

29  
2 ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA LA  
SIMULACION DE FALLAS TRIFASICAS Y  
MONOFASICAS EN SISTEMAS DE  
DISTRIBUCION ELECTRICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**FRANCISCO JOSE CASTILLO CORTES**

**ING. ABEL CLEMENTE REYES**

**DIRECTOR**

**MEXICO, D. F.**

**OCTUBRE DE 1991**

**FALLA DE ORIGEN**



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.

## INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto representa un esfuerzo de poco más de un año de investigación y desarrollo de un sistema de simulación en computadora.

Dicho proyecto pretende abarcar tres importantes áreas de la Ingeniería como son la Computación, la Electrónica y la Eléctrica, y para ello se presentan de un modo accesible, los dos tipos de falla (corto-circuito) más comunes en 7 capítulos más dos apéndices, tratando en cada uno, un aspecto del proyecto en sí.

El capítulo 2 Muestra un panorama general de el ambiente estudiado, es decir de los Sistemas Eléctricos de Potencia.

En el capítulo 3 se enuncian, de modo breve, los principales percances que por lo general ocurren en un S. E. P., mientras que en el 4 se delimitan los más comunes y, una vez que se ha conocido a fondo el "lugar" (los S. E. P.) donde se presentan las fallas, es muy importante conocer qué es lo que se intenta "simular" en computadora y, para esto, los capítulos 5 y 6 explican este particular.

Conocido ya lo que es y hace un simulador, y todo lo que se desea simular, desarrollarlo fue la parte más laboriosa como se indicó al principio, pero esto no es suficiente, se hacía evidente la necesidad de poner a prueba los aspectos desarrollados y para ello el capítulo 7 da los resultados obtenidos mediante una encuesta.

Finalmente el capítulo 8, menciona las experiencias adquiridas, las expectativas y los deseos que este trabajo propiciaron y seguirán propiciando durante algún tiempo.

Como complemento final, se agregan dos apéndices. El primero, es un "Manual del usuario", el cual se desarrolló y transformó a partir de los comentarios en la encuesta del capítulo 7.

El segundo apéndice es sólo una recopilación de algunas normas de instalaciones eléctricas, para situarse un poco en el medio de trabajo.

Todos aquellos que trabajamos en este proyecto deseamos que se logre un buen uso de él y que sea útil para ayudar a evitar los corto-circuitos existentes.

## **Capítulo 2**

**Descripción general de los sistemas eléctricos de potencia.**

## DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

### 2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Cada vez que la gente se encuentra en sus hogares o en sus ocupaciones, basta oprimir alguna tecla o conectar algún aparato eléctrico para poner en operación una lámpara, un motor, algún equipo electrodoméstico, etc. sin imaginar siquiera el gran trabajo y esfuerzo que requiere generar transmitir, distribuir y suministrar cualquier alimentación, para que la energía eléctrica esté a la disposición de la gente, ya sea en el hogar, la industria o centros de trabajo y justo en el momento que las personas lo deseen. Si se reflexiona en lo anterior, surge de inmediato la interrogante: ¿Cómo es posible esto?

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (S. E. P.) son el conjunto de elementos que, interconectados entre sí, llevan energía desde los centros de generación hasta los centros de distribución y consumo. El siguiente esquema, ejemplifica los elementos básicos que intervienen en un S. E. P.

| Punto<br>de generación | Vía de transmisión<br>y distribución | Punto de<br>consumo |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------|
|------------------------|--------------------------------------|---------------------|



Ahora bien ¿qué se debe entender por energía y qué por potencia? Existen muchas definiciones de energía, sin embargo ninguna satisface plenamente el razonamiento humano hasta el momento; es más, se dice que cuando se logre una definición pura de "Energía", todo conocimiento universalmente aceptado como válido, tendrá que cambiar. Esto debido a que de una o de otra forma, la energía es básica en la vida del ser humano y todo lo que éste haya hecho hasta el momento, se ve influenciado por aquella.

A la energía la entendemos de acuerdo a sus manifestaciones y aplicaciones, por lo que una definición aceptable sería "Energía, capacidad de producir efectos dinámicos vitales". Esta definición es totalmente científica, pero en un diccionario común se pueden encontrar definiciones tales como las siguientes:

"Energía: Eficacia, poder, virtud para obrar", "Fuerza de voluntad, vigor y tesón en la actividad".

Es oportuno mencionar que existen otras definiciones de energía pero son específicas de áreas de la ciencia ya que hablan de una energía en particular como por ejemplo: "Causa capaz de transformarse en trabajo mecánico". Como se puede apreciar todas las definiciones comunes son muy ambiguas y en un momento dado esto puede acarrear cierta confusión. Otro punto que conviene aclarar, es el principio de conservación de la energía de Lavoisier que en la actualidad se ha extendido a materia y energía. "La materia y la energía no se crean ni se destruyen, sólo se transforman entre sí". Este último concepto, permite ver ya, una idea más clara del porqué, todo está relacionado con la energía.

Quando se habla de S. E. P. es básico, al igual que para energía, tener un concepto claro de potencia. Siempre se ha tenido noción de lo que es potencia entendiendo a esta por medio de una comparación al decir que un motor, una máquina o cualquier aparato, es más potente que otro utilizado para el mismo fin, pero en qué se basa el hecho de decir "el más potente". Este será aquel que realice el objetivo final en un menor tiempo. Como se deduce de lo anterior, potencia es la energía aplicada a un sistema, durante un intervalo finito de tiempo. Si este intervalo fuese infinito entonces se tiene una vez más energía.

Resumiendo, un buen entendimiento de los sistemas eléctricos de potencia, depende en gran medida, de la idea clara que se tenga de los parámetros que los forman.

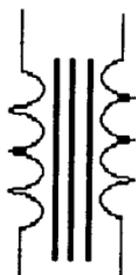
En la representación de los circuitos, tanto de transmisión como de distribución, podemos encontrar ciertas dificultades para representar los distintos sistemas de alimentación, debido a que estos son trifásicos y de corriente alterna en su mayoría, y su dibujo esquemático es complicado.

Para evitar estos problemas se recurre a lo que se conoce como "diagrama unifilar", que es la representación mediante una sola línea, de todos los elementos del sistema utilizando una simbología especificada de acuerdo a normas internacionales.

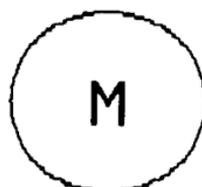
Los siguientes son algunos ejemplos de elementos utilizados en este tipo de representaciones.



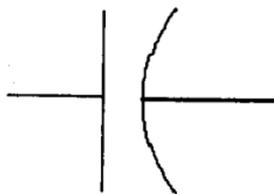
**GENERADOR**



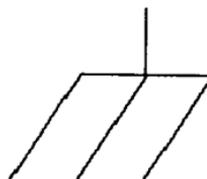
**TRANSFORMADOR**



**MOTOR**



**CAPACITANCIA**



**TIERRA  
( GND )**

(existen otras  
señalizaciones)



**INDUCTOR**

Antes de continuar será conveniente reafirmar algunas definiciones básicas útiles en el análisis del comportamiento nominal y ante falla de un S. E. P.

**Impedancia:** Efecto resistivo que presentan los distintos elementos de un circuito eléctrico al paso de una corriente alterna.

La impedancia esta constituida por una componente resistiva y una componente reactiva, las cuales se denominan respectivamente resistencia y reactancia.

**Resistencia eléctrica:** Oposición de cualquier cuerpo físico a permitir por él, la circulación de una corriente eléctrica directa.

**Reactancia:** Es el efecto inductivo, o capacitivo de una impedancia, es decir, parte de los elementos de un circuito se comportan, ya sea como inductores (bobinas) o capacitores (condensadores).

Para representar una impedancia se utiliza principalmente los números complejos, debido a que estos, constituyen el mejor modelo matemático que representa las relaciones energéticas que intervienen en un S. E. P. Por tal motivo, la mayoría de los cálculos de este trabajo se consideran con ciertas variables complejas, debido a la flexibilidad mostrada, puesto que representan muy claramente a los fasores, representación bidimensional de elementos eléctricos como corrientes, voltajes, potencias y lógicamente impedancias.

También conviene mencionar que se utilizará el sistema "por unidad", el cual efectúa una reducción de un valor físico a otro valor adimensional, normalizando dicho valor a fin de lograr un manejo mucho más simple a lo largo de los cálculos necesarios para analizar un S. E. P. cualquiera.

## 2.2 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN S. E. P.

Para un estudio accesible de los S. E. P., estos se pueden dividir en tres módulos principales que son GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y CONSUMO.

En generación se tiene, valga la redundancia, a las plantas generadoras. Existen muchos aspectos a considerar en ellas como son construcción, operación, mantenimiento, etc; estos puntos, junto con otros que la mayoría de las personas desconocen completamente (inversión de horas hombre en construcción, costos de operación, etc.) forman la base de todo S. E. P. en cualquier parte del mundo.

Las plantas generadoras son el punto inicial de cualquier S. E. P. y los problemas que presentan comienzan desde la decisión de que tipo de planta se va a construir, donde se edificará, aspectos que requieren de estudios socioeconómicos muy complicados y con duración en ocasiones de varios años. Las plantas generadoras pueden ser de varios tipos, entre las que se encuentran plantas: termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas, geotérmicas, maremotrices, nucleoelectricas, jet, etc.

**Termoeléctrica.** Sus generadores funcionan a base de vapor.

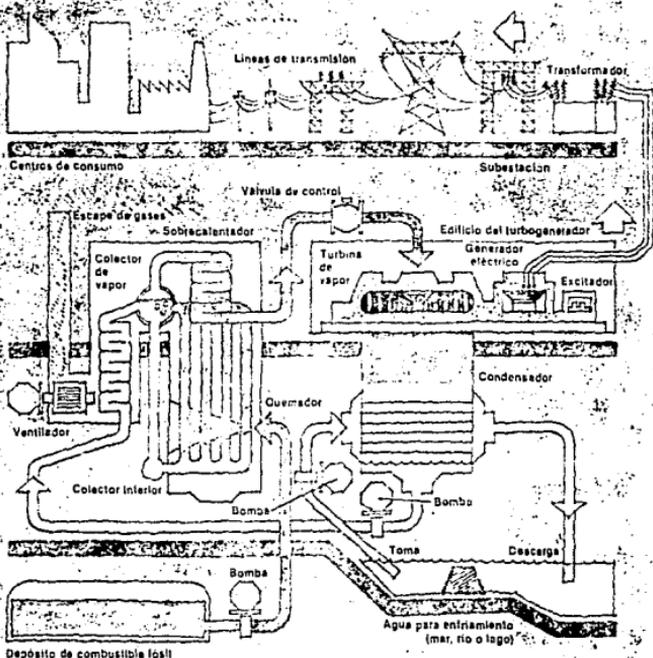


Diagrama de una central termoeléctrica

Hidroeléctrica. Mediante la fuerza de las caídas de los ríos.

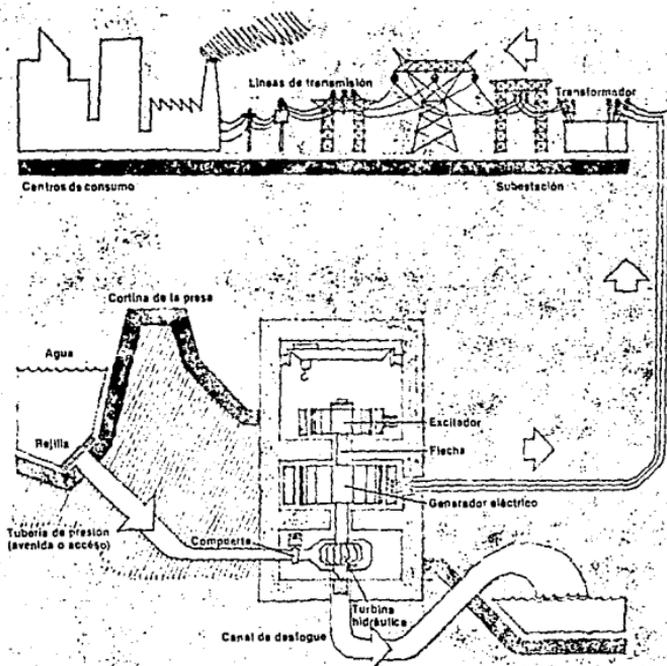


Diagrama de una central hidroeléctrica

Eólicas. Aprovechamiento de la energía del viento.

Geotérmica. A base de vapor procedente de forma natural.

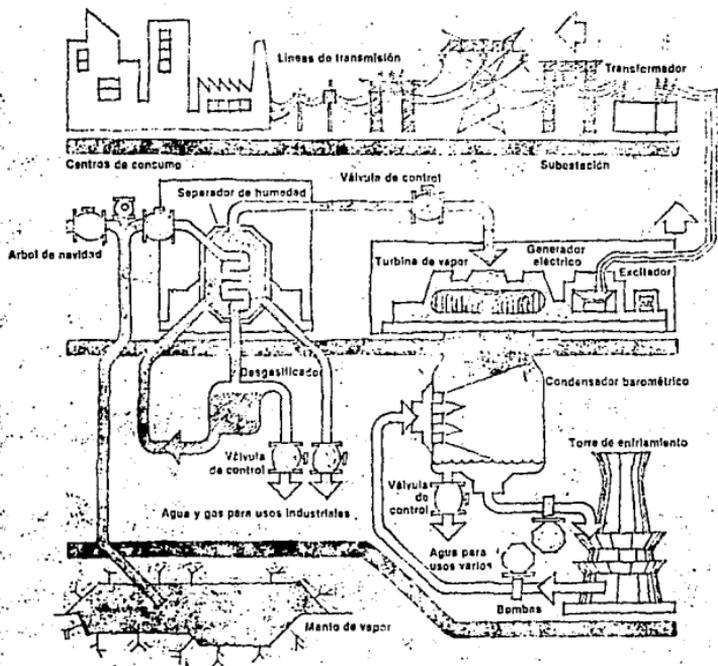


Diagrama de una central geotérmica

Maremotrices. Aprovechamiento de mareas.

## Nucleoeléctrica. Energía nuclear para producir vapor.

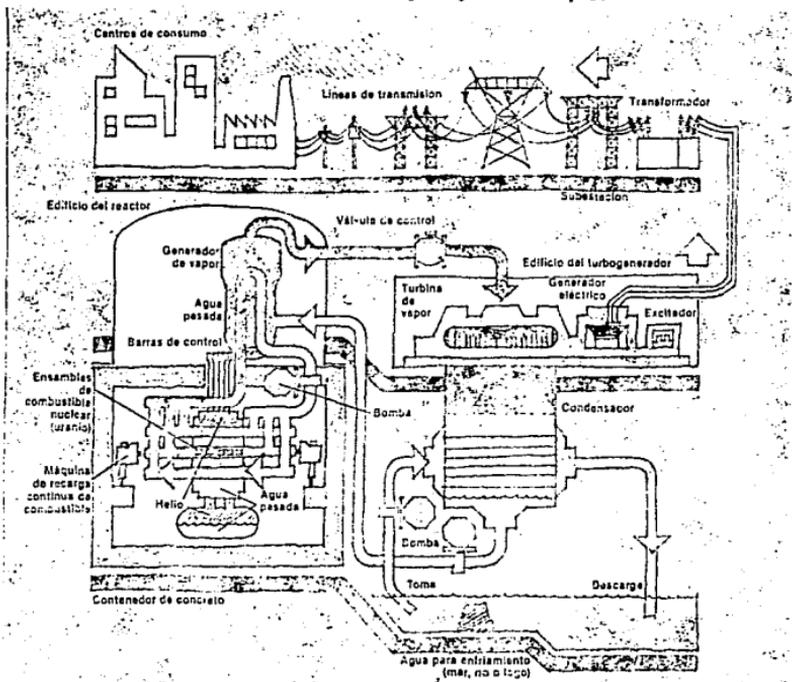


Diagrama de un Reactor de Agua Pesada a Presión (PHWR o CANDU)

Jet. Generadores de combustible líquido.

Cada tipo de planta generadora, presenta una serie de ventajas y desventajas así como usos específicos, y capacidades máximas y mínimas de horas de servicio durante su tiempo de vida útil.

La operación de las plantas generadoras requiere también de acciones tan diversas como los tipos de plantas existentes, así como una gran cantidad de factores naturales como la lluvia, el viento, mareas, corrientes, etc., los cuales quedan fuera del control humano.

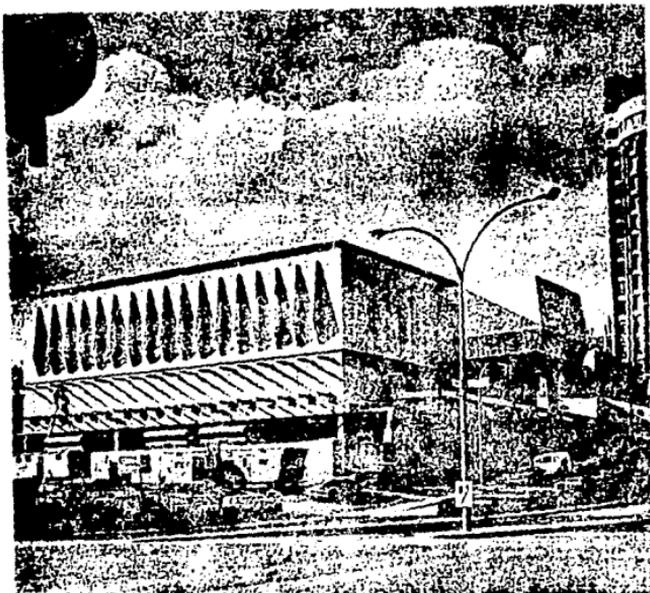
Una vez que se ha generado la energía eléctrica, es necesario enviarla a donde se necesite.

Para la transmisión existen una serie de elementos que se deben tomar en cuenta. Tan solo el tendido de una línea requiere de muchos datos y especificaciones que se deben cumplir por reglamento y diseño, considerando, inclusive, la seguridad de los operarios, siendo entonces mucho más complicado que el ver cables colgados a un lado de las carreteras, sin que la mayoría de los usuarios del servicio eléctrico, imaginen el gran esfuerzo que requiere montar un kilómetro de línea de transmisión de energía eléctrica.

El terreno, es el primer problema por enfrentar al decidir por donde se llevará una línea, ya que en México, existe una gran diversidad de suelos, desde arena, hasta roca volcánica, pasando por bosques y pantanos.

Un segundo parámetro lo constituyen los climas de las diversas regiones, teniendo selvas sumamente lluviosas y grandes desiertos aunando a estos últimos temperaturas extremas durante el día y la noche.

Son de tomar en cuenta también los sitios habitados y las construcciones cercanas o vías de comunicación que se tengan que atravesar, esto debido a que se necesita calcular la resistencia mecánica de postes y conductores donde se debe ver la elongación de estos últimos por calor y su contracción por frío, teniendo presente que puede existir hielo durante una buena parte del año.



