

2ej



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

CONSTRUCCION DE UN TABLERO DE  
PRUEBAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n

ABREU BALDIZON SALVADOR  
ESPINOSA DE LOS REYES DAVILA PABLO B.  
RAMIREZ MORENO SAMUEL



Director Ing. Juan Vicente Leduc Rubio

México, D. F.

1986



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

	PAG.
Introducción	1
Descripción del Tablero	2
Diseño	3
Construcción	4
Funcionamiento	5
Diagrama	8
Fotografía	9
Recomendaciones para el manejo del Tablero	10
Prácticas para efectuar en el tablero	13
Práctica # 1	
Secuencia de Fases	14
Práctica # 2	
Curva de Demanda	20
Práctica # 3	
Regulación de Voltaje	26

Práctica # 4	
Factor de Potencia	33
Práctica # 5	
Balanceo de Fases	42
Práctica # 6	
Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica	48
Práctica # 7	
Interconexión de Sistemas y Distribución de Carga	56
Práctica # 8	
Fallas y métodos de Localización	59
Lista de Materiales	70
Conclusiones	73
Bibliografía	75

## INTRODUCCION

En la preparación de el estudiante de la carrera - de Ingeniería Eléctrica es importante el conocimiento práctico que apoye las bases teóricas impartidas en las aulas. Esta importancia resulta obvia, dado que el estudiante al salir de la facultad se encontrará en múltiples ocasiones, con situaciones que requieren de soluciones prácticas. Es te tipo de situaciones pueden ser visualizadas durante la - preparación profesional a través de los laboratorios.

En un intento por mejorar las instalaciones ya e- xistentes en el Departamento de Ingeniería Eléctrica se ha construido un tablero que simula un sistema de distribución en el cual se pueden efectuar experimentos que se aproximen a situaciones comunes y reales que se presentan en la opera- ción de sistemas eléctricos.

En este tablero el alumno podrá conocer algunos de los aspectos más relevantes en el funcionamiento de un sis- tema de distribución y familiarizarse con aparatos de medi- ción y métodos de solución utilizados en la práctica.

Se han diseñado ocho prácticas que pueden ser reali- zadas en el tablero, donde el alumno podrá ver claramente la aplicación práctica de algunos de sus conocimientos teóricos y que le preparará para un mejor ejercicio de su vida profesional.

**DESCRIPCION DEL TABLERO**

## DISEÑO.-

El tablero está diseñado a partir de un primer bosquejo realizado por alumnos de esta Facultad como desarrollo de un tema de tesis profesional.

Al diseño original se le hicieron una serie de --- adaptaciones para hacer posible su construcción, analizando al mismo tiempo el costo. Estos cambios son los siguientes:

- a) Se suprimieron todos los instrumentos que debían ser instalados de manera permanente en el tablero. Esto obedeció no sólo a factores de tipo económico sino para aprovechar instrumentos ya existentes en el laboratorio con el afán de que el alumno se familiarice en el uso de ellos.
- b) Se sustituyeron las resistencias variables por lámparas incandescentes de diferentes valores de potencia.
- c) Se suprimieron los elementos de protección en las troncales así como en las cargas, protegiendo al tablero por medio de interruptores térmicos.

cos instalados en el alimentador.

d) Se disminuyó el número de cuchillas.

Se respetó en el diseño la compatibilidad de el ta  
blero con elementos ya existentes en el laboratorio como -  
son: cables de conexión, alimentación, bancos de resisten  
cias, transformadores y motores.

#### CONSTRUCCION.-

Para la construcción de el tablero se utilizó como  
soporte una mesa en desuso con número de inventario 266763  
UNAM, que se encontraba en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería, la cual se acondicionó fijándole una hoja de madera de 240 x 95 cm. y  $\frac{1}{2}$ " de es  
pesor, con una inclinación a 60°, sobre la cual se instala  
ron interruptores, cuchillas, tornillos de conexión, inte  
rruptores térmicos, focos piloto y señalamientos.

Por la parte frontal del tablero se instaló una ba  
se a todo lo largo del tablero con un ancho de 25 cm. para  
apoyar los instrumentos que se requieren para cada experi-  
mento, quedando a una altura adecuada para la fácil lectu  
ra de los mismos.



En la parte posterior del tablero se encuentra una base sujeta a la mesa, en la cual se localizan las lámparas incandescentes, así como todo el cableado y conexiones propias del tablero.

#### FUNCIONAMIENTO.-

Siendo la finalidad de este tablero el proporcionar un complemento práctico a la teoría de Sistemas Eléctricos de potencia I y/o Sistemas de Distribución, el tablero simula un sistema de distribución en base a elementos análogos a los utilizados por la compañía suministradora, elementos interruptivos, elementos seccionadores, conductores, conectores y cargas.

En el tablero se pueden lograr una gran variedad de arreglos simulando los diferentes tipos de redes de distribución y para llevar a cabo pruebas semejantes a las que se realizan en el ejercicio de la práctica.

El tablero trabaja con voltajes de 220V entre fases y 127V entre fase y tierra, lo cual lo hace compatible tanto con las fuentes de alimentación como con el equipo existente en el laboratorio. Esta compatibilidad abre la

posibilidad de interconectarlo para realizar otros experimentos además de los que se presentan en este trabajo.

El suministro de energía eléctrica se efectúa a -- través de un alimentador, el cual posee un interruptor térmico en cada una de sus fases y tres bornes, los cuales están destinados a conectarse al puente variable situado al frente de estos. Existen luces indicadoras (focos piloto) en las fases para señalar la presencia de potencial.

Una vez conectado el tablero al alimentador se puede controlar el suministro de corriente mediante el uso de los interruptores térmicos sin necesidad de desconectar -- los puentes. Estos puentes son extremos de las tres troncales longitudinales, una de las cuales, la central, energiza la mayor parte del tablero y para la mayoría de los - experimentos será el único que deberá ser alimentado. Sobre esta troncal se encuentran instaladas doce cuchillas - las cuales le dan flexibilidad al tablero permitiendo hacer seccionamientos.

A lo largo de las tres troncales longitudinales, - existen cuatro troncales transversales, las cuales forman 6 mallas.

Existen también 27 cargas monofásicas, 9 conectadas a cada fase; estas cargas consisten en lámparas incandescentes de tres diferentes potencias, conectadas alternadamente, para balancear el sistema. Cada carga posee su propio interruptor (apagador) para ser fácilmente conectada.

Con el fin de obtener un sistema equilibrado, se han distribuido las cargas a lo largo del sistema combinando los tres valores de potencias usadas, dando ésto como resultado un sistema desequilibrado si se mide en cualquier punto que no sea ni en el alimentador general ni en el extremo final del tablero.

Por último, en diferentes puntos del tablero se localizan los puentes variables que, como su nombre lo indica, no tienen una conexión fija, sino que tienen un tornillo y una mariposa que permiten hacer conexiones en sus extremos con cualquiera de los dispositivos que se requiera en el experimento. Con estos puentes se puede aislar cualquier sección o zona del tablero, siendo los puntos en donde se realizarán los faseos, para interconectar secciones del tablero formando mallas o anillos. Existen también puentes fijos que interconectan de manera permanente los troncales longitudinales con los transversales, habiendo 6 combinaciones posibles, todas ejemplificadas en el tablero.

