



14
114

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

División de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

COORDINACION DE PROTECCIONES EN
UN SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL.

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P r e s e n t a n

MARCO ANTONIO ROBLES PACHECO
GONZALO MUNGUIA DEL RIO
Director: Ing. **OCTAVIO A. HINTZE VALDEZ**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E .

Capítulo I. Introducción.

Capítulo II. Aplicación de dispositivos de protección.

- Interruptores en aire de baja tensión.
- Desconectores con fusibles interruptores.
- Interruptores de seguridad.
- Fusibles limitadores de corriente.

Figura 2.1

- Relevadores.
 - Relevador de sobrecorriente.
 - Relevador térmico de sobrecorriente.
 - Relevador de sobrevoltaje o bajo voltaje.
- Interruptores de circuitos de potencia.
 - Fusibles de potencia.
 - Relevadores de atracción e inducción electromagnética.
 - Arrancadores de motores.

Capítulo III. Transformadores de instrumento.

- Corriente nominal primaria.
 - Corriente nominal secundaria.
 - Carga secundaria.
- ### Tabla 3.1
- Potencia nominal.
 - Alimentación de aparatos.
 - Selección de los transformadores de corriente.

Tabla 3.2

- Instalación.
- Aislamiento.
- Potencia.
- Clase de precisión.

Capítulo IV. Cálculo de corto circuito.

- Valores de reactancias.
- Fórmulas empleadas.
- Cálculo de corto circuito.

Plano P-1.

Capítulo V. Coordinación.

- Discusión general.
- Consideraciones preliminares.
- Transformadores Delta-Estrella.

Figura 5.1

- Ampacidad del cable.
- Código Nacional Eléctrico.
- Pickup.
- Saturación del transformador de corriente.

Figura 5.2

- Como leer las curvas.

Figura 5.3

- Planeación inicial.
- Datos requeridos para un estudio de coordinación.
- Procedimiento.

- Selección de la escala apropiada de corriente.

Capítulo VI. Coordinación de nuestro sistema

Tabla 6.1

Figura 6.1

- Selección del voltaje base.
- Nomenclatura usada.
- Memoria de cálculo.
- Selección de ajustes de los dispositivos de protección.

Figura 6.2

Figura 6.3

Figura 6.4

Figura 6.5

Figura 6.6

Conclusiones.

Bibliografía.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El panorama que presenta hoy día el crecimiento industrial del país a mediano y largo plazo, implica entre otras cosas, una gran cantidad de Horas-Hombre de Ingeniería de Proyectos Eléctricos.

En la elaboración de un proyecto eléctrico "La Selección y Coordinación de Protecciones" es una actividad que muy frecuentemente se desarrolla en forma parcial o total por compañías extranjeras. Con un gran deseo de contribuir a integrar ésta actividad a las que ya se realizan totalmente en nuestro país, hemos preparado éste trabajo.

Los sistemas eléctricos en general, dedicados a la generación, transmisión y distribución de energía, se desarrollan con el propósito común de suministrar, de la manera más eficaz y económica posible, la energía eléctrica necesaria para la utilización de equipos y aparatos, ya sean industriales, comerciales o domésticos.

Los factores técnicos y económicos obligan a diseñar sistemas de distribución que proporcionen confiabilidad, seguridad y continuidad de operación sabiendo que los equipos y aparatos eléctricos trabajan en situaciones en las que siempre está latente la posibilidad de una falla.

Si un Ingeniero Proyectista necesitara considerar sólo la operación normal, su trabajo sería relativamente fácil, puede suponer que no van a existir fallas en el equipo, ni errores de operación, ni fenómenos imprevistos tales como inundaciones

incendios, huracanes o rayos, y así sólo diseñaría una instalación capaz de producir, recibir y entregar la energía eléctrica suficiente para satisfacer los requerimientos de la carga inicial con una tolerancia razonable para preveer los crecimientos de la misma. Un diseño basado únicamente en los requerimientos de operación normal, podría en la práctica ser totalmente inadecuado y daría por resultado intolerables desconexiones del equipo.

Un diseño apropiado de un sistema eléctrico de potencia debe basarse en las suposiciones de que el equipo fallará, la gente cometerá errores y los fenómenos imprevistos ocurrirán. La función del estudio de coordinación de protecciones es minimizar los daños al sistema y sus componentes, limitar la extensión y duración de la interrupción del servicio cada vez que la falla en el equipo, el error humano y los fenómenos imprevistos ocurran en cualquier parte del sistema.

Las consideraciones económicas en la selección de los componentes del sistema determinarán el grado de protección y coordinación con el que es factible diseñar un sistema. Los errores al diseñar un sistema de protección y coordinación que no prevea al menos las condiciones mínimas de seguridad y confiabilidad requeridas, resultan en un funcionamiento insatisfactorio del sistema que se pretende proteger, ya que tratar de modificar un sistema existente para hacer que alcance mayor grado de seguridad y confiabilidad, resulta mucho más caro y en muchos casos menos satisfactorio que si las características faltantes se hubieran considerado desde el inicio del proyecto.

Para minimizar los efectos de cualquiera de las anomalías que se presenten en el sistema mismo o en el equipo utilizado, debe hacerse un diseño tal que el sistema eléctrico posea las siguientes características:

1. Aislar rápidamente la parte afectada del sistema, mientras se mantiene normal el servicio en el resto del sistema, minimizando así los daños en la porción afectada.
2. Minimizar la magnitud de la corriente para reducir los efectos, potenciales que se pueden causar al sistema, sus componentes y el equipo que se alimenta.
3. Proporcionar circuitos duplicados con dispositivos de transferencia automática y recirres donde sean aplicables para minimizar la duración y extensión de la desconexión del equipo de suministro o de utilización.

El uso de otros métodos lo dictarán las consideraciones económicas y de confiabilidad que se hagan para escoger el diseño básico y seleccionar los componentes del sistema. La función del sistema de protección puede definirse como: "La detección y pronto aislamiento de la parte afectada del sistema - cada vez que un corto circuito u otra anomalía se presente lo que podría causar daños o afectar la operación normal de cualquier parte del sistema o de la carga".

El aspecto del sistema de protección es una de las características primordiales en el diseño de un sistema eléctrico y debe ser considerado simultáneamente con las otras características esenciales. Cualquier Ingeniero Proyectista competente debe tomar en cuenta el aspecto de protección al mismo tiempo que considera todas las demás características del sistema eléctrico.

trico y desarrollar un sistema con el sistema de protección totalmente integrado, que pueda ser coordinado debidamente y que sea suficientemente flexible para futuras expansiones.

Frecuentemente sucede que al considerar el sistema de protección hasta después de que todas las otras características han sido determinadas y el diseño básico del sistema ha quedado fijado irrevocablemente, conduce a menudo a que se tenga un sistema pobremente diseñado que solo podrá ser protegido adecuadamente a un costo desproporcionadamente alto.

Con la excepción de algunas plantas industriales extremadamente grandes, las instalaciones industriales o comerciales no tienen el personal, equipo o los conocimientos necesarios para dar un servicio y mantenimiento adecuados a un sistema de protección. En la instalación de sistemas industriales pequeños y medianos o sistemas comerciales de todos tamaños el Ingeniero Proyectista deberá esforzarse en mantener el diseño final tan simple como sea compatible con las condiciones de seguridad, confiabilidad, flexibilidad y economía. Diseñar para confiabilidad y flexibilidad adicionales conduce a complejidad adicional en el sistema y por consiguiente en el esquema de protección.

Aunque el costo de la protección del sistema es usualmente bajo comparado con el resto del sistema, éste costo puede ser minimizado por el diseño de un sistema simple. El costo por el servicio del sistema de protección y por la necesidad de realizar pruebas extensivas puede minimizarse con la probabilidad de obtener y mantener una buena coordinación de prote-

cción maximizada a través de la simplificación del sistema.

Muchos procesos industriales y operaciones comerciales demandan un alto grado de continuidad del suministro de energía eléctrica debido al alto costo que representa bajar la producción, como es el caso de muchas instalaciones independientemente de que la producción sea industrial o comercial. La protección para sistemas eléctricos debe ser diseñada teniendo en mente los siguientes objetivos:

- 1.- Prevenir daños al personal.
2. Prevenir y minimizar daños al equipo.
3. Minimizar las interrupciones de energía.
4. Minimizar tanto en extensión como en duración los efectos de los disturbios en la parte del sistema que quedo conectada.
5. Minimizar el efecto de la falla en el sistema de generación y distribución.

El estudio de coordinación de protección de un sistema eléctrico de potencia consiste en la organización del estudio tiempo-corriente de todos los dispositivos de protección tomados en serio desde el último dispositivo utilizado hasta la fuentes. Este estudio es una comparación de los tiempos que le toma a los dispositivos en forma individual operar cuando ciertos niveles de corriente normal o anormal pasan a través de los dispositivos de protección.

Debe hacerse un estudio de coordinación preliminar en las etapas de planeación de un nuevo sistema. Así, tal estudio puede indicar que el tamaño de los transformadores deben ser modificados o los calibres de los conductores cambiados, éste estudio tentativo deberá ser confirmado por un estudio final

después de que las características exactas del equipo son determinadas. Debe hacerse un estudio de coordinación o una revisión de un estudio previo para una planta existente cuando son agregadas nuevas cargas al sistema o cuando el equipo existente es reemplazado por equipos de mayor capacidad nominal. Un estudio de coordinación debe también hacerse cuando la corriente de corto circuito disponible de la fuente es incrementada. Este estudio determina los ajustes o valores nominales necesarios para asegurar la coordinación después de que los cambios en el sistema han sido realizados.

Debe hacerse un estudio de coordinación definitivamente para una planta existente cuando una falla sobre la periferia del sistema paraliza una gran porción del sistema. Así tal estudio puede indicar la necesidad de cambiar o reemplazar los dispositivos.

El estudio de coordinación de protecciones de los sistemas eléctricos de potencia se limitará a la selección, aplicación y ajuste de los dispositivos de protección y equipo cuya función primaria sea el aislamiento y eliminación del corto circuito del sistema, los cuales aseguran que sea interrumpido el mínimo de la carga donde no hay fallas cuando los dispositivos de protección aislan una falla o sobrecarga en cualquier parte del sistema. Al mismo tiempo, los dispositivos y ajustes seleccionados deben proporcionar protección satisfactoria contra sobrecargas en el equipo e interrumpir cortos circuito en el menor tiempo posible. Los cortos circuitos pueden ser: de fase a tierra, de fase a fase, de dos fases a tierra, trifásico o de tres fases a tierra.

Sin embargo los cortos circuitos producen corrientes anormales en una o más fases, en el neutro o en el circuito de tierra. Cualquiera de éstas fallas deben ser detectadas y aisladas con seguridad.

El estudio de coordinación de protecciones proporciona datos útiles para la selección de la relación de los transformadores de instrumento, características, ajustes y capacidades nominales de los fusibles e interruptores de alto y bajo voltaje.

CAPITULO II

APLICACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION

En primer lugar y antes que nada el dispositivo protector - de circuitos debe tener la capacidad adecuada para interrumpir el circuito con seguridad para cualquier condición anormal posible, de modo que de protección al personal, al sistema eléctrico y a los equipos de utilización. En una aplicación dada puede utilizarse satisfactoriamente un cierto número de dispositivos de protección de circuitos. La selección más acertada de entre ellos puede depender de varios factores, además de su costo inicial. Supongase que un interruptor con fusibles combinado se escoge para un circuito en particular y al ocurrir una falla los fusibles la liberan. Puede ocurrir que, después de que la falla ha sido eliminada el restablecimiento, del servicio no pueda hacerse inmediatamente después, debido a que es necesario tener los fusibles de repuesto e instalarlos. El costo de la producción perdida durante el período de tiempo necesario para restablecer el servicio, puede exceder considerablemente al costo de varios interruptores en aire, los cuales de haber estado en lugar de la combinación fusible, hubieran evitado el retraso.

Por otro lado, en otra aplicación distinta, un interruptor combinado con fusibles puede dar continuidad adecuada al servicio ofreciendo las ventajas que representa su bajo costo y su construcción compacta.

Cuando se selecciona un dispositivo de protección de cir--

cuitos con el propósito de instalarlo en un alimentador cuya carga pueda aumentar en un futuro, es posible efectuar ahorros considerables al seleccionar inicialmente un dispositivo protector lo suficientemente grande para manejar las cargas futura final. En este caso, los fusibles y los dispositivos de disparo intercambiables representan una característica favorable, ya que proporcionan protección óptima en las diversas etapas del aumento de la carga.

Otra consideración que debe hacerse cuando se requiere una gran economía y continuidad en los sistemas, es la conveniencia de aislar los circuitos unos de otros de modo que, cuando una falla ocurre en uno de ellos el servicio puede mantenerse en los alimentadores que están libres de fallas. A pesar de que varios dispositivos puedan parecer satisfactorios para la protección de una instalación dada, pueda ser que no todos ellos estén en posibilidades de satisfacer los requerimientos de coordinación del sistema. La falta de dicha coordinación entre los elementos protectores de un sistema puede resultar una costosa omisión.

INTERRUPTORES EN AIRE DE BAJA TENSION

Los interruptores en aire de baja tensión son dispositivos que llevan a cabo las funciones de interrupción y protección de los circuitos por medio de un mecanismo que opera en forma simultánea sus contactos. Se usan en sistemas de distribución de corriente alterna a 600 Volts., máximo y en sistemas de corriente directa de no más de 250 Volts.

Estos dispositivos se usan con el propósito de conectar y desconectar la energía eléctrica con seguridad, a voluntad de el personal, independientemente de las condiciones en que pueda encontrarse el circuito. Así mismo es su función detectar e interrumpir en forma automática a las corrientes anormales ó de falla sin peligro para el personal y el equipo.

Existen dos tipos básicos:

1. Interruptores electromagnéticos en aire. Son dispositivos de protección de circuitos cuyo elemento sensible consiste en un dispositivo magnético dual y están armados en una base reforzada de acero.
2. Interruptores termomagnéticos en caja moldeada. Son dispositivos protectores de circuito cuyo elemento sensible es un dispositivo termomagnético (ó magnético instantáneo solamente) los cuales están armados dentro de una caja aislante, la cual también sirve como bastidor hecha de material fenólico moldeado.

