamental Currents (per phase)</li> <li>• Fundamental Real Power (per phase)</li> <li>• Fundamental Reactive Power (per phase)</li> <li>• Harmonic Power</li> <li>• Unbalance (current and voltage)</li> <li>• Phase Rotation</li> <li>• Harmonic Magnitudes &amp; Angles (per phase)</li> </ul>
Demand Readings	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demand Current (per-phase present, peak)</li> <li>• Demand Voltage (per-phase present, peak)*</li> <li>• Average Power Factor (3Ø total)*</li> <li>• Demand Real Power (3Ø total)</li> <li>• Demand Reactive Power (3Ø total)*</li> <li>• Demand Apparent Power (3Ø total)</li> <li>• Coincident Readings*</li> <li>• Predicted Demands*</li> </ul>	
	* Available via communications only.

**Table 1-2**  
**Class 3020 Circuit Monitors**

Type	Description
CM-2050	Instrumentation, 1% accuracy
CM-2150	Instrumentation, 0.2% accuracy, data logging, alarm/relay functions
CM-2250	Waveform capture, plus CM-2150 features
CM-2350	Instrumentation, waveform capture, 0.2% accuracy
CM-2450	Programmable for custom applications, plus-2350 features

**Table 1-3**  
**Circuit Monitor Feature Comparison**

Feature	CM-2050	CM-2150	CM-2250	CM-2350	CM-2450
Full Instrumentation	x	x	x	x	x
RS-485 Comm Port	x	x	x	x	x
Front Panel Optical Comm Port	x	x	x	x	x
1% Accuracy Class	x				
0.2% Accuracy Class		x	x	x	x
Alarm/Relay Functions		x	x	x	x
On-board Data Logging		x	x	x	x
Downloadable Firmware		x	x	x	x
Date/Time for Each Min/Max		x	x	x	x
Waveform Capture			x	x	x
Extended Event Capture			x	x	x
Extended Memory (up to 1.1 Meg.)*		x	x	x	x
Sag/Swell Detection				x	x
Programmable for Custom Applications					x

\* Standard memory: CM-2150, CM-2250, CM-2350, and CM-2450 = 100K; CM-2452 = 356K

## EXPANDED MEMORY

New Series G4 (or higher) circuit monitor models CM-2150 and higher now are factory-equipped with 100 kilobytes (100K) of nonvolatile memory. (Earlier Series G3 models CM-2150 and CM-2250 shipped with 11K of memory, models CM-2350 and CM-2450 with 100K of memory.)