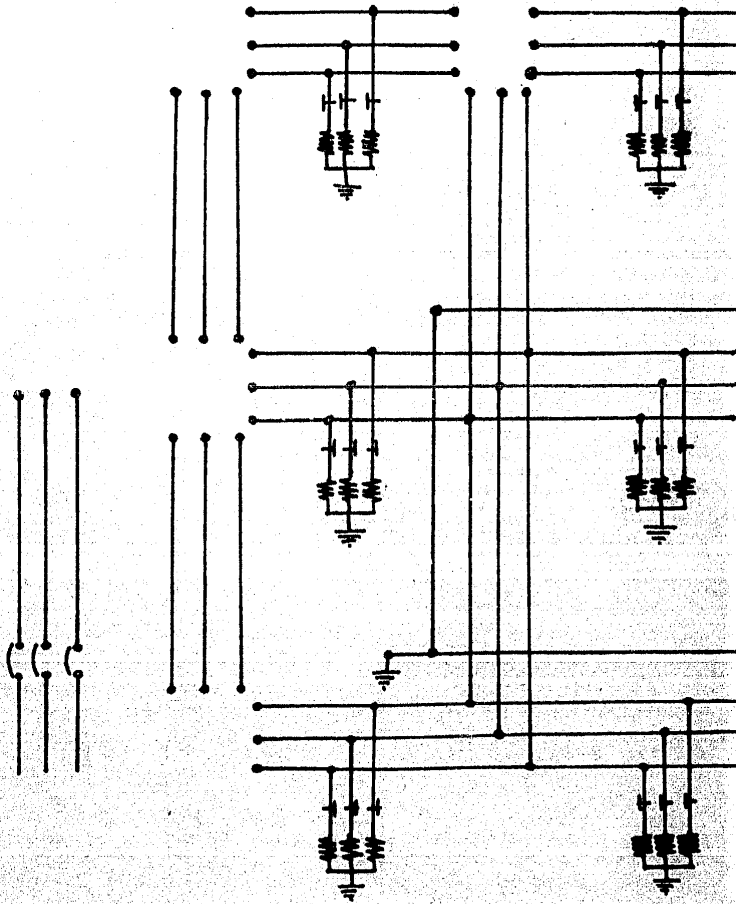
TABLERO DE PRUEBAS DE UN S

⊔ Interruptor Térmico

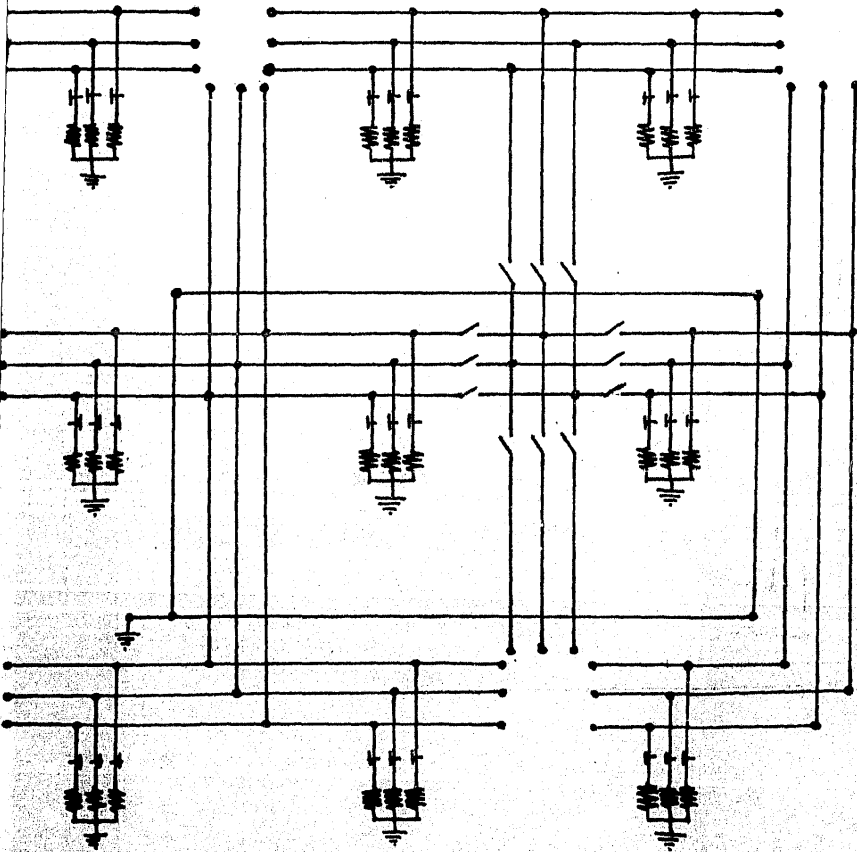
⊔ Interruptor

/ Cuchilla

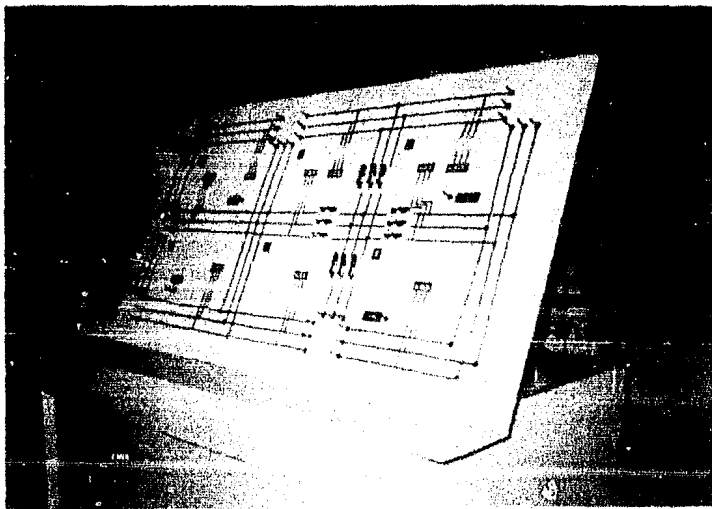
⊔ Resistencia

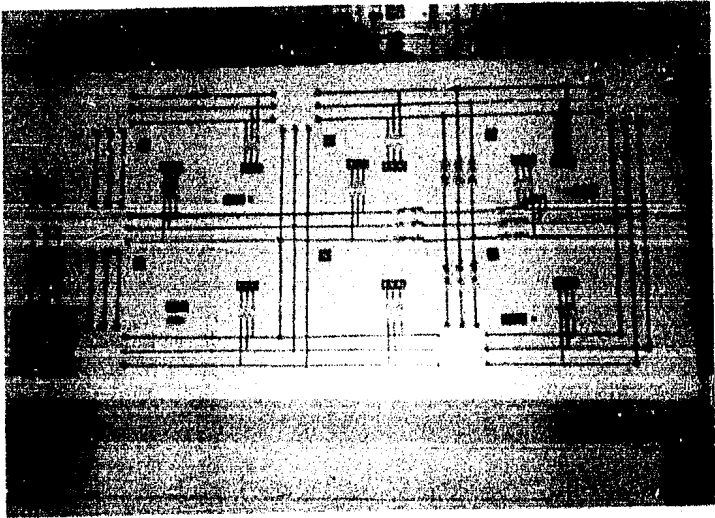
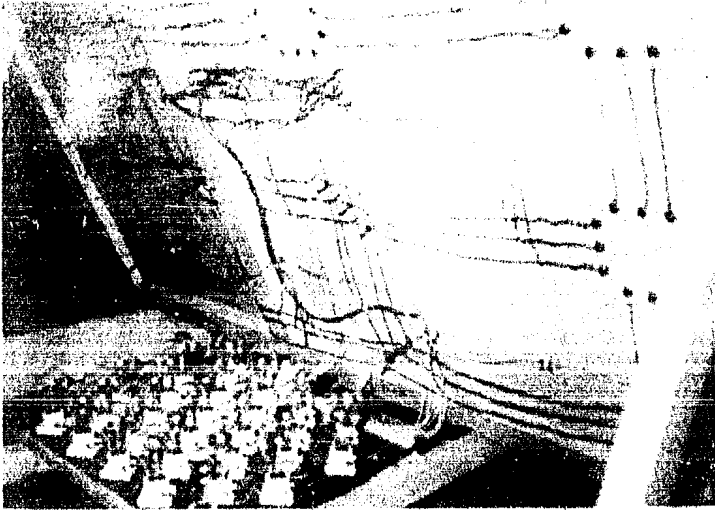


TABLERO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION



FOTOGRAFIAS DEL TABLERO CONSTRUIDO





**RECOMENDACIONES**

**PARA EL**

**MANEJO DEL TABLERO**



## RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DEL TABLERO.

Para efectuar los experimentos que a continuación se describen, es conveniente seguir un orden y tomar ciertas precauciones:

- Es aconsejable como primer punto, cerciorarse que los interruptores térmicos se encuentren en posición "apagado" (abajo), para que no exista potencial en los bornes del alimentador.

- Para alimentar el tablero se recomienda hacerlo por la troncal longitudinal central, ya que ésta energiza la mayor parte del tablero; si se indica en la práctica la necesidad de tomar lecturas de corriente, este punto será el adecuado para conectar los amperímetros cuidando de que la corriente no exceda el valor de 15 Amperes.

- Antes de poner en posición "encendido" (arriba) los interruptores térmicos, es deseable que todas las conexiones necesarias para efectuar el experimento hayan sido debidamente realizadas, con el objeto de no modificar ninguna conexión con el tablero energizado. Si hubiera necesidad de modificar alguna configuración, cerciorarse de que no exista potencial.

- Nunca cerrar un puente variable sin antes estar seguro de que haya correspondencia de fases, teniendo cuidado de no guiarse solamente por el diagrama trifilar indicativo que existe en el tablero, ya que debido a los puentes fijos hay transposición de fases.

- Una vez energizado el tablero, dado el peligro que representa el voltaje que se maneja dentro del mismo, no se debe tocar ningún tornillo y al manejar las cuchillas, hacerlo por su parte aislada y operarlas de una en una.