DESCONECTADORES CON FUSIBLES INTERRUPTORES

Los desconectadores con fusibles interruptores son dispositivos combinados en los cuales hay un mecanismo interruptor que tiene capacidad suficiente para interrumpir con seguridad las corrientes de corto circuito ó de sobrecarga que pueden fluir por un cuarto de segundo ó por un período mayor de tiempo y de intensidad tal, que no alcance a fundir los fusibles y en el cual también los fusibles puedan interrumpir con seguridad todas las corrientes mayores hasta el valor máximo de su capacidad interruptiva (un electricista u. operador no puede cerrar y abrir nuevamente un interruptor en menos de un cuarto

de segundo).

El elemento interruptor se instala para conectar y desconectar la energía eléctrica con toda seguridad a voluntad del operario lo cual permite apartar de la línea los fusibles para reemplazarlos ó revisarlos así como para también apartar o desconectar la carga de la línea. El interruptor desconectador debe tener, por consiguiente una cierta capacidad interruptiva adecuada para llevar a cabo estas funciones bajo las condiciones anteriormente citadas. Los fusibles en este conjunto se utilizan para detectar e interrumpir con seguridad las sobrecargas y los cortos circuitos que puedan presentarse en el alimentador que sirve.

INTERRUPTORES DE SEGURIDAD

Un interruptor de seguridad con fusibles es un dispositivo desconectador completo con portafusibles contenido totalmente en una caja de metal y que puede operarse desde fuera sin necesidad de abrir dicha caja.

Desempeña las siguientes funciones:

Conducir la corriente normal del circuito en que se aplica sin sobrecalentarse ó interrumpir el suministro de energía.

Conectar y desconectar la energía eléctrica a voluntad del operario.

Interrumpir cargas anormales y cortos circuitos. A estos dispositivos no se les da capacidad interruptiva nominal.

FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE.

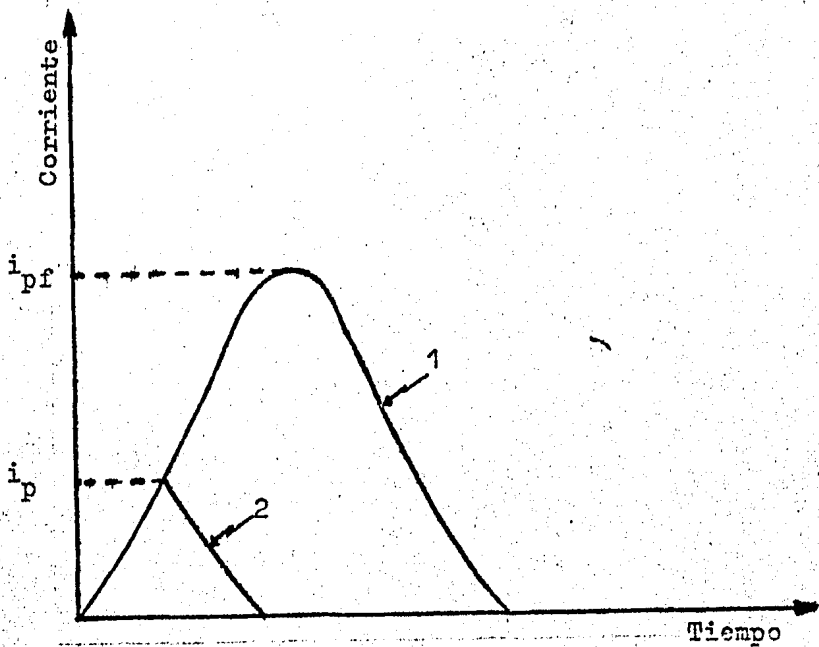
Normalmente este tipo de fusibles tienen una gran capaci--

dad interruptiva además la habilidad de limitar la corriente de corto circuito a un valor menor del que pasaría por la falla si el fusible fuera de tipo común.

Los fusibles limitadores de corriente se usan principalmente en combinación con interruptores de seguridad, desconectores, arrancadores combinados, rectificadores ó interruptores para dar protección adecuada y segura contra cortos circuitos en lugares donde la corriente de corto circuito es alta ó donde es necesario limitar la corriente de falla.

CONSTRUCCION Y OPERACION

Estos fusibles normalmente constan de elementos fusibles de plata pura instalados dentro de un cartucho de melamina de alta resistencia mecánica rellenos de arcilla inerte de cuarzo. Bajo condiciones de sobrecarga el fusible limitador de corriente actúa en forma muy semejante a los fusibles convencionales al interrumpir el circuito. Sin embargo en condiciones de corto circuito, el fusible limitador de corriente actúa en forma diferente con respecto a cualquier otro tipo de fusible. Cuando un corto circuito ocurre, el arco que presenta al fundirse los elementos de plata es enfriado por el relleno de cuarzo adyacente, el que lo apaga sin que ocurra ninguna expulsión de gases ó de ningún otro material contenido en el cartucho de los fusibles. Esta acción tiene lugar durante el primer cuarto de ciclo después de que se ha presentado el corto circuito y por tanto, limita el valor de la corriente al fundirse antes de que la corriente de corto circuito alcance su valor máximo. - Se ilustra en la figura 2.1.



- 1 Corriente disponible de corto circuito.
- 2 Corriente a través del fusible limitador.

FIGURA 2.1

Los fusibles con valores nominales más pequeños, al librar la falla bajo la misma corriente disponible de corto circuito se fundirán más rápido y por consiguiente el valor real de la corriente de corto circuito será más pequeño.

RELEVADORES

Los relevadores, conocidos también con el nombre de relés, se dividen en dos grupos básicos: los relevadores de protección y los relevadores auxiliares. Los relevadores de protección son unos dispositivos de alta precisión que, usualmente, son conectados a los secundarios de transformadores de corriente ó de voltaje, y algunas veces de ambos tipos de transformadores de instrumentos. Estos relevadores constan esencialmente de un dispositivo sensible a las condiciones anormales del circuito, el cual emite una determinada señal.

Con el objeto de mantener la sensibilidad de éste dispositivo, que es de una construcción muy precisa, no es propio - obligar a éstos relevadores a llevar a cabo funciones de servicio pesado. Para dichas funciones se usan los relevadores auxiliares. La práctica usual es que el relevador de protección mande su señal al relevador auxiliar, el cual es considerablemente más robusto y que con sus numerosos contactos multiplica la señal y lleva a cabo las funciones de control necesarias.

RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE

Dispositivo con función No. 51. Este relevador detecta las sobrecargas y los cortos circuitos en forma similar a los dispositivos que efectúan las mismas funciones en forma directa, en los interruptores en aire.

Su uso más común es el de dar protección a los dispositivos de entrada o de llegada y a los circuitos alimentadores de un tablero. Los relevadores de sobrecorriente son dispositivos

tivos de inducción extremadamente precisos, cuya construcción es similar a la de los wattorímetros excepto que se ha añadido un resorte en espiral que restringe la rotación del disco. Para que los contactos del relevador se cierren es necesario que la fuerza producida por la corriente sea mayor que la fuerza restrictiva del resorte, lo cual, una vez logrado, permite que el disco gire cierto ángulo.

Al relevador de sobrecorriente, se le llama relevador de tiempo inverso puesto que, mientras más grande es la corriente más pequeña es el tiempo que tarda en operar, por lo que la corriente y el tiempo de operación varían en forma inversa.

Pueden incluirse en estos relevadores una unidad magnética instantánea de sobrecorriente, la cual proporciona protección instantánea contra fallas que involucran corrientes muy altas

RELEVADOR TERMICO DE SOBRECORRIENTE

Dispositivo con función No. 49. Este relevador se usa para detectar sobrecargas y cortos circuitos en alimentadores de motores de corriente alterna. Consta básicamente de una tira bimetálica semejante a las que se usan en los termostatos. Al pasar la corriente por dicha tira bimetálica, se eleva su temperatura y cuando ésta llega a un valor predeterminado la tira se dobla lo suficiente para cerrar su contacto. Se conoce también con el nombre de un relevador de tipo "Réplica", debido a que su unidad térmica se selecciona de modo que sus características representen la característica térmica propia del motor. Cuando el motor alcanza su temperatura máxima permitida,

el relevador habrá llegado a la temperatura en que sus contactos deben cerrarse. Los contactos y las banderolas de indicación se restablecen manualmente.

RELEVADOR DE SOBREVOLTAJE O BAJO VOLTAJE

Dispositivo con función No. 27, bajo voltaje y No. 59, sobrevoltaje. Estos tipos de relevadores se usan para detectar condiciones de sobrevoltaje y/o bajo voltaje. Cuando se presenta en forma sostenida una condición de bajo voltaje, ésta puede dar lugar a corrientes excesivas, lo cual dá por resultado el sobrecalentamiento de los motores. Cuando el sobrevoltaje se presenta en forma sostenida, puede dar lugar a la falla - prematura de las lámparas, así como de cualquier equipo electrónico que se encuentre instalado en el circuito. Este relevador tiene una característica de tiempo inverso, es decir - mientras mayor sea el cambio en el valor del voltaje, más corto es el tiempo de operación.

Hasta aquí solamente nos hemos referido a los dispositivos de protección para 600 V. ó menos, a continuación se hará un ligero estudio de los dispositivos de protección para sistemas de más de 600 V. En general, existen cuatro tipos de dispositivos para éstos sistemas:

1. Interruptores de circuito de potencia.
2. Fusibles de potencia.
3. Relevadores de atracción electromagnética e inducción electromagnética.
4. Arrancadores de motores.

INTERRUPTORES DE CIRCUITOS DE POTENCIA

Existen distintos tipos de interruptores de potencia pero básicamente pueden ser considerados de tres clases:

- a) Interruptores de aceite.
- b) Interruptores de aire.
- c) Interruptores en SF₆.

Para el estudio hecho aquí acerca de la selección y coordinación del equipo de protección desde el punto de visto de corto circuito, se tuvo presente si el interruptor es del tipo de aceite, aire ó SF₆.

Los interruptores de potencia en alto voltaje están disponibles desde capacidades de 2.4 Kv. a más de 300 Kv. y con capacidades de interrupción desde 15 Mva. a más de 25,000 Mva. y cambiando todas las características esenciales de switcheo y protección, por consiguiente, pueden ser usados en los buses principales alimentados por grandes generadores o transformadores elevadores de voltaje o en conexión con subestaciones unitarias. Son también aplicables, en puntos locales de switcheo y para la protección de ramas principales de circuito.

FUSIBLES DE POTENCIA

Existen una gran variedad de fusibles de potencia disponibles para circuitos de 2.4 K. o superiores, esencialmente - pueden considerarse de tres tipos, el primero es el fusible común de potencia, que se aplica a los circuitos de potencia y tiene una gran capacidad interruptiva; el segundo tipo tiene pequeñas diferencias en su construcción respecto al anterior es el tipo de fusible interruptor en aceite, que consiste

de un elemento interruptor sumergido en su recipiente conteniendo aceite, el tercer tipo de fusible de potencia es usado principalmente en interruptores de circuitos de distribución para abrir o cerrar conductores alimentadores de zonas urbanas o sistemas industriales de potencia, no tienen cubierta metálica y por tal motivo no es aplicable en instalaciones interiores. Los fusibles de potencia operan más rápidamente que los interruptores de potencia para una misma capacidad de interrupción, por esta razón, los fusibles son empleados como último dispositivo de protección en un sistema.

La combinación fusible-interruptor es aplicable en los sistemas de potencia para uso externo el cual combina en una sola unidad los elementos fusibles y switch, para seleccionar la capacidad del fusible que se ha de aplicar, se calculó primero el valor eficaz de la corriente de corto circuito en el primer semiciclo de la misma, la capacidad interruptiva del fusible debe ser mayor que el esfuerzo a que estará sometido.

RELEVADORES DE ATRACCION E INDUCCION ELECTROMAGNETICA

Los relevadores del tipo de atracción electromagnética son operados por un electroimán de succión situado dentro de un solenoide o por una armadura magnética atraída hacia los polos de un electroimán. En algunos casos la bobina operadora tiene dos taps que permiten ajustar la capacidad máxima de corriente. La construcción del tipo armadura articulada es usada en los disparadores de acción directa de los interruptores en aire, en circuito de 600 V., ó menos y también en algunos re-

levadores, la construcción del tipo electroimán es utilizada en los disparadores de acción directa sobre los interruptores de potencia en circuitos de 2.4 Kv. ó más y en algunos relevadores, los relevadores del tipo electroimán así como los del tipo armadura articulada son afectados por la componente de corriente directa de la corriente asimétrica de corto circuito, lo cual debe tenerse presente cuando se estudie el funcionamiento de tales dispositivos para su aplicación,

El principio de inducción electromagnética se aplica en el diseño de muchos tipos de relevadores, pero no se utiliza en los dispositivos disparados. Tales relevadores son esencialmente motores de inducción, el estator tiene corriente y el flujo creado por la corriente induce otra en su disco.

La interacción entre las corrientes inducidas y los flujos producen un par que mueve al rotor para cerrar o abrir los contactos del relevador, los relevadores de inducción no operan con corriente directa y por consiguiente, no son afectados por la componente de corriente directa de la corriente asimétrica de corto circuito.

Los relevadores más comunmente usados y su número ANSI correspondiente se enlistan a continuación:

- 27 Relevador de bajo voltaje.
- 47 Relevador de bajo Voltaje y Secuencia de Fases.
- 47x Relevador auxiliar (de Contactos múltiples), del relevador de bajo voltaje y secuencia de fases.
- 49 Relevador térmico de sobrecorriente tipo réplica.

- 50/51 Relevador de Sobrecorriente con unidad de tiempo instantáneo.
- 51 N Relevador de Sobrecorriente residual con unidad de tiempo.
- 51 Relevador de Sobrecorriente con unidad de tiempo
- 51 G Relevador de Sobrecorriente sensor de fallas a tierra con unidad de tiempo.
- 63 Relevador de presión o Buchholz.
- 86 Relevador de bloqueo sostenido de reposición Manual.
- 87 Relevador de protección diferencial.

ARRANCADORES DE MOTORES.