# APPENDIX A—CIRCUIT MONITOR DIMENSIONS

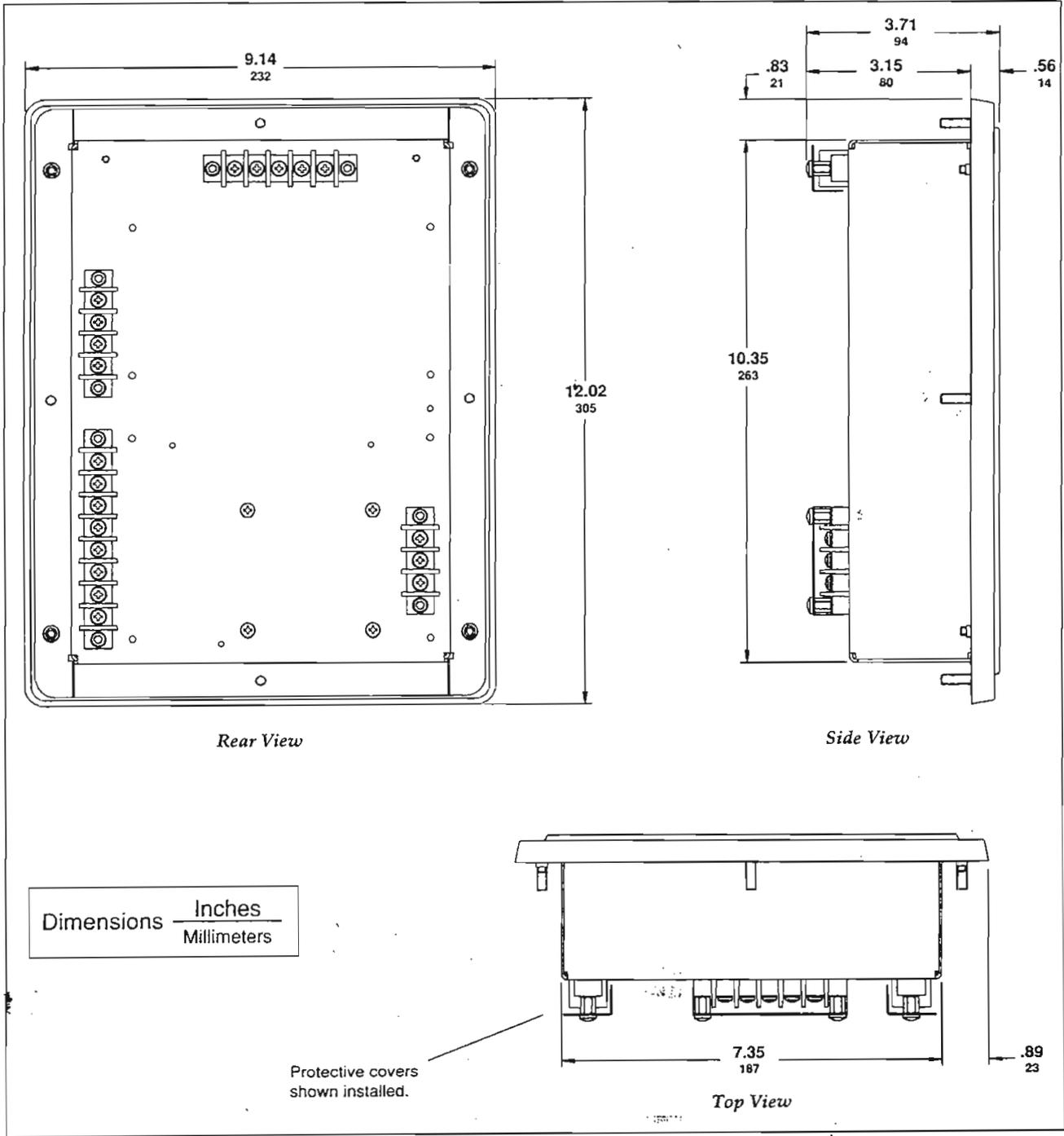
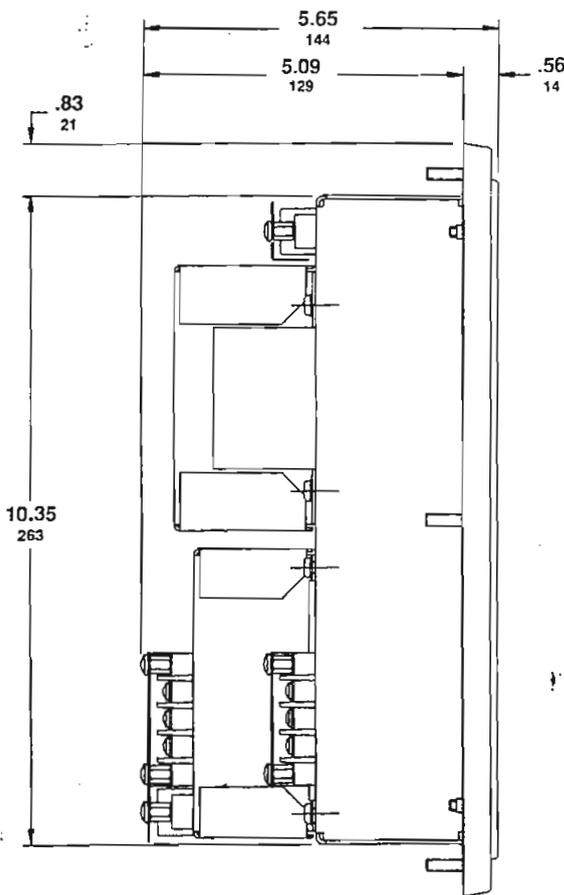
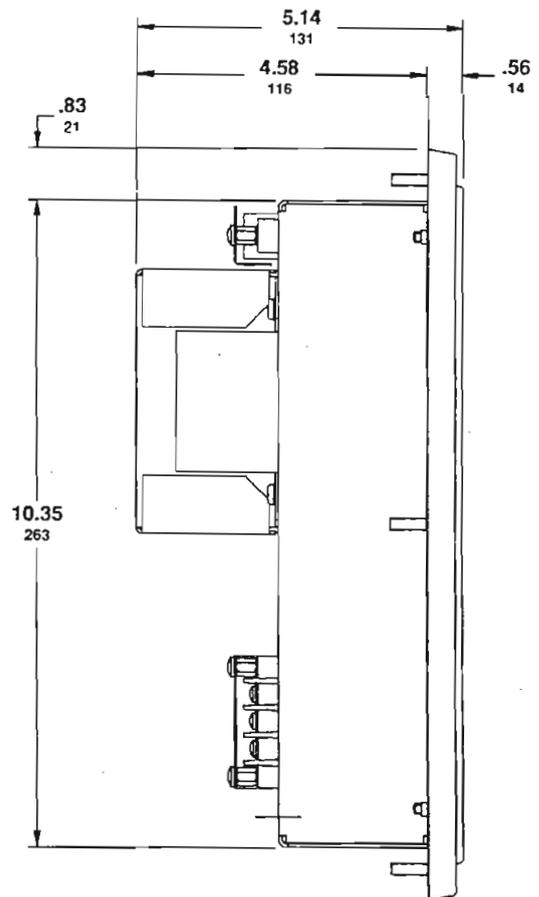