- Para utilizar los interruptores de las cargas, es necesario poner atención para no rozar algún borne energizado.

Teniendo en consideración estos puntos, el desarrollo de cada práctica será más eficiente y el alumno estará menos expuesto a sufrir una descarga.

PRACTICAS A  
EFECTUAR EN EL TABLERO

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 1

SECUENCIA DE FASES

## SECUENCIA DE FASES

### OBJETIVO:

Determinar la secuencia de fases de una línea de distribución trifásica.

### INTRODUCCION:

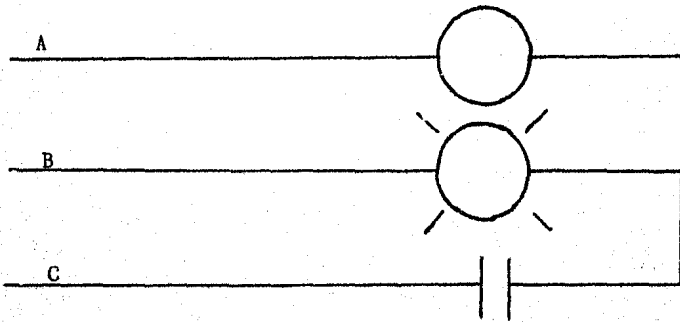
Un sistema trifásico de energía eléctrica balanceado es aquel en que los tres voltajes A, B, C, tienen igual magnitud y están desfasados entre sí  $120^\circ$  eléctricos con sentido de rotación positiva.

Sin embargo, el simple hecho de que los tres voltajes estén desfasados  $120^\circ$  eléctricos no es suficiente. El orden en que los voltajes A, B, C, se suceden entre sí, se denomina secuencia de fases o rotación de fases de los voltajes.

Esta secuencia queda determinada en la estación generadora de potencia, por el sentido de rotación de los generadores.

Es muy importante conocer la secuencia de fases de una línea de distribución cuando se conectan motores trifásicos a la línea de alimentación, ya que su sentido de rotación depende de la secuencia de fases. La secuencia y por

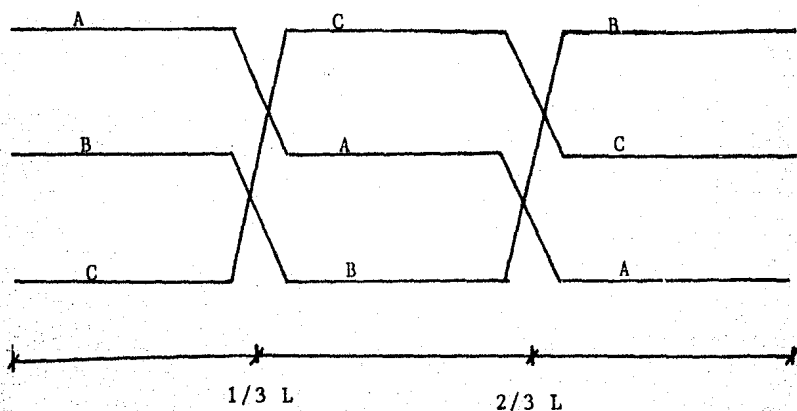
lo tanto, la rotación se pueden cambiar fácilmente con sólo intercambiar dos de las tres líneas de potencia. La secuencia de fases se puede encontrar con rapidez utilizando dos lámparas incandescentes y un capacitor, conectados en estrella según la figura:



Una de las lámparas brillará más que la otra. La secuencia de fases es: lámpara brillante-lámpara opaca-capacitor. En consecuencia en la figura anterior, si la lám para conectada a la fase B es la más brillante, entonces la secuencia de fases es BAC-BAC...BAC, obsérvese que la secuencia BAC es la misma que ACB y que es la misma que -- CBA.

Es importante señalar que en la práctica para igua

lar la reactancia inductiva de los tres hilos de una línea de distribución trifásica cuyos conductores no estén equidistantes entre sí, se transponen a la tercera parte y a las dos terceras partes de la longitud de la línea, de manera que cada conductor ocupe sucesivamente las tres posiciones posibles así como se muestra en la siguiente figura:



En este caso es fácil observar que las fases han cambiado de posición, por lo tanto habrá que determinar la secuencia de fases en cada punto en que se desee conectar alguna carga.

La secuencia de fases puede determinarse también con un secuencímetro, el cual girará en el sentido

de las fases, esto es, si la secuencia de fases a la que se conecta el secuencímetro no es la correcta, éste girará en sentido contrario al sentido que debe tener un motor.

#### DESARROLLO:

A) Determine la secuencia de fases por el método de las lámparas brillantes-opaca-capacitor.

B) Determine la secuencia de fases con un secuencímetro.

C) Realizar el siguiente experimento: En un puente variable energizado en dos extremos con un voltmetro determine la correspondencia de fases. Explicar cómo se hizo y el porqué.

D) Energice un juego de cuchillas abiertas por ambos lados (cuchillas de amarre) y verifique si estas se pueden cerrar con la ayuda de un voltmetro (faseo), si no es posible modifique algún puente para lograr la adecuada correspondencia de fases.

Dibuje su diagrama de conexiones y explique el procedimiento para verificar si es posible cerrarlas y porqué.

E) Conecte un motor trifásico de inducción de tal manera que gire en sentido horario y compruebe que cambiando dos



fases gira en sentido contrario. Explique el porqué.

F) Conclusiones.

#### INSTRUMENTO Y EQUIPO.

- Lámparas incandescentes
- Capacitor
- Secuencímetro
- Vóltmetro
- Cables para conexiones

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 2

CURVA DE DEMANDA

## CURVA DE DEMANDA

### OBJETIVO:

Determinar experimentalmente una curva de demanda.

### INTRODUCCION:

La carga global de un sistema está constituida -- por un gran número de cargas individuales de diferentes -- clases (industrial, residencial, alumbrado público, etc.) de potencia pequeña comparada por la potencia total consumida por el sistema.

La potencia suministrada en cada instante por un sistema es la suma de la potencia absorbida por las cargas más las pérdidas en el sistema. Aunque la conexión y la desconexión de las cargas individuales es un fenómeno aleatorio, la potencia total varía en función del tiempo siguiendo una curva que puede determinarse con bastante aproximación llamada Curva de Demanda y que depende del ritmo de las actividades humanas en la región servida por el sistema.

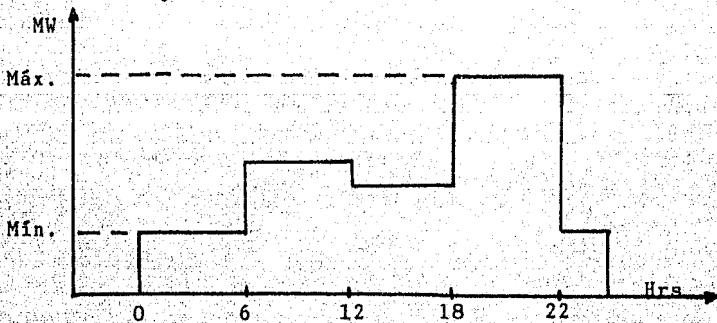
Existen cuatro factores que afectan la curva de demanda y son:

- 1.- Epoca del año.
- 2.- Clima del área servida.
- 3.- Día de la semana.
- 4.- Hora del día.

En la figura siguiente se muestra la curva que representa la variación de la potencia real suministrada por un sistema en función del tiempo, durante un período de 24 horas. El área bajo la curva representa la energía eléctrica generada durante ese período de tiempo.

La ordenada máxima de la curva determina la capacidad de generación de que se debe disponer para poder satisfacer la demanda.

La relación entre el área bajo la curva y el área que se obtendrá si la demanda se mantuviese a su valor máximo durante todo el período de tiempo considerado, se llama factor de carga.



La siguiente tabla nos muestra las diferentes clases de carga y cómo se encuentran éstas distribuidas en un alimentador tipo.

#### CARGAS DE UN ALIMENTADOR TIPO

1. Residencial .....	20 %
2. Industrial .....	30 %
3. Comercios y oficinas .....	20 %
4. Alumbrado público .....	5 %
5. Escuelas .....	10 %
6. Hospitales .....	10 %
7. Bombas de agua y servicios públicos .....	5 %
Total .....	100 %

En forma aproximada podemos obtener los porcentajes de cada tipo de carga para las diferentes horas del día, que son como se muestra a continuación:

	0-5	5-7	7-12	12-14	14-18	18-21	21-24
1	25%	80%	50%	70%	70%	90%	40%
2	30%	80%	100%	100%	100%	50%	30%
3	5%	50%	100%	100%	100%	50%	20%
4	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
5	10%	40%	100%	100%	50%	80%	10%
6	40%	80%	100%	100%	100%	100%	50%
7	80%	30%	20%	20%	20%	40%	70%

**DESARROLLO:**

Se obtendrá una curva de demanda aleatoria del -- sistema.