El desarrollo de la economía moderna obliga a las plantas industriales a dar la mayor continuidad posible en el servicio. A fin de que un motor eléctrico rinda un trabajo efectivo al costo mínimo, aparte de ser adecuado, debe ser convenientemente instalado y protegido. Antiguamente y por economía mal entendida, muchas industrias instalaban sus motores (principalmente las industrias pequeñas) exclusivamente con protección de corto circuito, consistente en un desconectador de cuchillas provisto de fusibles. Ahora bien, la capacidad de los fusibles está determinada en este caso por el calibre del alimentador y por la corriente instantánea que se origina con el arranque del motor, la cual en motores de inducción es de 4 a 6 veces la corriente nominal de los mismos; de los anterior se deduce que los fusibles nunca pueden dar una protección adecuada a los motores.

La misión de los arrancadores es arrancar, para proteger a

los motores por sobrecorriente, pero no están diseñados para dar protección contra cortos circuitos que ocurran en la línea o en el motor, para la protección de corto circuito debe disponerse antes del arrancador de un interruptor o un fusible.

El tamaño del arrancador que debe usarse en un motor, depende no solo de la potencia, voltaje, frecuencia y velocidad de éste, sino también de las consideraciones de arranque, o sea la carga que va a mover, clase de embobinado en su construcción, etc.

En general hay tres clases de arrancadores de motores:

a) El de contacto; b) El arrancador magnético combinado y c) el interruptor.

a) El de contacto es operado por un entrelace mecánico de una palanca articulada o un botón que a su vez es operado manualmente. Una unidad térmica y un mecanismo de sobrecarga que actúe directamente proporciona al motor en marcha una debida protección.

Básicamente es un interruptor del tipo "cerrar - abrir" con relevadores de sobrecarga.

b) El arrancador magnético combinado es el que tiene dispositivo de protección de corto circuito, ambos en un solo gabinete.

Comparando separadamente el dispositivo (interruptor de fusibles o interruptor termomagnético) de protección de corto circuito y el arrancador magnético, la unidad combinada ocupa menos espacio, requiere menos tiempo de instalación y alambra

do y proporciona mayor seguridad. Los arrancadores magnéticos combinados pueden proporcionarse en versiones reversibles y no reversibles.

c) Los interruptores de arranque manual proporcionan un control de cerrar - abrir (on - off) en motores monofásicos ó trifásicos de C.A., en donde no se requiere el control de protección de sobrecarga o se ha proporcionado separadamente.

La operación de la palanca articulada del interruptor manual es similar a la del arrancador manual.

CAPITULO III

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Los transformadores de instrumento son destinados a convertir los valores de las tensiones y corrientes de los circui--tos principales a valores menores de tal manera que:

- a) Se puedan medir por amperímetros y voltímetros comunes.
- b) Se utilizan para la conexión, de los dispositivos de - protección.

Estos transformadores son los intermediarios entre las lí-nea ó las barras de alta tensión y los aparatos arriba mencio- nados, y generalmente están colocados dentro de un tablero - (CCM) ó un panel de control a excepción de algunos que se co- nectan en las boquillas de los transformadores.

Se les conoce con el nombre de:

1. Transformadores de tensión ó transformadores potencial

Se utilizan siempre que la tensión de la red es tan elevada que no puede hacerse una medición directa, lo que nos permite que no tengamos tensiones peligrosas sobre los aparatos ó dispositivos que alimentan y además dis- minuyen la corriente consumida por los aparatos alimen- tados.

2. Transformadores de corriente ó transformadores de inten- sidad.

Se utilizan porque la tensión es muy elevada (presentán- dose el riesgo de tener tensiones peligrosas sobre los ó dispositivos alimentados) ó bien porque la corrien- te que circula por el juego de barras ó la línea es de gran intensidad.

El principio de funcionamiento de los transformadores de instrumento es similar a los transformadores de potencia. El primario de los transformadores de instrumento es esencialmente construido y aislado para que pueda ser conectada directamente sobre las instalaciones de alta tensión. El secundario de estos transformadores es cuidadosamente aislado del primario para evitar accidentes.

Corrientes nominales y normalizadas para transformadores de corriente. La corriente nominal de los embobinados primario y secundario de un transformador de corriente son los valores para los cuales los embobinados están diseñados.

Las diferentes normas (ANSI, VDE, CEB, CEI) han normalizado los valores de las corrientes primarias y secundarias de los aparatos.

CORRIENTE NOMINAL PRIMARIA

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

en ciertos tipos se realiza una doble ó triple relación primaria, ya sea por medio de conexiones serie paralelo del embobinado primario ó por medio de tomas de los embobinados secundarios.

CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIA

El valor normalizado es generalmente de 5 A; en ciertos casos, cuando el alambrado secundario puede representar una carga importante, se puede seleccionar el valor del 1A (Ver tabla 3.1).

CARGA SECUNDARIA

La carga secundaria para un transformador de corriente es el valor de ohms de la impedancia constituida por los instru-

TABLA 3.1

SIMPLE RELACION DE TRANSFORMACION	
5	200
10	300
15	400
20	600
25	800
30	1200
40	1500
50	2000
75	3000
100	4000
150	

DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION	
2 x 5	2 x 100
2 x 10	2 x 150
2 x 15	2 x 200
2 x 25	2 x 300
2 x 50	2 x 400
2 x 75	2 x 600

mentos del secundario, comprendiendo sus conexiones.

La carga secundaria nominal da la impedancia del circuito secundario correspondiente a la potencia de protección bajo corriente nominal,

POTENCIA NOMINAL

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

Para escoger la potencia nominal de un transformador de corriente hay necesidad de hacer la suma de las potencias de todos los aparatos que serán conectados en serie con su devanado secundario y tener en cuenta las pérdidas por efecto de Joule de los cables de alimentación. Es necesario tomar el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida.

ALIMENTACION DE APARATOS

Según las condiciones particulares de cada instalación, diferentes aparatos deberán estar alimentados por los TC'S.

Hay necesidad de definir, en el momento de seleccionar un transformador de corriente, los elementos que tendrán como función la medición y aquellos que tendrán como función la protección en el conjunto que se estudia. Se da en la tabla 3.2 el consumo de volts.- Amps., de los principales aparatos conectados a los transformadores de corriente.

SELECCION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Los factores que determinan la selección de estos aparatos son:

1. El tipo de instalación.
2. El tipo de aislamiento.
3. La potencia.
4. La clase de precisión.

INSTALACION

Los aparatos pueden ser construidos para ser usados en instalaciones interiores y exteriores.

Generalmente por razones de economía, en las instalaciones de baja y media tensión, hasta de 25 KV son diseñados para servicio en interior. Las instalaciones de tipo exterior son de tensiones desde 34.5 Kv a 400 Kv, salvo en los casos donde, - por condiciones particulares se hacen instalaciones de tipo - interior para tensiones hasta de 230 Kv.

AISLAMIENTO

- a) Material para baja tensión. Generalmente los aparatos - son construidos con aislamientos en aire o aislamiento en resinas sintéticas suponiéndose que lo común son las instalaciones en interiores.
- b) Materiales de media tensión. Los transformadores para - instalaciones interiores (tensiones de 3 a 25 Kv) son - construidos ya sea con aislamiento de aceite con envolvente de porcelana, ó bien con aislamiento de resina sin tética. Hay que hacer notar que la mayoría de los diseños actuales emplean el material seco, Los aparatos con aislamiento en aceite o masa aislante (compound) se uti

lizan muy poco sólo para aplicaciones de instalaciones - existentes.

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

- c) Material de alta tensión. Los transformadores para alta tensión son aislados con cualquier dieléctrico, impregnados en aceite y colocados dentro de un envolvente de porcelana.

POTENCIA

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

CLASE DE PRECISION

La selección de la clase de precisión depende igualmente de la utilización a que se destinan los transformadores. Independientemente de esto, los transformadores y los aparatos que van a ser conectados a ellos, deberán presentar una similitud de exactitud. Para mediciones industriales y puramente inductivas de voltímetros y amperímetros, las clases 1, 1.2, 3 y 5 son siempre suficientes. En algunos casos la clase 0.5 ó 0.6 es utilizada cuando se trata de instrumentos más precisos.

Para las mediciones de energía las clases 0.2 y 0.3 ó 0.5 y 0.6 son las más comúnmente utilizadas; se emplea la clase 0.2 y 0.3 en los casos de instalaciones de gran potencia, don

de dicha clase se justifica.

CAPITULO IV
CALCULO DE CORTO CIRCUITO

Durante el proceso de selección del equipo en el diseño de una planta industrial o en la ampliación de una ya existente es necesario determinar el valor de las corrientes de corto circuito que deberán soportar los equipos en condiciones de falla.

Con el objeto de realizar éste cálculo en forma sencilla, conveniente y comprensible, sin quitarle lo realista, seguimos el método propuesto por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

El estudio de corto circuito de un sistema eléctrico, comprende lo siguiente:

- a) Obtención de los datos necesarios para realizar el estudio (estos datos se obtienen de los planos del proyecto, memorias de cálculo, órdenes de compra, etc.).
- b) Con la información obtenida y las características del sistema expresados en un diagrama unifilar del mismo, se elaborará un diagrama de impedancias, que será el circuito base para los cálculos de corto circuito.
- c) Aplicando el método propuesto anteriormente, se determinan las potencias de corto circuito en los puntos necesarios del circuito, partiendo de las fuentes de alimentación, hasta los extremos finales de los alimentadores a los centros de control de los motores. Las fallas que se calcularán serán de tres fases en corto circuito, debido a que es en éste caso cuando se presentan las condiciones más críticas del sistema y los resultados se expresarán directamente en MVA's simétricas.
- d) Las potencias de corto circuito obtenidas, proporciona-

rán información para especificar ó efectuar una verificación de capacidades momentáneas e interruptivas de los fusibles de alta tensión, interruptores principales del sistema e interruptores principales de CCM's así como, la información necesaria para iniciar un estudio de coordinación de protecciones.

El diagrama unifilar del Complejo Petroquímico Tabasco I que será el ejemplo para realizar el cálculo de corto circuito, así como el estudio de coordinación de protecciones se muestra en el plano P-1. Este complejo cuenta con un doble alimentación; por parte de la Comisión Federal de Electricidad (C. F. E.), en el nivel de 34.5 Kv., y por parte de PEMEX una línea que viene de Cactus también de 34.5 Kv., En el lado primario de la S.E. 1 (Subestación receptora 34.5 - 13.8 Kv.), se cuenta con un sistema de enlace que se le llama primario selectivo. Estos dos circuitos van a servir de respaldo, ya que el complejo tiene su propia generación mediante tres turbogeneradores de 36 MW cada uno, así como espacio suficiente para la instalación de uno más. Cada turbogenerador alimenta uno de los dos transformadores de cada subestación principal de modo que cada subestación tenga dos diferentes alimentaciones y así trabajar a los transformadores al 50% de su capacidad, como ejemplo citaremos a la S.E. No. 2 que tiene alimentación del V-1 y del V-2.

Además en el nivel de 13.8 Kv., se cuenta con enlaces entre turbogeneradores y CFE a través de reactores limitadores de corriente para darle mayor continuidad al servicio, éste enlace puede realizarse entre turbos, sin tener alimentación de respaldo o bien contando con ella.

En éste trabajo solo se presenta el cálculo de corto cir--

cuito en forma detallada para una sección del sistema a coordinar. Las demás secciones fueron calculadas bajo las mismas consideraciones y siguiendo el procedimiento que a continuación se desarrolla.

Se considera que el sistema está operando en condiciones normales, o sea que los tres turbogeneradores de vapor están operando y los dos transformadores de cada subestación están en servicio, por lo tanto, los interruptores de enlace en los tableros de 4.16 Kv permanecen abiertos.

Para éste cálculo se empleará el método propuesto por IEEE, ó de los MVA, en el cual las reactancias por unidad están referidas a 1MVA base y el inverso de éstas será la contribución del corto circuito al sistema expresado en MVA's, los cuales se indicarán de la siguiente forma:

$$\frac{400}{0.0025} \quad \begin{array}{l} \text{--- --- Potencia de corto circuito} \\ \text{- - - - - Reactancia} \end{array}$$

Para considerar la contribución de las componentes de corriente directa en la contribución de la corriente de corto circuito instantánea se considera un factor de 1.6 según párrafos 4.2.2 de la norma ANSI C37.5 y 5.1.2 y 5.1.3 de la norma ANSI C 37.010. El otro factor a considerar para obtener la corriente instantánea es la relación de x/R y es tomada de la tabla número 4 de la norma ANSI C37.5.

Esta relación es igual a 15, con éste valor se obtiene de la figura 8 de la norma ANSI C 37.010, con un factor igual a la unidad (para interruptores de 13.8 y 4.16 Kv. se considera un tiempo de apertura de 5 ciclos).

VALORES DE REACTANCIAS.

Para equipos giratorios las reactancias se tomarán de acuerdo con el párrafo 4.2.4 tabla 1 de la norma ANSI C 37.5 y párrafo 5.4.1 de la norma ANSI C 37.0.10, como a continuación se indica.

<u>Turbogeneradores, Hidrogeneradores con devanados amortiguadores y condensadores.</u>	$x=1.0x"d$
Hidrogeneradores sin devanados amortiguadores...	$x=0.75x"d$
Motores sincronicos ...	$x=1.5x"d$

Motores de inducción:

- Mayores de 1000 HP, 1800 RPM ...	$x=1.5 x" d$
- Mayores de 250 HP, 3600 RPM....	$x=1.0 x" d$
- Mayores de 50 HP, ...	$x=1.2 x" d$

NOTA: Los motores trifásicos y monofásicos menores de 50 HP no se tomarán en cuenta.

Para efectos de cálculo se considera $1KVA=1HP$ y se despreciarán las reactancias de los cables.

Para motores de 4,000 y 440 Volts, se considera la corriente de rotor bloqueado igual a 6 veces la corriente a plena carga.