Figure A-1: Circuit monitor dimensions

**APPENDIX A (cont.)**



*Figure A-2: Circuit monitor with Input/Output and Voltage/Power modules*



*Figure A-3: Circuit monitor with Input/Output module*

Dimensions	Inches
	Millimeters

## APPENDIX B—SPECIFICATIONS

### Metering Specifications

Current Inputs (Each Channel)	
Current Range .....	0–7.4 A ac
Nominal Current .....	5 A ac
Voltage Inputs (Each Channel)	
Voltage Range .....	0–180 Vac
Nominal Voltage (typical) .....	120 Vac
Frequency Range .....	45 to 65 Hz
.....	350 to 400 Hz
Harmonic Response—Phase Voltages and Currents	
Frequency 45 Hz to 65 Hz .....	31st Harmonic
Data Update Rate .....	1 second typical #
Accuracy (CM-2150 and higher)	
Current <sup>①</sup> .....	±0.15% reading + 0.05% full scale
Voltage .....	±0.15% reading + 0.05% full scale
Power .....	±0.30% reading + 0.05% full scale
True Power Factor .....	±1% (0.5 lag to 0.5 lead)
Displacement Power Factor .....	±1% (0.5 lag to 0.5 lead)
Energy .....	±0.30%
Demand .....	±0.30%
Frequency 50/60 Hz .....	±0.01 Hz
Temperature (Unit Temperature –25°C to 75°C) .....	±1°C
Time of Day Clock (At 25°C) .....	±1.5 second in 24 hours
THD .....	1.0%
K-Factor .....	1.0%
Crest Factor .....	1.0%
Accuracy (CM-2050 only)	
Current <sup>①</sup> .....	±0.5% reading + 0.25% full scale
Voltage .....	±0.5% reading + 0.25% full scale
Power .....	±1.0% reading + 0.25% full scale
True Power Factor .....	±1% full scale
Displacement Power Factor .....	±1% full scale
Energy and Demand .....	±0.5% reading above 50% full scale
.....	±1.0% reading above 20% full scale
Frequency 50/60 Hz .....	±0.05 Hz
Temperature (Unit Temperature –25°C to 75°C) .....	±1°C
Time of Day Clock (At 25°C) .....	±1.5 second in 24 hours
THD .....	2.0%
K-Factor .....	2.0%
Crest Factor .....	2.0%

① Any CT secondary currents less than 20 mA are reported as zero.

**Metering Input  
Electrical Specifications**

**Current Inputs**

Nominal Full Scale .....	5.0 Amps rms
Metering Over-range .....	145%
Overcurrent Withstand .....	15 A rms Continuous
	50 A rms 10 seconds in 1 hour
	500 A rms 1 second in 1 hour
Input Impedance .....	Less than 0.1 Ohm
Burden .....	Less than 0.15 VA
Isolation .....	1500 V, 1 MIN

**Voltage Inputs**

Nominal Full Scale .....	120 Vac Line to Neutral
Metering Over-range .....	150%
Dielectric Withstand .....	180 V Continuous
	1500 V 1 Second
Input Impedance .....	Greater than 2 Megohm

**Control Power Input Specifications**

**120/240 Vac Nominal**

Operating Input Range .....	100–264 Vac
Burden .....	11 VA–15 VA
Burden, max. <sup>①</sup> .....	27 VA
Frequency Range .....	47 to 65 Hz
Isolation .....	1500 V, 1 min
Ride-through on Power Loss .....	0.1 sec at 120/240 Vac

**125/250 Vdc Nominal**

Operating Input Range .....	100–300 Vdc
Burden .....	0.12 A
Isolation .....	1500 V, 1 minute
Ride-through on Power Loss .....	0.1 sec at 120 Vdc

Main's Supply Voltage Fluctuations ..... not to exceed +/-10%

**Environmental Specifications**

Operating Temperature .....	-25 to +70°C
Storage Temperature .....	-40 to +85°C
Humidity Rating .....	5–95% Relative Humidity (non-condensing) at 40°C
Pollution Degree .....	2
Installation Category .....	II
Altitude Range .....	0 to 4,570 m (15,000 ft.)

**Physical Specifications**

Weight (approximate, without add-on modules) .....	7 lbs
Dimensions .....	See Appendix A

**Regulatory/Standards Compliance**

**Electromagnetic Interference**

Radiated .....	FCC Part 15 Class A
Conducted .....	FCC Part 15 Class A
Electrostatic Discharge (Air Discharge) .....	IEC 1000-4-2 Level 4
Electrical Fast Transient .....	IEC 1000-4-4 Level 3
Immunity to Surge .....	IEC 1000-4-5 Level 4
Dielectric Withstand .....	CSA, UL 508
Safety .....	CSA, UL 508
CE Marking	

① See table 3-1, page 17, in the Circuit Monitor Reference Manual for burden with input/output modules present.

## APPENDIX C—INSTALLING TERMINAL STRIP COVERS

The hardware kit provided with the circuit monitor includes several grey protective terminal strip covers. After wiring the circuit monitor, install these terminal strip covers for protection.