A) Conecte los puentes y cierre las cuchillas para energizar todo el tablero.

B) Conecte un amperímetro en cada fase del alimentador - primario y alimente el tablero.

C) Cierre uno o más grupos de interruptores para simular una carga y tome la lectura de la corriente del alimentador para determinar la potencia demandada.

D) Repita esta operación abriendo y cerrando interruptores así como conectando y desconectando un motor trifásico en alguno de los puentes variables, tomando lecturas en cada paso de manera que se obtenga una curva de demanda aleatoria. Elabore la gráfica considerando el F.P. = 0.9 atrasado para el motor.

E) Elabore la curva de demanda obtenida y calcule el factor de carga.

F) Conclusiones.

## INSTRUMENTO Y EQUIPO:

- Voltmetro
- Amperímetro (3)
- Motor trifásico
- Cables para conexiones

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 3

REGULACION DE VOLTAJE



## REGULACION DE VOLTAJE

### OBJETIVO:

Obtener la regulación de voltaje del sistema.

### INTRODUCCION:

Es importante para el adecuado funcionamiento de los aparatos que utilizan energía eléctrica, que el suministro de ésta tenga un alto grado de calidad, la cual -- queda definida por 3 factores:

- continuidad
- control de frecuencia
- regulación de voltaje

- La continuidad consiste en el servicio interrumpido del suministro el cual se logra con sistemas adecuados de protección para evitar daños severos a equipos con fallas, disposición de reservas de generación para hacer -- frente a la salida de alguna fuente de generación, con diseños de fácil operación y que las fallas que se puedan -- presentar sean de la menor repercusión sobre el sistema y la disposición de medios de restablecimiento rápidos para hacer menor la duración de la interrupción si ésta es inevitable.

- El control de la frecuencia depende de la velocidad de rotación de los generadores y normalmente dentro de un sistema de distribución no puede ser modificada.

- La regulación de voltaje consiste en mantener el voltaje aplicado a las instalaciones de los consumidores lo más próximo posible a su valor nominal. Es muy importante para el adecuado funcionamiento de los aparatos eléctricos, todos diseñados para trabajar dentro de un rango de tolerancia muchas veces muy pequeño; en general un aparato trabajando a un voltaje más bajo del nominal, reducirá su eficiencia notablemente, por ejemplo, un foco incandescente con una reducción del 10% del voltaje nominal su flujo luminoso se verá reducido en un 70%. El voltaje excesivamente alto provocará una disminución de la vida útil de los aparatos eléctricos.

Formalmente se define como el porcentaje de aumento de voltaje receptor cuando se desconecta la carga plena.

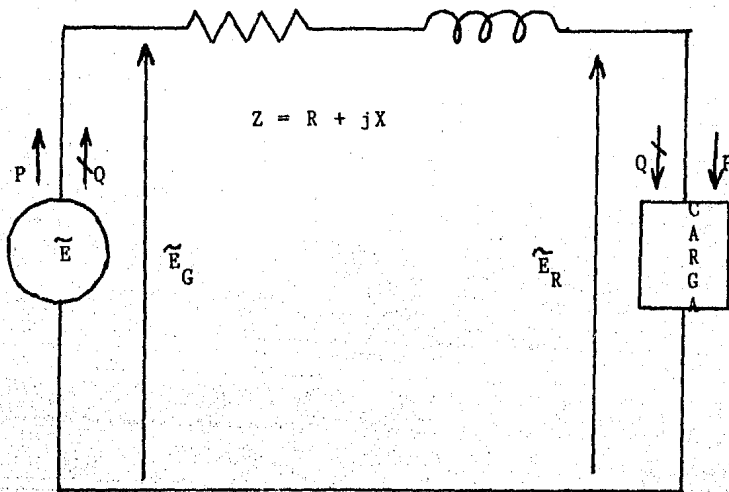
La expresión que nos determina este porcentaje es la siguiente:

$$\% \text{Reg.} = \frac{(E_0 - E_L)}{E_L} \times 100\%$$

donde  $E_0$  es el voltaje de circuito en vacío y  $E_L$  es el voltaje bajo plena carga ambos en el extremo receptor.

En los sistemas de distribución generalmente son líneas cortas (no más de 60 Km. de longitud y son tensiones de 40 KV ó menos), la capacitancia de la línea al neutro puede despreciarse y entonces cada fase de la línea -- puede representarse por una impedancia en serie igual a la impedancia por unidad de longitud multiplicada por la longitud de la línea.

En forma unifilar podemos representarlo de la siguiente manera:



Para este caso, el porcentaje de regulación de la línea se expresa:

$$\%Reg = \frac{(E_G - E_R) \times 100}{E_R}$$

donde  $E_G$  es el voltaje en el extremo generador y  
 $E_R$  es el voltaje en el extremo receptor.

En la práctica se utilizan dispositivos para mejorar la regulación, éstos normalmente colocados en las subestaciones de distribución algunas veces se colocan en algún punto de los alimentadores, éstos son generalmente autotransformadores con cambio automático de derivaciones bajo carga.

También se puede mejorar la regulación si la potencia reactiva se produce a un lugar próximo a donde se va a consumir, ya que la potencia real consumida tiene que ser producida por los generadores y transmitida hasta las cargas, mientras que la potencia reactiva puede ser generada por otros medios como los condensadores síncronos y capacitores que pueden localizarse en distintos puntos del sistema. Esto reduce la corriente que circula por el sistema de distribución liberando la capacidad instalada para la transmisión de potencia real, mejorando la regulación de voltaje por reducción de pérdidas de transmisión.

#### DESARROLLO:

A) Escoja en el extremo derecho del tablero una fase, coloque un banco de resistencias entre la fase y tierra co-

nectando un amperímetro y un voltímetro.

B) Energice la fase escogida conectando puentes y cerrando las cuchillas necesarias.

C) Sin carga (amperímetro marcando 0) tome la lectura -- del voltímetro y úselo como voltaje en vacío  $E_o$ .

D) Comience a meter carga y tome lecturas de corriente y voltaje, no se exceda de 15 amperes.

E) Llene la siguiente tabla:

LECTURA	I	$E_o$	$E_L$	%REG
1	0			0
2				
3				
4				
5				
'				
'				
'	15			

F) Explique los motivos de la reducción del voltaje con--

forme aumenta la carga e investigue los métodos prácticos para mejorar la regulación en un sistema.

#### INSTRUMENTOS Y EQUIPO:

- Vóltmetro
- Amperímetro
- Banco de resistencias
- Cables de conexión

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 4

FACTOR DE POTENCIA

## FACTOR DE POTENCIA

### OBJETIVO:

Obtener el factor de potencia en una carga reactiva.

### EXPOSICION:

En las redes eléctricas de corriente alterna, pueden distinguirse dos tipos de cargas: las cargas resistivas u óhmicas y las cargas reactivas.

Las cargas resistivas son aquellas que la onda de corriente que circula por la carga, se encuentra en fase con la onda de tensión aplicada. Este fenómeno se debe al comportamiento lineal de la resistencia obedeciendo la ley de Ohm:

$$V = IR$$

que relaciona las magnitudes de los parámetros de voltaje y corriente.

Las cargas reactivas son aquellas en las cuales existe un desfasamiento de la onda de corriente que circula por ella con respecto a la onda de tensión aplicada, es



te fenómeno se debe al comportamiento de los elementos -- constitutivos de las cargas reactivas que son inductores y capacitores.

La expresión que nos relaciona el voltaje en un inductor de inductancia L es:

$$V = L \frac{di}{dt}$$

suponiendo un voltaje senoidal de magnitud  $V_m$  tenemos:

$$V = V_m \text{ sen } \omega t = L \frac{di}{dt}$$

despejando di:

$$\frac{V_m \text{ sen } \omega t \, dt}{L} = di$$

si integramos ambos miembros de la ecuación:

$$\frac{V_m}{L\omega} (-\cos \omega t) + K = i$$

suponiendo las condiciones iniciales cero y aplicando la -

siguiente identidad trigonométrica:

$$-\cos wt = \sin \left( wt - \frac{\pi}{2} \right)$$

obtenemos:

$$i = \frac{V_m}{\omega L} \sin \left( wt - \frac{\pi}{2} \right)$$

por lo que la corriente que circula a través del inductor (si este es ideal) será  $\frac{\pi}{2}$  radianes o sea  $90^\circ$  atrasada - con respecto a la tensión aplicada  $V_m \sin wt$ .