FORMULAS EMPLEADAS:

1. Para transformar la reactancia en por ciento a reactancia en por unidad, se hará de la siguiente manera:

$$x (P. U.) = \frac{x (\%) }{100} \quad (1)$$

2. Para referir la reactancia a la base común.

(1 MVA)

$$x_2 = \frac{\text{MVA BASE}}{\text{MVA EQUIPO}} x_1 \quad (\text{P.U.})$$

x_1 = Reactancia original

x_2 = Reactancia nueva

Como MVA BASE = 1

$$x_2 = \frac{x_1 (\text{P.U.})}{\text{MVA EQUIPO}}$$

Cuando la reactancia está en Ohms.

$$x(\text{P.U.}) = \frac{x(\text{Ohms}) \text{ KVA BASE}}{(\text{KV})^2 \cdot 1000}$$

3. Para determinar la reactancia subtransitoria de motores de inducción se aplicará la siguiente ecuación.

$$x'' d = \frac{1}{\text{Corr. de rotor bloq. (P.U.)}} \left(\frac{V \text{ Motor}}{V \text{ Sistema}} \right)^2$$

Como la corriente de rotor bloqueado por unidad es 6 veces la corriente nominal, deberá estar referida a la potencia base del equipo o sea:

$$I (\text{P.U.}) = \frac{I \text{ Equipo}}{I \text{ Base}}$$

Como $I \text{ Base} = I \text{ Equipo}$.

$I \text{ Rotor Bloqueado (P.U.)} = 6$

Sustituyendo en (1)

$$x'' d = \frac{1}{6} \left(\frac{V \text{ Motor}}{V \text{ Sistema}} \right)^2$$

4. Para determinar la corriente de corto circuito simétrica se usará la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\text{MVA cc} \times 1000}{\sqrt{3} \text{ KV}}$$

CALCULO DE CORTO CIRCUITO

La sección que se ha escogido para el cálculo de corto circuito son las subestaciones No. 1, 2, 21 y 22.

La capacidad de corto circuito en las líneas de respaldo es de 500 MVA (Datos de PEMEX y CFE).

Para los transformadores de 34.5 - 13.8 KV y 13.8 - 4.16 - KV el valor de la impedancia es de $Z=6\%$ y para los de relación 4.16 - 0.48 KV el valor de la impedancia es de $Z=5.75\%$ (Valores obtenidos de datos del proveedor).

Para la S.E. No. 1 de la relación 34.5 - 13.8 KV.

a) Línea de llegada = 500 MVA

$$x = \frac{1}{500} = 0.002$$

b) Tomando la impedancia del transformador

$$Z=6\%, \text{ como } X \text{ pu} = \frac{X\%}{100}$$

$$X_{\text{pu}} = \frac{6}{100} = 0.06$$

$$X_1 = \frac{X_{\text{pu}}}{\text{MVA}_E} = \frac{0.06}{10} = 0.006$$

c) La aportación al sistema de ésta subestación es:

$$X = 0.002 + 0.006 = 0.008$$

$$\text{MVA} = \frac{1}{X} = \frac{1}{0.008} = 125$$

Para la S.E. No. 21

a) Aportación del CCM 210-A de 560 KVA

$$x_1 = 1.0 * x''d$$

$$x''d = \frac{1}{6} \left(\frac{V_M}{V_S} \right)^2 = \frac{1}{6} \left(\frac{460}{480} \right)^2$$

$$x''d = 0.153$$

$$x_r = 1.0 \times 0.153$$

$$x_r = 0.153$$

Refiriéndolo a 1MVA Base

$$x_2 = \frac{0.153}{0.560} = 0.273$$

b) Aportación del transformador TR- 21 A 3 de 1000 KVA y -
relación 4.16 - 0.48 KV

$$Z = 5.75\%$$

$$x_1 = \frac{5.75}{100} = 0.0575$$

Refiriéndolo a 1 MVA Base

$$x_2 = \frac{0.0575}{1.0} = 0.0575$$

c) Aportación del alimentador del transformador TR - 21 A3

$$x_2 = x_{2ccm} + x_{2TR}$$

$$x_2 = 0.273 + 0.0575 = 0.3305$$

$$MVA_{cc} = \frac{1}{0.3305} = 3.0257$$

d) Aportación del alimentador de 1,000 KVA

$$x_1 = 1.5 X''d$$

$$x''d = \frac{1}{6} \left(\frac{V_M}{V_B} \right)^2 = \frac{1}{6} \left(\frac{4000}{4160} \right)^2$$

$$x''d = 0.154$$

$$x_1 = 1.5 \times 0.154 = 0.231$$

$$x_1 = 0.231$$

Refiriéndolo a 1 MVA Base

$$x_2 = \frac{0.231}{1.0} = 0.231$$

$$MVA_{cc} = \frac{1}{0.231} = 4.326$$

Para el BUS "B" de esta subestación los valores de aportación son los mismos por ser simétricos.

Estas aportaciones se unen en el bus de la subestación para dar una aportación total hacia la subestación No. 2 igual a:

$$\text{MVA cc} = 4.326 + 3.0257 = 7.3521$$

Para la S.E. No. 22.

a) Aportación del alimentador de 600 KVA

$$x_1 = 1.0 \times x''d$$

$$x''d = \frac{1}{6} \left(\frac{VM}{Vs} \right)^2 = \frac{1}{6} \left(\frac{4000}{4160} \right)^2$$

$$x''d = 0.154$$

$$x_1 = 1.0 \times 0.154$$

$$x_1 = 0.154$$

Referido a 1 MVA Base

$$x_2 = \frac{0.154}{0.6} = 0.256$$

$$\text{MVA cc} = \frac{1}{0.256} = 3.893$$

b) Aportación del alimentador de 200 KVA

$$x_1 = 1.2 \times x''d$$

$$x''d = \frac{1}{6} \left(\frac{VM}{Vs} \right)^2 = \frac{1}{6} \left(\frac{460}{480} \right)^2$$

$$x''d = 0.153$$

$$x_1 = 1.2 \times 0.153$$

$$x_1 = 0.183$$

Referiéndolo a 1 MVA Base

$$x_2 = \frac{0.183}{0.2} = 0.918$$

$$\text{MVAcc} = \frac{1}{0.918} = 1.088$$

c) Aportación del transformador TR- 22A3 $Z = 5.75\%$

$$X_{pu} = \frac{5.75}{100} = 0.0575$$

$$x_1 = \frac{X_{pu}}{MVA_E} = \frac{0.0575}{0.225} = 0.255$$

d) Aportación del alimentador del transformador

TR-22A3

$$x_2 = x_{\text{alimentador}} + x_{\text{TR}}$$

$$x_2 = 0.918 + 0.255 = 1.173$$

$$MVAcc = \frac{1}{1.173} = 0.852$$

e) Aportación del alimentador de 600 KVA del bus "B".

Es igual que la del alimentador de 600 KVA del bus "A".

$$x_2 = 0.256$$

$$MVAcc = 3.893$$

f) Aportación del BUS "A" de la S.E. No. 22 hacia la S.E.

No. 2

$$MVAcc = 0.852 + 3.893 = 4.745$$

$$x_2 = \frac{1}{4.745} = 0.210$$

Para la S.E. No. 2

a) Aportación de los alimentadores de 1,000 KVA.

El cálculo es idéntico que para el alimentador de 1,000 KVA de la S.E. No. 21 y por lo tanto las aportaciones son:

$$x_2 = 0.231$$

$$MVAcc = \frac{1}{0.231} = 4.326$$

b) Aportación de los alimentadores de 1,100 KVA

$$x_1 = 1.5 \ x''d$$

$$x''d = \frac{1}{6} \left(\frac{VM}{Vs} \right)^2 = \frac{1}{6} \left(\frac{4000}{4160} \right)^2$$

$$x''d = 0.154$$

$$x_1 = 1.5 \times 0.154 = 0.231$$

$$x_1 = 0.231$$

Refiriéndolo a 1 MVA Base

$$x = \frac{0.231}{1.1} = 0.210$$

$$\text{MVAcc} = \frac{1}{0.210} = 4.759$$

c) Aportación del BUS "A" hacia la generación MVAcc = 7.3521

$$+ 4.745 + 3 (4.326) + 4.759 = \text{MVAcc} = 29.8341$$

$$x_2 = \frac{1}{29.8341} = 0.0335$$

d) Aportación del transformador TR-2A2 de 10/12.5 MVA y relación 13.8 - 4.16 KV $Z = 6\%$

$$x_1 = \frac{6}{100} = 0.06$$

Refiriéndolo a 1 MVA Base

$$x_2 = \frac{0.06}{10} = 0.006$$

e) Aportación del alimentador del transformador TR-2A2

$$x_2 = 0.0335 + 0.006$$

$$x_2 = 0.0395$$

$$\text{MVAcc} = \frac{1}{0.0395} = 25.316$$

f) Aportación del BUS "B" hacia la generación

$$\text{MVAcc} = 7.3521 + 3.893 + 3 (4.326) + 4.759 =$$

$$\text{MVAcc} = 28.9821$$

$$x_2 = \frac{1}{28.9821} = 0.0345$$

g) Aportación del transformador TR -2B2.

Es igual a la del transformador TR 2A2 ó sea $x_2 = 0.006$

h) Aportación del alimentador del transformador

TR - 2B2

$$x_2 = 0.0345 + 0.006$$

$$x_2 = 0.0405$$

$$MVAcc = \frac{1}{0.0405} = 24.688$$

Siguiendo un procedimiento similar al elaborado en éste -- trabajo y con los datos que se describen en el plano P-1 se -- obtienen las aportaciones de las demás subestaciones (S.E. No. 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9) por lo tanto la suma de los inversos -- de éstos nos darán la aportación hacia el bus de generadores, para considerar la aportación de los generadores se hace lo -- siguiente:

1) Generador de 36 MW (45 MVA), F.P. = 0.8

$$x''d = 14\%$$

$$X_{pu} = \frac{14}{100} = 0.14$$

$$x = 1.0 \quad x''d = 1.0 (0.14)$$

$$x = 0.14$$

Refiriéndolo a 1MVA Base

$$x_2 = \frac{0.14}{45} = 0.0031$$

$$MVAcc = \frac{1}{0.0031} = 321.428$$

Con éstos valores y los obtenidos de las subestaciones se hace la suma la cual es la aportación del bus de generadores hacia los reactores.

Con el valor de reactancia en ohms ($x = 0.25 \Omega$) que se tie

ne para los reactores y refiriéndolo a 1 MVA Base tenemos:

$$x_1 = \frac{0.25}{(13.8)^2} = 0.00131$$

Llevando todos estos datos el plano P-1 y haciendo las ope raciones necesarias se obtienen los valores de corriente de - corto circuito disponibles en el sistema. Como se mencionó al principio de éste capítulo para considerar la contribución de las componentes de la corriente directa en la contribución de la corriente de corto circuito instantánea se considera un fac tor de 1.6, es decir si para el bus A de la S.E. No. 2 se tie ne que:

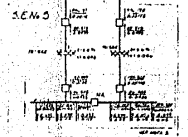
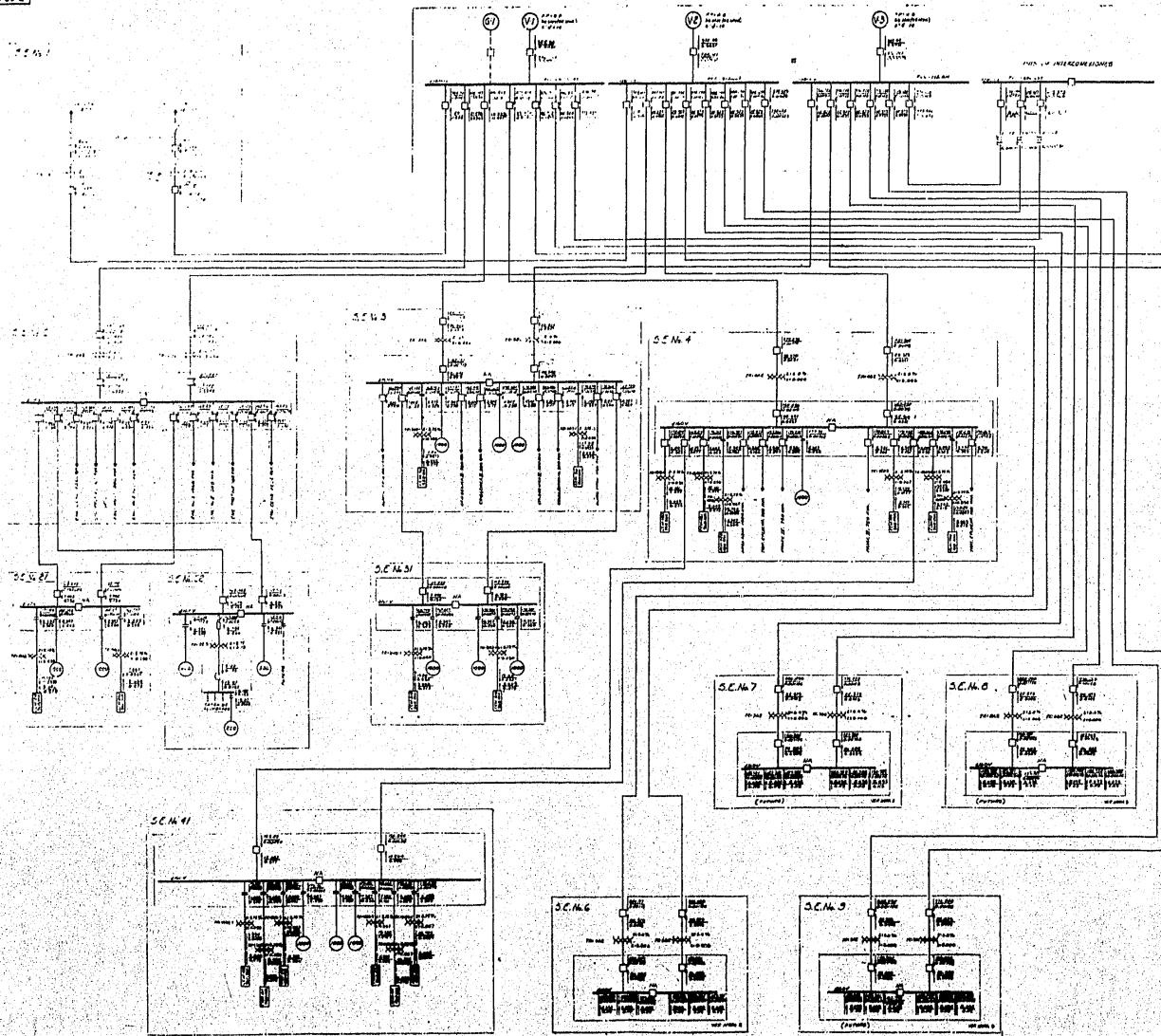
$$P_{cc} = 170.027 \text{ MVAcc}$$

$$I_{cc} = \frac{P_{cc} \times 1000}{\sqrt{3} \times KV}$$

$$I_{cc} = \frac{170.027 \times 1000}{\sqrt{3} \times 4.16} = 23,597.388 \text{ Amps.}$$

Por lo que considerando la contribución de C.D. se tiene

$$I_{cc} = 23,597.388 \times 1.6 = 37,755.82 \text{ Amps.}$$



- NOTAS:**
1. Este plan se complementa con los planos de detalle de cada equipo.
 2. Se han dimensionado los conductos para el cableado de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes de conductos.
 3. Las notas de las abstracciones N.º 1 a 4 se refieren al plano de detalle.
 4. En el subcircuito N.º 4, se ha considerado la posibilidad de alimentar por separado a los aparatos de línea de fase de modo que se pueda utilizar cualquier equipo.
 5. En el subcircuito N.º 7, se ha considerado la posibilidad de utilizar los conductores para el cableado de los aparatos de línea de fase de modo que se pueda utilizar cualquier equipo.
 6. Este plan de las abstracciones N.º 1 a 8, se debe complementar con los planos de detalle de cada equipo.