Figure F-1 illustrates terminal strip cover installation. Refer to this figure when completing the procedure below.

To install the terminal strip covers, complete the following steps:

1. Bend the terminal strip covers at the crease so they form a right angle.
2. Install each terminal strip cover using two #8-32 SEMS screws, provided in the circuit monitor hardware kit.

Be certain to orient the covers so that you can route wires outward. Wires should be routed outward to provide room for future addition of optional modules.

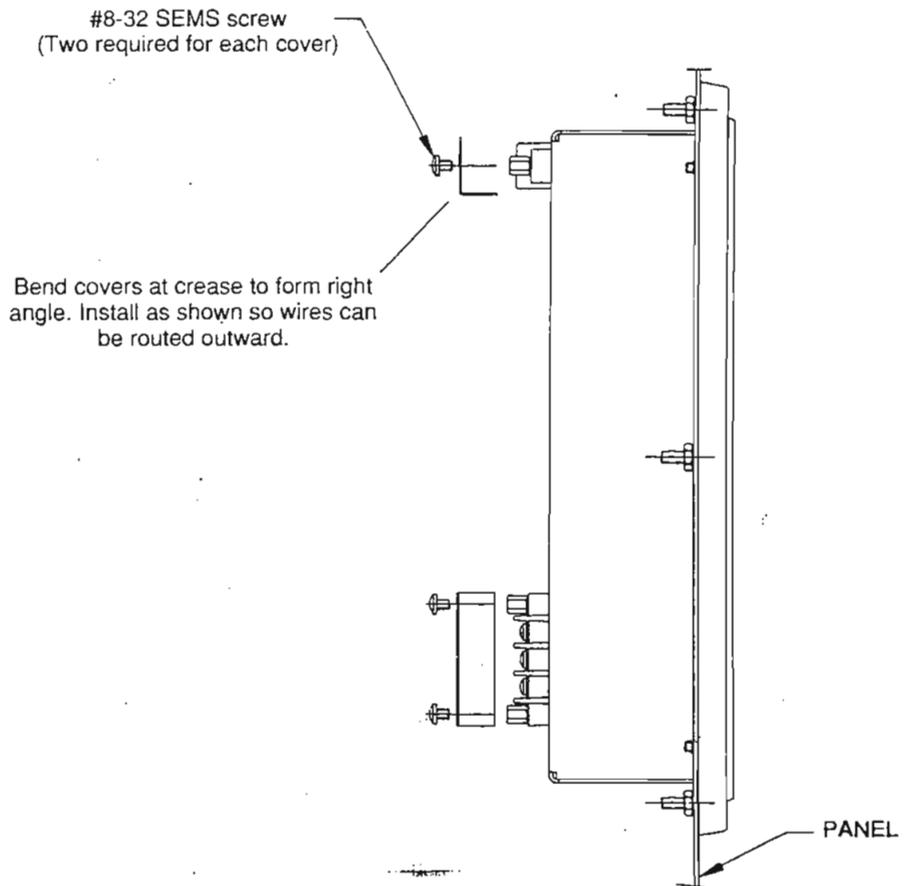
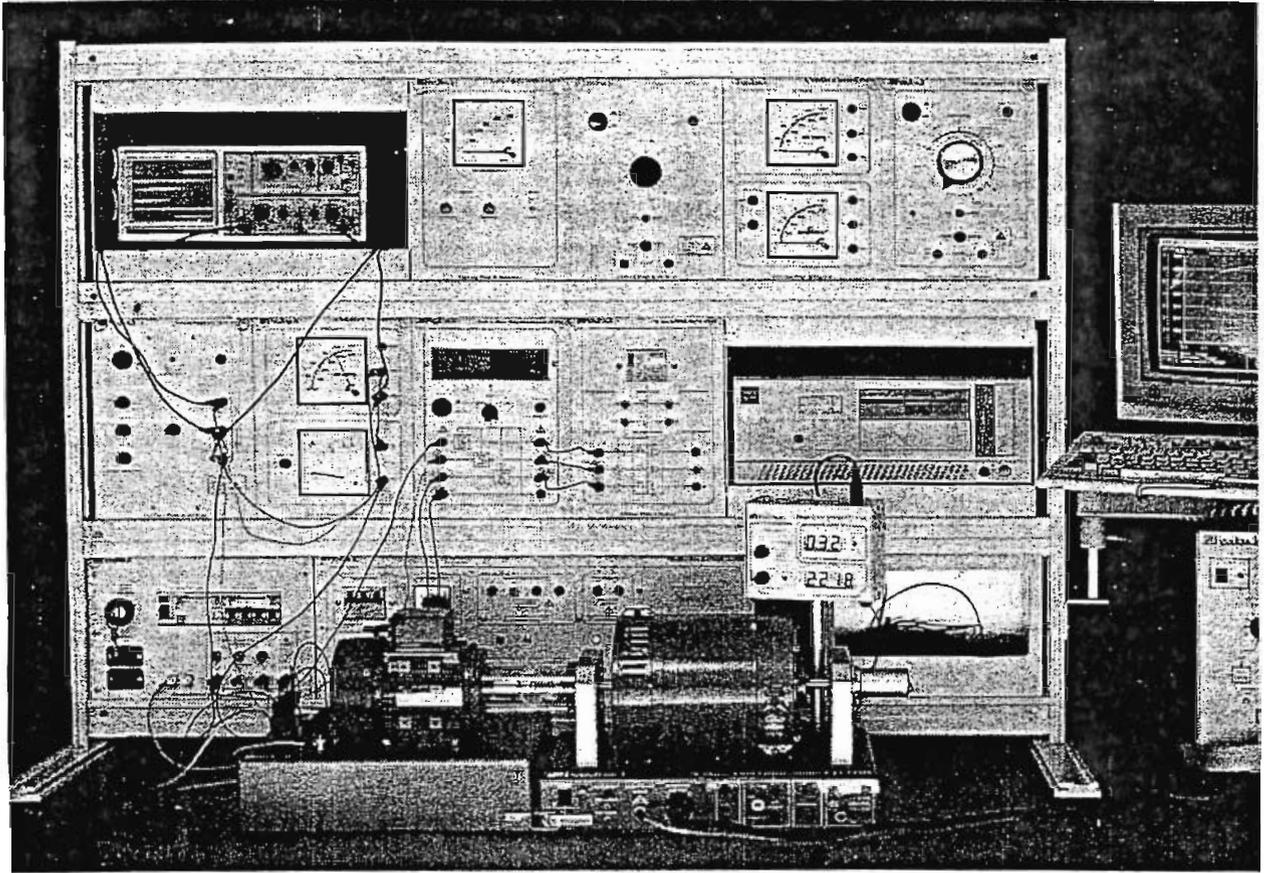