Las compañías de electricidad tienen especial cuidado en mantener la belleza de una ciudad. Esta moderna subestación armoniza bien con la arquitectura de los alrededores.

Una vez que la energía eléctrica llega a los lugares donde se requiere es necesario distribuirla. En los centros de distribución se suministra la energía eléctrica a los diferentes consumidores mediante una serie de equipos que se encargan de recibir la energía a un voltaje muy alto y lo reducen a otro más manejable, para esta operación.

Este voltaje, ya reducido, debe retransmitirse a las subestaciones de distribución, para una segunda reducción de la tensión a un valor a nivel usuario donde también, con una serie de aparatos, se consigue al fin alimentar las redes de distribución que dotarán de energía a los consumidores.

El mantenimiento es, posiblemente, uno de los aspectos primordiales en la operación de los S. E. P. ya que permite mantener los diferentes equipos en condiciones óptimas de operación, pero desgraciadamente el servicio al equipo de trabajo, en general es ignorado, causando gastos innecesarios y pérdidas cuantiosas totalmente inútiles.

### 2.3 SITUACIÓN DE LOS S. E. P. EN MÉXICO

Los siguientes datos tienen como fuente a la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, actualizados a enero de 1989.

#### Capacidad instalada y generación bruta:

| Año  | Hidroeléctrica |      | Termoeléctrica |      | Suma |      |
|------|----------------|------|----------------|------|------|------|
|      | Mw             | Gwh  | Mw             | Gwh  | Mw   | Gwh  |
| 1983 | 272            | 910  | 598            | 1647 | 870  | 2557 |
| 1984 | 273            | 1109 | 598            | 1187 | 871  | 2296 |
| 1985 | 273            | 1057 | 598            | 1046 | 871  | 2103 |
| 1986 | 273            | 1059 | 598            | 1208 | 871  | 2267 |
| 1987 | 273            | 1020 | 598            | 1254 | 871  | 2274 |
| 1988 | 273            | 942  | 598            | 1186 | 871  | 2128 |

Esta tabla muestra que en casi 8 años, no ha aumentado la producción de energía, ni el equipo para distribuirla ya que los números se mantienen sin cambio y en un último año se reducen.

#### DATOS TÉCNICOS

| TENSIÓN (kv) | LONGITUD DE CIRCUITOS DE LÍNEAS (km) |      |      |
|--------------|--------------------------------------|------|------|
|              | 1986                                 | 1987 | 1988 |
| 400          | 291                                  | 291  | 342  |
| 230          | 842                                  | 851  | 851  |
| 150          | 8                                    | 8    | 8    |
| 115          | 72                                   | 72   | 72   |
| 85           | 2088                                 | 2088 | 2092 |
| 23           | 9199                                 | 9470 | 9691 |
| 13.2         | 854                                  | 861  | 862  |
| 6            | 4695                                 | 4679 | 4650 |

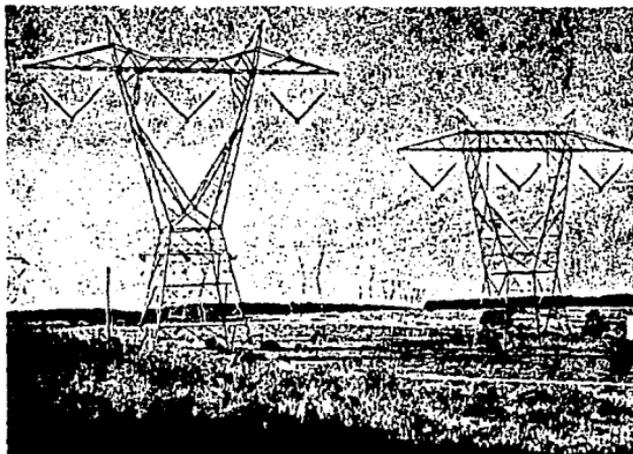
Líneas aéreas existentes a la fecha.

| TENSIÓN (kv) | CABLES SUBTERRÁNEOS (km) |      |      |
|--------------|--------------------------|------|------|
|              | 1986                     | 1987 | 1988 |
| 230          | 42                       | 48   | 48   |
| 85           | 53                       | 53   | 54   |
| 23           | 1506                     | 1548 | 1682 |
| 6            | 973                      | 976  | 989  |

Alimentaciones subterráneas instaladas.

| CAPACIDAD INSTALADA EN SUBESTACIONES (MVA) |        |        |
|--|--------|--------|
| 1986                                       | 1987   | 1988   |
| 14,301                                     | 14,991 | 15,088 |
| Capacidad de energía instalada máxima.     |        |        |

Notas: MVA Mega volt-ampere  
 MW Mega-Watts  
 GWh Giga-Watt-hora



El uso de dos líneas trifásicas, una junto a la otra, permite un mayor flujo de potencia y mejora la estabilidad del sistema.

Por lo anterior, se puede afirmar, que, efectivamente, el mágico acto de la aparición de la energía eléctrica, no es tan simple como el oprimir una tecla o un botón, sino que implica toda una obra de Ingeniería.

### **Capítulo 3**

**Problemática general existente en fallas trifásicas y monofásicas**

## **PROBLEMATICA GENERAL EXISTENTE EN FALLAS TRIFASICAS Y MONOFASICAS**

### **3.1 Percances que se pueden presentar en un S. E. P.**

#### **3.1.1 Problemas en la generación, transmisión y distribución de energía.**

A fin de que se pueda dar mayor énfasis a lo que es una falla en un S. E. P., conviene primero mencionar los efectos más representativos de ésta para luego poder entender las causas que originan tales efectos.

En el capítulo anterior se hace mención de algunos problemas en la generación de energía eléctrica y de cómo las plantas generadoras tienen limitaciones de uso en tiempo y en vida útil. En principio, es necesario determinar el tipo de alimentación que se va a suministrar al usuario, con el propósito de idear cómo distribuir la energía y qué tipo de plantas utilizar para cubrir así la demanda requerida.

Para poder entender mejor los diversos elementos involucrados en sistemas eléctricos de potencia, a los S. E. P. se les suele clasificar y subdividir, a fin de lograr un mayor entendimiento de sus funciones, y así, comprender con más facilidad a los elementos involucrados en la tarea de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica en cualquier sistema eléctrico.

Por lo general, las clasificaciones se hacen de acuerdo a aspectos tan variados que van desde el tipo de demanda, la clase de alimentación, la carga por suministrar, la localización geográfica, la confiabilidad, y las tarifas, entre otras muchas. Sin embargo, con el propósito de cumplir con los objetivos preestablecidos en este trabajo, basta con especificar la clasificación que se hace con base en el tipo de alimentación suministrada, en tanto que las demás categorías mencionadas se emplean con fines que van más lejos de los alcances de este estudio y por lo tanto en este caso solamente sirven como información general que existe dentro de los S. E.

La clasificación que depende del tipo de alimentación surtida, tiene en general las siguientes subdivisiones: residencial, industrial y comercial.

Algunos de los problemas que se han presentado como ejemplo en los tipos de demanda tratados son:

Demanda del tipo habitacional. A las 4 am, es muy limitada ya que la mayoría de las personas se encuentran dormidas, mientras que no sucede así en la industria, puesto que, de madrugada, las fábricas pueden operar a su máxima capacidad y sus productos (periódicos, refrescos, productos lácteos, empacadoras, etc.) estar listos a las 7:00 hrs., cuando sus productos comiencen a ser requeridos. Doce horas después es en la alimentación doméstica donde existe mayor demanda de energía eléctrica (t. v., aparatos de sonido, cafeteras, planchas, alumbrado, etc. así como bares y centros nocturnos que comienzan su ronda laboral).

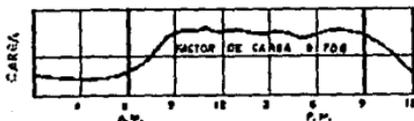
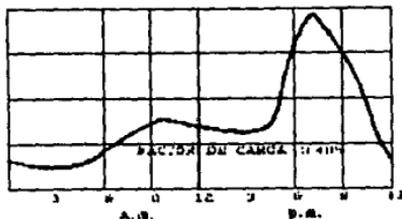
Es oportuno señalar que a esa hora, en la industria casi no existe demanda ya que se encuentran en limpieza o en preparación para entrar a operar en unas cuantas horas más.

Cabe aclarar que existen industrias que requieren una alimentación efectiva las 24 horas del día, para estas, tanto la Compañía de Luz como la Comisión Federal de Electricidad, tienen contratos individuales y servicios personalizados para un servicio continuo.

Sumamente importante es tener en cuenta, todos y cada uno de las requerimientos en la industria, el comercio y en los hogares, puesto que se exige un servicio por el cual se esta cobrando una cuota, amén de que la energía eléctrica, como ya es sabido, no es una energía almacenable.

Todos estos aspectos han sido contemplados por los ingenieros de diseño quienes elaboran curvas de demanda en las cuales se puede representar los requerimientos de cualquier tipo de alimentación, contra cualquier intervalo de tiempo, desde un segundo, (para tiempos de proceso en computación), hasta períodos de varios años (datos muy útiles en la planeación, ya que se puede ver el índice de crecimiento de las diferentes demandas así como el tipo de suministro que requerirán.).

A continuación se muestran algunos ejemplos de las curvas de demanda o curvas de carga características:

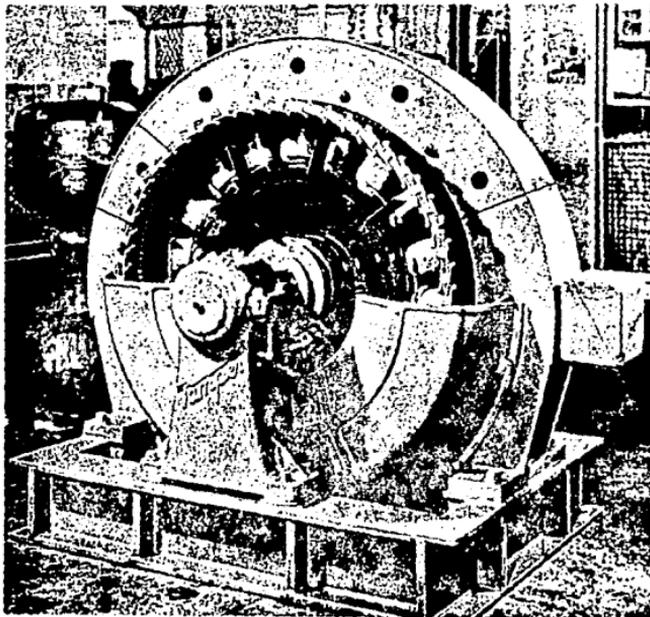


Otros problemas que se presentan en la transmisión de energía eléctrica son los que afectan a los postes, ya que éstos, por lo regular son instalados y NUNCA se les da mantenimiento preventivo por lo cual tarde o temprano, caen ocasionando graves problemas y provocando que comunidades enteras carezcan de un servicio vital, como lo es el suministro energético.

Cabe mencionar que los postes se encuentran expuestos a un gran número de factores destructivos que van, en algunos casos desde la rapiña humana (por la madera con que se fabrican la mayoría de los postes), así como ciertos agentes biológicos y químicos que los van degradando, hasta hacerlos fácilmente víctimas de las inclemencias del clima. Otro hecho importante es el que también enfrentan sismos y a conductores alcoholizados, dato sumamente relevante, ya que el 80% de los postes caídos en cualquier zona, urbana o rural, se debe a este tipo de percances.

La falta de mantenimiento en general ocasiona otros problemas de índole cotidiana como es el cambio de cables, subterráneos o aéreos, de distribución o transmisión de energía eléctrica, hecho que margina, (durante un período de tiempo relativamente corto), a alguna población, o a buena parte de esta.

Por último, es posible mencionar a los equipos descompuestos en general, problema ocasionado, más que por antigüedad de los aparatos (que es muy amplia a veces), que por descuido humano, es decir una vez más, por falta de mantenimiento.



### 3.1.2 Problemas que se pueden presentar en la industria.

En México la industria no tiene el desarrollo que existe en otros países llamados del primer mundo, sin embargo, México ha presentado en ocasiones, estadísticas que demuestran que, en cuanto a los accidentes de trabajo, está en cifras a la par o ligeramente inferior en esa clase de percances, en comparación con las industrias de aquellos países, lo que es por demás un hecho crítico.

De estos accidentes, afortunadamente, la mayoría no son fatales y, en muy pocas ocasiones, incapacitan permanentemente al trabajador. Las mismas estadísticas muestran que son muy pocos los accidentes en los cuales la electricidad tuvo algo que ver, esto se debe principalmente a que a las personas que se dedican a la reparación y uso de equipo eléctrico en las industrias, son elementos sumamente competentes y especialmente entrenados para estas labores.

Es interesante mencionar que la electricidad es sumamente noble, ya que responde a todo lo que se le pide, y aún, a lo que no se le debería pedir, como por ejemplo, cuando en los hogares se ponen a trabajar planchas, refrigeradores, lavadoras, televisores, aparatos de sonido, etc., todos A UN MISMO TIEMPO provocando una demanda excesiva y que sobrepasa, por mucho, la capacidad instalada. Este suceso, no está contemplado en el diseño de las casas-habitación y ocasiona un corte en el suministro de energía eléctrica denominado por las personas como apagón. Por lo regular, la falta de alimentación instantánea, se debe a que actuaron los fusibles, (posteriormente se detalla que son los fusibles), separando la instalación eléctrica doméstica, del sistema de alimentación.

Es ésta la causa de tantos problemas (un mal uso de la energía eléctrica) ya que una conexión equivocada o un error netamente humano, provoca que la electricidad reaccione a los requerimientos instantáneos, sean o no los pedidos por los usuarios del servicio eléctrico.



En la figura, se aprecia una panorámica de la tierra.

Si la velocidad de la luz es de 300,000 km por segundo y el planeta mide 40,076.59 km en el ecuador (magnitud lineal más grande que existe), quiere decir que una corriente de falla, puede dar 7.48 vueltas al planeta en un solo segundo; lo cual implica que los equipos de protección y seguridad deben ser lo más eficientes posible puesto que, resulta absurdo creer que una persona o un equipo no sufrirán daño cuando ocurra algún percance, máxime a esa velocidad de propagación.

Cientos de veces en periódicos, revistas y en muchos otros medios masivos de comunicación, aparecen noticias acerca de fábricas, comercios, incluso casas-habitación totalmente destruidas por fuego o por explosiones sumamente fuertes, pero siempre queda una pregunta en el aire: ¿qué lo ocasionó?

Por lo regular se dice, a primera instancia, y por un profesional del ramo, una versión no oficial de las causas del accidente pero muy pocas veces se da a la opinión pública las causas reales de esos acontecimientos. Desgraciadamente, y en estos casos la mayoría de los accidentes se deben al mal uso de la electricidad por errores humanos, es decir, como ya se mencionó, la electricidad responde a los requerimientos que NO se le piden.

Todos los habitantes de la ciudad de México, podrán recordar como en el año de 1978 ocurrían una gran cantidad de "apagones" en toda la ciudad y, aunque oficialmente no se decía nada, la verdad fue que se estaba tratando de ahorrar energía, ya que desgraciadamente como se ha mencionado la energía eléctrica, no es almacenable, y conforme se va generando, se va suministrando por lo que consecuentemente, se utiliza en ese instante. El 15 de enero de 1981, poco antes de las 7:00 hrs, el abuso de las personas en el consumo y desperdicio de energía, provocó la más grande perturbación que se tiene registrado en la historia de México, siendo éste un disturbio nacional, marginando a gran parte del país. En 1983, nuevamente en la capital únicamente ocurrió lo mismo, nuevos apagones, pero en esta ocasión, si se notificó a la ciudadanía que se iba a suspender el suministro por lapsos de media hora.

Resulta interesante mencionar que todas estas medidas, en parte, se deben al uso irracional de la energía eléctrica que se proporciona y a un subsidio muy alto, pero también es culpa de gente que no ha sabido planear correctamente las necesidades de la ciudad más grande del mundo, y esto ha ocasionado accidentes que dejan fuera de servicio plantas enteras. El ejemplo más patente es sumamente reciente ya que en el año de 1990 ocurrió un accidente en la planta generadora más grande del país como es la de Chicoasen en el estado de Chiapas, con una gran repercusión para toda la nación, ya que surte a casi todo el territorio nacional.

Este accidente costo varias vidas humanas y pérdidas materiales por varios miles de millones de pesos, así como un gran esfuerzo en horas hombre para restablecer el servicio en un tiempo notablemente corto para las dimensiones del problema. Este tipo de acontecimientos es el que hace creer a las personas que la puesta en marcha de la nucleoelectrica de Laguna Verde es un gran riesgo. Esto no es la realidad. México tiene grandes profesionales y grandes técnicos totalmente capacitados para poner en marcha una obra que urge entre en función, ya que de lo contrario, los apagones de media hora, extendidos a todo el país, no bastarán para suministrar energía suficiente a todos los requerimientos existentes.

### 3.1.3 La electricidad y el cuerpo humano.

Hasta el momento el presente capítulo ha tratado sobre los efectos de la electricidad en general, en el apartado presente, se intenta, sin profundizar en términos médicos, mostrar los riesgos de la electricidad en el cuerpo de un ser humano cualquiera.

El cuerpo humano es una de las maquinarias más perfectas que existen. Miles de inventos, a lo largo de la historia se basan en las distintas formas que el ser humano presenta. Palancas en los brazos, pinzas en la manos, etc. Durante los últimos 200 años aproximadamente, es cuando se ha venido estudiando al cuerpo, ya en forma, pues antes, incluso cuando en otros países ya se estudiaba, en México esto estaba prohibido. Se sabe que los nervios que todo ser vivo posee, son conductores y sensores, que permiten la circulación de pequeñas corrientes eléctricas a lo largo y ancho de todo individuo. No es de extrañarse entonces que el cuerpo humano sea modelado, para su estudio como un elemento resistente al flujo de energía eléctrica; es decir, un resistor (ó resistencia, término mal empleado), teniendo valores máximos y mínimos de tolerancia al flujo de corrientes eléctricas.

Los accidentes eléctricos son causados por la interacción de la corriente eléctrica con los tejidos del cuerpo. Para que se dé un accidente, debe circular una corriente eléctrica a través del cuerpo con un valor lo suficientemente alto para afectar órganos vitales. Existen tres condiciones o factores que se deben tener en conjunto y simultáneamente, para que se dé el percance: Primero se debe tener un punto de contacto en el cuerpo, con la tierra física. Un segundo factor es otro punto de contacto en el cuerpo para que cierre el circuito eléctrico (a estas conjunciones se les conoce como primero y segundo contacto arbitrariamente), y como tercer factor debe existir una fuente de voltaje que al cerrar el circuito con el cuerpo humano, proporcione la corriente circulante entre los puntos de contacto.

Los efectos fisiológicos de la corriente, no sólo dependen de su magnitud, sino también de la trayectoria que siga por el cuerpo y del tiempo en que este cerrado el circuito establecido.

La energía eléctrica disipada por la resistencia del tejido humano, puede provocar que aumente la temperatura corporal del punto de contacto, y cuando estas temperaturas son muy altas, es cuando se presentan quemaduras.