Un procedimiento similar demostrará que la corriente que circula a través de un capacitor ideal sería de  $90^\circ$  pero adelantados.

Al coseno del ángulo que existe de defasamiento entre la onda de voltaje y de corriente se llama factor de potencia.

La expresión que nos permite conocer la potencia real absorbida por una carga es:

$$P = VI \cos \theta$$

donde  $\theta$  es el ángulo de defasamiento que existe entre los dos fasores.

El valor absoluto de la potencia reactiva es:

$$Q = VI \sin \theta$$

Idealmente una reactancia consumiría solo potencia reactiva, pero en la realidad no se encuentran a cargas puramente reactivas ya que todos los dispositivos tienen componentes resistivos por lo que el factor de potencia nunca es cero.

Por convención de flujos de potencia reactivos se consideran a los inductores como consumidores de potencia, mientras que los capacitores como productores de ésta.

El factor de potencia nos relaciona la potencia real y la potencia aparente que se entrega a la carga:

$$\text{F.P.} = \frac{\text{Potencia real (Watts)}}{\text{Potencia aparente (VA)}}$$

Y en realidad dicho factor es un indicador de la potencia realmente aprovechada de la potencia total suministrada.

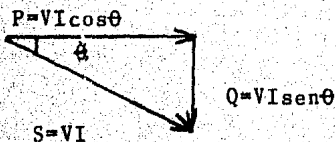
Es conveniente mantener en la carga un factor de -

potencia cercano a 1. para aprovechar enteramente la potencia real suministrada.

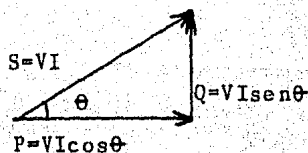
En las industrias y talleres normalmente se trabajan con máquinas herramientas que contienen motores, estos por -- sus embobinados presentan una carga reactiva inductiva que -- tienden a defasar la corriente respecto al voltaje generando un factor de potencia atrasado y menor a 1; no se debe de per -- mitir que el F.P. baje de 0.85 ya que la compañía suministradora cobra una multa por el excesivo flujo de potencia reactiva que disminuye la capacidad de suministro de potencia real.

Para mantener cercano a 1 el factor de potencia se utilizan capacitores que suministran la potencia reactiva que los motores consumen y adelantan al factor de potencia compensando así el atraso sufrido por las inductancias.

Las siguientes figuras nos muestran cómo se comportan las potencias real y reactiva en los llamados triángulos de potencia:



Carga Inductiva (atrasada)



Carga Capacitiva (adelantada)

Estos triángulos claramente nos muestran cómo el factor de potencia atrasado por una carga inductiva puede ser corregido y acercado a 1 por una carga capacitiva.

Para calcular el valor que se necesita se utiliza el siguiente procedimiento:

La carga inductiva absorbe una potencia aparente trifásica igual a:

$$3S = 3(P + jQ)$$

El factor de potencia en la carga es:

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{P}{P + jQ}$$

Por cada fase circula una potencia aparente:

$$S = P + jQ = VI$$

$$P = VI \cos \phi$$

$$Q = VI \sin \phi$$

El Banco de capacitores por cada fase suministra una potencia reactiva de:

$$Q_c = VI_c$$

donde la corriente  $I_c$  que circula por cada fase del banco de capacitores es:

$$I_c = \frac{V}{jX_c} = j2\pi fCV$$

Por lo que la capacitancia  $C$  de cada fase del banco de Capacitores es igual a:

$$C = \frac{Q_c}{2\pi fV}$$

donde  $Q_c$  puede ser obtenida a partir de la potencia alimentada y de las diferencias de los factores de potencia, que existe  $\theta_1$  y del que se desea  $\theta_2$  mediante la siguiente expresión:

$$Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

obteniendo los KVAR por fase que se necesitan para llevar el factor de potencia a un valor deseado.

#### DESARROLLO:

- A) Conecte en algún puente variable un motor trifásico, - haga mediciones con un wattímetro de la potencia real consumida y mida el voltaje de suministro y la corriente que circula.
- B) Obtenga el factor de potencia con el cual está trabajando el motor y explique cómo lo obtuvo.
- C) Conecte capacitores a las fases y observe qué sucede, anótelos.

Problema ejemplo:

D) Calcule cuántos KVAR se necesitarían para mejorar un -  
factor de potencia de 0.80 atrasado a 0.95 atrasado en una  
carga trifásica de 900 KW.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 5

BALANCEO DE FASES



## BALANCEO DE FASES

### OBJETIVO:

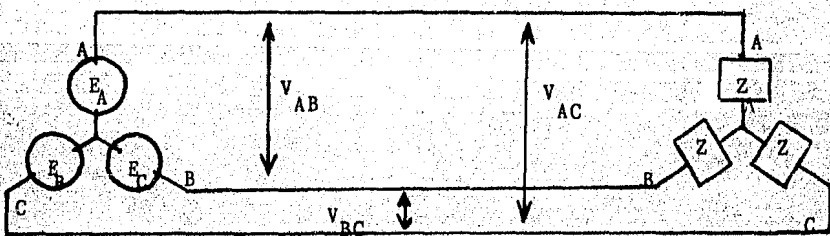
Conocer las consecuencias de un sistema desbalanceado.

### INTRODUCCION:

Los sistemas eléctricos son alimentados por generadores trifásicos, los cuales para su óptimo funcionamiento deben de alimentar cargas trifásicas de similar magnitud en cada una de las tres fases, estas cargas se llaman cargas trifásicas balanceadas.

En la realidad la mayoría de las cargas de un alimentador tipo, son monofásicas (residencial, alumbrado público, comercios, oficinas, escuelas, hospitales) por lo que es importante que un sistema se diseñe de tal manera que la suma total de carga conectada a cada fase sea igual, en otras palabras que esté balanceado.

La siguiente figura nos muestra un sistema trifásico:

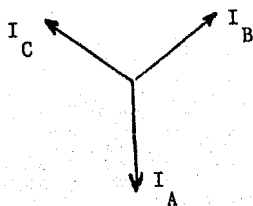


Las tensiones generadas son del mismo valor y - como sabemos están defasadas  $120^\circ$  entre sí.

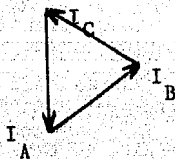
La ecuación que nos describe el comportamiento de las corrientes en el circuito es:

$$\tilde{I}_a + \tilde{I}_b + \tilde{I}_c = \tilde{I}_n$$

Si suponemos el valor de las tres impedancias igual obtendríamos que las corrientes son también de la misma magnitud y el diagrama fasorial que nos describe esta situación es el siguiente:



Bajo esta situación, si efectuamos la suma vectorial de las corrientes nos daría cero como se muestra gráficamente:



Por lo que la corriente que circula entre los neutros de la carga y el generador es cero. Con lo que podemos concluir que puede tener cualquier impedancia o estar abierta y el potencial aplicado a las cargas permanecer igual.

Si la carga no está balanceada, es decir, la magnitud de la corriente es distinta en cada una de las fases, la suma vectorial de estas no será cero y circulará corriente por el neutro acarreado algunos problemas como el de la regulación de voltaje; si el neutro tiene una impedancia alta o no existe.

Todo esto nos señala la importancia de balancear un sistema. En realidad la manera de hacerlo es a nivel de diseño, calculando las corrientes a circular en cada una de las fases, de tal manera que sean iguales, en la práctica, la manera es cambiando carga de la(s) fase(s) más cargada(s). El valor máximo de desbalanceo permitido por norma entre la fase más cargada y la menos cargada es del 3%.

#### PROCEDIMIENTO:

- A) Conecte amperímetros en cada una de las fases.
- B) Coloque un amperímetro en el puente de tierra, de la malla IV.

C) Meta carga a través de los interruptores, que sea toda la carga.

D) Anote la lectura de los amperímetros y verifique que el amperímetro del neutro marque cero (o aproximadamente cero).

E) Mida el voltaje entre fases. Anótelo.

F) Desconecte el circuito de tierra y vuelva a medir el voltaje entre fases.

G) Desconecte el amperímetro conectado a la tierra (quede sin aterrizar el tablero). Mida el voltaje entre fases y anote el valor obtenido.

H) Vuelva a conectar el amperímetro y vaya quitando carga. Tome las lecturas de los amperímetros y observe qué sucede con el amperímetro conectado a tierra.

I) Desconecte el amperímetro conectado en el neutro y mida nuevamente los voltajes entre fases y anote las variaciones.

J) Conecte nuevamente el amperímetro del neutro y desconec

te por medio del interruptor termimagnético toda una fase, observe las variaciones de voltaje entre fases y la corriente que circula por el neutro.