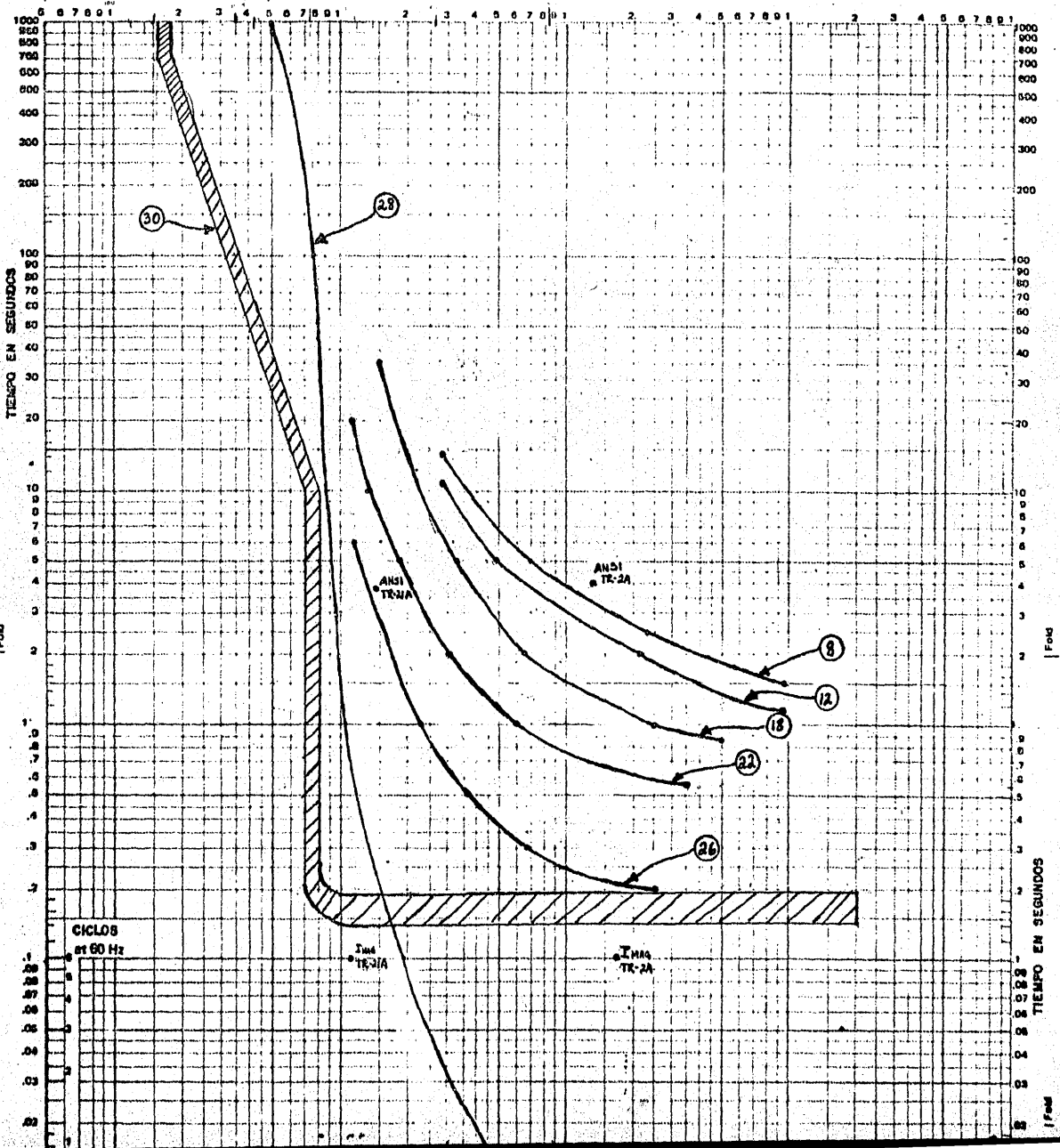
CAPITULO V COORDINACION

DISCUSION GENERAL. El estudio de coordinación de un sistema eléctrico de potencia consiste en la realización de un estudio tiempo-corriente de todos los dispositivos de protección en serie, desde el dispositivo utilizado hasta la fuente. Este estudio es una comparación del tiempo que le toma a los dispositivos en forma individual operar cuando ciertos niveles de corriente normal o anormal pasa a través de ellos.

Un estudio de coordinación preliminar debe ser hecho en las primeras etapas de planeación de un nuevo sistema. Así tal estudio puede indicar que los tamaños de los transformadores deben ser modificados o los calibres de los cables cambiados. Este estudio tentativo deberá ser confirmado por un estudio final después de que se determinen las características exactas del equipo. Un estudio de coordinación o la revisión de un estudio previo puede ser hecho para una planta existente cuando se agregan nuevas cargas al sistema o cuando el equipo existente es reemplazado con equipo de más alta capacidad nominal. Un estudio de coordinación deberá también ser hecho cuando se incrementa la corriente de corto circuito disponible de la fuente de una planta. Este estudio determina ajustes o rangos necesarios para asegurar la coordinación después de que han sido hechos cambios en un sistema.

Un estudio de coordinación definitivamente deberá ser hecho para una planta existente cuando una falla en la periferia del sistema paraliza una gran porción del sistema. Así tal estudio puede indicar la necesidad de cambiar o reemplazar los dispositivos.

CORRIENTE EN AMPERES A 4,160 VOLTS.





CORRIENTE EN AMPERES A $\frac{1}{4}$ NO VOLTS.

CURVAS TIEMPO - CORRIENTE

COORDINACION

Figura 6.6

NO.

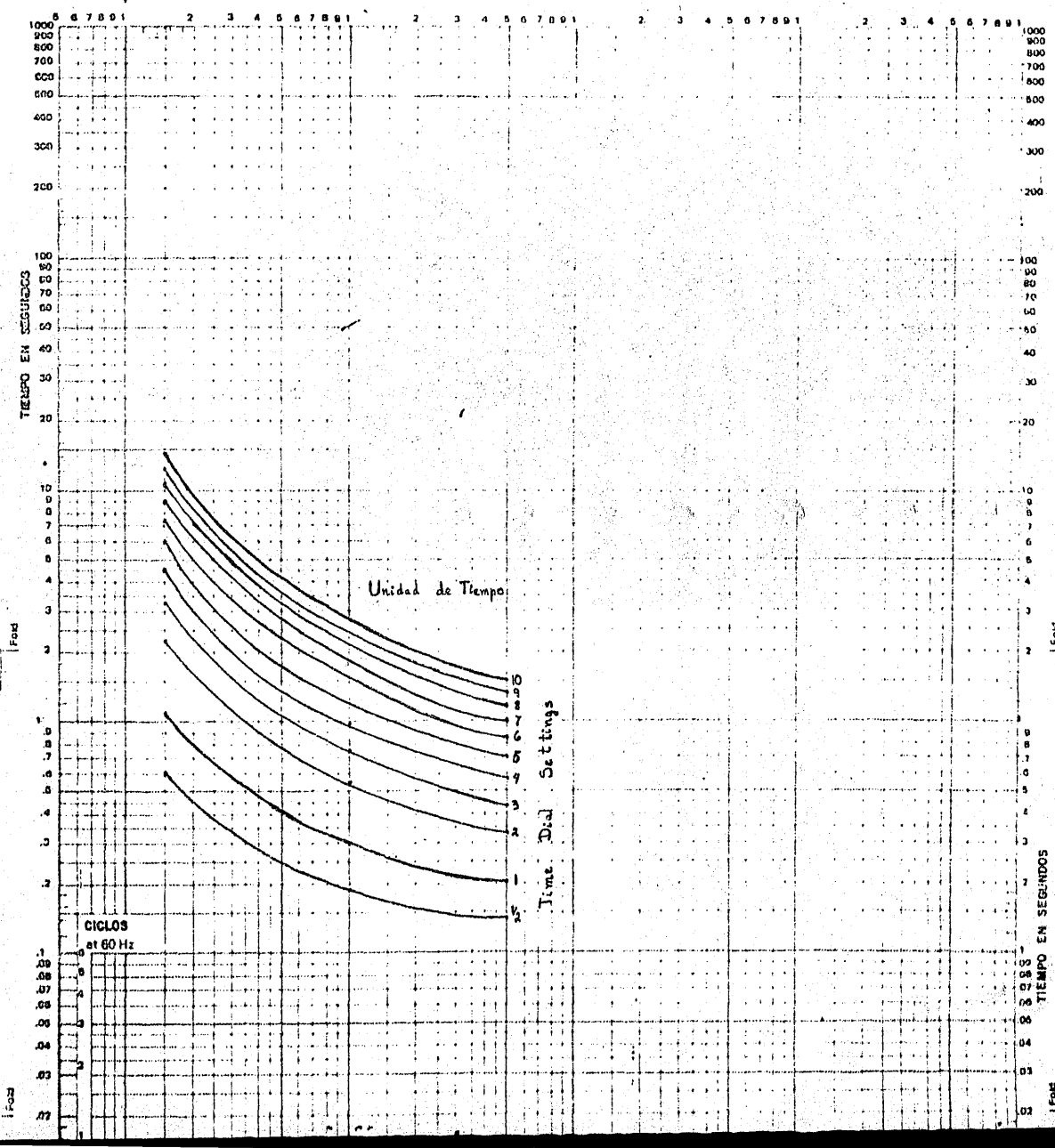
FECHA

HECHA POR

S.E.

PLANTA

MULTIPLoS DE PICKUP



Unidad de Tiempo

Time Dial Settings

CICLOS at 60 Hz

TIEMPO EN SEGUNDOS



MULTIPLoS DE PICKUP

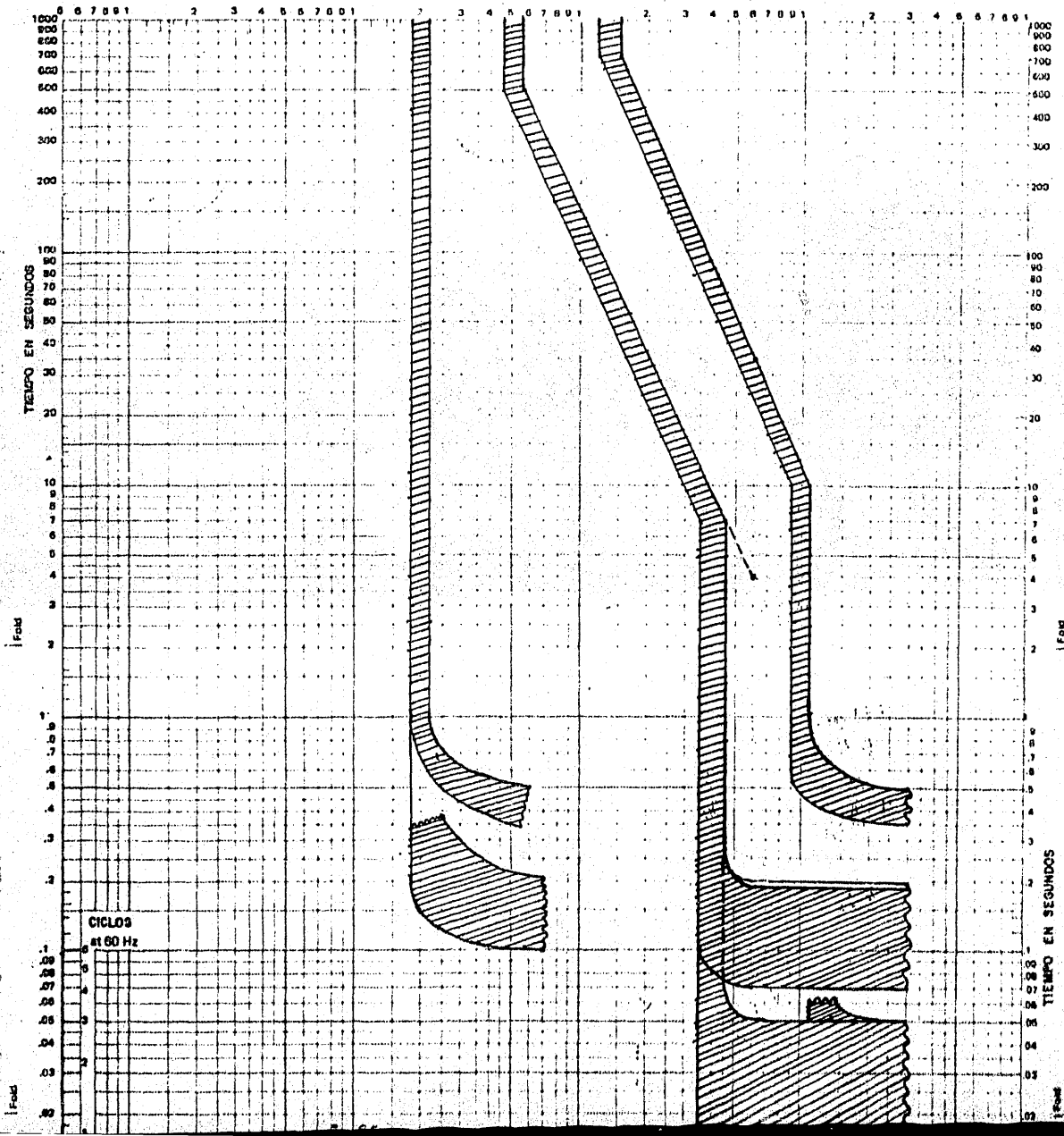
CURVAS TIEMPO - CORRIENTE
RELEVADOR IAC-51