En casas habitación, la corriente a nivel doméstico provoca quemaduras limitadas a los puntos de contacto o cerca de estos, mientras que en la industria donde se tienen muy altos voltajes, cuando existan quemaduras, son de muy graves consecuencias en la gran mayoría de las veces.

La medicina preventiva indica que un valor máximo de amperes que acepta el cuerpo humano es la corriente de fibrilación, siendo ésta la corriente límite que soporta un ser humano normal, en función del tiempo de aplicación, es decir, en forma concreta, el momento en que el corazón se detiene y deja de funcionar debido a la corriente eléctrica que pasa a través de él. En un principio, el corazón entra en arritmia, para detenerse finalmente.

La siguiente ecuación da el valor de está corriente, tomando en cuenta una "resistencia" (o impedancia para el caso de corriente alterna) del cuerpo humano igual a 1000  $\Omega$ , valor arbitrario tomado para esta tabla, ya que es un valor alto, pero que en ocasiones toma el ser humano.

$$I = \frac{0.115}{\sqrt{t}}$$

Tabulando algunos valores se obtienen los siguientes valores:

| t (tiempo) | I de fibrilación |
|------------|------------------|
| 30.0 s     | 13 mA            |
| 10.0 s     | 37 mA            |
| 0.5 s      | 165 mA           |

De acuerdo a la tabla anterior y extendiendo los valores obtenidos a los voltajes de baja tensión de :

|       |        |
|-------|--------|
| 127 V | 127 mA |
| 220 V | 220 mA |

manteniendo constante el valor de 1000  $\Omega$  para el cuerpo humano.

Esto quiere decir que hasta un potencial casero puede causar la muerte, como se sabe, existen una gran cantidad de accidentes en el hogar, sin embargo es difícil determinar el potencial que puede causar la muerte.

En lugares donde se trabaja con muy altas tensiones, es fácil predecir que ocurrirá en caso de accidente. En el mejor de los casos, las quemaduras serán muy graves y son debidas a electrocutamiento.

Es necesario insistir en esto, la electricidad es muy noble y no mata por ella misma sino debido a descuidos atribuidos totalmente al hombre que es quien ocasiona la muerte (suya o de otros individuos) y es deber de todos tomar en cuenta las medidas de seguridad.

Para concluir con este apartado se debe hacer énfasis en que los datos tabulados, como se mencionó, fueron calculados a un valor de 1000  $\Omega$ , pero este valor no es ni siquiera promedio, es únicamente útil para dar una idea de los valores de una corriente. Los valores de resistencia de el cuerpo humano son muy variables, cambiando con cada situación, ya que una persona en tensión nerviosa, disminuye su resistencia óhmica a valores de unos cuantos ohms (menos de 20) por lo que incluso las corrientes que circulan por microcircuitos, pueden resultar fatales.



### 3.2 Principales tipos de fallas en sistemas eléctricos.

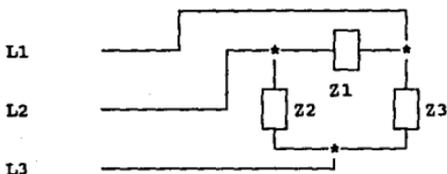
En México la mayoría de los sistemas eléctricos de potencia son trifásicos, con dos diferentes formas de conexión, éstas son:

-Delta.

-Estrella.

### CONEXIÓN DELTA:

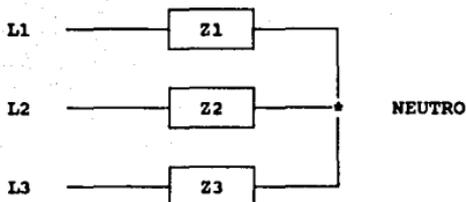
Se le llama así a este tipo de conexión ya que tiene la similitud de una letra delta mayúscula ( $\Delta$ ), en este tipo de circuitos, las terminales van una a continuación de otro hasta cerrar el circuito, los circuitos son generalmente balanceados es decir, los elementos son relativamente iguales, en la práctica esto no sucede así ya que no se encuentran circuitos completamente balanceados, puesto que no existen dos elementos iguales, el siguiente esquema muestra una conexión Delta balanceada ideal.



Los principales usos o aplicaciones que tienen circuitos de este tipo son en líneas de transmisión ya que son circuitos de 3 hilos únicamente en motores y generadores de energía eléctrica. La gran mayoría de los circuitos en transformadores, por ejemplo, presentan un embobinado en delta y uno en estrella que a continuación se menciona.

### CONEXIÓN ESTRELLA:

La conexión Estrella es aquella que presenta un punto común denominado neutro, y al igual que el caso de la conexión Delta, es relativamente balanceado cuando las cargas tienden a ser iguales, la energía se aplica directamente sobre cada una de las cargas, como se aprecia en la siguiente ilustración.



Al igual que para el caso de la delta, estas formas de conexión son las más comunes dentro de la industria eléctrica, mientras que estos circuitos tienen la desventaja de poseer, en ocasiones, un cuarto punto de conexión, que para transmisión y distribución, resulta demasiado costoso.

Con base en lo mencionado hasta el momento, se puede ya comenzar a tratar más propiamente el tema de fallas.

Si se parte de que toda perturbación en general es una falla, se debe aclarar que, en términos eléctricos, no es así. Por lo tanto, cualquier anomalía presente en el funcionamiento de S. E. P. no se considera como tal, y por ejemplo, tanto la carencia de energía eléctrica como el aumento excesivo en el suministro de la misma en un sistema cualquiera, no se considera como falla, denominándoseles como un disturbio que es causado, tal vez, por una falla.

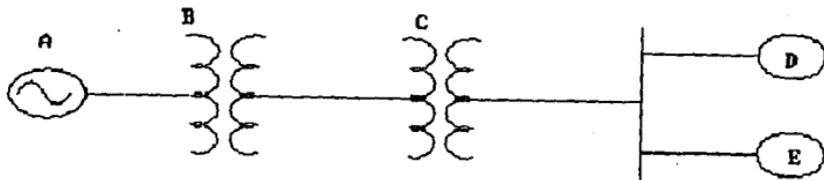
Antes de mencionar con detalle el corto-circuito es necesario definirlo concretamente.

**CORTO-CIRCUITO:** Comunicación directa entre dos puntos de diferente potencial eléctrico. Este fenómeno presenta si se introduce una resistencia muy débil, prácticamente nula entre dos puntos de un mismo circuito. En potencia eléctrica se manejan cuatro diferentes tipos. A) Trifásico. B) Monofásico. C) Bifásico. D) Bifásico y a tierra. Para los objetivos de este trabajo se tratarán únicamente los tipos A y B trifásicos y monofásicos.

### 3.2.1 Fallas trifásicas.

Una forma técnica de definir la falla trifásica no existe y se puede describir básicamente como la unión de las tres líneas de un sistema eléctrico en un punto común. Todo el mundo menciona "se fue la luz" ó "hubo un corto", y unos minutos después el servicio se activa una vez mas. Se puede asegurar que si se da un corto-circuito trifásico es muy difícil que en unos cuantos segundos se reanude el servicio, si la falla ocurrió muy cerca del lugar donde uno se encuentre. Al reanudarse el servicio rápidamente, lo mas probable es que otro dispositivo denominado separador haya descubierto un disturbio, abrió (separó) momentáneamente la parte afectada y reactivó el suministro.

El siguiente es un ejemplo claro de lo que es en realidad un corto-circuito trifásico en sistema de transmisión.



El presente circuito tiene los siguientes datos:

A : Generador 10 MVA 13.2 kV  $x = 18 \%$ .

B : Transformador 1,7.5 MVA 13.8 - 115 kV  $Z = 10 \%$ .

C : Transformador 2,5 MVA 115 - 4.16 kV  $Z = 10 \%$ .

D : Motor 1, 3000 kVA 4 kV  $X = 10 \%$ .

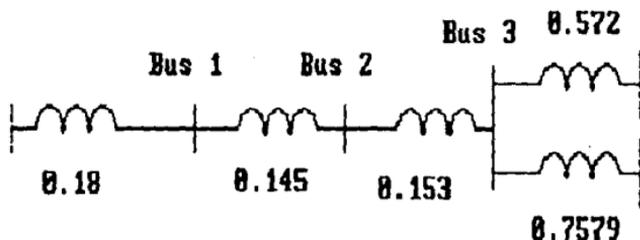
E : Motor 2, 2000 kVA 4 kV  $X = 15 \%$ .

A continuación se procederá a calcular una falla trifásica mediante la ayuda del sistema "por unidad", indicando los pasos a seguir para su completo estudio.

Los primeros pasos a seguir son convertir a sus respectivas reactancias, cada elemento del circuito, refiriendo los valores a los designados como base. Para este caso, las bases son:

$$S_{\text{base}} = 18 \text{ MVA} \quad U_{\text{base}_1} = 118 \text{ kV} \quad U_{\text{base}_2} = 3.9791 \text{ kV}$$

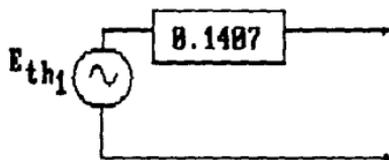
La potencia base se mantiene a lo largo de todo el circuito y el voltaje base, cambia según las diferentes relaciones de transformación. Una vez efectuadas las operaciones, el circuito final es:



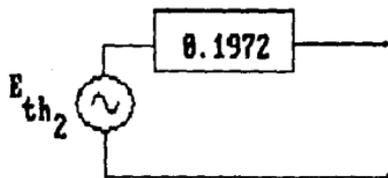
El tercer paso consiste en reducir todo el circuito a su impedancia equivalente, en cada uno de los puntos considerados; es decir, una impedancia equivalente por cada reactancia del circuito.

Los circuitos de Thevenin resultantes son:

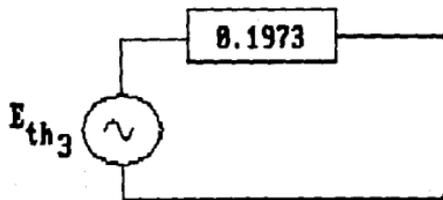
Bus 1:



Bus 2:



Bus 3:



Para calcular los valores de la corriente de falla (corto-circuito), se une ficticiamente el bus en estudio con el bus de referencia a tierra.

Este será el valor de la corriente de corto-circuito trifásica en PU (por unidad).

De esta manera, tenemos que las 3 corrientes de falla son:

$$I_{cc1} = \frac{1.0}{0.1407} = 7.1073$$

$$I_{cc2} = \frac{1.0}{0.1972} = 5.07099$$

$$I_{cc3} = \frac{1.0}{0.1973} = 5.06842$$

Estos valores no tienen dimensión, por lo que hace falta regresar al sistema original utilizando las bases dadas. La corriente-base se obtiene para cada voltaje-base, de esta forma se calcula el valor de la corriente de falla total en Amperes y, como se muestra a continuación, son muy grandes.

$$I_{base 1} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \text{ kV}_{base}} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 13.2} = 437.3866 \text{ amp.}$$

Procediendo de la misma forma para Ibase 2 y 3:

$$I_{base 2} = 52.48 \text{ Amp.}$$

$$I_{base 3} = 14,589.5692 \text{ Amp.}$$

Es simple apreciar como estas corrientes son ya sumamente fuertes.

Finalmente las corrientes de falla son:

$$I_{cc} = I_{base} \times I_{pu}$$

$$I_{cc1} = 3,188.637 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc2} = 266,12576 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc3} = 73,548.64 \text{ Amp.}$$

Finalmente, para calcular la potencia de corto-circuito, se procede de la siguiente manera.

$$S_{cc} = \frac{E^2_{pu}}{X_{pu}} S_{base}$$

$$S_{cc1} = 71,873.28 \text{ kVA.}$$

$$S_{cc2} = 58,789.93 \text{ kVA.}$$

$$S_{cc3} = 58,684.23 \text{ kVA.}$$

Como se puede apreciar, realmente en potencia se tienen valores sumamente fuertes que es necesario controlar.

### 3.2.2 Fallas monofásicas.

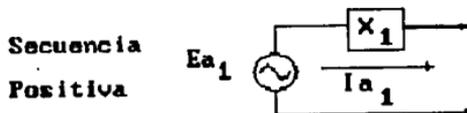
La mayoría de la gente piensa que una falla monofásica es un percance común y simple y esto es en parte cierto ya que, es la falla más común que existe, pero de simple no tiene nada incluso su cálculo es uno de los más complicados que existen. Su definición "técnica" podría ser: Corto-circuito monofásico. Percance eléctrico que tiene lugar cuando una fase del sistema hace contacto con un punto de tierra física. Esta definición es clara pero el ejemplo resuelto a continuación (mismo circuito que para el caso trifásico) mostrara que no siempre es un caso simple.

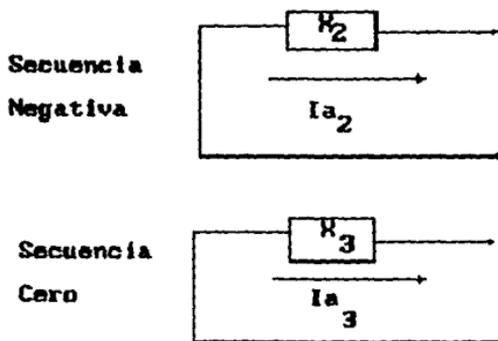
Para hacer el cálculo de una falla monofásica se debe realizar primero la conversión trifásica vista.

Así mismo, se debe contar con el dato de los valores de las potencias de falla tanto monofásica como trifásica proporcionada por la compañía suministradora.

También se tiene que tomar en cuenta que existen 3 componentes denominadas simétricas para realizar un estudio más profundo.

Ahora se debe tener presente que los diagramas de las secuencias mencionadas son diferentes en cada caso y estos se muestran a continuación.

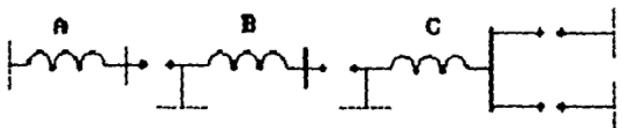




Retomando el mismo circuito que para el caso trifásico, se procederá a calcular la falla monofásica.

Ya con los datos del circuito equivalente trifásico se obtienen las redes de secuencia positiva, negativa y cero.

Las redes positiva y negativa son idénticas a la vista en el circuito equivalente trifásico por lo que sólo se ilustra la red cero, con la diferencia de la fuente que desaparece en la secuencia negativa.



Para obtener los valores de falla se deben calcular las impedancias de secuencia cero A, B y C, de la siguiente manera.

$$X_0 = 0.28 \text{ (dato de fabricante)}$$

Sccif = Potencia de corto-circuito monofásica:

$$S_{ccif} = \frac{3 E^2 S_{base}}{X_1 + X_2 + X_0}$$

$$I_{a_0} = \frac{1}{0.1487 + 0.1487 + 0.28}$$

$$I_{a_0} = 1.7813 \text{ pu}$$

$I_a = 3 I_{a_0}$  Corriente de corto-circuito monofásica en pu

$$I_a = 5.3438$$

$$I_{base} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} | 13.2 \text{ kV}}$$

$$I_{base} = 437.3866 \text{ Amperes.}$$

$$I_{cc_{1f}} = 2,337.2993 \text{ Amperes}$$

Siendo este el valor de la falla<sub>1f</sub> en el bus 1.

Realizando procedimientos idénticos para el bus 2:

$$I_{a_0} = \frac{1.0}{0.1457 + 0.1457 + 0.1972}$$

$$\therefore I_a = 2.0467 \text{ pu}$$

$I_{cc_{1s}} = 187.4889$  Amperes.

Se sugiere como ejercicio obtener los valores para el segundo transformador.

### 3.3 PROTECCIÓN DE LOS S. E. P.

#### 3.3.1 Protección. Generalidades.

Todo sistema eléctrico puede fallar en una forma inesperada, pero totalmente detectable. Cuando esto ocurre en el mejor de los casos se corta el suministro de energía, y en el peor, los accidentes (desgraciadamente) ocasionan grandes pérdidas monetarias y vidas humanas como ya se ha mencionado.

La filosofía de la protección es separar a cualquier elemento de un sistema, partes afectadas, o incluso al sistema completo, cuando sus condiciones de operación estén fuera de las establecidas en sus valores nominales, es decir, sacarlo de operación.

El objetivo básico de un S.E.P. es mantener un alto nivel de continuidad en el servicio así como un margen aceptable en la variación de voltaje suministrado y cuando se presenten condiciones intolerables, minimizar los tiempos de interrupción. Por otra parte, el objetivo básico de la protección es aislar un área afectada tan rápido como sea posible del resto del sistema para que éste continúe en servicio.

La protección de equipo eléctrico y personal que lo maneja, es un tema extenso, tan solo baste como ejemplo mencionar que la protección utiliza equipo especializado, y que cada día surgen aparatos más confiables y rápidos gracias a la microcomputación.

Características de los sistemas de protección:

1) Confiabilidad (fiabilidad para algunos autores):

Es la seguridad de que la protección funcionará correctamente.

2) Selectividad:

Máxima continuidad en el servicio con mínima desconexión del sistema, es decir, que el sistema de protección pueda seleccionar la parte en donde se encuentra la falla.

3) Velocidad de operación:  
Mínima duración de la falla y consecuentemente daño mínimo a los equipos, es decir la protección debe actuar rápido cuando se le requiera.

4) Simplicidad:  
Mínima complicación en el equipo de protección y circuitos asociados para cumplir con los objetivos de protección.

5) Economía:  
Máxima protección a mínimo costo.

Oficialmente no está contemplado como un medio de protección en los distintos reglamentos, pero el mantenimiento debería ser considerado como tal, ya que de el buen estado de los equipos depende en gran medida que no ocurran percances de ninguna especie, incluso se puede mencionar dos tipos de mantenimiento, como son correctivo y preventivo. El primero atiende fallas y el segundo, llevado a cabo correctamente, haría desaparecer al primero.

### 3.3.2 Principales formas de protección. Parámetros en que se basan.

En el apartado anterior se mencionó que la protección utiliza equipo especializado, este equipo es:

- Interruptores.
- Fusibles.
- Relevadores (Relay).
- Sistemas microcomputacionales.

La gran mayoría de los equipos mencionados podría considerarse común pero existen tan diversos equipos y con tan distintas capacidades que no es posible diferenciar unos de otros sin las especificaciones de diseño y sobre todo sin las particularidades de operación. Una buena selección de el equipo de protección es básico, ya que con la mínima inversión se debe tener una protección completa. A continuación se hace una breve descripción de los elementos involucrados en la protección:

#### INTERRUPTOR:

Dispositivo que abre y cierra un circuito, están diseñados para soportar corrientes nominales y de falla, sin dañarse.

#### FUSIBLE:

Este dispositivo se basa en la capacidad de los metales para conducir corriente eléctrica, consta de una aleación diseñada especialmente en la que, al circular por ésta una corriente mayor a la nominal y en un tiempo preestablecido, se funde aislando la parte afectada, es decir, únicamente abre el circuito.