K) Desconecte otra de las fases y observe los amperímetros. Explique porqué ahora es igual la corriente de la fase que la que circula por el neutro.

#### INSTRUMENTOS Y EQUIPO:

- 4 Amperímetros
- 1 Voltmetro
- Cables de conexión.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 6

SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

## SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

### OBJETIVO:

Conocer los diferentes sistemas de distribución y sus características.

### INTRODUCCION:

Los sistemas de distribución tienen como función su administrar a los consumidores la energía eléctrica.

Los elementos constitutivos de un sistema de distribución son:

- Subestación de distribución: recibe la energía eléctrica a voltajes de transmisión y los baja a voltajes de distribución primarios.
- Alimentadores primarios: parten de las subestaciones de distribución, son trifásicos de 3 y 4 hilos, en México se utilizan generalmente tensiones entre hilos de 6 kv, 13.2 kv y 23 kv.
- Transformadores de distribución: reducen la tensión al valor de utilización por los clientes.

- Circuitos secundarios: son los que partiendo del transformador llegan hasta la entrada de la instalación del consumidor, son generalmente trifásicos de 4 hilos, de 115 a 127 volts entre fase y neutro ó de 220 a 240 entre fase y neutro. El segundo es más generalizado en Europa.

Los sistemas de distribución más usuales son:

- Sistemas radiales aéreos: estos sistemas se usan generalmente en las zonas suburbanas y en las zonas rurales.

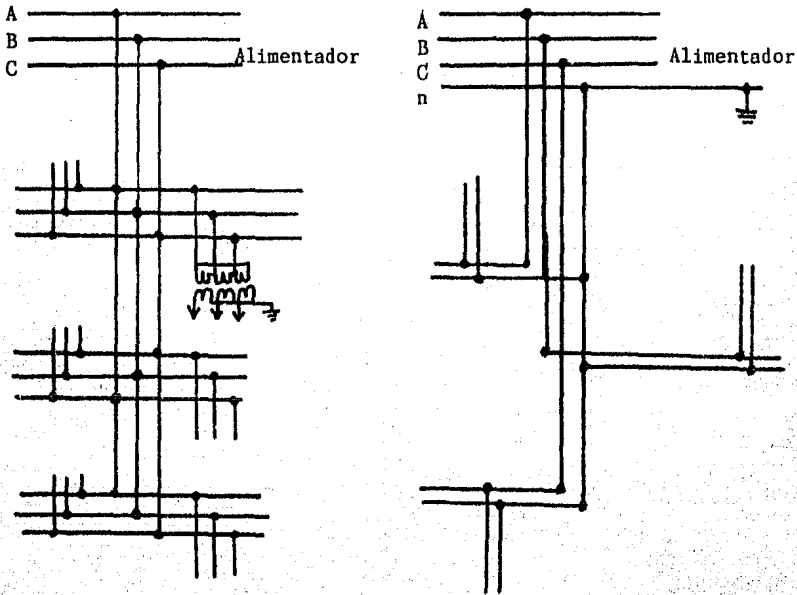
Los alimentadores primarios están constituidos por líneas aéreas sobre postes y alimentan transformadores de distribución que también están montados sobre postes. En regiones rurales en las que la densidad de carga es baja, se utiliza el sistema radial puro. En regiones suburbanas con mayor densidad de carga, los alimentadores primarios tienen puntos de interconexión los cuales están abiertos normalmente y bajo condiciones de emergencia permiten pasar carga de un alimentador a otro.

Los circuitos secundarios de cada transformador también se conectan a los usuarios en forma radial. En algunos casos se conectan los secundarios de los transformado-



res adyacentes.

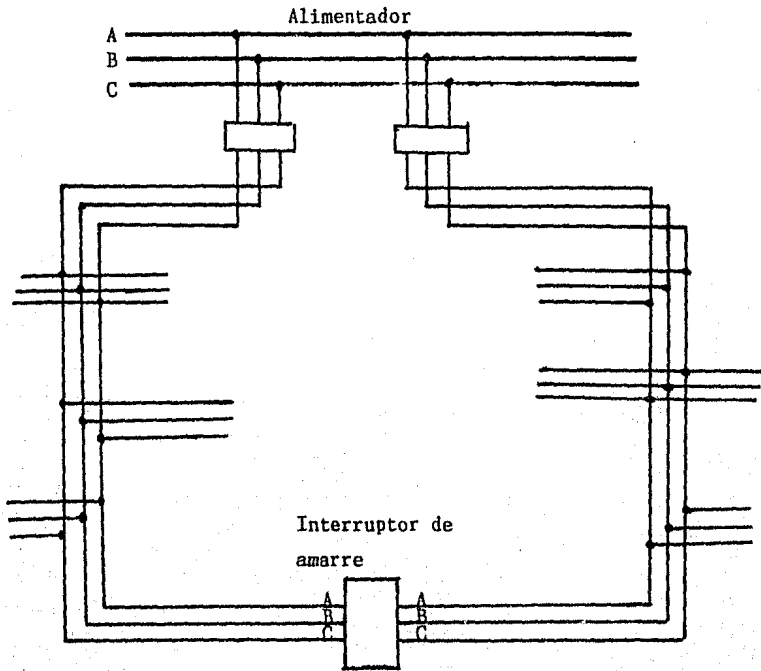
Para este tipo de sistema se utilizan 3 o 4 hilos en los alimentadores primarios conectándose como lo muestran las figuras:



Alimentadores primarios en anillo:

En zonas de densidad de carga elevada, para mejorar la continuidad de servicio y la regulación de voltaje, se puede recurrir a interconectar los extremos de dos alimentadores primarios que partan de una misma subestación, mediante un interruptor llamado de amarre como lo muestra la

siguiente figura:



El arreglo puede operarse de las siguientes dos maneras:

- Interruptor de amarre normalmente abierto: los dos alimentadores funcionan como alimentadores radiales; si sucede una falla en un alimentador, abre el interruptor correspondiente de la subestación y una vez seccionada la falla, puede cerrarse el interruptor de amarre para tomar

parte de la carga del alimentador afectado por la falla.

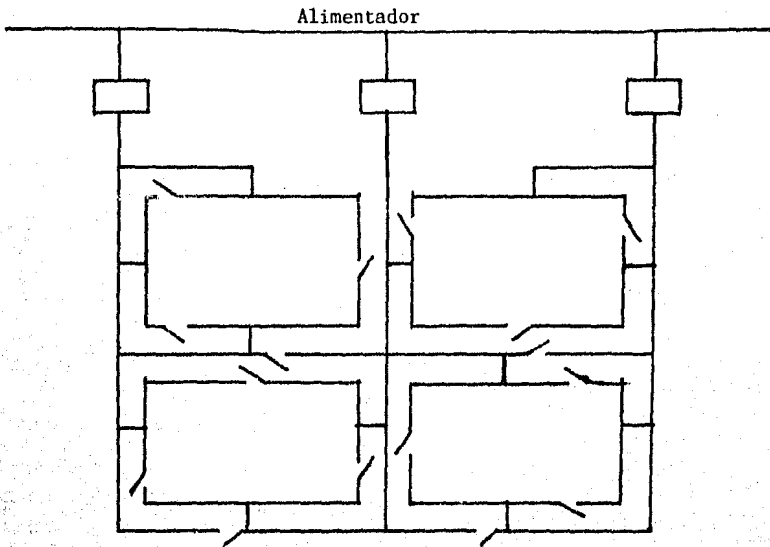
- Interruptor de amarre normalmente cerrado: el sistema opera como anillo; la carga total se divide entre los dos alimentadores y se obtiene una mejor regulación de voltaje reduciéndose las pérdidas. Una falla en algún punto del anillo provoca la apertura de interruptor de amarre separando los dos alimentadores, abriendo posteriormente el interruptor en la subestación correspondiente al alimentador afectado por la falla.

Los circuitos secundarios de los sistemas radiales pueden ser de tres tipos: trifásico de cuatro hilos, monofásico de tres hilos y trifásico de tres hilos, éste último utilizado para alimentar cargas industriales es el menos utilizado.