FIGURA 6.2

NO.
GES - 7001 B

FECHA
HECHA POR
S.E.
PLANTA

MULTIPLIOS DEL RANGO DEL SENSOR

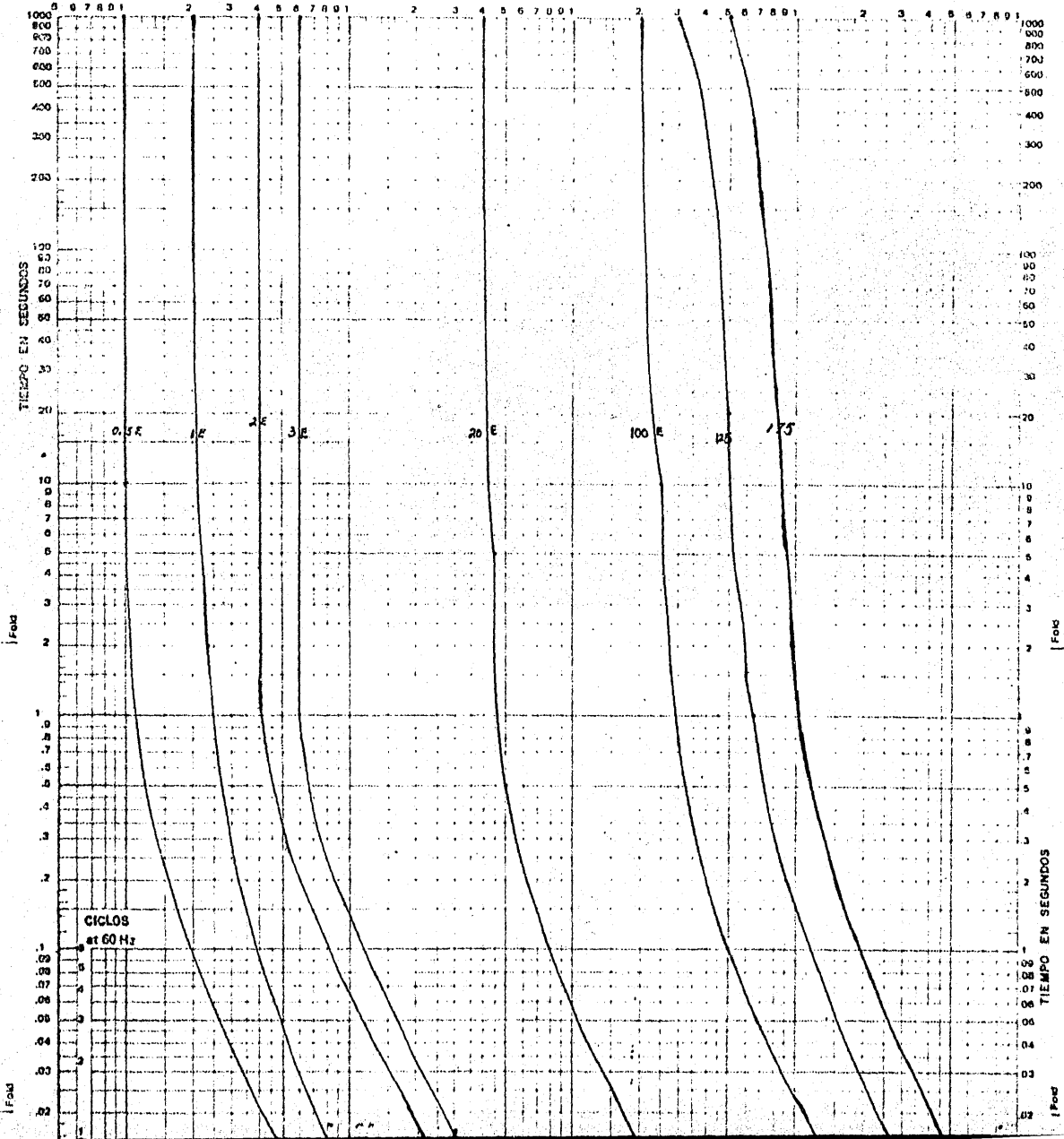




MULTIPLICOS DEL RANGO DEL SENSOR

11	CURVAS TIEMPO - CORRIENTE Interruptor Electromagnético tipo DS-4/6	NO.
		FECHA
		HECHA POR
		S.E. PLANTA
Figura 6.5		

CORRIENTE EN AMPERES A VOLTS.





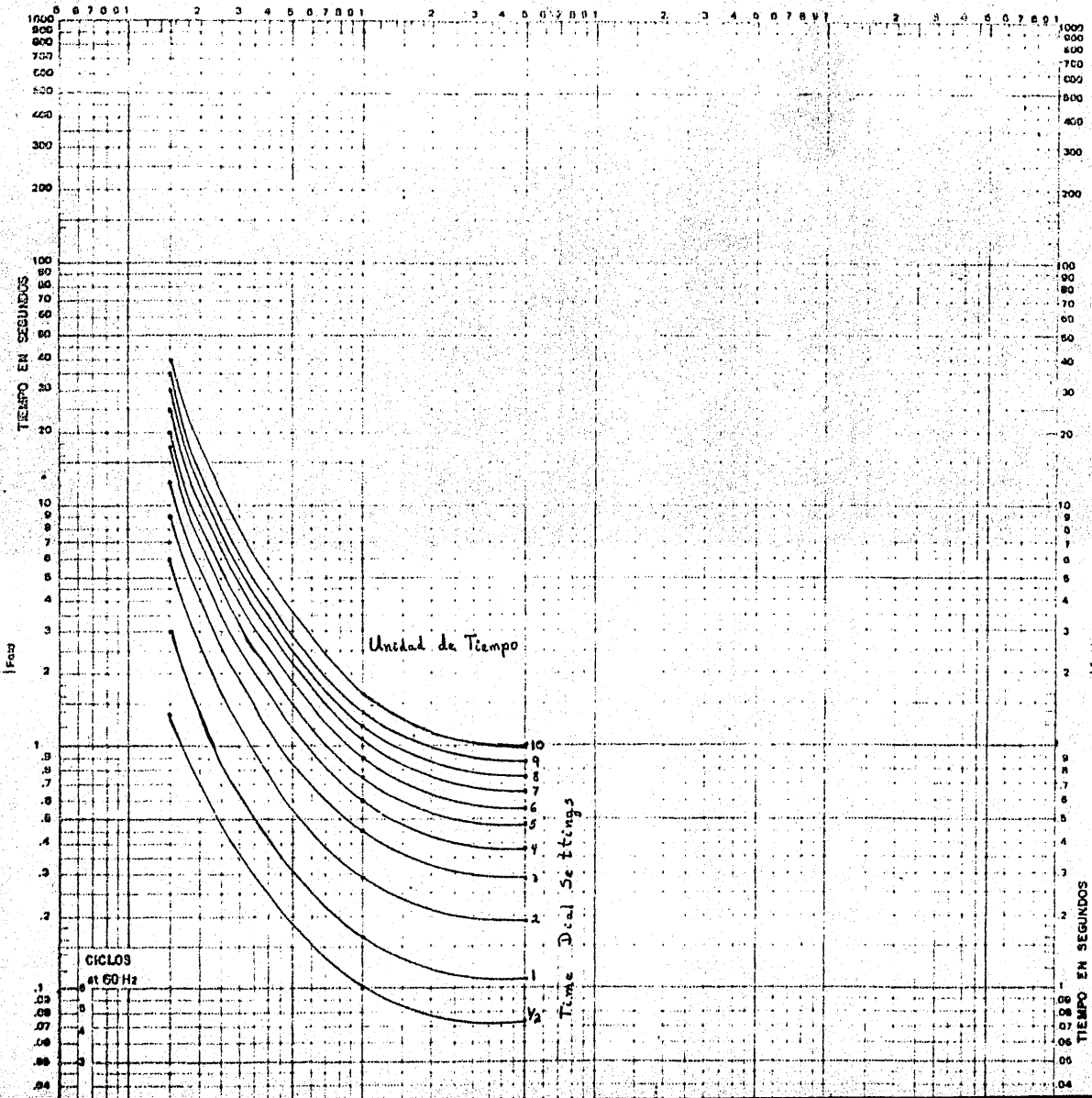
CORRIENTE EN AMPERES A VOLTS.

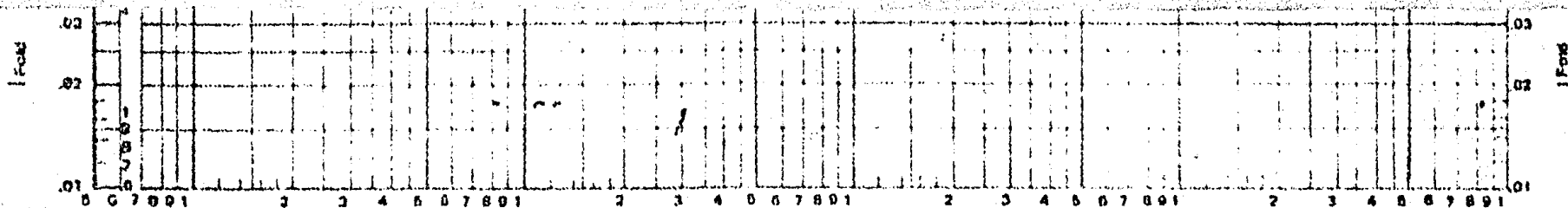
CURVAS TIEMPO - CORRIENTE
Fusible Limitador de Corriente
de Potencia
EJ-1
Figura 6.4

NO.
GES - 8104

FECHA
HECHA POR
S.E.
PLANTA

MÚLTIPLOS DE PICKUP





MULTIPLoS DE PICKUP

CURVAS TIEMPO - CORRIENTE
RELEVADOR IAC-53

NO.
GES - 7002 B

FECHA
HECHA POR
S.E.
PLANTA

FIGURA 6.3

El objetivo de un estudio de coordinación es determinar las características, rangos y ajustes de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes, que asegurarán que un mínimo de carga donde no hay fallas esté interrumpido cuando los dispositivos de protección aislan una falla o sobrecarga en cualquier parte del sistema. Al mismo tiempo, los dispositivos y ajustes seleccionados deben proporcionar protección satisfactoria contra sobrecargas en el equipo e interrumpir cortos circuitos tan rápidamente como sea posible.

El estudio de coordinación proporciona datos útiles para la selección de la relación de los transformadores de instrumentos, características y ajustes de los relevadores de protección, capacidad nominal de fusibles, capacidad nominal características y ajustes, de interruptores termomagnéticos de bajo voltaje. Esto también proporciona información adicional para provisión de protección óptima y selectividad o coordinación de éstos dispositivos.

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Corrientes de corto circuito. A fin de obtener completa coordinación del equipo de protección aplicado, será necesario obtener algunos o todos los siguientes datos sobre las corrientes de corto circuito para cada bus local.

- (1) Corriente total RMS de corto circuito máxima y mínima de 0 a 3 ciclos (Capacidad Momentánea).
- (2) Corriente total RMS de corto circuito máxima y mínima de 3 ciclos a 1 segundo (Capacidad Interruptiva).
- (3) Máxima y mínima corriente de falla a tierra.

Estos valores de corriente de corto circuito son obtenidos como se describe en el capítulo anterior.

Las corrientes máximas y mínimas de 0 a 3 ciclos son usadas para determinar las corrientes máxima y mínima a las cuales los dispositivos de disparo instantáneo y de acción directa responden y para verificar la capacidad de los aparatos empleados tales como interruptores termomagnéticos, fusibles, switches, reactores y barras colectoras.

La máxima corriente de 3 ciclos a un segundo verificará a máxima generación los valores nominales de los interruptores termomagnéticos, fusibles y cables. Este es también el valor de corriente al cual se establece el intervalo de coordinación de protección del circuito.

La máxima corriente de 3 ciclos a un segundo a generación mínima es necesaria para determinar si la sensibilidad de la protección del circuito es adecuada.

Intervalos de tiempo de coordinación. Al graficar las curvas de coordinación, deben mantenerse ciertos intervalos de tiempo entre las curvas de varios dispositivos de protección para asegurar una operación secuencial correcta de los dispositivos. Estos intervalos son necesarios porque los relevadores tienen sobreviajes, los fusibles características de daños y los interruptores termomagnéticos ciertas velocidades de operación. Algunas veces a estos intervalos se les llama márgenes.

Cuando se coordinan relevadores de sobrecorriente de tiempo inverso, el intervalo de tiempo es usualmente de 0.3 a 0.4 segundos. El intervalo consiste de los siguientes componentes:

Tiempo de apertura del interruptor termomagnético (5 ciclos)	0.08 Segs.
Sobreviaje	0.10 Segs.
Factor de seguridad	0.12-0.22 Segs.

Este margen puede ser disminuido si las pruebas de campo de los relevadores e interruptores termomagnéticos indican el sistema continúa coordinado con el margen disminuido. El sobreviaje de los relevadores de sobrecorriente de tiempo muy inverso y extremadamente inverso es poco menor que para los relevadores de tiempo inverso, permitiendo la disminución del intervalo de tiempo para sistemas cuidadosamente probados a 0.3 segs

Cuando se usan relevadores de estado sólido, se elimina el sobreviaje y el tiempo puede ser reducido por la cantidad indicada de sobreviaje. Para sistemas en los que se utilizan relevadores de disco de inducción, se puede disminuir el intervalo de tiempo empleando un relevador de sobrecorriente con un elemento instantáneo especial, de disparo rápido, ajustado aproximadamente al mismo pick-up que el elemento de tiempo, con sus contactos en serie con el contacto del relevador principal. Esto elimina el sobreviaje en el relevador así equipado. 0.25 Segs. es el intervalo de tiempo usado frecuentemente en sistemas con relevadores instantáneos de reposición rápida muy bien calibrados. El mínimo intervalo de tiempo usando un relevador instantáneo de reposición rápida debe ser 0.15 segs (esto es, 0.03 segs. de reposición instantánea + 0.05 segs. de tiempo de apertura del interruptor en vacío + 0.07 segs. del factor de seguridad).