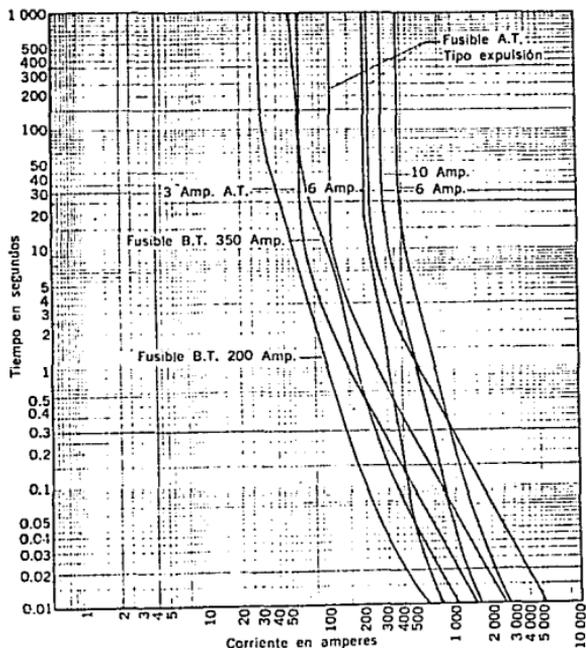
## RELEVADOR:

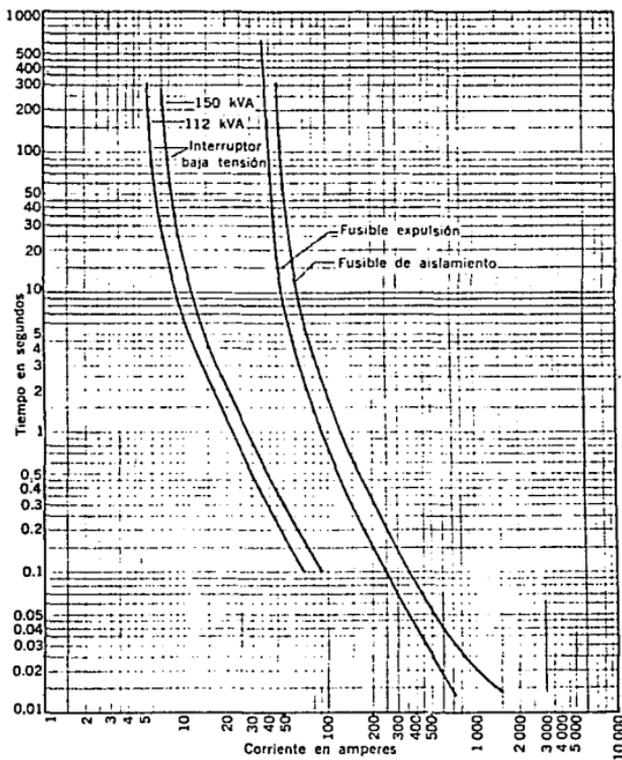
Es un dispositivo cuya función es detectar fallas u otras condiciones anormales en las líneas o en los equipos e iniciar una acción apropiada, tal como ordenar al interruptor que abra el circuito correspondiente.

## SISTEMAS MICROCOMPUTACIONALES:

La microcomputación, propiamente los microprocesadores, trabajan a velocidades que el hombre no puede visualizar fácilmente. Los sistemas de protección más avanzados con relevadores trabajan en dos o tres segundos, mientras que los microprocesadores más avanzados lo hacen en una millonésima de segundo o menos, detectan la falla y ordenan la acción apropiada en menos de una décima de segundo.

Cada uno de estos equipos presenta características específicas y curvas que los representan (curvas tiempo-corriente o curvas de tiempo inverso), los cuales explican y detallan las características de diseño y en algunos casos recomiendan algún uso en particular, (Cada fabricante puede o no dar estas recomendaciones). Las siguientes ilustraciones son curvas de tiempo inverso de algunos dispositivos existentes en el mercado.





Reciben el nombre de Curvas de Tiempo Inverso debido a que conforme disminuye el tiempo la corriente debe ser mayor para hacer actuar al dispositivo.

Para la industria son muy útil estas curvas ya que los interruptores y fusibles son de uso común, incluso casero, ya que el famoso "apagador de la luz" está clasificado como interruptor y un fusible es lo que se conoce normalmente como "el tapón", desgraciadamente las personas por ignorancia en ocasiones colocan monedas en vez de estos dispositivos, sin darse cuenta que el dispositivo sirve para evitar un posible accidente, la moneda NO lo hará.

Por otra parte, tanto interruptores como fusibles se usan en la industria, sus formas y características son tan diversas que una persona que los desconoce, no los sabría identificar.

Los relevadores son dispositivos sumamente útiles, ya que, si desempeñan su función correctamente, la falla puede ser totalmente localizada sin el menor daño al equipo utilizado.

Existen diferentes formas de utilizar a los relevadores y estos reciben sus nombres según su aplicación, así tenemos relevador de bloqueo, relevador de sobrecorriente o instantáneo, de tiempo, de protección diferencial, etc.

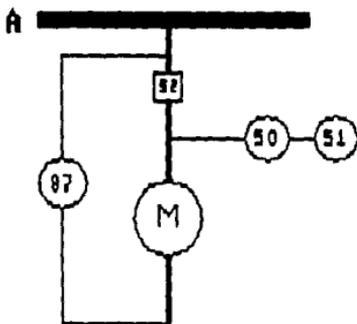
El siguiente ejemplo ilustra la protección instantánea y diferencial:

**El siguiente esquema muestra un motor protegido mediante un relevador 50, un 51 y 87.**

**El 50 es un relevador instantáneo de sobrecorriente; es decir, protege contra corto-circuito en forma instantánea.**

**El 51 es un relevador de sobrecorriente de tiempo; es decir, es una segunda protección por si no actúa el 50.**

**El 87 compara la corriente que circula por el motor y si nota DIFERENCIA entra en función.**



Del bus principal A, se obtiene la línea de alimentación, la cual presenta un interruptor 52 que aísla al motor M cuando se lo ordenan el 50, 51 o el 87.

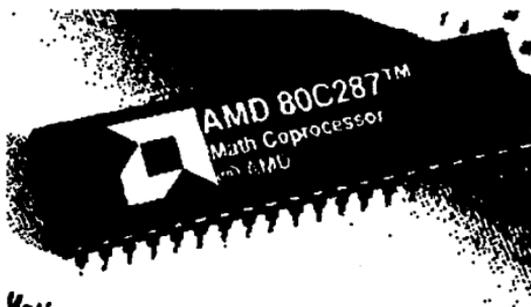
### 3.3.3 El futuro de la protección.

Como todas las áreas del conocimiento humano, la eléctrica no está fuera de ello, todo equipo, aparato, etc. tiende a mejorarse día con día, y los sistemas de protección, cada vez son más eficientes reduciendo enormemente la pérdida de equipo y la de vidas humanas todos los años.

El mundo de la computación y la electrónica, está penetrando con una fuerza inusitada en toda actividad, incluso en ocupaciones tan especiales como medicina y derecho. Visto lo anterior no resulta nada difícil imaginar que en la actualidad ya existen sistemas de protección eléctrica controlados por computadora o por microprocesadores, los cuales son elementos capaces de actuar tan rápido y energícamente como los mismos relevadores, con la diferencia de tamaño, costo y eficiencia.

La rapidez de los microprocesadores es conocida y como ya se mencionó, mientras un relevador actúa en dos segundos, detectando la falla y ordenando la acción a seguir para eliminarla, un microprocesador que trabaje a 33 MHz., la detectará en solo 91 nanosegundos, es decir en poco menos de una décima de un microsegundo. Esto significa que en un microsegundo, ya efectuó la misma acción que un relevador, el cual emplearía 2 millones de veces el tiempo utilizado por el microprocesador.

Otros sistemas de protección cuentan con ambos tipos de elementos (microprocesadores y relevadores) trabajando a la par o en ocasiones uno dependiendo del otro, es decir el elemento computacional ordena actuar a los electromecánicos en forma sincrónica y sin mayor complicación para el elemento humano, que la de vigilar periódicamente que los sistemas se encuentren en un estado óptimo de ejecución.



Nadie sabe que tanto podrá avanzar el conocimiento humano, ni tampoco si algún día se detendrá pero lo que si se sabe es que el ser humano tiene la capacidad de aprender toda su vida y mientras lo haga todos los sistemas que haga se perfeccionarán también incluyendo aquellos que lo protegen de sus propios errores.

## Capítulo 4

**Delimitación de las fallas más comunes en los sistemas de distribución de lo S. E. P.**

**DELIMITACION DE LAS FALLAS MAS COMUNES EN LOS SISTEMAS DE  
DISTRIBUCIÓN DE LOS S. E. P.**

**4.1 Fallas encontradas en laboratorio.**

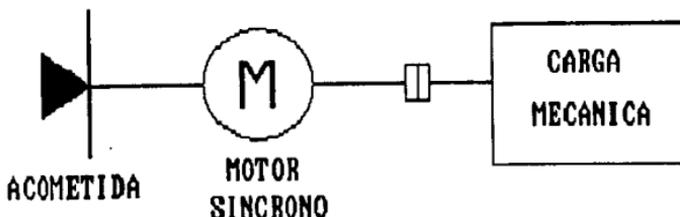
**4.1.1 Verificación de secuencia (sentido de giro de motores y generadores)**

Particularmente, el laboratorio de pruebas de equipo eléctrico de la facultad de Ingeniería de la U. N. A. M., es de los más completos que existen y puede ser tomado como ejemplo en el presente capítulo, puesto que las pruebas se realizan en cada semestre y con resultados muy interesantes que están al alcance de cualquier persona.

La prueba de secuencia es una prueba importante, ya que existen aparatos eléctricos que no aceptan errores (son sumamente costosos) y por lo tanto no pueden girar en sentido inverso a lo dispuesto por su fabricante particular. Existe un aparato que se denomina SECUENCIMETRO y se utiliza básicamente para este fin. Consta de una serie de bobinas e imanes que al electrizarse, indican si se tiene una secuencia positiva o negativa. Básicamente funciona igual que un motor de inducción, a base de magnetismo. Cabe recordar que con sólo invertir dos de las tres fases se puede corregir la secuencia. Particularmente, los motores pueden ser de corriente alterna y de corriente directa y por lo mismo estos motores en algunos casos, no aceptan girar en sentido inverso al de su diseño original.

El laboratorio de la facultad de Ingeniería presenta motores síncronos, motores de corriente directa, así como de inducción y en general transformadores, así como elementos de una subestación que se encuentra en mantenimiento actualmente.

El siguiente esquema, muestra en diagrama unifilar, como están conectados un motor síncrono, su carga y su fuente de alimentación.



No siempre se tiene a la mano el equipo de medición necesario para efectuar todas las pruebas deseadas, pero con sólo el básico como son los voltímetros y los amperímetros, se puede llevar a cabo una serie de pruebas muy interesantes, como alimentación constante y a un buen nivel, otra sería efectuar pruebas de potencia, ya que la potencia es voltaje por corriente y con la ayuda de un osciloscopio, obtener el ángulo de defasamiento para el factor de potencia, el cual, junto a voltaje y corriente proporciona la potencia real deseada. Un aparato extra que podría ser considerado como básico es el wattmetro, medidor de potencia, el cual es la conjunción de los aparatos mencionados. Es sabido que las corrientes en potencia son altas y por lo mismo los más sofisticados equipos de medición jamás podrán medir directamente las cantidades que manejan los equipos de los S. E. P. pero el error que se puede acarrear bajo estas circunstancias es mínimo y totalmente despreciable ya que, como se mencionó en el capítulo anterior, los sistemas de protección deben actuar y ser calculados tomando en cuenta variaciones de Voltaje y de Corriente tanto en aumento como en disminución.

#### 4.1.2 Errores de conexión.

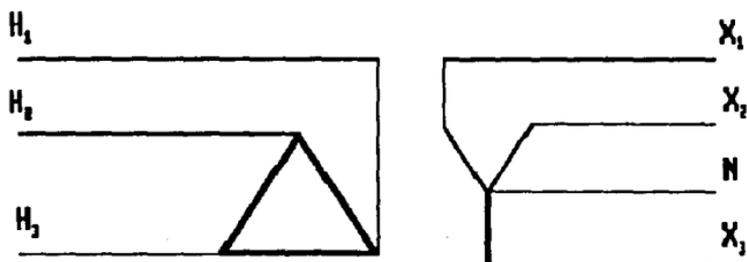
Esta parte está muy ligada a la anterior, solo que en el presente punto, existe una mayor amplitud en lo que a errores se refiere puesto que el error de secuencia de giro es un problema causado por una conexión errónea de las fases, mientras que los errores de conexión en general ocasionan corto-circuitos sumamente dañinos y en consecuencia, pérdidas considerables.

Uno de los errores de conexión más comunes es el que se presenta en la alimentación de transformadores puesto que estos por lo regular son de configuración delta-estrella consistiendo el error en tratar de conectar en delta la estrella y viceversa, cuando los operarios o los estudiantes son principiantes en el trabajo de campo. Este error es un poco justificable ya que las representaciones que se hacen en el aula de los transformadores, en nada se parecen a los distintos tipos reales existentes puesto que existen transformadores tan diversos que la gente no lo creería fácilmente. Los hay sumergibles (trabajan en condiciones de inundación todo el tiempo aclarando que están perfectamente aislados.) siendo tan eficientes que se encuentran en el centro de la ciudad de México una zona característicamente húmeda. Otro tipo de transformador es el que es de tipo poste o pedestal. Se puede apreciar fácilmente en algunos de los postes de cualquier ciudad.

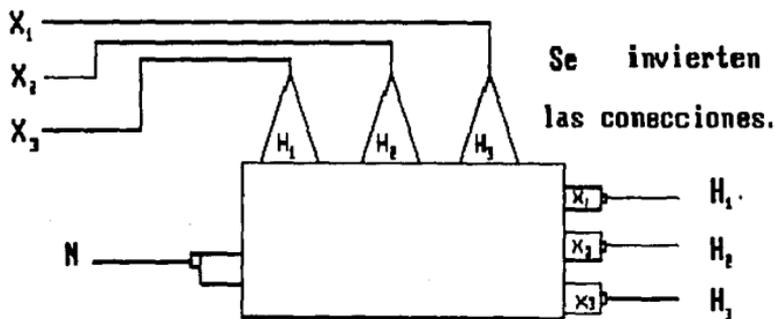
Los errores de conexión también ocasionan cortocircuitos que a tensiones de 240 volts en adelante son sumamente fuertes. Esto es significativo si se recuerda que existen componentes de corriente (se denominan contribuciones de corriente) las cuales varían de acuerdo con la disposición del equipo que existe en los S. E. P. y por lo tanto los efectos cuando se dan, aunque predecibles, son casi incontrolables y es entonces que deben actuar los sistemas de protección.

El siguiente ejemplo, muestra esquemáticamente una conexión errónea en un transformador Delta-Estrella cualquiera.

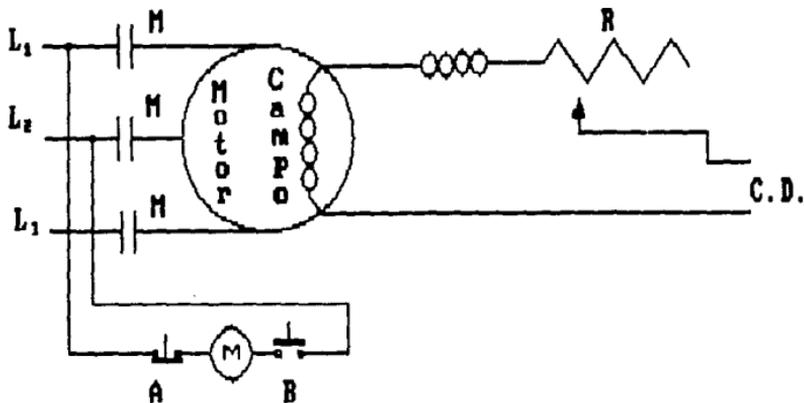
Una conexión Delta-Estrella presenta la siguiente conexión esquemática:



Pero en su conexión física suele ocurrir que:



Otro error de conexión existente es aquel que se realiza en cualquier borne de un motor síncrono (o de corriente alterna). Casi nunca se leen las condiciones de operación especificadas por el fabricante (datos de placa) y las omisiones en estos son totalmente comunes, ya que un fabricante no siempre proporciona todos los datos que un técnico necesita para operar un motor de esta naturaleza. El siguiente esquema muestra un motor Síncrono de el Laboratorio de la facultad de Ingeniería de la U. N. A. M. y un error típico al alimentar al motor sin la excitación adecuada.



El problema de este tipo de conexión, está en la excitación, donde por lo regular el reóstato R no tiene el valor adecuado.

Los 3 contactos M, normalmente abiertos, (—|—) operan mediante la bobina de igual denominación.

Finalmente también se tiene la estación de botones A, para apagado y B, para arranque.

Existen otros errores de conexión como al conectar terminales en forma equivocada a pesar de contar con un diagrama explicativo, presentar conexiones flojas, falsos contactos, etc. Si no se es cuidadoso al efectuar las uniones, estas presentarán corto-circuitos sin duda. También, por no fijarse se dejan bobinas y equipo sin conectar lo que en ocasiones provoca daño al equipo. Los anteriores errores son mínimos y no requieren de un estudio profundo. Se ha notado que la mayoría de estos incidentes se deben totalmente a la falta de experiencia de los alumnos y aunque se entiende, también es de notar que cuando reciben una buena instrucción, los errores de este tipo se minimizan considerablemente hasta casi desaparecer.

## **4.2 Fallas encontradas en los sistemas de distribución.**

### **4.2.1 Sistemas aéreos.**

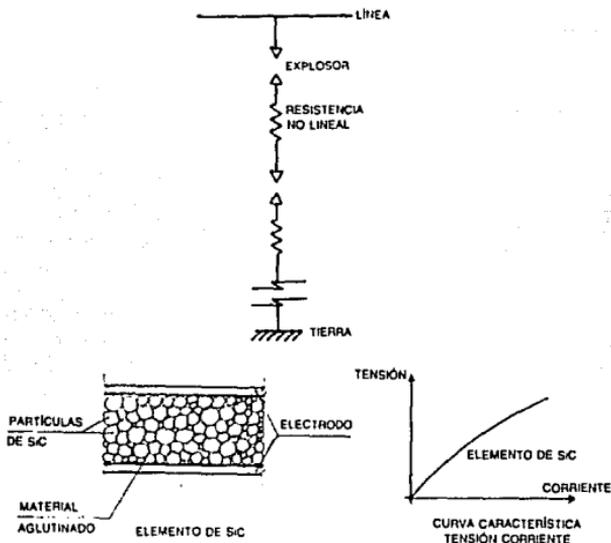
#### **4.2.1.1 Descargas atmosféricas.**

Las descargas atmosféricas comúnmente denominadas como rayos, son un de los problemas a que se enfrentan los S. E. P. día con día. Todo el sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica es susceptible de recibir en algún momento dado la caída sobre él de un rayo. La magnitud de un rayo es tan grande en voltaje y corriente que por más estudios que se hagan para proteger los equipos, jamás se podrá estar totalmente seguro de que no existirá un relámpago que sobrepase los niveles de protección prediseñados en un S. E. P. ni tampoco que efectos causara estando al nivel máximo de tolerancia. Esto último se debe a que nunca un rayo tendrá los mismos valores que otro ya sea de voltaje o de corriente.