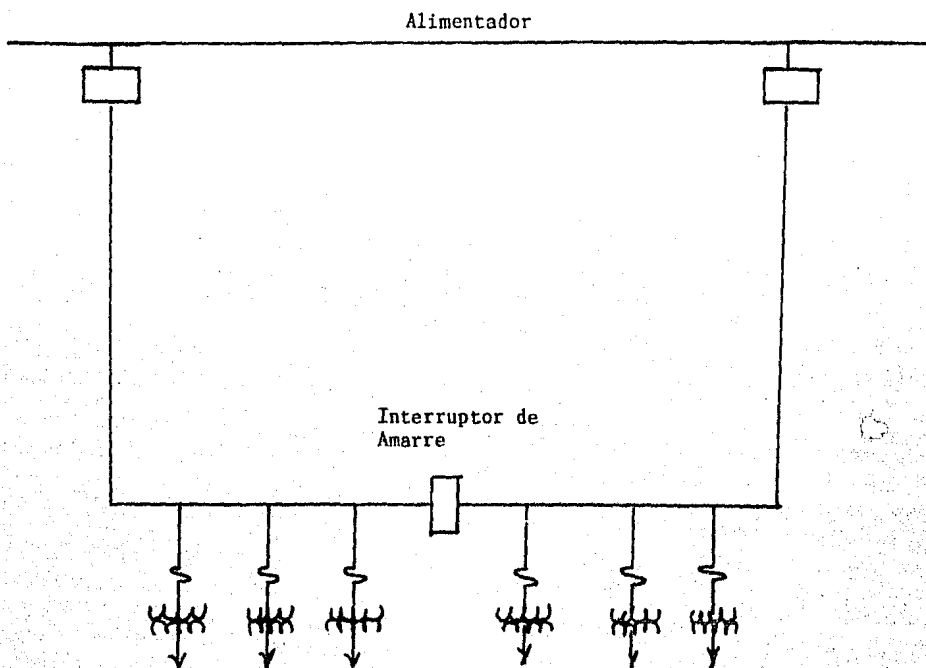
- Sistemas radiales subterráneos: éstos se usan en zonas urbanas de densidad de carga media y alta por estar menos expuestos a fallas que los aéreos; pero cuando su produce una falla es más difícil de localizar y su reparación lleva más tiempo. Por esta razón, para evitar interrupciones prolongadas y proporcionar flexibilidad a la operación, se instalan seccionadores, para permitir pasar la carga de un alimentadora otro y para poder conectar entre sí

circuitos secundarios en caso de una falla de algún transformador.

La siguiente figura nos muestra el diagrama unifilar de un sistema radial subterráneo:



En zonas residenciales suburbanas existe actualmente la tendencia a realizar la distribución eléctrica mediante instalaciones subterráneas. Los alimentadores primarios subterráneos se encuentran formando un anillo que funciona normalmente abierto conectados a un alimentador aéreo próximo como es mostrado en la siguiente figura:



**DESARROLLO:**

- A) Forme en el tablero un sistema radial, dibuje su diagrama de conexiones y explique porqué es radial.
- B) Forme en el sistema un sistema de anillo, dibuje su diagrama de conexiones y explique porqué es anillo.
- C) Explique para qué casos se usa cada sistema.
- D) Qué ventajas ofrece el sistema en anillo comparado al radial?
- E) Investigue sobre el sistema de red, sus usos y ventajas.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 7

INTERCONEXION DE SISTEMAS Y

DISTRIBUCION DE CARGA

## INTERCONEXION DE SISTEMAS Y DISTRIBUCION DE CARGA.

### OBJETIVO:

Conocer las condiciones de interconexión de dos o más sistemas y aprender a modificar dos sistemas radiales para convertirlos en anillo.

### INTRODUCCION:

Debido al constante crecimiento de la población, - el incremento de la demanda de energía eléctrica exige la expansión y la interconexión de los sistemas de distribución para satisfacer las nuevas demandas y dar mayor confiabilidad de operación al sistema.

Las condiciones necesarias para interconectar dos o más sistemas de distribución son las mismas para interconectar generadores y son:

1. Idéntica secuencia de fases.
2. Correspondencia de cada una de las fases.
3. La magnitud de los voltajes en los sistemas a interconectar deben ser muy similares.
4. Misma frecuencia en los sistemas.

Como se menciona en la práctica anterior en algunos casos se conectan los extremos de dos alimentadores primarios que salen de una misma subestación para lograr una mejor continuidad en el servicio y una mejora en la regulación de voltaje.

#### DESARROLLO:

- A) Forme dos sistemas radiales que puedan ser interconectados mediante algún juego de cuchillas y cerciórese de que éstas se encuentren abiertas.
- B) Pruebe en ambos lados de las cuchillas (navaja y mordaza) que se cumplan los 4 puntos mencionados para su interconexión.
- C) Una vez verificados los 4 puntos ciérrense las cuchillas.
- D) Elabore un diagrama de sus conexiones señalando los dos sistemas radiales originales y el anillo que se formó.
- E) Explique las ventajas del sistema en anillo.

#### INSTRUMENTO Y EQUIPO:

- Voltmetro
- Frecuencímetro
- Secuencímetro
- Cables de conexión



U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I

PRACTICA # 8

FALLAS Y METODOS DE LOCALIZACION

## FALLAS Y METODOS DE LOCALIZACION

### OBJETIVO:

Conocer los diferentes tipos de fallas que se pueden presentar en una línea aérea o en un cable subterráneo y los métodos utilizados para localizarlos.

### INTRODUCCION:

Se dice que un circuito eléctrico está en disturbio cuando sus condiciones de operación se encuentran en situación anormal, lo cual trae como consecuencia variaciones notables en la frecuencia, voltaje y corriente del circuito.

Desgraciadamente, tanto para el usuario como para la compañía suministradora, los sistemas de distribución no pueden llegar a ser 100% confiables por lo que deben ser diseñados y construidos pensando en los siguientes puntos:

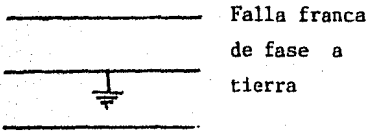
1. Seguridad.
2. Localización y reparación rápida de fallas.
3. Fácil aislamiento de la falla.
4. Restauración rápida de consumidores no afectados.

En forma general, las fallas se pueden clasificar en 3 grupos principales:

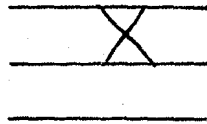
- a) Fallas a tierra
- b) Corto circuito
- c) Trozadura

Otras fallas resultan de la combinación de las anteriores.

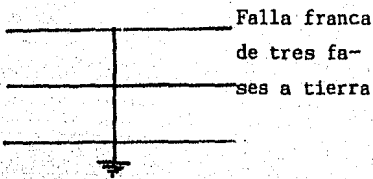
Las fallas más comunes se ilustran en las siguientes figuras:



Falla franca de fase a tierra



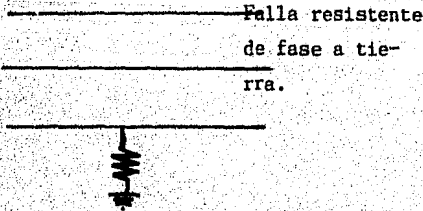
Corto circuito franco entre dos fases.



Falla franca de tres fases a tierra



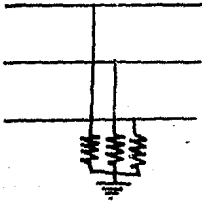
Corto circuito franco entre tres fases.



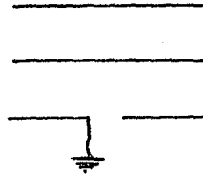
Falla resistente de fase a tierra.



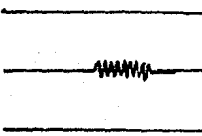
Corto circuito resistente entre dos fases.



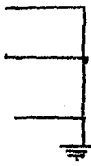
Falla resistente de tres fases a tierra.



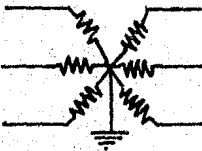
Conductor trozado con una sección a tierra.



Conductor trozado unido por una resistencia



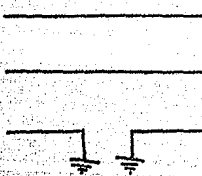
Tres conductores trozados puestos a tierra por un solo lado.



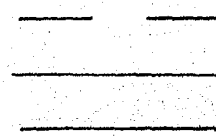
Trozados con resistencia a tierra por ambos lados.



Tres conductores trozados.



Conductor trozado puesto a tierra por ambos lados.



Un conductor trozado.

Debido a que la distribución de energía eléctrica se puede hacer tanto en forma subterránea como aérea, las fallas que en ambos casos se presentan son de distinto carácter, mismas que a continuación se describen:

#### Fallas en Sistemas de Distribución Subterránea:

Las instalaciones subterráneas están expuestas -- principalmente a las siguientes fallas:

##### - Daño mecánico:

Al efectuar obras de urbanización o hacer excavaciones es común que algún trabajador por ignorancia o descuido dañe el cable.

##### - Efecto galvánico o corrosión:

La presencia de determinados compuestos químicos -- como ácidos o álcalis pueden atacar las cubiertas de aislamientos.