Cuando se coordinan relevadores con fusibles que estén hacia la carga el sobreviaje del relevador y el tiempo de apertura del interruptor termomagnético no existen para el fusible. El margen para el sobreviaje se grafica debajo de la curva del relevador y ya que es deseable algún factor de seguridad por encima del tiempo libre total del fusible, se necesita el mismo margen de tiempo que para la coordinación de los relevadores. Sin embargo abajo de un segundo, alguna reducción del margen es aceptable. El mismo margen es usado entre un interruptor que esté hacia la carga y la curva de daño del fusible.

En sistemas de bajo voltaje cuando se coordinan interruptores termomagnéticos de potencia de disparo de acción directa con fusibles, en el lado de la fuente, al mismo nivel de voltaje, se usa normalmente un margen de corriente de 10 por ciento. -

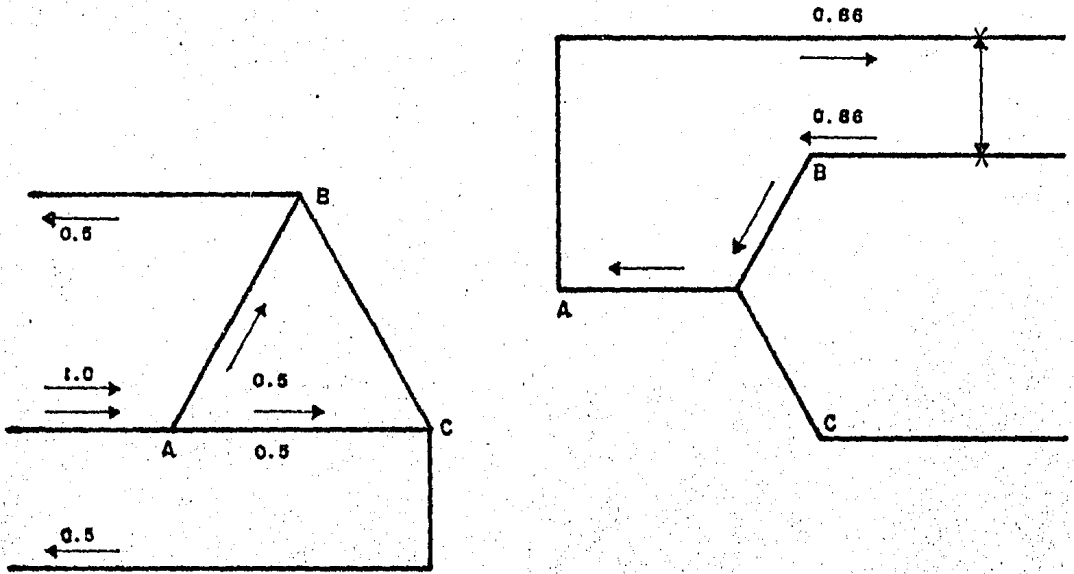
Esto permite que el fusible sufra daños por debajo de las características de tiempo de fusión promedio. La curva publicada de tiempo mínimo de fusión contra corriente deberá ser corregida para temperatura ambiente o precarga si el fabricante del

fusible dá los datos necesarios para hacer esta corrección. Sin embargo, si el fusible es precargado a menos del 100 por ciento de su corriente nominal y la temperatura ambiente es menor que 50° C, la corrección a la curva de tiempo mínimo de fundición contra corriente del fusible es usualmente menor del 20 por ciento en tiempo. Ya que las curvas características son relativamente de gran pendiente en el punto donde se mide el margen, el margen normal de corriente aplicado probablemente es suficiente para tener coordinación sin necesidad de tener que hacer una corrección a la característica del fusible también.

Cuando se coordinan interruptores termomagnéticos de bajo - voltaje equipados con unidades de disparo de acción directa - con relevadores, el intervalo de tiempo de coordinación se con sidera usualmente como 0.4 segs. Este intervalo se puede dis minuir a un tiempo menor como se explicó previamente para coor dinación entre relevadores. El margen de tiempo entre la curva del fusible y la del relevador hacia la fuente puede ser tan baja como 0.1 segs. cuando se involucran tiempos de reposición por debajo de 1 seg.

Cuando se coordinan interruptores termomagnéticos equipados con unidad de disparo de acción directa, a las curvas caracte rísticas no deben traslaparse. En general sólo una pequeña se paración es planeada entre las diferentes curvas caracte rísticas. Esta falta de un margen de tiempo específico se explica por la incorporación de todas las variables, más los tiempos de operación del interruptor termomagnético para estos disposi tivos. dentro de la banda de la curva característica del dispos tivo.

TRANSFORMADORES DELTA-ESTRELLA. - Cuando en el lado de ali mentación en medio voltaje, tenemos un fusible, en el lado de alta del transformador delta-estrella, un 16 por ciento adicio nal al margen de corriente sobre los márgenes mencionados en intervalos de tiempo, es usado entre el tiempo mínimo de fu sión y las características del interruptor termomagnético. -- Esto ayuda a mantener la selectividad para fallas de fase a fase, puesto que la corriente por unidad en el primario en una lí-- nea para este tipo de falla es 16 por ciento mayor que la co rriente por unidad en el secundario. Esto se ilustra en la fi gura 5.1.



$$100 \times \frac{1.0}{0.86} = 116\%$$

FIG. 5.1

Corrientes en un transformador Delta-Estrella para una falla entre fases del secundario .

AMPACIDAD DEL CABLE .- Ampacidad es la capacidad de llevar corriente de un conductor, expresada en amperes. La capacidad de corriente es el máximo de corriente permitida que puede fluir a través de un conductor sin dañar al conductor o su aislamiento. La ampacidad máxima continua para conductores de 600 volts., de cobre y aluminio está dada en las tablas 310-16 a 310-19 del NFPA No. 70, Código Nacional Eléctrico (1978) (ANSI CI-1978), como está establecido en las tablas éstas ampacidades están basadas en el hecho de que no haya más de 3 conductores en un conduit o cable y la temperatura ambiente sea de 30° C. u 86° F. Si estas condiciones son excedidas entonces los factores de reducción de ampacidad que están en la sección 310-15 del NEC deben ser aplicados. Los conductores deben ser protegidos de acuerdo a las ampacidades que se determinen de acuerdo a la información anterior con las excepciones anotadas en el NEC, secciones 240-3, 240-4. Para ampacidad de cables de alto voltaje, refierase a las tablas 310-39 a la 310-50.

Otro factor importante para determinar el calibre del cable del circuito es la máxima corriente de corto circuito disponible en el extremo del circuito. El aislamiento del conductor no deberá de ser dañado por la alta temperatura del conductor resultante del flujo de corriente más allá de la terminación del cable. Como una guía en la prevención de daños al aislamiento, los fabricantes de cable tienen las curvas del calibre del conductor y de corriente de corto circuito basadas en la temperatura a las cuales el aislamiento es dañado. En la coordinación de protección del sistema, el cable deberá sopor

tar la máxima corriente de corto circuito a través de él, por un tiempo equivalente al tiempo de disparo del relevador de respaldo, no el del relevador de protección primario. Muchas veces esto determinará el conducto mínimo aplicable a un sistema de potencia particular.

CODIGO NACIONAL ELECTRICO.- El NEC es primordialmente un código de instalación, Tiene muchas exigencias de aplicación algunas de las cuales afectan la selectividad del sistema. Es conveniente tener en cuenta los artículos 240 (protección de sobrecorriente) 430 (circuitos de motores), 450 (protección de transformadores).

PICK-UP.- El término "Pick- up" ha adquirido varios significados, para muchos dispositivos se define como la corriente mínima a la cual se inicia una acción. Se usa adecuadamente al describir la característica de un relevador . También se usa para describir el funcionamiento de un interruptor de potencia en bajo voltaje. El término es indebidamente aplicado al disparo térmico o a un interruptor de caja moldeada, el cual se desvía debido al calor almacenado.

La corriente de Pickup de un relevador de protección de sobrecorriente es el valor mínimo de corriente que origina el cierre de los contactos del relevador. Para un relevador de sobrecorriente con disco de inducción, el pickup es la corriente mínima a la cual se iniciará el movimiento del disco y finalmente cerrará sus contactos. Para dispositivos accionados por bobina con mecanismo de retardo, ésta misma definición es aplicada. Para dispositivos accionados por bobina sin mecanismo de retardo, el tiempo de cierre de los contactos es extremadamen-

te corto. Las derivaciones o ajustes de corriente de éstos re levadores generalmente corresponden a la corriente de pickup.

Para interruptores termomagnéticos de potencia en bajo voll taje, el pickup es definido como el valor de calibración de - corriente mínima, sujeto a ciertas tolerancias, que originará el cierre de la armadura del dispositivo de disparo, abriendo el interruptor termomagnético o cerrando un contacto de alarma. Un dispositivo de disparo que tenga un retardo de tiempo largo, uno corto y uno instantáneo, tendrá tres pickups. Todos estos pickups estarán en términos de múltiplos o por cientos del valor nominal del dispositivo de disparo.

Si el elemento con tiempo de retardo largo es colocado al 100 por ciento de la capacidad nominal del dispositivo de dispa ro, el pickup es igual a la capacidad nominal del dispositivo de disparo, aún cuando la corriente mínima para que el dispo sitivo actúe es ± 10 por ciento de éste ajuste. Si el eleme nto con tiempo de retardo largo es colocado en un 80 por ciento de la capacidad nominal del dispositivo de disparo, el pickup es igual al 80 por ciento de la capacidad nominal del disposi tivo de disparo, aún cuando la corriente mínima a la que - actúa el dispositivo es ± 10 por ciento del 80 por ciento del ajuste.

Si el elemento con tiempo de retardo corto se ajusta a cinco veces la capacidad nominal del dispositivo de disparo, no importan los ajustes del elemento con tiempo de retardo largo o del elemento instantáneo, la corriente de pickup del elemento con tiempo de retardo corto tendrá un valor igual a 500 - por ciento del valor nominal del dispositivo de disparo con -

una tolerancia de ± 10 por ciento.

Si el elemento instantáneo se ajusta a 9 veces el rango de el dispositivo de disparo, sin hacer caso de los ajustes de los elementos con retardo de tiempo, corto o largo, el pickup instantáneo es igual a una corriente de 900 por ciento del rango del dispositivo de disparo con una tolerancia de ± 10 por ciento.

Para interruptores termomagnéticos de caja moldeada con elementos de disparo térmico, se consideran los tiempos de disparo, no los pickups, dado que un interruptor termomagnético de caja moldeada, de apertura en aire, calibrado correctamente, conduce 100 por ciento de su corriente nominal a 25°C. El ajuste del instantáneo magnético puede ser llamado un pickup en la misma forma que para interruptores de potencia en bajo voltaje.

Finalmente puede notarse que es más fácil y menos confuso, particularmente cuando se hacen estudios de coordinación, pensar en términos de corriente y ajuste de tiempo.

SATURACION DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.- La función de un transformador de corriente es producir una corriente que sea aplicable a relevadores de protección estandar y que sea una representación de la corriente del primario en una proporcionalidad y relación de fase conocida.

Los transformadores de corriente son diseñados teniendo en mente la normalización. Los valores normalizados han sido seleccionados para dar resultados satisfactorios bajo las variadas condiciones de medición y protección. Casi siempre los instrumentos de medición y los

relevadores se alimentan del mismo grupo de TC'S. Una operación perfectamente satisfactoria se obtiene con TC'S de precisión estándar. Un análisis del funcionamiento de la mayoría de los transformadores de corriente normalizados indicará que aunque están lejos de ser perfectos son adecuados para una aplicación particular.

El mejor criterio para la selección de la relación del transformador de corriente es casi invariablemente la máxima corriente de carga. Un segundo criterio para la relación del transformador es determinado por la máxima corriente interruptiva de corto circuito. El resultado de dividir la máxima corriente de falla entre la capacidad térmica de tiempo corto del aparato en el secundario del transformador de corriente deberá compararse contra la relación del transformador de corriente. Si la relación del transformador es más baja, significa que el aparato en el secundario puede ser dañado, entonces es necesario un cálculo más refinado aplicando la curva de saturación del transformador de corriente (Ver capítulo 3).

Cuando se comprueba la coordinación debe tenerse en cuenta que el efecto de la saturación del transformador hace que la operación del relevador de disco inductivo sea más lenta. Cuando el transformador de corriente se llega a saturar debido a una alta carga en el secundario de varias veces la corriente a plena carga, la corriente del relevador en el secundario es menor de lo que sería, y el relevador opera más lentamente.

Para propósitos prácticos, la máxima corriente disponible en el secundario, despreciando la saturación, es representada

por la corriente de excitación en el secundario en el punto de intersección de una línea de burden no saturada con la curva de saturación, del transformador de corriente. La línea de carga no saturada es actualmente una línea de 45° iniciada en el punto de pickup del relevador en la curva de saturación del transformador de corriente y dibujada arriba y a la derecha hasta su cruce con la curva de saturación (La figura 5.2 muestra la curva de saturación de un transformador de corriente típico).

En la práctica un burden se aplica solamente a un valor particular de la corriente de secundario. Esto es porque la mayoría del equipo aplicado tiene un circuito magnético en el cual el burden decrece debido a la saturación a medida que la corriente se incrementa. Así las impedancias de los aparatos aplicados deberán ser conocidas para varios valores de sobrecorriente tal que los valores de impedancia puedan ser aproximados para un valor particular de corriente.

Los elementos instantáneos deberán ser ajustados abajo del punto de saturación del transformador de corriente tal que no sean afectados por ninguna corriente de saturación.