Cuando se presenta una descarga atmosférica, los dispositivos de protección poseen tres características básicas. Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado, convertirse en conductor al alcanzar dicho valor y conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión. Esta onda tiene una duración del orden de decenas de microsegundos.

Los llamados pararrayos no son otra cosa que dispositivos que cumplen con las características antes mencionadas y que por lo mismo representan uno de los dispositivos de protección más importantes que existen ya que deben detectar cuando es su momento de actuar. Si este es el caso, deben saber cual de ellos a lo largo del S. E. P. es el indicado (obviamente el más cercano) y en caso de una sobretensión sumamente fuerte, poder distinguir si esta es causada por corto-circuito y por lo tanto, no actuar (a menos que las protecciones de primera instancia no lo hagan). Una vez entendido el funcionamiento del pararrayos se puede dar su definición clásica: Pararrayos. Dispositivo eléctrico, formado por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo de sistemas.

El siguiente esquema muestra un pararrayos autovalvular:



#### 4.2.1.2 Maniobras de cierre o apertura.

Las maniobras de cierre o apertura de circuitos eléctricos, producen ondas de tensión a diferentes frecuencias y a diferentes picos de voltaje, reciben el nombre de transitorios teniendo una duración aproximada de algunos milisegundos con frecuencias del orden de 10 kHz.

Los interruptores son los dispositivos encargados de llevar a cabo estas maniobras. Su función básica es insertar o retirar, de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables subterráneos, ya sea por requerimientos instantáneos o simplemente para dar principio o fin a la alimentación por deseo expreso de el operario.

En un circuito bajo condiciones normales, la tensión aplicada produce una corriente limitada por las impedancias de los elementos que forman el mismo sistema, como son generadores, líneas de transmisión, aparatos y cargas diversas, produciéndose un factor de potencia que puede ser elevado.

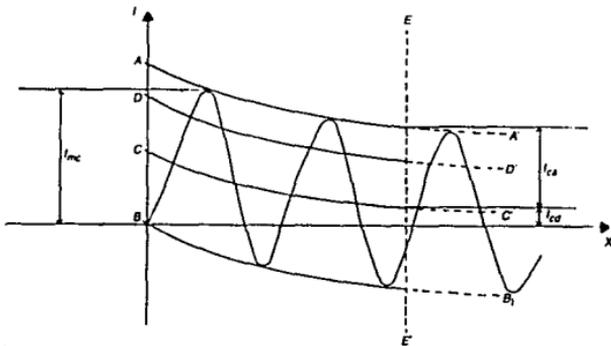
En un mismo sistema, bajo condiciones de cortocircuito en las terminales del generador, se inicia una sobrecorriente que sólo está limitada por la resistencia del embobinado de inducido del generador, sumada en cuadratura con la reactancia de dispersión del mismo, que es una impedancia muy pequeña. El flujo de la corriente sólo está limitado por la resistencia del embobinado y esta corriente recibe el nombre de "corriente inicial de corto-circuito". Su magnitud se reduce gradualmente por la acción contraelectromagnética y llega a un valor permanente, limitado únicamente por la reactancia síncrona del generador. A esta corriente se le llama "corriente permanente de corto-circuito" y tiene un factor de potencia de 0.1.

La corriente de cortocircuito en un sistema puede ser de dos tipos a) Simétrica, b) Asimétrica.

La corriente simétrica es el valor eficaz de la componente de corriente alterna en el momento de separación de los contactos del interruptor.

La corriente asimétrica es el valor total de la corriente de corto-circuito que ocurre en el instante en que se separan los contactos del interruptor y que, comprende en cada instante, la suma de dos términos: el de corriente directa que decrece exponencialmente y el de corriente alterna que se mantiene constante respecto al tiempo. El siguiente esquema muestra a la corriente asimétrica.

AA' } = Envolvente de la onda de corriente  
 BB' }  
 BX } = Línea de cero



|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| CC'                                | = Desplazamiento de la línea de cero (eje de la senoide). Componente no oscilatoria. |
| DD'                                | = Eje del valor eficaz (valor eficaz medido a partir del eje CC').                   |
| EE'                                | = Instante de la separación de los contactos (inicio del arco)                       |
| $I_{me}$                           | = Corriente máxima   |
| $I_{ca}$                           | = Valor pico de la componente alterna en un instante EE'                             |
| $I_{cd}$                           | = Componente no oscilatoria de cd en el instante EE'                                 |
| $\frac{I_{cd} \times 100}{I_{ca}}$ | = Valor de la componente de cd en %  |

La relación de la variación  $I_c$  en el origen, con la variación  $I_{ca}$  en el instante EE' corresponde en promedio a los valores de la siguiente Tabla 2.15 en la que:

$I_{ca}$  = valor máximo de la componente no oscilatoria (cd)

$I_{ca}$  = valor de pico de la componente alterna (ca)

Si a estas corrientes no se les extingue rápidamente es totalmente seguro que ocurrirá un perforce.

## 4.2.2 Sistemas subterráneos

### 4.2.2.1 Corto-circuito causado por fauna nociva.

Todos los sistemas subterráneos están formados por cables de alta tensión los cuales van mucho mas allá de ser un simple alambre o conjunto de ellos forrado de un aislante común. Es por ello que antes de tratar directamente el tema es conveniente describir a los cables de energía.

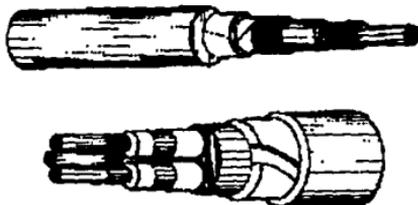
Descripción de un cable de energía típico: La función primordial de un cable de energía aislado es la de transmitir energía eléctrica, a una corriente y tensión preestablecidas, durante un periodo de tiempo definido con anterioridad. Estas son las razones de que sus elementos constitutivos primordiales, se diseñen para soportar tales efectos.

Los elementos constitutivos adecuados para cumplir con estas tres funciones son: a) El conductor por el cual fluye la corriente eléctrica. b) El aislamiento, que soporta la tensión aplicada. c) La cubierta, que proporciona la protección contra el tiempo y los agentes externos.

Los tres elementos anteriores son básicamente conocidos por todas las personas, sin embargo, los cables de energía están constituidos por muchos más elementos que los mencionados hasta el momento, así tenemos, un cuarto elemento fundamental en la operación de cables de energía subterráneo, las pantallas semiconductoras, que como función principal permiten una distribución de los esfuerzos eléctricos en el aislamiento en forma radial y simétrica.

Finalmente, sobre los elementos anteriores, y cuando se desea dar protección adicional al cable, contra agentes externos y/o esfuerzos de tensión extraordinarios, se utilizan las armaduras metálicas.

Un cable, por su formación, podrá ser, unipolar o tripolar según el número de conductores que contenga. Las siguientes figuras muestran a los cables unipolar y tripolar.



Son cuatro los principales factores que deben ser considerados en la selección de conductores:

- 1.- Material
- 2.- Flexibilidad
- 3.- Forma
- 4.- Dimensiones

#### **Material.**

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, aunque el primero es superior en características eléctricas y mecánicas (la conductividad del aluminio es aproximadamente el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%), las características de bajo peso del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos.

#### **Flexibilidad.**

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recojiendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman.

A la operación de reunir varios conductores se le denomina cableado y da lugar a diferentes flexibilidades, de acuerdo con el número de alambres que lo forman, el paso o longitud del torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

El grado de flexibilidad de un conductor, como función de el número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado. Las primeras letras del alfabeto se utilizan para las cuerdas más rígidas y las últimas letras, para las cuerdas más flexibles.

En la tabla siguiente se dan recomendaciones de carácter general para cualquier cable.

| Clase | Aplicación   | Clase | Aplicación  |
|-------|--|-------|---|
| AA    | Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas.  | I     | Cables para aparatos especiales.  |
| A     | Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos que requieran mayor flexibilidad que la de la clase AA.  | J     | Cordones para artefactos eléctricos.  |
| B*    | Cable aislado con materiales diversos tales como papel, hule, plástico, etc., o cables del tipo anterior que requerirán mayor flexibilidad.  | K     | Cables portátiles y para soldadoras.  |
| CyD   | Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la clase B.   | L     | Cordones portátiles y para artefactos pequeños que requieran mayor flexibilidad que los de las clases anteriores. |
| G     | Cables portátiles con aislamiento de hule, para alimentación de aparatos o similares.  | M     | Cables para soldadoras (portaelectrodos), para calentadores y para lámparas.                                      |
| H     | Cables y cordones con aislamiento de hule que requieran mucha flexibilidad. Por ejemplo, cables que tengan que enrollarse y desenrollarse continuamente y tengan que pasar sobre poleas. | O     | Cordones pequeños para calentadores que requieran mayor flexibilidad que los anteriores.                          |
|       |  | P     | Cordones más flexibles que en las clases anteriores.  |
|       |  | Q     | Cordón para ventiladores oscilantes, flexibilidad máxima.   |

### Forma.

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

- 1.- Redonda.
- 2.- Sectorial.

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Los conductores de calibres pequeños (8 AWG y menores), suelen ser alambres sólidos, mientras que los calibres mayores generalmente son cables.

Un conductor sectorial es un conductor formado por un cable cuya sección transversal es sustancialmente un sector de círculo. Se utilizan principalmente en cables de energía trifásicos, en calibres superiores a 1/0 AWG. En estos cables, los conductores sectoriales implican una reducción en la cantidad de rellenos y el diámetro sobre la reunión, de las tres almas, permitiendo reducciones sustanciales en el plomo y revestimientos de protección.

### Dimensiones.

Desde hace años las dimensiones de los alambres se han expresado comercialmente por números de calibres, en especial en Estados Unidos. Esta práctica ha traído consigo ciertas confusiones debido al gran número de escalas de calibres que se han utilizado. La más utilizada para alambres destinados a usos eléctricos es la AWG (American Wire Gage), misma que ha sido adoptada en México. Fue ideada en 1857 por J. R. Brown, por lo que también es conocida como Brown and Sharpe Gage. Esta escala de calibres tiene la propiedad de que sus dimensiones representan aproximadamente, los pasos sucesivos del proceso de estirado del alambre y además sus números son regresivos, esto es, un número mayor representa un alambre de menor diámetro, correspondiendo a los pasos de estirado. En la mayor parte del mundo se utiliza la escala milimétrica IEC. International Electrotechnical Commission. En sí la escala consiste en proporcionar la medida directa de las áreas transversales de los calibres en milímetros cuadrados.

La gran mayoría de América Latina, utiliza la escala AWG, que aunque complicada tiene algunas ventajas como son: El incremento de tres números en el calibre, duplica el área y el peso del conductor y, por lo tanto, reduce a la mitad la resistencia de este a la corriente directa, por ejemplo del 10 al 7. El incremento en seis números de calibre duplica el diámetro, por ejemplo del 8 al 2. El incremento en 10 números de calibre multiplica el área y el peso por 10 mientras que divide a la resistencia también por 10, por ejemplo del 10 al 1/0.

En la tabla siguiente se muestran los valores correspondientes de la escala AWG, su equivalente en mm<sup>2</sup> y el calibre en la escala milimétrica IEC.

| Designación<br>mm <sup>2</sup> | AWG<br>o MCM | Área de la sección<br>(transversal, mm <sup>2</sup> ) | Número<br>de alambres | Diámetro exterior<br>nominal, mm | Peso<br>nominal<br>kg/km |
|--------------------------------|--------------|---|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| —                              | 8            | 8.37  | 7                     | 3.40                             | 75.9                     |
| —                              | 6            | 13.30   | 7                     | 4.29                             | 120.7                    |
| —                              | 4            | 21.15   | 7                     | 5.41                             | 191.9                    |
| —                              | 2            | 33.6  | 7                     | 6.81                             | 305                      |
| —                              | 1            | 42.4  | 19                    | 7.59                             | 385                      |
| 50                             | —            | 48.3  | 19                    | 8.33                             | 438                      |
| —                              | 1/0          | 53.5  | 19                    | 8.53                             | 485                      |
| —                              | 2/0          | 67.4  | 19                    | 9.55                             | 612                      |
| 70                             | —            | 69.0  | 19                    | 9.78                             | 626                      |
| —                              | 3/0          | 85.0  | 19                    | 10.74                            | 771                      |
| —                              | 4/0          | 107.2   | 19                    | 12.06                            | 972                      |
| —                              | 250          | 125.7   | 37                    | 13.21                            | 1149                     |
| 150                            | —            | 147.1   | 37                    | 14.42                            | 1334                     |
| —                              | 300          | 152.0   | 37                    | 14.48                            | 1379                     |
| —                              | 350          | 177.3   | 37                    | 15.65                            | 1609                     |
| —                              | 400          | 203   | 37                    | 16.74                            | 1839                     |
| 240                            | —            | 239   | 37                    | 18.26                            | 2200                     |
| —                              | 500          | 253   | 37                    | 18.69                            | 2300                     |
| —                              | 600          | 304   | 61                    | 20.6                             | 2760                     |
| —                              | 750          | 380   | 61                    | 23.1                             | 3450                     |
| —                              | 800          | 405   | 61                    | 23.8                             | 3680                     |
| —                              | 1000         | 507   | 61                    | 26.9                             | 4590                     |

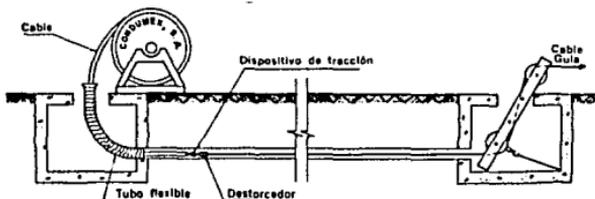
### Aislamientos:

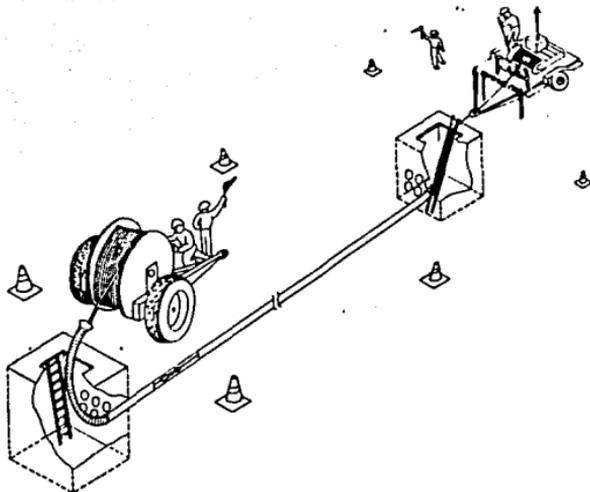
La función de un aislamiento, es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa.

En principio, las propiedades de los aislamientos son, con frecuencia, más que adecuadas para su aplicación, pero los efectos de la operación, medio ambiente, envejecimiento, etc, pueden degradar al aislamiento, hasta el punto en que llegue a fallar, por lo que es importante una adecuada selección de los diferentes aislamientos existentes en la actualidad. Algunos de estos materiales son: PVC o cloruro de polivinilo, EP o hule etileno propileno, el XLP o polietileno de cadena cruzada, etc.

Los cables subterráneos muestran los mismos efectos de corto-circuito que un cable aéreo y estos son sumamente complicados por el hecho de que no están a la vista. Un corto-circuito, no es nada fácil de localizar cuando se trata de cables de energía, como se puede imaginar, ya que al estar enterrados, la falla pudo ocurrir en cualquier lugar dentro de varios kilómetros de distancia.

Los materiales mencionados tienen una particularidad, son térmicos, son resistentes, de colores llamativos, etc. y esto los hace ideales para que cualquier roedor los utilice como lugar de procreación o como material de construcción, incluso alimento, dañando sus estructuras, y sus características aislantes ya mencionadas. Si un cable puede durar de 30 a 50 años sin recibir más que un mantenimiento mínimo, los roedores acaban con un cable completo, en tan sólo una noche, cuando todavía se está instalando. Si por el contrario, el ataque se realiza cuando el cable ya se encuentra en operación, el daño puede tardar en ocurrir, pero definitivamente ocurrirá y en un tiempo comparativamente corto. El siguiente esquema es una muestra de la instalación de cables de energía.





Instalación de cables en ductos.

El siguiente ejemplo muestra un corto-circuito en cables de potencia.

Bajo condiciones de falla, la temperatura de los elementos metálicos de los cables de energía, se incrementa con rapidez.

Conductor y pantalla (cubierta metálica) son los que más sufren y, por lo mismo, lo importante es limitar la falla a su mínima duración.

Para determinar la corriente permisible en el conductor, o pantalla, es necesario conocer el tiempo que transcurre en su duración, antes de que las protecciones operen para dar fin a la falla.

La siguiente ecuación muestra el vínculo que existe entre el tiempo de duración de la falla y la corriente máxima permisible para un cable.

$$\left[ \frac{I}{A} \right]^2 t = K \log \frac{I_2 + I}{I_1 + I}$$

**Donde:**

$I_2$ : Corriente máxima de corto-circ. permitida en Amperes.

$K$ : Constante que depende del material del conductor.

$A$ : Área de la sección transversal en circular-mils.

$t$ : tiempo de duración de la falla en segundos.

$I$ : Temperatura en °C (bajo cero) en la cual el material del que se trate, tiene resistencia eléctrica nula.

$I_1$ : Temperatura inicial del conductor.

$I_2$ : Temperatura final del conductor.

La siguiente tabla proporciona los valores de K y T

| Material | K       | T     |
|----------|---------|-------|
| Cobre    | 0.02997 | 234.5 |
| Aluminio | 0.01286 | 228.0 |
| Plomo    | 0.00108 | 236.0 |
| Acero    | 0.00355 | 100.0 |

Estos cálculos se realizan básicamente para seleccionar el cable adecuado, siendo esta la razón del por qué las fallas se calculan por igual para un cable subterráneo que para un cable colgante o línea aérea.

La localización de fallas en cables subterráneos es un problema que se esta tratando de resolver. Esta localización de la falla debe ser tan exacta como sea posible, para permitir, con el mínimo de trabajo, la exposición de la falla. Es común que en ocasiones sólo se tenga la ubicación de las terminales de los cables y no su trayectoria, por no existir planos o haber sufrido modificaciones en su ruta. En los casos donde la longitud y trayectoria sean bien conocidos, sólo es necesario determinar la distancia del extremo de medición a la falla.