La presencia de corriente eléctrica directa propicia en algunas ocasiones que dicha corriente deje sus conductores para fluir libremente por las cubiertas de plomo en el lugar donde éstas dejan el cable para regresar a sus conductores, allí se produce en el forro del plomo una corrosión por efectos galvánicos.

##### - Cristalización:

El continuo movimiento del cable dentro del ducto

debido a las dilataciones y contracciones de éste a consecuencia de su régimen de carga, termina por orientar las moléculas del forro de plomo agrietándose.

- Asentamientos del subsuelo:

Este fenómeno dá como resultado el estiramiento de las cubiertas de plomo que llegan a reventarse propiciando así la falla.

- Tierrazos:

Los transitorios debidos a cortos circuitos, aperturas de interruptores, producen corrientes residuales que fluyen por las cubiertas de plomo, elevándose en ocasiones el potencial de una cubierta con respecto a la otra; de ahí que en lugares donde una cubierta toca o pasa cerca de otra o de alguna estructura que propicie una diferencia de potencial suficientemente alto, se produce una descarga la cual perfora las cubiertas de plomo dejando esta descarga llamada tierra.

- Introducción de agua o humedad:

Las perforaciones, agrietamientos y rayaduras en la cubierta, así como el descuido al hacer uniones y derivaciones, dan lugar a la introducción de agua o humedad -- dentro del cable, esto trae como consecuencia una falla.

- Sobrecarga continua:

Un cable que trabaja todo el tiempo sobrecargado llega a quemar su aislamiento, perdiendo sus propiedades dieléctricas y provocando la falla.

- Vejez:

Conforme pasa el tiempo, el aislamiento del cable se reseca y agrieta lo que provoca una falla.

- Daños por manipulación:

Forzar los conductores en curvas de radio menores a los especificados, uniones defectuosas, colocación de objetos pesados, la falta de cuidado en el tiraje, la suciedad en los ductos y la falta de precaución donde existen objetos filosos, traen consigo una falla.

- Mordedura de rata:

A las ratas les encanta roer los forros, esto produce puntos de falla.

- Incendios:

En caso de siniestro exterior la temperatura se eleva a tal grado que se funde el plomo lo cual produce una falla.

En los puntos donde hay mayor probabilidad de falla en Instalaciones Subterráneas son: las uniones y derivaciones, pozos de visita, aglomeraciones de cables.

Para la localización de fallas en sistemas subterráneos es necesario conocer las características del cable.

Análisis de la naturaleza de la falla:

Para poder aplicar el método adecuado de localización es necesario saber de qué tipo de fallas se trata por lo que mediante las siguientes pruebas se determina de manera práctica.

- Resistencia de aislamiento: con un Megger, se mide la resistencia, en los extremos del cable de cada una de las fases contra la pantalla y entre las fases mismas. Con esta prueba se detecta si existe corto circuito entre alguna de las fases a tierra o entre conductores.
- Continuidad de los conductores: se realiza cortocircuitando los tres conductores en un extremo y con un foco y una batería se cierra un circuito con dos conductores de tal manera que si enciende el foco existe continuidad entre esos dos conductores. Esta prueba detecta si existe alguna trozadura en los conductores. También se puede



probar la continuidad de la pantalla.

#### FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION AEREOS.-

Los sistemas de distribución aéreos están expuestos a diversos fenómenos, que originan fallas más frecuentemente que en los sistemas subterráneos, pero los sistemas aéreos presentan la ventaja de una localización más rápida y una fácil reparación de la falla.

Las causas más comunes de fallas en las líneas aéreas son de origen externo a la operación del sistema y -- las diversas causas son:

- Climatológicas: descargas atmosféricas, precipitaciones pluviales, vientos y niebla.
- Medio ambiente: contaminación ambiental, polvo, atmósfera corrosiva.
- Vandalismo y accidentes: pedradas y balazos a -- los aisladores, "diablitos" en los transformadores, derribamientos de postes por accidentes automovilísticos.
- Objetos que caen a las líneas: ramas de árbol -- principalmente.
- Sismos.

Existiendo además las fallas propias del sistema por equipo defectuoso o instalación incorrecta del equipo.

#### LOCALIZACION DE FALLAS.-

Subterráneas: una vez determinada la falla en el cable, la localización consiste en determinar a qué distancia del extremo se encuentra la falla siendo los métodos siguientes los más efectivos:

1. Murray
2. Santy
3. Puente AOTP
4. Ondas de choque

Aéreas: es mucho más sencillo ya que sólo basta con seguir la línea y localizar el punto de falla.

#### SECCIONAMIENTO DE FALLAS.-

Cuando se diseña un sistema de distribución debe de tomarse en cuenta, que puede ocurrir una falla, ya sea en una línea o en un cable, y cuando ésto suceda no afecte una zona muy grande alrededor de la falla.

Al presentarse la falla, se deberán de hacer las maniobras necesarias para aislar la falla, con el propósito

to de que la falla esté lo más independiente del sistema y con ésto se afecte al menor número de consumidores.

DESARROLLO:

- A) Alimente el tablero por la rama inferior de la malla I.
- B) Suponga una falla en la rama izquierda de la malla IV, entre la cuchilla y el puente.
- C) Elabore un diagrama del sistema energizado.
- D) Anote las repercusiones de la apertura de cada una de las cuchillas.
- E) Señale qué cuchillas eliminan la falla.
- F) Escoja qué cuchilla abriría usted para eliminar la falla y mencione sus razones.

LISTA  
DE  
MATERIALES

Los materiales usados para la construcción del Tablero son los siguientes:

- 1 Hoja de madera Triplay de 240 x 95 cm. y  $\frac{1}{2}$ " de espesor.
- 120 Metros de cable TW # 14
- 240 Zapatas
- 70 Tornillos
- 210 Rondanas
- 70 Tuercas
- 70 Mariposas
- 12 Cuchillas, 1 fase 1 tiro
- 27 Lámparas Incandescentes
  - 9 de 40 W
  - 9 de 75 W
  - 9 de 100 W
- 27 Bases tipo Sockets
- 27 Interruptores (apagadores)
- 1 Centro de carga
- 3 Interruptores térmicos de 15 Amp.

- 3 Focos pilotos
- 23 Letreros rotulados en Lamicoil
- 7 Tablillas de Conexión.

## CONCLUSIONES

Los motivos que nos llevaron a construir este Tablero, se deben a la importancia que representa éste como una herramienta en el apoyo a los planes de estudio de el área de Ingeniería Eléctrica de esta Facultad.

Este sencillo pero útil conjunto de elementos es un pequeño grano de arena que aportamos como muestra de agradecimiento hacia la U.N.A.M. que tanto nos ha dado al proporcionarnos la preparación que hemos de ejercer en el futuro.

Aunque durante su construcción nos enfrentamos a -- problemas, estos últimos fueron superados, y el hecho es, - que el tablero es ya una realidad y se encuentra funcionando y listo para cuando así se le requiera, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Esperamos que el Tablero se utilice a la brevedad - posible para que no quede en el olvido, sino que dé frutos - ya que en general, un proyecto que no se explota a corto -- plazo, se vuelve obsoleto.

El Tablero en sí tiene un campo de aplicación muy - extenso dentro de el Laboratorio ya que al ser compatible - con el resto de el equipo existente lo hace ser tan sencii--

llo o tan complejo y con esto tener nuevos horizontes no - solo para las materias que aquí proponemos sino como para otras más como por ejemplo las materias de Sistemas Eléc- tricos de Potencia II y Protección de Sistemas Eléctricos y con ello complementar su Laboratorio.

Queremos recalcar lo importante que consideramos - el llevar a la práctica la teoría aprendida en clase, sien- do éste uno de los motores principales que nos movieron pa- ra ejecutar la construcción de este Tablero así como las 8 prácticas desarrolladas que proponemos aquí.

Agradecemos profundamente al Ing. Juan Vicente Le- duc Rubio por su interés y apoyo en la construcción, ya que su ayuda fue base para hacer realidad el Tablero.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Diseño de un tablero de pruebas de un sistema de distribución.

Tesis profesional : Hernández Nava Valentín  
López Duarte José  
Paredes Montaña Celso  
Rivera Rosado José  
Robles Trujillo Benjamín  
Valdez Dantes Oscar  
Valdez Rosas Efraín  
México 1985.

- 2.- Redes Eléctricas. Jacinto Viqueira Landa.  
Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería.  
1a. Parte. México 1973.
- 3.- Sistemas de Transmisión de Potencias Eléctricas.  
Theodore Wildi. Ed. Limusa. 1a. Edición. México 1979.
- 4.- Apuntes tomados en la cátedra de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica, impartida por el Ing. -  
Juan Herrera.