Figure C-1: Installing terminal strip covers

## **ANEXO H.2.**

### **OPCIONES PRESENTADAS**

## *Powerframes* COMPLETE TEACHING PACKAGES for INDUSTRIAL MACHINES



- Basic Machines Trainer 60-001
- Electrical Machines Trainer 60-002
- dc and Three Phase Machines Trainer 60-003
- Complete Industrial Machines Trainer 60-004



*Technology Training for tomorrow's world*



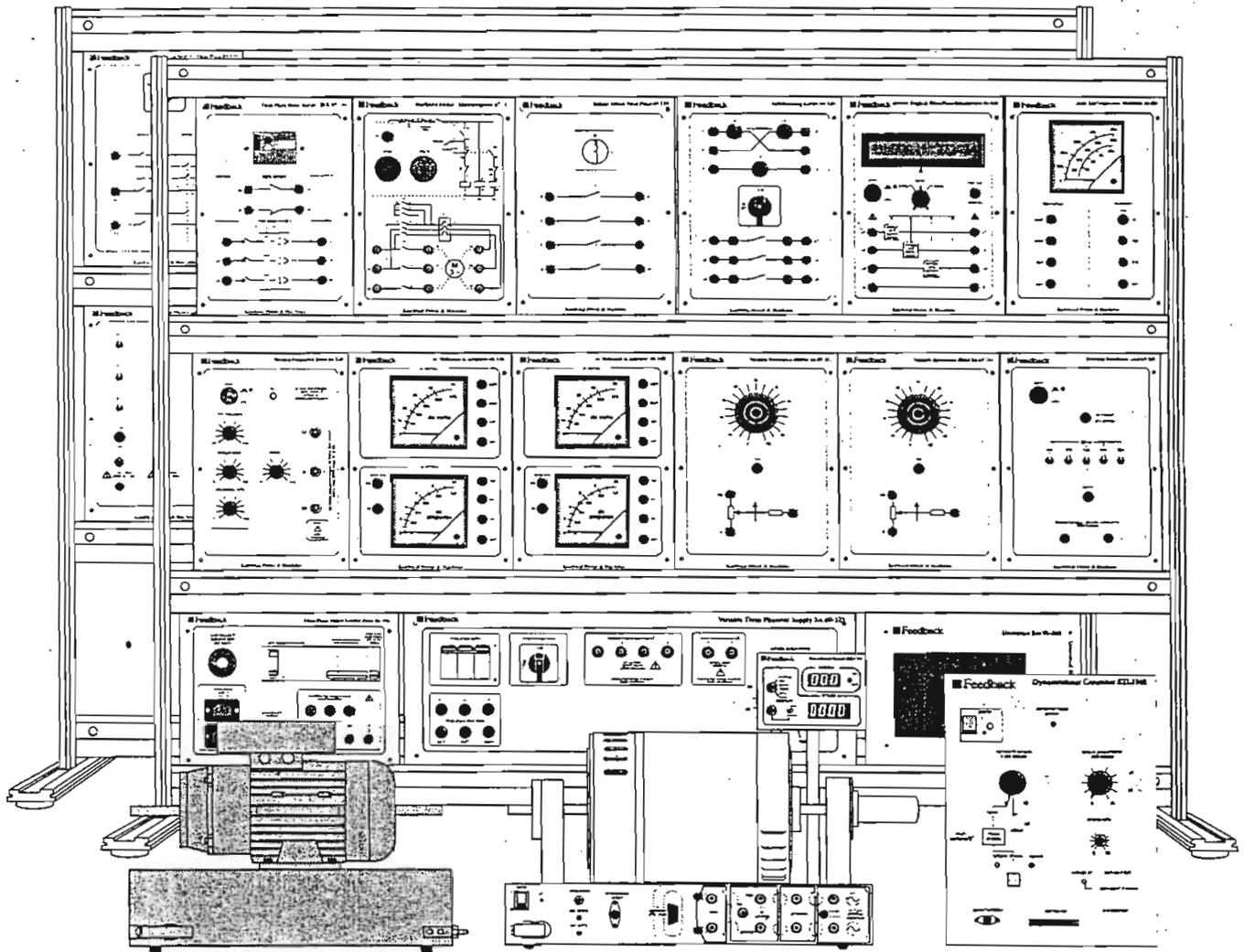
## Introduction

---

The *Powerframes* Industrial Machines Complete Teaching Packages form a range of self-contained trainers which includes teaching modules covering the key areas of electrical power and machines teaching. They are based around a series of purpose-designed industrial machines of small physical size but with characteristics more typical of larger machines. Each package is supplied with manuals, laboratory notes, or software which provide a step-by-step guide to setting-up and carrying-out the range of assignments associated with that package.

The *Powerframes* system is based around a series of bench-standing machines of nominally 250W rating. Power supplies, drive and control equipment, loading and instrumentation are all provided in the form of panels which mount into a purpose-designed, bench-standing frame and which can be easily slotted in and out as required. The frame is constructed of an advanced, fibre-loaded, rigid plastics material which is electrically insulating for safety.

	60-001	60-002	60-003	60-004
<i>Series Universal Motor</i>				✓
<i>dc Shunt Machine</i>				✓
<i>dc Compound Wound Machine</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Single phase Induction Motor - bifilar wound</i>				✓
<i>Single phase Induction Motor - capacitor start/induction run</i>				✓
<i>Single phase Induction Motor - capacitor start/run</i>				✓
<i>Single phase Repulsion Induction Motor</i>				✓
<i>Three phase ac Induction Motor, squirrel cage, dual voltage</i>	✓		✓	✓
<i>Three phase ac Induction Motor, squirrel cage, two pole</i>		✓	✓	✓
<i>Three phase ac Induction Motor, squirrel cage, two speed</i>				✓
<i>Three phase Sync/Async Machine, slip ring</i>		✓	✓	✓