Existen otros tipos de fallas en cables, cuyas causas son: Daño mecánico, Mano de obra defectuosa, Temperaturas excesivas, Efecto corona, Ozono, Sobretensiones, Medio químico (elementos corrosivos). Estos últimos aspectos mencionados, aunque presentes, son por lo regular mínimos comparados con el daño causado por roedores, esto visto de la experiencia profesional de trabajadores de La Compañía de Luz y Fuerza del Centro, sin embargo sus consecuencias son tan funestas como cualquier otro percance en donde se este trabajando con la electricidad.

#### **4.2.2.2 Maniobras de cierre o apertura.**

Las Maniobras de cierre o apertura de circuitos subterráneos son totalmente idénticas a las de circuitos aéreos, por lo tanto basta con mencionar un ejemplo de ubicación de fallas en cables subterráneos, ya que aunque los efectos son iguales y por consiguiente las consecuencias, la localización no lo es tanto.

**Básicamente, localizar una falla consta de 3 pasos:**

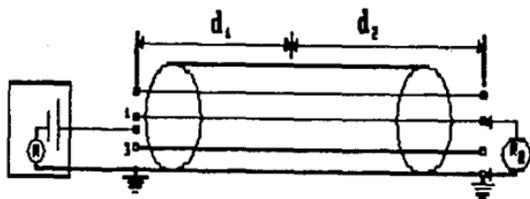
**1o. Consolidación de la falla. Una falla se caracteriza de acuerdo con sus parámetros eléctricos, y de las mediciones tomadas en una o más terminales.**

**2o. Estimación de la distancia a la falla.**

**3o. Localización del lugar de la falla.**

**Un cable con falla puede o no tener el aislamiento quemado en algunos casos éste puede tomar varios cientos de volts antes de llegar a la ruptura.**

**Un metodo simple es el de las terminales.**



Se puede determinar la distancia de la falla de un circuito abierto a una terminal, por la relación de la resistencia del aislamiento del cable abierto a la resistencia de aislamiento de un cable similar de longitud conocida.

Por lo general, los cables son trifásicos y las fallas más comunes se presentan de fase a tierra, por lo que normalmente se tienen dos fases operando correctamente. La medición puede hacerse con un puente de Wheatstone o con un megóhmetro.

La medición se puede hacer desde una o dos terminales y los cálculos pueden hacerse mediante las fórmulas siguientes:

Desde una terminal:

$$d_1 = \frac{R_2}{R_1} (d_1 + d_2)$$

Desde dos terminales:

$$d_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (d_1 + d_2)$$

$d_1$  = Distancia del punto de medición a la falla.

$R_2 / R_1$  = Relación de la resistencia de aislamiento  $R_2$   
del cable bueno, a  $R_1$  del cable con falla.

$d_1 + d_2$  = Longitud del cable.

$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \equiv$  Relación de la resistencia del aislamiento  
 $R_2$ , de la terminal opuesta, a la suma de las  
resistencias del aislamiento,  $R_1 + R_2$ , de ambas  
terminales.

Las fallas mencionadas en este capítulo pueden no ser típicas para algunas personas y que las mencionadas no sean tratadas con la profundidad necesaria. La idea de este trabajo es ayudar a las personas a entender los riesgos de la electricidad mal utilizada y por lo tanto, una explicación detallista, solo provocaría confusiones, ya que para entender una situación especial, con mencionar sus efectos y sus causas de manera simple, la idea de este proyecto se cumple totalmente.

## Capitulo 3

Desarrollo del sistema simulador.

## DESARROLLO DEL SISTEMA SIMULADOR

### 5.1 ¿Qué es la simulación en software?

En la actualidad es sumamente común hablar de paquetes de simulación, de simuladores en general, etc, sin haber dado una definición previa de ella.

La definición proporcionada en diccionario es: Representar una "cosa" fingiendo o imitando lo que no es. Aparentar, fingir.

Como se puede apreciar es un descripción general sumamente ambigua.

Otra definición comúnmente aceptada es la que da el profesor Thomas H. Naylor: "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo."

La definición anterior está en un sentido sumamente específico, pues excluye cualquier suceso físico, sin hacer ninguna referencia a la computación.

Otros estudiosos del tema como Robert E. Shannon, definen simulación como: Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

Esta última definición es básicamente compatible con los objetivos de este trabajo aunque no menciona si los sistemas modelados son continuos o discretos y tampoco hace mención de la facilidad de acceso a un simulador por cualquier persona.

Existen una gran cantidad de áreas donde la técnica de simulación puede ser aplicada. Algunos ejemplos serían los siguientes:

Simulación de un sistema de inventarios:

A través de simulación se pueden analizar más fácilmente sistemas de inventarios donde todos los parámetros (Tiempo de entrega, demanda, costos, etc.) son estocásticos.

Simulación de un tablero de control de la cabina de pilotos de un avión. Este es famoso en todo el mundo.

## 5.2 Educación asistida por computadora.

La computación se ha desarrollado en una forma increíblemente rápida. Los sistemas computacionales, tanto físicos como lógicos, tienden día con día a mejorar y perfeccionarse, teniendo un avance tan grande, que nunca se puede estar seguro de que se tiene en sus manos el circuito mas moderno o un lenguaje de lo más avanzado, incluso, un microcircuito puede quedar obsoleto aún antes de conocer al máximo su capacidad.

La educación, es uno más de los campos donde la computación se ha visto muy solicitada en los últimos años, los servicios y equipos de computo, desarrollan sistemas y elementos físicos que ayudan a una mejor comprensión de los aspectos didácticos. Es tradicional enseñar computación en un ambiente matemático y si bien, las computadoras están ligadas a las matemáticas, no es este su único campo de acción.



La gran mayoría de las escuelas en el mundo donde se imparte computación, reconocen el hecho de que la computación se ha desarrollado en un ambiente de indole comercial, industrial y administrativo, causa del bajo desarrollo, hasta hace pocos años, de otros ambientes físicos.

Muchos programas son también simuladores de procesos o modelos o aún complejos paquetes de análisis. Esto requiere computadoras poderosas y la mayoría de ellos están escritos por programadores profesionales, los cuales tienen poco interés en las necesidades educativas.

Un programa demostrativo tiene muchos alcances, pero su máxima aplicación la han enfocado a juegos de video, mostrando al operador del juego, la forma en que se controlan las palancas y botones de dichos juegos que se acaban de adquirir o simplemente uno que se desee utilizar. Sin embargo, se podría aplicar con mucha efectividad, en la enseñanza de cualquier elemento o sistema sin mucha complicación y con igual resultado.

Los programas de bibliotecas y de ortografía son una fuente de información extra recabada dentro de un programa, se podría hacer la analogía con un diccionario, teniendo la facilidad de un manejo directo sin buscar en páginas de un libro, pues en computación se tienen en pantalla las palabras y de existir algún error, este se corrige por medio de un teclado y de una nueva impresión es decir se puede actualizar sin ningún problema cada vez que se desee.

Existen muchos otros ejemplos de computación educativa y uno de los mas avanzados ejemplos lo constituyen los programas llamados CAD y CAM

El primero quiere decir Diseño Asistido por Computadora y es un sistema sumamente complicado que requiere grandes volúmenes de información y de capacidad de memoria, por lo que una computadora pequeña no podría manejarlo. Básicamente consiste en presentar al usuario una serie de elementos de cualquier área y que el los seleccione para crear un nuevo artículo a base de los anteriores.

La Manufactura Asistida por Computadora, el segundo ejemplo, es semejante al primero con la diferencia de que se realiza en la industria, básicamente en las maquiladoras.

La educación en computación tiene muchos recursos y los mencionados son los mas importantes.

### **5.3 Algoritmos empleados en la simulación de sistemas físicos.**

Puesto que la simulación está basada fuertemente en la teoría de probabilidad y estadística, en matemáticas, en ciencias computacionales, etc., es conveniente mencionar algunas ideas de la forma en que estas áreas intervienen en el desarrollo y formulación del modelo de simulación.

Variables aleatorias: Si el modelo de simulación es estocástico, la simulación debe ser capaz de generar variables aleatorias no-uniformes de distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas. A este respecto, en la actualidad ya se han desarrollado una gran cantidad de generadores para las distribuciones de probabilidad más comunes como la normal, la exponencial, la distribución gaussiana, etc.

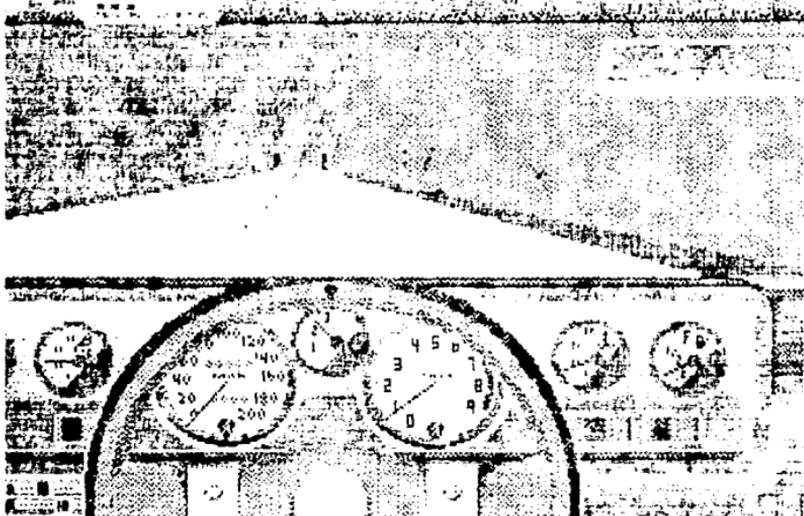
Después de lo anterior resulta más fácil comprender el porqué es importante tener presente siempre, cómo y cuándo es posible llevar a efecto un proceso de simulación, los beneficios que puede dar y la gran variedad de campos en los que se tienen aplicaciones ya que una vez desarrollado un sistema, la imaginación humana es el límite en lo que a la posibilidad de variantes se refiere.

## LAMBORGHINI COUNTACH



| Layout               | mid engine / rear drive | Approximate Price      |
|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Engine type:         | dohc 4 valve 4 cyl      | \$130,000              |
| Displacement:        | 5167cc                  |                        |
| Compression ratio:   | 7.5:1                   | 0-60mph: 5.2s          |
| Hhp @ rpm, SAE net:  | 420 @ 7000              | 0-100mph: 12.0s        |
| Torque @ rpm, lb-ft: | 341 @ 5000              | 1/4 mile: 13.7s        |
| Transmission:        | 5 sp manual             | @ 108mph               |
| Braking from 60 mph: | 252ft                   | Top speed: 170mph      |
| Tires:               | Pirelli P7R:            | 16/8hp: 8.1            |
|                      | 225/50VR-15 (F)         | Laterals/steadi: 0.004 |
|                      | 245/35VR-15 (R)         |                        |

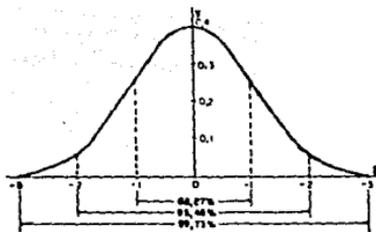
Para finalizar este aspecto, se hace necesario aclarar que un simulador en general esta preparado para un uso directo y claro es decir para el cual se programo, pero casos particulares y eventualidades se deben manejar como tales y en su caso utilizar un tutorial, el cual contemple otros aspectos especiales.



Cuando se escribe un programa con fines educativos, este debe reunir ciertas características específicas, para que sea útil en el proceso de enseñanza. Debe estar estrechamente ligado con experimentos prácticos y contener los datos necesarios para una función correcta, debe dar soluciones directas e indirectas a los las preguntas de aspecto cualitativo y cuantitativo, así como a los problemas de aspecto práctico.

Existen varios sistemas hechos específicamente para educar por medio de la computadora (la simulación es uno de ellos), entre los que tenemos a los tutoriales, los programas de demostración, programas de bibliotecas, de ortografía, etc.

El tutorial es posiblemente uno de los más complicados que existen pues aparte de enseñar, debe saber aplicar preguntas o interrogantes de cualquier índole, según el grado de complejidad que se este manejando.



Las primeras etapas en un estudio de simulación se refieren a la definición del sistema por modelar, así como a la descripción del sistema en su operación normal. Esto se puede realizar mediante diagramas de flujo, utilizando relaciones lógicas de las variables que lo afectan. Una vez cumplido lo anterior, llega el momento en que se necesita describir el modelo en un lenguaje que sea aceptado por la computadora en que se va a trabajar.

En esta etapa se pueden presentar varios cursos a seguir pero principalmente son dos; 1) Desarrollar el programa requerido para estudios de simulación, ó 2) Comprarlo. Existen lenguajes de programación de propósito especial para simulación, pero ninguno es lo suficientemente amplio aún como para ser considerado como básico, es decir, no presentan los requerimientos generales mínimos y esto es lógico, pues como se ha mencionado, no existen límites para la simulación.

Condiciones iniciales: La mayoría de los modelos de simulación estocásticas se utilizan con la idea de apreciar al sistema en una situación estable y controlada. Sin embargo la mayoría de dichos modelos presentan en su fase inicial, etapas de transición las cuales de ninguna manera son estables. Esto hace necesario plantear claramente las alternativas o cursos de acción a seguir para resolver este problema.

Algunos autores piensan que la solución se encuentra entre alguna de las propuestas mencionadas a continuación:

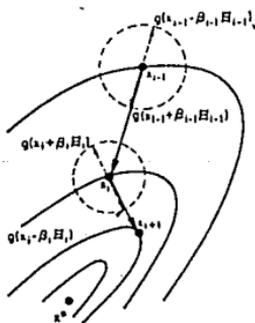
- 1) Utilizar el programa (ejecución) un tiempo lo suficientemente grande para minimizar así al máximo, el tiempo de transición.
- 2) Excluir la parte transitiva de los modelos empleados.
- 3) Utilizar simulación regenerativa (retroalimentación).

Los dos primeros métodos, además de costosos, pueden ser de consecuencias funestas al ignorar los efectos transitivos mientras que el tercero es, aunque complejo, el más completo.

La utilización de algoritmos perfectamente claros ayudarán a cualquier persona que utilice simulación, a entender claramente el problema que se está atacando. La complicación, que se da a los problemas, depende totalmente de las necesidades prácticas o de el estudio que de ellos se requieran.

En la siguiente figura se muestra una serie de espirales, las cuales representan diferentes valores de números, y en cada nivel de la espiral se tiene una probabilidad asignada.

Las funciones que se encuentran a lado de cada número, indican su relación de ocurrencia.



#### 5.4 Limitantes de simulación.

Hasta hace pocos años, la simulación generalmente se veía como un último recurso en la solución de problemas particulares o generales de cualquier índole, pero ya en la actualidad se utiliza en empresas como un sistema de mejoramiento de calidad, capacitación y desarrollo de personal. A diferencia de las ventajas mencionadas, la simulación presenta el problema de requerir equipo computacional que aunque ya está prácticamente al alcance de todo el mundo, no siempre se dispone de los aparatos adecuados para los sistemas adquiridos ni de el material humano que lo maneje adecuadamente. También se requiere de recursos costosos los cuales consisten en la impartición de cursos para enseñar y mostrar como utilizar los sistemas desarrollados. Desgraciadamente estas pláticas nunca son las que en un momento dado se necesitan realmente, a menos que se desarrollen por la empresa que los va a requerir.

Los modelos de simulación requieren de un tiempo generalmente grande para su desarrollo y perfeccionamiento, esto es, se requiere de un gran estudio de los efectos conocidos y de los elementos que intervienen en un simulador, puesto que no sólo es una representación básica, sino que se debe pensar que efectivamente se tienen a los elementos involucrados en íntima colaboración, tanto a los computacionales como los que se tratan de simular.

Un aspecto importante que se debe mencionar es que en un momento dado, al utilizar un simulador, se puede perder el aspecto físico de estudio, es decir, simular nunca es realmente una situación real. Un ejemplo clásico es el mencionar a un "simulador de vuelo". Si este indica, por cualquier motivo, choque en tierra, no existen consecuencias físicas pero ya en la práctica las posibles complicaciones son de todos conocidas.

Otro ejemplo con referencia al tema tratado sería recibir una descarga eléctrica pequeña e instantánea (los famosos "toques"). En una computadora no llegaría a sentirse realmente, pero una persona que haya sentido una descarga de esta naturaleza con un voltaje mínimo de 120 volts no lo olvidará fácilmente.

Esto quiere decir que, aunque la idea de un simulador es proporcionar experiencia en un campo físico real, puede darse el caso de imaginar que los percances son igual de simples como siempre se vio en computadora; se oprime una tecla y se soluciona el problema. Es necesario enfatizar esto, nunca se debe perder noción de qué se está haciendo cuando se trabaja con un simulador, por simple que sea el área de acción.

La simulación es muy útil en desarrollos donde las técnicas analíticas son inadecuadas, ya sea por la complicación en sus ecuaciones, o por que no existe un método matemático que las solucione. Se debe tener en cuenta que no es un método perfecto, tiene errores al ser hecho por hombres y por lo mismo depende de factores estadísticos que lo hacen variar en sus resultados de una prueba a otra, es decir solo compara rangos y alternativas y no resultados exactos de los cuales en la mayoría de los casos carecen.

Otro grave defecto es que la simulación es lenta y sumamente cara, requiriendo de una gran cantidad de datos y de una programación extensa a pesar de que sea independiente del modelo a estudiar.

### 5.5 Método Montecarlo de simulación.

Un aspecto muy importante de la simulación es el hecho de que es usado por diseñadores como una herramienta sumamente útil teniendo por ejemplo un túnel de viento, un sistema de comunicaciones por teléfono, una operación de mantenimiento, etc. determinando de esta forma, el alcance real de una reparación posterior, o incluso simular una batalla militar de gran escala evaluando, sistemas defensivos o de ataque.

La simulación no requiere que se presente un modelo en ningún caso en forma particular alguna, esto debido ha que los grados de libertad de dicho modelo los proporciona este mismo, es decir, procesar la información que se tiene es ya un tanto problemático, sin complicarse con elementos digitales.

Se ha hablado de simulación estocástica para definir aquel tipo de simulación que utiliza una distribución de probabilidad en particular y sus elementos son aleatorios. Este recibe el nombre de "Método Montecarlo de simulación".

Históricamente, el método Montecarlo fue considerado para ser una técnica que utilizara números en forma aleatoria o pseudoaleatoria, durante la solución de un modelo cualquiera. Dichos números en esencia deberían ser independientes y tomados de una distribución uniforme dentro de un intervalo  $[0,1]$ . En la actualidad, las computadoras aceptan códigos matemáticos para generar "dígitos" pseudoaleatorios del "0" al "9" con la misma probabilidad de ocurrencia para cada uno.

Lo anterior implica que se debe tener cuidado al seguir un método aleatorio por computadora y generar las rutinas necesarias para que se obtenga la distribución deseada.

El método Montecarlo se debe los científicos alemanes von Neumann y Ulman. Ellos presentaron un código de palabras para un trabajo secreto en los Alamos, y la idea provino de los casinos de juego en dicha ciudad. Os primeros trabajos del método fueron en el desarrollo de la bomba atómica.

Este método, no solamente es usado en problemas estocásticos sino en determinísticos también, con la aclaración de que estos últimos deben tener la misma expresión formal que los procesos aleatorios. En la actualidad es el mas poderoso método para analizar problemas complejos, y sus rangos de acción están siendo aumentados día a día.

La complejidad de los requerimientos computacionales se ha incrementado también para acoplarse mejor con problemas mas extensos.

Sin embargo existen algunas diferencias entre el método montecarlo y la simulación en sí. Algunas de estas son:

1.- El tiempo no es fundamental en el método montecarlo como lo es en simulación estocástica pura.

2.- Las observaciones en el método montecarlo, son independientes, mientras que en simulación se experimenta con el modelo sobre el tiempo es decir las observaciones están seriamente relacionadas.

3.- En el método montecarlo, es posible expresar las respuestas de un sistema como un rango de una función simple de las variables estocásticas de entrada. En simulación, la respuesta es realmente complicada y solo se puede expresar explícitamente mediante el programa de computación mismo.

Son estas diferencias, recién mencionadas, aunadas al hecho de que el Método Montecarlo es muy flexible, lo que lo hace ser elegido como base para el desarrollo de este proyecto.

La simulación, no tiene un límite alcanzable en ningún aspecto y es probable que mientras más se conozca de cualquier sistema, incluso del cuerpo humano, se podrán implementar con mayor facilidad las respuestas de los sistemas e incluso lograr prever algunas de estas, mediante el uso de variables preestablecidas. La computación y el ser humano, están condenados a seguir juntos durante algún tiempo, el cual puede ser mucho o poco esto nadie lo puede decir.

## Capítulo 6

**Diseño del sistema simulador.**

## **Diseño del sistema simulador**

### **6.1 Arquitectura del sistema de programación:**

El sistema simulador esta realizado y formulado tomando en cuenta una serie de requerimientos técnicos y de capacidad computacional, para una aplicación óptima de este trabajo.

Es así que para desarrollar el mismo se tomó en cuenta el hecho de que las computadoras tipo "P C", en la actualidad son las accesibles en cuanto a costo y facilidad de manejo.

El lenguaje en que se trabajó es otro de los aspectos primordiales, debido a que existen una gran cantidad de ellos y cada uno presenta ventajas y desventajas importantes. A estos, se pueden agregar incluso los programas hechos especialmente para simulación. Cada uno de los lenguajes actuales, se estudió y comparó para obtener la mejor selección posible en este momento, llegando a la conclusión de que PASCAL 5.5 en su versión turbo, sería el más adecuado.

Las razones de ello son simples, una primera es que se trata de un lenguaje de tercera ( o cuarta) generación, de los mas usados y manejables en todo el mundo, dando la posibilidad de modificar el programa a cualquier persona interesada en el tema o bien desarrollar una nueva versión teniendo en cuenta los lineamientos que la electricidad de potencia requiere. Otra razón importante es la gran cantidad de información que de el programa se tiene, es decir existe una gran cantidad de bibliografía de este lenguaje y también existen rutinas generales en "bibliotecas de programas" al alcance de todo el mundo lo que le da un potencial de desarrollo enorme pues como se sabe un mismo programa puede tener tantos enfoques como personas lo visualicen en un momento dado.

Pascal fue ideado en Suiza por el Dr. Niklaus Wirth dándole la forma de un lenguaje estructurado lo que permite una visualización directa de los programas desarrollados y que en caso de existir errores, se pueden corregir fácilmente con la ayuda de el editor. Este ultimo indica que tipo de error se esta cometiendo y, en ocasiones, que acción se puede tomar al respecto para corregirlo.

| File   | Edit  | Run    | Compile | Options | Debug    | Break/watch |
|--------|-------|--------|---------|---------|----------|-------------|
| Line 1 | Col 1 | Insert | Indent  | Edit    | Unindent | C:TESIS.PAS |
|        |       |        |         |         |          | Watch       |

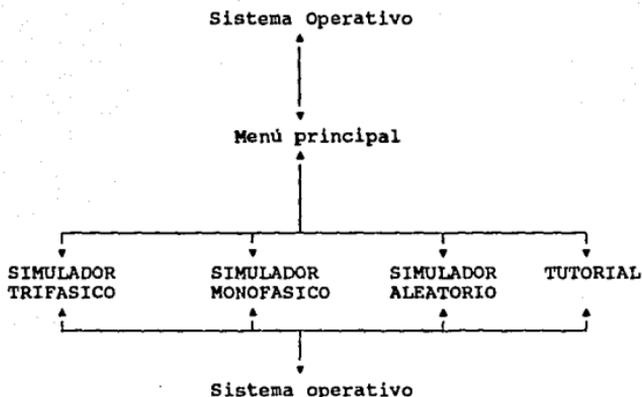
F1-Help F5-Zoom F6-Switch F7-Trace F8-Step F9-Make F10-Menu

En resumen, las razones de seleccionar pascal son:

- a) Es adaptable a una gran cantidad de computadoras, desde las llamadas "supercomputadoras" hasta las pequeñas microcomputadoras de bolsillo.
- b) Al ser un lenguaje de programación estructurada, reduce el tiempo de máquina por la forma comprensible que tiene su estructura básica, dando la oportunidad de rastrear los programas muy fácilmente.
- c) Es un lenguaje simplificado por sus códigos simbólicos como son, números, signos de puntuación gramatical, algunos símbolos matemáticos y un reducido conjunto de palabras en inglés sintetizando algunos avances de la ciencia de computación.

## 6.2 Diagrama y estructuras de programación.

El programa en si esta formado por un menú general del cual se puede pasar a 4 módulos, los cuales representan los tipos de falla estudiados en este trabajo. El diagrama que lo representa es el siguiente:



Es sumamente importante hacer notar que en todo momento existe la posibilidad de regresar al sistema operativo desde cualquier módulo en que se encuentre trabajando quien este utilizando el programa.

La opción de ayuda en línea es otra parte útil que se tiene disponible en cada uno de los módulos y es donde se amplía o especifica alguna de las ideas o de las partes eléctricas que componen los diferentes circuitos.

Un último aspecto que se debe tratar en este momento se refiere en particular al tutorial el cual no permite ninguna clase de errores, es decir, para este módulo, el teclado esta totalmente habilitado y cualquier tecla que se pulse será registrada sea correcta o no e indicará un resultado preguntando, inmediatamente si se desea continuar con el módulo tutorial.

El programa fue hecho con la idea de ser lo más simple y accesible posible para quien lo utilice, pero esto no es indicativo de que la programación en sí haya sido simple, ya que es por demás extensa.

### 6.3 Detalle de módulos de programación.

Los módulos A y B (cortos trifásico y monofásico), son idénticos prácticamente en todo, variando en el circuito propuesto y en los cálculos que los resuelven.

Al elegir el punto de falla de los diferentes circuitos, el programa mostrará los efectos de un corto-circuito y dará algunos datos de estos que llamarán la atención de más de una persona.

El módulo aleatorio, es el que realmente muestra la simulación literal por el método Montecarlo, es decir este punto es simulación pura teniendo 12 opciones diferentes a seleccionar con igual probabilidad de ocurrencia.

Esto es contrario a las especificaciones del método Montecarlo de simulación, pero para los propósitos de estudio resulta lo más adecuado.

El módulo tutorial es totalmente diferente a las vistas anteriormente y su objetivo es el de verificar si se esta logrando un aprendizaje, cuando menos, del cálculo de un corto-circuito simple.

Consta únicamente de tres elementos para que calcular sus valores de falla sea lo más rápido posible así como simple y de fácil acceso para cualquier persona. No se debe tratar de adivinar ya que esta parte del programa esta muy protegida para evitar hasta donde sea posible que se hagan trampas como es tratar de adivinar.

Si se logra aprender algo de este trabajo, podrá decirse entonces que el programa ha funcionado y que logró un objetivo básico. Si alguna persona lo considera útil, el esfuerzo empleado en el no ha sido en vano.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**Capítulo 7**

**Operación y mantenimiento del sistema simulador.**

## Operación y mantenimiento del sistema simulador.

### 7.1 Pruebas al software.

Para poner en operación al sistema simulador solo es necesario insertar el Diskette y llamar al programa con las siglas **SCCTM91**. Este es el nombre que con el que se designa a el programa simulador y es debido a que es su abreviatura, "Simulador de Corto-Circuito Trifásico y Monofásico 1991".

Las pruebas que se pueden practicar a un programa de este tipo son ya en su etapa funcional, cuando las trabas de el sistema operativo ya han sido aplicadas y el programa no presenta ninguna deficiencia.

Para evaluar el sistema simulador, se eligió la opción de desarrollar un cuestionario con preguntas básicas y generales, así como conservar el carácter anónimo de las personas consultadas (únicamente para que las respuestas sean lo más veras posible). Así tenemos que las preguntas fueron:

- 1.- ¿Conoce lo que es un S. E. P.?
- 2.- ¿Sabe de los riesgos de un mal manejo de equipo eléctrico?
- 3.- ¿Conoce como se origina un corto-circuito?
- 4.- ¿Alguna vez ha utilizado un simulador? ¿De qué tipo?
- 5.- ¿Considera que este programa es un simulador?
- 6.- ¿Le parece útil el programa que acaba de usar?
- 7.- ¿Considera que es claro conceptualmente?
- 8.- ¿Algún módulo le parece simple?
- 9.- ¿Algún módulo le parece confuso ó complicado?
- 10.- ¿Qué le gusto más del simulador?
- 11.- ¿Qué le disgusto mas del simulador?
- 12.- ¿Las instrucciones para operarlo son suficientes?
- 13.- ¿Considera que son reales las situaciones aquí mostradas?
- 14.- ¿Considera que al utilizar el programa obtuvo alguna enseñanza de provecho?
- 15.- ¿Cuál es su opinión personal de este proyecto?

La hoja de cuestionario pidió los datos siguientes: Edad, Sexo, grado máximo de estudios y Ocupación. Las respuestas se dan a continuación, enumerando a las personas implicadas con letras de la "A" a la "J", y en aquellas preguntas que no se respondieron se marcan como NC:

A) 21 años, masculino estudiante de licenciatura:

- 1.- Si.
- 2.- Si.
- 3.- Si.
- 4.- No.
- 5.- Si.
- 6.- Si me parece bastante completo, fácil de usar, se puede utilizar para darse una idea de las fallas que lo pueden ocasionar.
- 7.- Por supuesto.
- 8.- No ninguno.
- 9.- No, todos son claros y fáciles de operar.
- 10.- Todo.
- 11.- Nada.
- 12.- Si, muy completo.
- 13.- No lo sé, quizá si o quizá no, pero son muy buenas y bastante completas.
- 14.- Si, porque pude darme cuenta de muchas cosas que yo ignoraba, bueno, no que ignorara, sino, que no entendía bien.
- 15.- Pues que es útil para los que estudiamos esta carrera, para darnos cuenta de lo que hay que hacer y me parece un proyecto bastante bueno.

B) 18 años, femenino, estudiante segundo semestre.

- 1.- NC.
- 2.- Si.
- 3.- No muy bien.
- 4.- No.
- 5.- Si.
- 6.- Si.
- 7.- Si.
- 8.- No.
- 9.- No.
- 10.- El que de explicaciones de lo que esta sucediendo, además de las ayudas y las pantallas en donde se encuentra la falla.
- 11.- Nada.
- 12.- Si.
- 13.- Si.
- 14.- Si.
- 15.- Que están bien explicadas las fallas , es muy didáctico el que en pantalla se muestra lo que sucede y en que lugar. Pienso que es muy trabajo, donde se simulan fallas eléctricas.

C) 26 años, masculino, licenciatura. Vendedor.

- 1.- NC.
- 2.- Si.
- 3.- Si.
- 4.- Si, filtros activos.
- 5.- No.
- 6.- Variando los parámetros, si.
- 7.- Si.
- 8.- No.
- 9.- No usé todos.
- 10.- es tipo "amigable".
- 11.- NC.
- 12.- Si.
- 13.- NC.
- 14.- Si.
- 15.- Será de buena ayuda en el área cuando se puedan cambiar los parámetros que están fijos en el sistema.

D) 22 años, masculino, estudiante de licenciatura.

- 1.- Si, lo que he aprendido en mis clases de eléctrica.
- 2.- Si, el no conocer adecuadamente un sistema de esta clase, puede provocar graves problemas.
- 3.- Existen varias maneras de lograr esta situación.
- 4.- He utilizado varios, algunos computacionales, de seguridad y de pruebas electrónicas.
- 5.- Si, cumple los requerimientos mínimos para recibir esta denominación.
- 6.- Claro, debido a que puede utilizarse como material adicional para reafirmar conocimientos sobre este tema.
- 7.- No lo lei.
- 8.- NC.
- 9.- NC.
- 10.- La facilidad para manejarlo.
- 11.- Los colores utilizados.
- 12.- Si, son las indispensables.
- 13.- Son mas bien las apropiadas para los fines educativos.
- 14.- Si, probar entre otras cosas mi resistencia visual ante los colores que maneja.
- 15.- Me gusta el estilo que sigue.

E) 21 años, masculino Estudiante de licenciatura.

- 1.- No.
- 2.- Si.
- 3.- Si.
- 4.- Si, variados.
- 5.- Si.
- 6.- Si.
- 7.- Si.
- 8.- Si, el aleatorio.
- 9.- No.
- 10.- Los colores.
- 11.- Que al parecer no tiene ninguna falla.
- 12.- Si.
- 13.- Posiblemente.
- 14.- Si.
- 15.- Es bueno, pues abarca de cierta manera, situaciones reales que pueden suceder en cualquier momento.

F) 28 años, Femenino. Licenciatura.

- 1.- Si.
- 2.- Si.
- 3.- No.
- 4.- No.
- 5.- No, según la idea que tengo de un simulador.
- 6.- Si.
- 7.- Ayudaría poner algo mas de teoría.
- 8.- No.
- 9.- No.
- 10.- Que no se necesita terminar todo un bloque para poder salir o cambiarlo.
- 11.- Me gustaría un tipo de letra mas grande.
- 12.- Si.
- 13.- Si.
- 14.- Si.
- 15.- Puede ser una herramienta muy útil para la materia de potencia I, ayudaría ponerle algunos ejemplos en el cálculo de cortos.

G) 27 años, Profesional, Ing. en computación.

- 1.- No.
- 2.- Si, por lo que es muy importante contar con los elementos necesarios para controlar cualquier problema.
- 3.- Si, tengo idea.
- 4.- No.
- 5.- Si, ya que da explicaciones, de lo que es y a que se refiere.
- 6.- Si, bastante, porque da una idea general, de lo que es un simulador y así uno puede tener una idea mas clara del mismo.
- 7.- Si, creo que utiliza tanto términos como lenguaje claro y fácil de entender los módulos están completos así como los diagramas que muestra dando así un concepto claro de lo que se esta explicando.
- 8.- NC.
- 9.- NC.
- 10.- Que está bien explicado y es bueno tener este tipo de documentación en cualquier empresa.
- 11.- Que lo vi muy rápidamente y que a veces las letras blancas no se distinguen bien al estar en un párrafo demasiado grande.
- 12.- Sí claros y suficientes.
- 13.- Creo que si, aunque siento que si yo tuviera mayores conocimientos en cuanto a electricidad y los problemas que puede haber, podría dar una mejor opinión.
- 14.- Si, claro puesto que ahora sé, que es un simulador.
- 15.- Es un proyecto, interesante, bonito y nuevo, ya que en la actualidad es necesario contar con trabajos de este tipo los cuales pueden darse a empresas grandes y así tener documentación de los problemas que pueden llegar a tener en el área eléctrica y desarrollar así algo que valga de acuerdo a sus necesidades, ya que teniendo una documentación completa se podrían dar cursos mostrando ejemplos como este y capacitando al personal para un buen funcionamiento y control en el área eléctrica.

H) 33 años, masculino, Licenciatura, profesor.

- 1.- No.
- 2.- Si.
- 3.- Si.
- 4.- Si.
- 5.- Si.
- 6.- Si.
- 7.- No podría hacer esta evaluación.
- 8.- No.
- 9.- No.
- 10.- Su rapidez.
- 11.- Que no es autoejecutable. En algunas secciones no se puede regresar a la página anterior.
- 12.- Si. Sugerencia: Manual del usuario.
- 13.- Si.
- 14.- Si.
- 15.- Es un buen proyecto.

I) 19 años, femenino, Licenciatura 2do. semestre Estudiante.

- 1.- No.
- 2.- No.
- 3.- No.
- 4.- No.
- 5.- Si.
- 6.- Si.
- 7.- Si, aunque no tenga claros muchos conceptos.
- 8.- No.
- 9.- No.
- 10.- El tratar de adivinar donde había una falla.
- 11.- Los gráficos, y el momento donde se realizaba una falla, también como está diseñado, se ve muy interesante.
- 12.- Si.
- 13.- Si.
- 14.- Si hubiera tenido más teoría sobre el tema yo creo que hubiera aprendido más, y aun así poco, pero aprendí.
- 15.- Se ve muy interesante, y creo que está bastante completo.

J) 25 años, masculino, Licenciatura, Ingeniería en computación.

- 1.- Superficialmente.
- 2.- Si, daño al equipo.
- 3.- No totalmente.
- 4.- Si. De vuelo, de sistemas dinámicos, de equipo de cómputo, etc.
- 5.- Si pero ojalá todos los parámetros pudiesen ser modificados, para hacer más flexible el programa.
- 6.- Para gente especializada o estudiantes del área si.
- 7.- ¿conceptualmente? No conozco los términos que maneja.
- 8.- Si, tal parece que son sencillos.
- 9.- No.
- 10.- La forma en que lleva al usuario y sus ayudas.
- 11.- Los colores y la tipografía.
- 12.- Si.
- 13.- No sé.
- 14.- No.
- 15.- Pienso que está dedicado a gente "especializada" y sólo ésta podría opinar acerca de la utilidad del proyecto.

Como se puede apreciar, los comentarios son variados y serán tomados en cuenta, todos y cada uno de ellos para un mejor uso y posterior desarrollo de este trabajo.

## 7.2 Mantenimiento a futuro.

En el final del capítulo 3, se hace mención de que el conocimiento humano no tiene ni tendrá límites alcanzables. Esto es muy cierto. El presente trabajo es un ejemplo patente de esto. La razón de mencionar esto es la siguiente: Al utilizar este programa, y como uno de los objetivos planteados al desarrollar la idea de este trabajo, se requiere un equipo de computadora personal compatible (conocidas como "P C") y la elaboración en su mayoría se llevó a cabo en una computadora con 10 Mhz de velocidad, mientras que la última parte se desarrollo en una a 12 Mhz y ya se nota la diferencia. Una máquina mas grande sería mucho mas rápida y lógicamente, se tendrá una mayor respuesta en lo que a dinamismo se refiere.

En este trabajo se realiza una simulación muy general pero esto no esta limitado en ningún aspecto, ya que cualquier modificación de los circuitos presentados, ocasiona un nuevo estudio y por ende es este el primer punto a tratar en una nueva versión del simulador.