<i>Three phase Synchronous Machine, wound rotor</i>		✓	✓	✓
<i>Electronic Variable Frequency Drive</i>	✓		✓	✓
<i>Prony Brake Mechanical Loading</i>	✓			
<i>Computer-controlled Dynamometer Loading</i>		✓	✓	✓
<i>Synchronisation</i>		✓	✓	✓
<i>Power factor correction</i>				✓
<i>Manual and Electromagnetic starting investigations</i>		✓	✓	✓
<i>Transient current monitoring</i>		✓	✓	✓
<i>Electrical and Electronic instrumentation</i>	✓	✓	✓	✓



## Curriculum Coverage

The Complete Industrial Machines Trainer includes all necessary motors, generators, power supplies, protection, control, loads, measuring instruments, interconnecting leads, support frame system, and training literature, to provide a comprehensive laboratory trainer covering dc, single phase ac and three phase ac motor and generator operations.

The trainer is suitable for use over a wide range of courses and academic levels from vocational, through technician training, to teaching undergraduate engineers. The basic principles and operation of simple dc and ac machines can be covered with this trainer and the work can be extended through to detailed examination of the characteristics of a wide range of machines and how these affect the choice of machine for particular applications.

The trainer includes conventional analogue metering, electronic and digital instrumentation and computer-controlled automatic measurement and characteristic display, thus giving students a broad experience of instrumentation methods applicable to modern power and machines systems.

A wide range of assignment work can be carried out including:-

***dc Motors - Series, Shunt and Compound:***

- *Effects of field current variation.*
- *Effects of armature current variation.*
- *Torque relationships.*
- *Starting surge current with and without load.*
- *Torque/Speed tests, Motor efficiency.*

***dc Generators - Series, Shunt and Compound:***

- *Separately excited - No load.*
- *Separately excited - On load.*
- *Effects of residue magnetism.*
- *Shunt generator - No load.*
- *Shunt generator - On load.*
- *Armature voltage reversal.*