Este trabajo tiene esa ventaja y desventaja, nunca quedara obsoleto si se va actualizando conforme avanza la tecnología o bien conforme los requerimientos específicos lo requieran y, por ende necesita estar siempre en actualización, es decir, requerirá siempre de modificaciones sucesivas.

Desarrollar una nueva versión de este trabajo es una proposición abierta para cualquier persona que tenga interés en el y por lo mismo se hace una invitación a profesionales, técnicos, trabajadores, etc. a realizar un nuevo programa que contemple aspectos no tratados en este, el campo de acción es ilimitado.

## **Capítulo 8**

### **Comentarios y conclusiones generales.**

## Comentarios y conclusiones generales.

Desarrollar este trabajo, ha sido sumamente agradable ya que de alguna manera, se está aplicando en él, parte de lo visto durante los estudios profesionales, y parte de lo que es la vida profesional.

Inicialmente, el trabajo constaba únicamente de las partes trifásica y monofásica, pero al desarrollar el programa, se llegó a la conclusión de que no quedaban totalmente claros aún los conceptos de simulación; de ahí que surgiera la parte aleatoria.

El programa mostró qué es un corto-circuito, así como, algunos de sus parámetros de cálculo y los valores de falla; sin embargo se hizo necesario evaluar de alguna forma a las personas que lo utilicen. Es en esta forma que se recurrió a uno de los métodos de enseñanza por computadora mencionados con anterioridad, el tutorial, mediante el cual, se intenta evaluar los conocimientos adquiridos por quien utilice el programa.

Para desarrollar sus partes y que no fuera tedioso, rígido y monótono, se pensó en un juego de colores para hacerlo más agradable y atractivo.

Otro punto de estudio previo fue el hecho de vislumbrar que le atraía más de una computadora a la mayoría de las personas, lamentablemente por amplio margen, los juegos de video tienen la primicia en este aspecto. Este hecho es muy significativo ya que si alguien quiere utilizar la computadora como herramienta de aprendizaje, recurrir al ardid de presentar un programa como un juego de video, dará mejores resultados y las instrucciones que se requieran serán memorizadas más fácilmente, que si se realiza un programa totalmente monótono, y con un enfoque poco didáctico.

Los cambios cromáticos del programa resultaron uno de sus atractivos primordiales pero desgraciadamente no en todos los casos se puede contar con un monitor a colores sin embargo las pruebas que se hicieron en máquinas monocromáticas resultaron claras y agradables.

Los comentarios sobre el programa fueron muy interesantes, algunas personas mencionaban que este programa no era un simulador y daban sus razones. Otras, que si lo es y daban su opinión, pero lo que se puede afirmar es que es imposible unificar el criterio al respecto, las críticas recibidas hacen pensar ya en una segunda y tal vez en una tercera versión de este trabajo.

Algunas de los comentarios pedían la posibilidad de modificar los elementos que intervienen en los circuitos, otras, por ejemplo, cambiar algún parámetro de un dispositivo cualquiera que sea, realizando nuevamente los cálculos, mientras que los últimos comentarios mencionan mezclar un circuito de potencia con uno de electrónica e incluso de microelectrónica, simulando sus características donde las acciones a tomar ante cualquier eventualidad estén controladas por un microprocesador.

Cada una de las propuestas resulta muy interesante y como ya se comentó son tema de un nuevo trabajo o por lo menos de una segunda versión.

Después de analizar las respuestas de los cuestionarios, resulta grato ver que efectivamente el programa funciona como se planeó y cumple los objetivos de demostrar las bases de el cálculo de un corto-circuito en sus valores de corriente y voltaje.

Realizar los cálculos de las fallas como se muestra en el capítulo 3 es simple pero laborioso y existe una gran posibilidad de cometer errores. Esto es algo sabido. Los elementos de potencia eléctrica y los cálculos que requieren son sumamente simples de estudiar, pero es igual de sencillo equivocarse durante estos procesos, ya que dichos cálculos son muy extensos, aunque solo se utilicen las 4 operaciones fundamentales de la aritmética como son, sumas restas, divisiones y multiplicaciones.

La etapa tutorial, fue una de las que dejó las mas gratas satisfacciones por lo que ahora resulta obvio comentar que es un error cerrarse a sólo un tipo de software educativo, por lo que la mezcla de programas en sus proporciones justas, dio un resultado alagador.

Este trabajo puede dar una idea de que las áreas en Ingeniería, no están separadas, sino que muy por el contrario, cada una de ellas es sólo una rama del mismo árbol, la electrónica, computación y potencia eléctrica se encuentran más reunidas ahora que nunca.

Un hecho interesante consiste en comentar que el término falla, presentó una gran complicación, puesto que dicha palabra, puede ser aplicada a su significado estricto, pero en eléctrica se toma por extensión a un corto-circuito y, no toda persona que trabaje en el área de potencia, asume los corto-circuito como falla.

Para dar por terminado este escrito, me gustaría hacer una invitación a todos aquellos jóvenes con inquietudes especiales por algún tema, para que no se queden con ellas, explótenlas, desarrollenlas al máximo. Nunca sabrán lo que se pueden encontrar si no se aventuran por esas inquietudes. Yo no les digo háganlo, como una orden, queda en la madurez y responsabilidad de cada individuo alcanzar sus metas o no, pero les puedo decir que los grandes conflictos que se encontrarán en su camino, son sumamente pequeños comparados con el cúmulo de experiencias y satisfacciones que también podrán alcanzar.

Facultad de Ingeniería.

Ciudad Universitaria.

México D. F. Octubre 1991.

Francisco José Castillo Cortés.

## APÉNDICES

## Apéndice " A "

### Manual del usuario

El Simulador de corto-circuito trifásico y monofásico 1991, requiere de algunas instrucciones previas para su uso las cuales se proporcionan a continuación:

Para "llamarlo" a operación, es necesario que desde el sistema operativo se tecleen las siglas **SCCTM91** que son su abreviatura.

La primera pantalla desplegada es la presentación general del programa. De esta pantalla se puede continuar con la tecla <J> o bien regresar al sistema operativo con la instrucción **ALT-X**.

La segunda pantalla es el menú general el cual presenta 5 opciones:

- A) CORTO-CIRCUITO TRIFASICO.
- B) CORTO-CIRCUITO MONOFASICO.
- C) CORTO-CIRCUITO ALEATORIO.
- D) TUTORIAL.
- S) SALIR DEL PROGRAMA.

Para seleccionar cualquiera de las opciones, basta con oprimir cualquiera de las letras de la "A" a la "D" para seleccionar el módulo deseado (se puede teclear mayúscula o minúscula) o bien "S" para regresar al sistema operativo.

La segunda forma alternativa de selección es mediante las flechas **ARRIBA-ABAJO** de la parte numérica de cualquier teclado común.

Adicionalmente se puede oprimir **ESC** y se desplegará nuevamente la primera pantalla.

### FORMA DE USO DE MÓDULOS TRIFASICO Y MONOFASICO.

Los módulos trifásico y monofásico, son iguales en su manejo. Al Seleccionar cualquiera de los dos, la primera pantalla que se muestra, es una explicación breve de lo que se va a llevar a cabo, contando con una pantalla de ayuda pulsando **F1**.

La segunda pantalla despliega las características de los elementos involucrados en el circuito de cada simulador, contando también con una pantalla extra de ayuda.

Cada pantalla principal, cuenta con la posibilidad de regresar a la anterior o de volver al sistema operativo con las teclas **ESC** y **ALT-X** respectivamente.

Al pasar de la pantalla de datos al despliegue del circuito en sí, se cambia de modo de pantalla, es esta la razón de que el tipo de letra cambie y de que para invocar la atención de quien use el programa, el lugar de instrucciones cambia.

Cada elemento de el circuito esta marcado con una letra y para ver lo que sucede con una falla en determinado elemento, se necesita oprimir cualquiera de las letras mostradas. Si se oprime una letra o tecla no apta, el programa lo indicara. Se cuenta con ayuda una vez mas con pulsar **F1**, y al pulsar **"S"** regresa al sistema operativo.

#### **FORMA DE USO DE MODULO ALEATORIO.**

Al elegir este módulo, las primeras pantallas funcionan exactamente igual que los módulos trifásico y monofásico, pero el módulo en sí no permite en lo absoluto la elección de algún tipo de percañe, como realmente sucede en la práctica, es decir, las fallas ocurren sin que uno pueda elegir el lugar de ocurrencia y el tipo de esta.

En virtud de lo anterior, el circuito presenta 4 elementos y 3 tipos de eventos. Corto-circuito trifásico, corto-circuito monofásico y una descarga atmosférica en cualquiera de los cuatro elementos.

Al desplegarse el circuito este comienza a funcionar normalmente hasta que un momento después (aproximadamente dos segundos), se genera la falla y para poder apreciar lo que ocurrió, se indica que se pulse **<J**, para continuar y se muestre la explicación del suceso ocurrido.

Para salir de este módulo el programa pregunta si se desea continuar con aleatorio, pidiendo ahora, una **"S"** para continuar y crear otra falla o bien una **"N"** para salir y regresar al menú general.

Es necesario recordar que este módulo es realmente el único que maneja la simulación como realmente debe de ser, es decir, sin que nadie tenga la posibilidad de ejercer ninguna acción determinante sobre los sucesos, hasta que finalice la acción.

### FORMA DE USO DEL MODULO TUTORIAL.

Para este último módulo, existe una única pantalla de explicación y su correspondiente pantalla de ayuda.

A diferencia de los circuitos anteriores, este al desplegarse, muestra los datos de los 3 elementos involucrados ya que, la idea de este módulo es que la persona que utilice el programa sea quien calcule el corto-circuito, y llegue a los valores que están estipulados.

Como este circuito es un aspecto distinto a un simulador, tiene varias protecciones evitando así que se intente adivinar las respuestas.

El programa pregunta, que elemento del circuito se desea analizar, inmediatamente después, qué tipo de falla.

A continuación se indica que se deben calcular los valores de falla y una vez hecho esto, para continuar se debe pulsar <J>.

Acto seguido la rutina despliega 4 posibles respuestas de las cuales una, sin duda, es correcta. Si se oprime cualquier tecla que no sea la adecuada, el programa mandara un mensaje de que se cometió un error y dará pie a una nueva corrida, es decir preguntará si se desea continuar con tutorial, pero si se oprime cualquier tecla no valida el programa lo detectará y en su oportunidad no dejara continuar con nada teniendo que dar un **Reset** a la computadora para continuar, esto en el caso de no seguir con las instrucciones y en el orden necesario.

En general esta es la forma de utilizar el programa, cualquier otro error no contemplado en este punto se debe posiblemente a una copia defectuosa del archivo.

El disco de copia debe contener los siguientes 17 archivos como mínimo para funcionar correctamente: SCCTM91.EXE, AAYUDA1.SCR, AAYUDA2.SCR, MAYUDA1.SCR, MAYUDA2.SCR, PANT1A.SCR, PANT2A.SCR, PANTAL.SCR, PANTALD.SCR, PANTMON.SCR, PANTMOND.SCR, PANTTRI.SCR, PANTTRID.SCR, TAYUDA1.SCR, TAYUDA2.SCR, TUTAYUDA1.SCR y PANTTUT.SCR.

Si el programa no funciona correctamente a pesar de que contiene los archivos antes mencionados, el problema puede estar en la máquina, ya que se requiere 640 k bytes de memoria RAM para operar.

## Apéndice " B "

### Algunas normas técnicas sobre instalaciones eléctricas.

Esta última parte del trabajo, es ilustrativa del reglamento que se debe seguir para poder alimentar de energía eléctrica a cualquier usuario (entendiéndose por usuario a la persona, industria, etc. que requiere de una alimentación eléctrica), y bajo las condiciones físicas (medio ambiente del lugar), y de demanda (la energía que va a consumir dicho usuario) que se requiera.

#### Introducción 1. Consideraciones generales.

La presentes Normas Técnicas son un complemento al reglamento de Instalaciones Eléctricas y se expiden, de conformidad con el mismo Reglamento, con el objeto de establecer aquellos requisitos técnicos y de seguridad de las instalaciones eléctricas que requieren mantenerse permanentemente actualizados y, por lo tanto, deben estar sujetos a revisión continua.

El objetivo primordial de estas Normas Técnicas es la protección de la vida y las propiedades de las personas contra los riesgos que representan el uso y el suministro de la energía eléctrica. Sus requisitos deben considerarse como requisitos mínimos de seguridad, en el caso general, su cumplimiento permite obtener un servicio satisfactorio; pero estos requisitos no necesariamente representan las condiciones óptimas de servicio; con frecuencia es recomendable usar valores y diseños más amplios para tener una mejor calidad de servicio y prever aumentos de carga.

#### 201.8 Medio de desconexión principal.

En cada servicio debe proveerse un medio que permita desconectar del sistema de suministro, a toda la instalación servida, y que constituya el medio de desconexión principal de la instalación del usuario.

#### 102.7 Capacidad de interrupción.

Los dispositivos destinados a interrumpir corrientes, deben tener una capacidad de interrupción suficiente para la corriente que debe ser interrumpida, a la tensión nominal de operación.

#### De la sección 101 DEFINICIONES:

ACOMETIDA (aérea o subterránea). Los conductores que ligan la red de distribución, del sistema de suministro, con el punto en que se conecta el servicio a la instalación de un usuario. Se le llama también línea de servicio.

**APAGADOR.** Interruptor pequeño, de acción rápida, operación manual y baja capacidad, que generalmente se usa para el control de aparatos pequeños domésticos y comerciales y unidades pequeñas de alumbrado.

**APARTARRAYOS.** Aparato o dispositivo que se emplea para proteger al equipo conectado a un circuito eléctrico, contra el efecto de ondas de sobretensión que se producen, tanto por descargas atmosféricas, directas o cercanas a circuitos aéreos, como por la operación de interruptores o por otras causas de disturbios en el propio circuito.

**EQUIPO ELÉCTRICO.** Término general que comprende aparatos, máquinas, dispositivos, etc. que se usan en instalaciones eléctricas, para generación, conversión, transformación o utilización de energía eléctrica, incluyendo instrumentos de medición, dispositivos de protección y aparatos accesorios.

**INTERRUPTOR.** Dispositivo que puede abrir un circuito eléctrico, cuando circula corriente con un valor hasta el de la capacidad del mismo dispositivo, sin sufrir daño alguno.

**MEDIO DE DESCONEXION.** Dispositivo o grupo de dispositivos por medio de los cuales los conductores de un circuito pueden desconectarse, a voluntad, de su fuente de suministro.

**PARARRAYOS (de edificios o de estructuras).** Dispositivo de protección contra descargas atmosféricas, que constituye un medio de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos más elevados de un edificio o de una estructura de cualquier tipo.

**USUARIO.** Cualquier persona, física o moral, a quien el organismo suministrador proporciona servicio eléctrico. (Se le llama también consumidor).

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Turbo pascal biblioteca de programas.  
Jansa Kris. Nameroff Steven.  
Mc Graw Hill 1ª Edición.  
México 1989.
- 2.- Reglamento de instalaciones eléctricas.  
Ediciones Andrade 7ª Edición.  
México 1988.
- 3.- Simulación. Un enfoque práctico.  
Coss Bu Raúl.  
Límusa 4ª reimpresión de la 1ª Edición.  
México 1989.
- 4.- Manual técnico de cables de energía.  
Mc Graw Hill 2ª Edición.  
México 1985.
- 5.- Diseño de subestaciones eléctricas.  
Raull Martín José.  
Mc Graw Hill. 1ª Edición.  
México 1987.
- 6.- Sistemas de transmisión de potencia eléctrica.  
Wildi Theodore.  
Límusa 2ª reimpresión de la 1ª Edición.  
México 1987.
- 7.- Turbo Pascal 5.1 Guía de referencia.  
U. S. A. 1988.
- 8.- Sistemas eléctricos de distribución.  
Espinoza y Lara Roberto.  
División de estudios de posgrado, facultad de Ingeniería  
2ª Edición  
México 1989.
- 9.- Programación en Pascal  
Grogono Peter.  
Addison-wesley Iberoamericana 1ª Edición.  
México 1990.
- 10.- Simulación en computadoras digitales.  
Rubinsten Reuven Y.  
Ed. Wiley  
New York 1981.
- 11.- Introducción a la confiabilidad en sistemas de  
distribución  
Escrito de Espinoza y Lara Roberto.

- 12.- Centrales eléctricas.  
Morse Frederick.  
Ed. Continental.  
México 1976.
- 13.- Revista "Simulation"  
Enero-Mayo.  
Editor Jonh H Mcleod.  
California 1989.
- 14.- Puentes y puestas a tierra.  
López Monroy Guillermo.  
López Gallegos Rafael.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro.

## INDICE

## **Indice temático:**

### **I Introducción.**

### **II Descripción general de los sistemas eléctricos de potencia (S. E. P.).**

2.1 Conceptos básicos.

2.2 Partes constitutivas.

2.3 Situación de los S. E. P. en México.

### **III Problemática general existente en fallas trifásicas y monofásicas.**

3.1 Percances que se pueden presentar en un S. E. P.

3.1.1 Problemas en la generación, transmisión y distribución de energía.

3.1.2 Problemas que se pueden presentar en la industria.

3.1.3 La electricidad y el cuerpo humano.

3.2 Principales tipos de fallas en sistemas eléctricos.

3.2.1 Fallas trifásicas.

3.2.2 Fallas monofásicas.

3.3 Protección de los S. E. P.

3.3.1 Protección. Generalidades.

3.3.2 Principales formas de protección. Parámetros en que se basan.

3.3.3 El futuro de la protección.

### **IV Delimitación de las fallas más comunes en los sistemas de distribución de los S. E. P.**

4.1 Fallas encontradas en laboratorio:

4.1.1 Verificación de secuencia (sentido de giro de motores y generadores).

4.1.2 Errores de conexión.

4.2 Fallas encontradas en los sistemas de distribución eléctrica.

#### **4.2.1 Sistemas aéreos:**

4.2.1.1 Descargas atmosféricas.

4.2.1.2 Maniobras de cierre o apertura.

#### **4.2.2 Sistemas subterráneos:**

4.2.2.1 Corto-circuito causado por fauna nociva.

4.2.2.2 Maniobras de cierre o apertura.

### **V Desarrollo del sistema simulador.**

5.1 ¿Qué es la simulación en software?

5.2 Educación asistida por computadora.

5.3 Algoritmos empleados en la simulación de sistemas físicos.

5.4 Limitantes de simulación.

5.5 Método "Montecarlo" de simulación.

### **VI Diseño del sistema simulador.**

6.1 Arquitectura del sistema de programación.

6.2 Diagrama y estructuras de programación.

6.3 Detalle de módulos de programación.

### **VII Operación y mantenimiento del sistema simulador.**

7.1 Pruebas al software.

7.2 Mantenimiento a futuro.

### **VIII Comentarios y conclusiones generales.**

#### **Apéndice A Manual del usuario.**

#### **Apéndice B Algunas Normas Técnicas sobre instalaciones eléctricas.**