***Single Phase Motors - for the four Single Phase Motors:***

- *Factors affecting starting torque and current.*
- *Two phase windings.*
- *Effects of starting capacitor/resistor on starting and running torque.*
- *Torque speed test.*
- *Effect of supply voltage on torque and speed.*
- *Efficiency tests.*
- *Using the Repulsion Motor, the effect of brush angle on speed, direction of rotation & running torque.*

***Three Phase Motors and Generators - for the five Three Phase Machines:***

- *Motor connections Star and Delta.*
- *Forward and reverse.*
- *Rotor speed and slip.*
- *No load test.*
- *Stalled test.*
- *Equivalent circuit.*
- *Torque/Speed test.*
- *Starting test with and without load.*
- *Effect of variable frequency on motor current and torque.*
- *Effect of voltage boost at low frequencies on motor current and torque.*
- *Variable frequency drive voltage and current waveforms.*

**including**

- *Mechanical and electromagnetic dc and ac motor starters.*
- *Automatic plotting of motor response using a computer-controlled dynamometer loading system.*
- *Synchronisation of Three Phase ac machines.*
- *Rotor resistance control.*
- *Synchronous motor and generator.*
- *Synchronous impedance.*
- *Load angle.*

In addition, such is the comprehensive provision of equipment that the Complete Industrial Machines Trainer will allow instructors to compile their own training programmes.

New modules are continuously being introduced into the *Powerframes* System and these can very economically extend laboratory studies of Power and Machines.

## Description

The Complete Industrial Machines Trainer contains three dc machines, four single phase ac and five three phase ac machines, together with five power supply panels and twenty-six other frame-mounting panels, in addition to the bench-standing, dynamometer-based, machines loading system. A full list of equipment is given in the section at the end of this document.

### Power Supplies

The mains supply required is a 5-wire, 380/415V Three Phase 50/60Hz power system with neutral and earth connections.

The power supplies in the trainer have earth leakage and overcurrent circuit breakers and have variable voltage outputs for dc, single phase ac and three phase ac.

The outputs provided are:

- Three Phase: variable, nominally 0-400Vac line at 6A
- Single Phase: three variable outputs, each nominally 0-220Vac line to neutral at 6A.
- Single Phase: variable, 0- 240Vac at 2.5A.
- Single Phase: variable, 0- 240Vac at 5A.
- dc: variable, nominally 0-540Vdc at 5A.
- dc: variable, nominally 0-220Vdc at 2.5A.
- dc: variable, nominally 0-220Vdc at 5A.

Connections from the power supplies are by leads with 4mm shrouded connectors.

### Machines

The machines are nominally 250W rating, are bench-standing and are compatible with all the other machines in the Powerframes range.

### Starting Equipment

- Switched Resistance Starter, intended for use with the dc Compound machine.
- Three Phase Motor Starter, used to provide speed control of the Slip Ring Motor/Generator.
- Both Manual and Electromagnetic Star/Delta Switching units, allowing the three phase machines to be connected in star for starting and delta for running.

The electromagnetic unit also allows investigation of time/current relationships with variable loads.

In addition, a Three Phase DOL Starter, a Pole Switching Unit and a Three Phase Reversing Switch are also provided.

### Variable Frequency Drive

An electronic Three Phase Variable Frequency Drive is provided to vary the speed of the Three Phase Induction Motor. The basic control functions

available are: max. and min. speed settings, acceleration and deceleration times, torque boost and variable frequency control. The output power is 0.4kW.

### Loading Equipment

All the electrical and mechanical loading devices required for the assignment work are provided in this Trainer.

The electrical loading is with variable and switched resistance loads which are forced-air cooled. Three phase inductive and capacitive loads are also provided.

The mechanical loading is by a Swinging Field Dynamometer which may be operated manually, or may be controlled by a PC-AT compatible microcomputer. Software is provided in the package which allows a wide range of parameters to be chosen and which provides automatic plotting of response characteristics on the computer monitor.

### Measuring Equipment

A complete range of measuring instrumentation is provided with this Trainer to allow the required parameters to be measured.

A combination of electronic and more conventional analogue metering is provided with this Trainer to enable a full range of dc and ac parameters to be measured.

The Electronic Single and Three Phase Measurements panel gives digital readout of such parameters as voltage, current, power, kVA, kVAR, kWh, etc. Analogue voltmeters and ammeters give dc readings.

A synchronising panel and an Electronic Synchroscope are provided for three phase work and a Three Phase Power Factor Meter and an ac/dc Electrodynamic Wattmeter are included. A Voltage and Current Monitor is also included to give oscilloscope pictures of relevant waveforms.

Other measuring equipment included in the package allows time, resistance and machine speed to be determined.

### **Equipment Frames**

Two purpose-designed frames are provided into which all of the equipment, except the bench-standing machines, can be easily slotted in and out as required. The frames are constructed of an advanced, fibre-loaded, rigid plastics material which is electrically insulating for safety. The two frames can be securely coupled together, if required.

Also provided in the trainer are two power distribution manifolds and two storage bins for components, leads, etc. Storage cupboards are available optionally.

---

### **Supporting Documentation**

The assignment work is covered with Laboratory Notes. These take the form of A4 sheets which are held in plastic wallets, bound in a 4-ring binder. These sheets may be photocopied for student use.

The Laboratory Notes contain objectives, equipment required, ancillary equipment, test circuits, practicals, and results tables.

A Utilities Manual is also included which details any assembly and set to work instructions.

---

# AMAZE ELECTRONICS CORPORATION

<http://www.hooked.net/users/amaze/scope.html>

## PC-MultiScope 2 Page

### Turn your PC into a Digital Storage Oscilloscope!

Presenting the PC-MultiScope 2 by Mission Technology - a versatile device that connects to the parallel port of any 386/486/Pentium PC and transforms the PC into a dual channel, digital storage oscilloscope; strip chart recorder; dual digital voltmeter; digital frequency meter; waveform segment analyzer; and continuous spectrum analyzer (with fft functions).

With features that were once only available on external and internal devices costing \$1,000 and up, the PC-MultiScope 2 has revolutionized the PC data acquisition market.

#### Features:

- Easy to install and use
- Rear connection to PC parallel port
- Dual channel; external trigger option built-in
- MS-Windows graphical user interface
- 10 Mhz analog bandwidth
- 8-bit multiplexed input; 1 MegaOhm input resistance
- 8K RAM buffer
- Triggered with AC or DC coupling
- Chart recorder, spectrum analyzer and fft functions
- Digital Storage of signal data to disk or printer
- Programmable sampling intervals from 1 sample/8 hrs to 20 Megasamples/1 second
- Programmable gain from 10v/div to 1mv/div
- Auto-ranging in scope mode
- Built in DC, RMS, PK to PK and Frequency Meter
- 16 bit user-defined output in response to input
- Visual Basic source code available separately

#### PC-MultiScope 2 package includes:

- PC-MultiScope 2 unit
- Windows based software
- External AC power supply (18VACT, 666 milliamps)
- Parallel printer cable
- One alligator clip 1:1 BNC probes

**PRICE: US \$399**

Source Code module +\$99

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. N. Bratu, E. Campero, INSTALACIONES ELECTRICAS CONCEPTOS BASICO Y DISEÑO, 2ª. Edición, Ediciones Alfa Omega S.A., México, 1992.
2. Enríquez Harper, MANUAL DE INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES, 2ª. Edición, Editorial Limusa S.A., México, 1996.
3. Richter, MANUAL PRACTICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS, Editorial Continental S.A., México, 1991
4. Stephen Chapman, MAQUINAS ELECTRICAS, 2ª. Edición, McGraw-Hill, Colombia, 1993.
5. INECEL, CODIGO ELECTRICO ECUATORIANO, 1973.
6. Empresa Eléctrica Quito, NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, Edición 1978.
7. Enciclopedia Temática Planeta, INDUSTRIA: ORGANIZACIÓN Y TECNOLOGIA, Editorial Planeta S.A., Barcelona, 1982.
8. Rafael Serra, INSTALACIONES ELECTRICAS EN LOS EDIFICIOS, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona, 1979.
9. Pacheco Toscano Adriana, ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CARGA EN EL COMPORTAMIENTO DINAMICO DEL EQUIPO DE EMERGENCIA A DIESEL DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, Tesis, EPN.

10. Castro Aman Pablo, OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINAS ELECTRICAS MEDIANTE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL, Tesis, EPN, 1997.
11. Castillo Moreno, DISEÑO DEL SISTEMA DE SINCRONIZACIÓN AUTOMÁTICO PARA GRUPOS DE EMERGENCIA, Tesis, EPN, 1983
12. Balcells Joseph, INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS EN SISTEMAS ELECTRONICOS, Ed. AlfaOmega S.A., México, 1992.
13. Hewlett Packard, BASIC INSTRUMENTS CATALOG, 1998/99.

#### **RECURSOS EN INTERNET**

1. Sistema de Entrenamiento Electromecánico Lab-Volt 8013 y Lab-Volt 8001  
URL: <http://www.labvolt.com>
2. Sistema de Entrenamiento en Máquinas Eléctricas Industriales FeedBack 60-004  
URL: <http://www.fbk.com>
3. Sistemas de Control de Velocidad ABB series ACS 600  
URL: <http://www.abb.com>
4. Instrumento de medida Osciloscopio HP 54603B  
URL: <http://www.hp.com>
5. Instrumento de Medida para Computadora O-Scope  
URL: <http://www.atcweb.com/oscope.htm>
6. Instrumento de Medida para Computadora PC-MultiScope  
URL: <http://www.hooked.net/users/amaze/scope.html>

7. Instrumento Analizador Industrial SQUARE D PowerLogic series 2000

URL: <http://www.squared.com>

8. Baterías de níquel cadmio

URL: <http://www.grupopc.com.mx/serv04.htm#NIQUEL CADMIO>

9. Baterías selladas libres de mantenimiento y níquel-cadmio

URL: <http://www.dinatron.com/>