En la mayoría de los sistemas industriales, la saturación del transformador de corriente es un problema sólo en circuitos con transformadores de corriente cuya relación de transformación es relativamente baja. Como en la mayoría de los casos estos circuitos abastecen equipos de trabajo; se deberían aplicar relevadores con ajuste instantáneo que no son afectados por la saturación. Para un respaldo progresivo hacia la fuente la relación del transformador de corriente debe ser más alta,

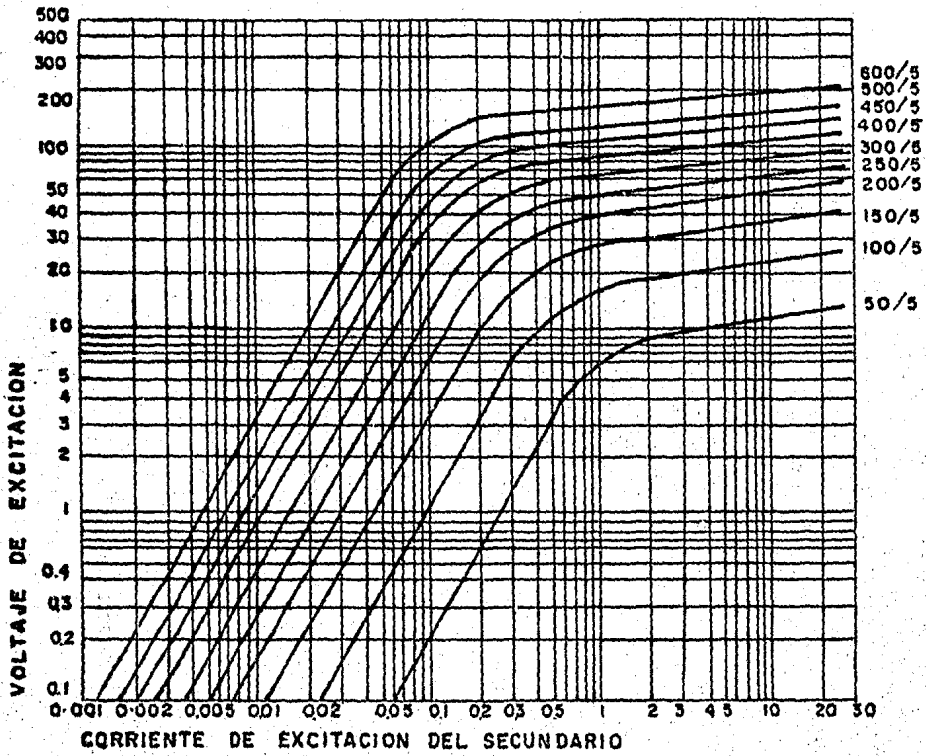


FIG. 5.2
Curvas de saturación de transformadores de corriente típicos

los transformadores tienen más vueltas, desarrollando mayores voltajes, y por eso están menos dispuestos a saturarse cuando cargas normales son aplicadas.

El relevador diferencial no es usualmente susceptible a problemas de saturación si los transformadores de corriente están cercanamente igualados o si se seleccionan taps (derivaciones) apropiados en los relevadores.

Usualmente los problemas de saturación de los transformadores de corriente ocurren sólo entre los 2 ajustes más bajos del elemento de tiempo de los relevadores. Ya que el intervalo de coordinación mínimo está en el punto teórico de máxima corriente de falla, el problema global es más o menos minimizado.

La saturación de los transformadores de corriente debido a la componente de DC de una corriente de falla asimétrica puede causar retardo en la operación de algunos relevadores instantáneos. Esto puede causar también disparos falsos de relevadores conectados residualmente a tierra si el retardo de tiempo no es usado.

COMO LEER LAS CURVAS.- Un entendimiento básico de las características de tiempo-corriente es esencial para cualquier estudio. En una curva de coordinación ordinaria, el tiempo "0" es considerado como el tiempo en el cual la falla ocurre, y todo los tiempos mostrados sobre la curva son el tiempo transcurrido desde ese punto. Las curvas que son graficadas son la respuesta en tiempo ya que, para un sistema radial, todos los dispositivos entre la falla y la fuente experimentan la misma corriente hasta que uno de ellos interrumpe el circuito. Des-

pués de la interrupción, el sobreviaje del relevador así como el tiempo de reposición del interruptor termomagnético y del relevador son considerados a fin de determinar si algún dispositivo el cual haya comenzado a operar continuará operando bajo la corriente reducida y dispare un dispositivo de protección de respaldo. Estos sobreviajes y tiempos de reposición son tomados en cuenta por la desviación de las curvas o permitiendo márgenes de tiempo entre curvas.

Una curva de coordinación es arreglada tal que la región - bajo y a la izquierda de la curva que represente un área de - no operación. Las curvas representan una de una familia de - pares de coordenadas (corriente y tiempo) lo cual indica que tan largo es el período de tiempo requerido para la operación del dispositivo en un valor seleccionado de corriente. Las curvas del relevador de protección son usualmente representadas por solo una línea. Las curvas de disparo del interruptor termomagnético así como el tiempo de disparo del dispositivo son representadas por bandas. Las bandas representan los límites mínimo y máximo de tiempo para corrientes seleccionadas, durante el cual la interrupción del circuito es esperada. La región superior y a la derecha de la curva o banda representa un área de operación.

La figura 5.3 muestra una curva tiempo-corriente representada como una banda. El tiempo t_2 es el máximo tiempo desde la iniciación del flujo de corriente I con el cual la operación del dispositivo y del circuito interruptor termomagnético es asegurada.

El tiempo t_1 es el tiempo desde la iniciación del flujo de

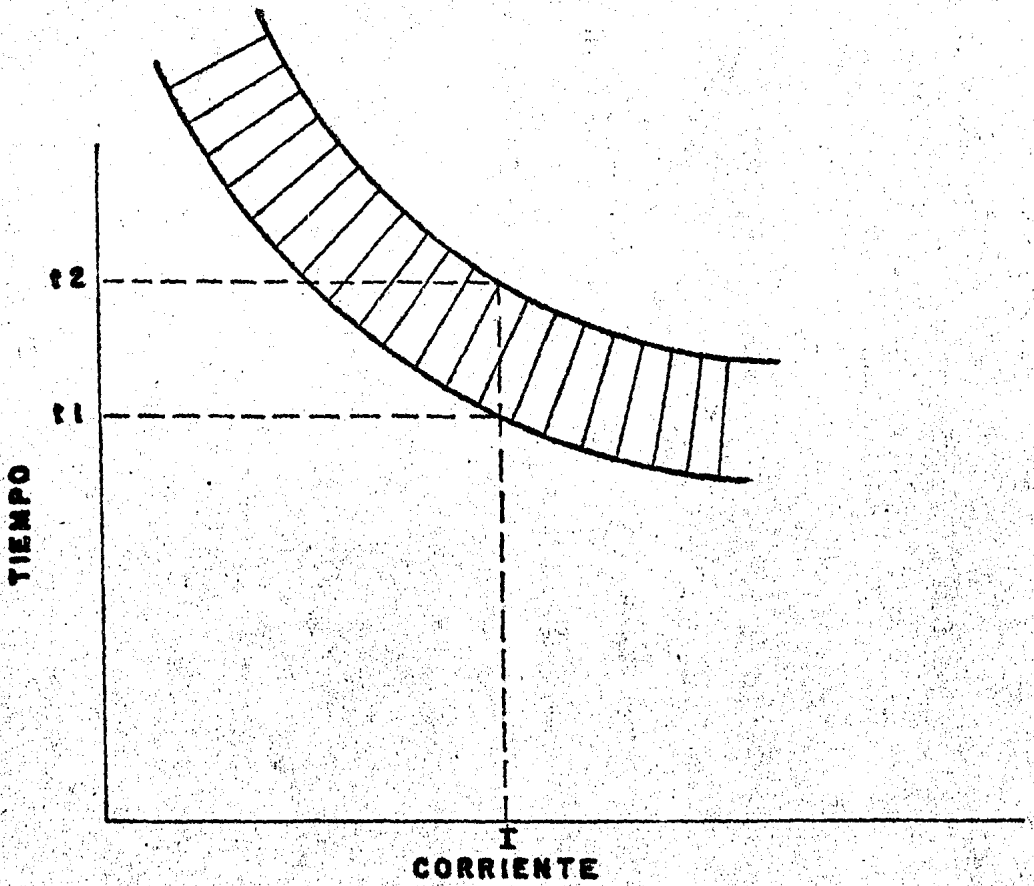


FIG 8-3

Curva tiempo-corriente representada por
una banda

corriente I con el cual la corriente debe ser normalizada para prevenir al dispositivo bajo consideración para que opere debido a las características de impulso del dispositivo de disparo.

La corriente se lee en el eje de las abscisas, el tiempo o rango de tiempos en los cuales se espera que algún dispositivo opere corresponde al eje de las ordenadas. Usualmente las curvas del interruptor termomagnético comienzan en un punto de baja corriente cercano al rango o ajuste del dispositivo de disparo y un tiempo de operación de 1000 segundos; las curvas del relevador comienzan en un punto cercano a 1.5 veces del pickup y el tiempo correspondiente para este punto. Las curvas usualmente terminan en la corriente máxima de corto circuito a la cual el dispositivo bajo consideración puede estar sujeto. Una sola curva puede ser dibujada para cualquier dispositivo bajo cualquier condición específica, si bien la mayoría de los dispositivos (excepto relevadores) describen una envolvente en la cual la operación tiene lugar. Esta envolvente toma en consideración la mayoría de las variables que afectan la operación. Algunas de estas variables son la temperatura ambiente, tolerancias de manufactura, y el retraso en el tiempo de reposición.

PLANEACION INICIAL.- Hay cuatro pasos a seguir en la planeación de un estudio de coordinación.

1.- Desarrollar un diagrama unifilar incluyendo los datos indicados en la siguiente sección.

2.- Determinar el nivel de corriente de corto circuito en cada sitio del sistema. En consideraciones preliminares se -

vieron las corrientes de falla necesarias para realizar un estudio.

3.- Determinar las necesidades de protección de varios elementos del sistema y las exigencias de flujo a la carga del sistema.

4.- Reunir las características de los dispositivos de protección involucrados en el sistema.

DATOS REQUERIDOS PARA UN ESTUDIO DE COORDINACION.- El primer requisito para un estudio de coordinación es un diagrama unifilar del sistema involucrado en el estudio. Este diagrama unifilar deberá mostrar los siguientes datos:

1.- Potencia aparente y voltaje nominales así como la impedancia y las conexiones de todos los transformadores.

2.- Condiciones de switcheo normal y de emergencia.

3.- Datos nominales de placa y reactancias subtransitorias de todos los motores importantes y generadores, así como las reactancias transitorias de motores síncronos y generadores, más las reactancias síncronas de generadores.

4.- Calibres de conductores.

5.- Relaciones de los transformadores de corriente.

6.- Valores nominales, características y rangos de ajustes de relevadores, dispositivos de disparo de acción directa y fusibles.

La segunda necesidad es un completo estudio de corrientes de corto circuito como se describe en el Capítulo IV. Este estudio deberá incluir el máximo y mínimo rendimiento o duración esperado así como los datos de la corriente de corto circuito disponible de todas las fuentes.

La tercer necesidad son las características tiempo-corriente de todos los diapositivos bajo consideración, y la cuarta necesidad es la carga máxima esperada en cualquier circuito - considerado. Cualquier dispositivo de alimentación así como los ajustes utilizados en los relevadores deben anotarse.

Es usualmente supuesto que la corriente continua, el cierre y el fundido, y las condiciones normales de interrupción han sido evaluadas por un estudio de corriente de corto circuito. Estos detalles deberán ser anotados durante un estudio de coordinación si ellos no han sido previamente anotados.

PROCEDIMIENTO.- El principio del uso de hojas sobrepuestas con las curvas de los dispositivos para efectuar la coordinación elimina mucho lo tedioso de este trabajo. Una vez que un escala de corriente específica ha sido seleccionada, se deben calcular los múltiplos apropiados para los diferentes niveles de voltaje considerados en el estudio. Las curvas de los dispositivos de protección para los varios dispositivos son entonces colocados sobre una superficie suave y brillante como una hoja blanca de papel, un vidrio de ventana, o una caja - con un vidrio en la parte de arriba con una lámpara dentro de ella. La hoja de papel LOG-LOG sobre la cual el estudio está siendo hecho es colocada sobre la curva de características de el dispositivo, la escala de corriente del estudio se alinea según características del dispositivo. Las curvas para los diferentes ajustes y rangos de los dispositivos que han sido estudiados pueden entonces ser trazadas o examinadas.

SELECCION DE LA ESCALA APROPIADA DE CORRIENTE.- Considerando un sistema grande o uno con más de una transformación de voltaje, la curva característica de los dispositivos más pequeños es graficada lo más a la izquierda de el papel como sea posible tal que las curvas no se amontonen a la derecha del papel. El máximo nivel de corto circuito en el sistema es el límite de las curvas a la derecha a menos que parezca deseable observar el comportamiento posible de un dispositivo sobre el nivel de corriente de corto circuito en un sistema bajo estudio. Un número mínimo de características de disparo deberán ser graficadas en una hoja de papel.

CAPITULO VI

COORDINACION DE NUESTRO SISTEMA

En los capítulos anteriores se han establecido las bases teóricas sobre el funcionamiento de los dispositivos de protección, el cálculo de corto circuito y la coordinación. Esto nos servirá de guía para coordinar nuestro sistema.

En el plano P-1 se puede observar el diagrama unifilar de todo el sistema. Como se puede observar éste es bastante complejo, es por ello que en ésta tesis sólo se incluye paso por paso el desarrollo de la coordinación para un ramal.

El ramal seleccionado es el que se muestra en la figura 6.1 en la cual se incluyen los dispositivos de protección que se van a coordinar.

En la tabla 6.1 se enlistan las características de los dispositivos utilizados.

T A B L A 6.1

1. Turbogenerador de vapor de 36MW (45MVA), F.P-0.8, x"d=14%
2. Interruptor de potencia en pequeño volumen de aceite; Marca ENERGOMEX; tipo HG 2500; tensión de servicio 13.2/15 KV Corriente nominal 2500 Ampers; Capacidad interruptiva 1000 MVA
3. Transformador de Corriente, servicio interior, relación de transformación 600:5 Ampers; frecuencia nominal 60 Hertz; nivel nominal de aislamiento 25 KV; clase y potencia de protección ; 1.2 B 0.5; Marca Balteau.
4. Relevador tipo IAC-51 Marca General Electric, con unidad de tiempo y unidad instantánea. La curva T-C es la GES-7001 B que se observa en la fig. 6.2.
5. Relevador auxiliar que complementa al anterior, abre o

cierra el circuito actuando sobre el interruptor marcado como (2).

6. Idem al (2)

7. Idem al (3)

8. Idem al (4)

9. Idem al (5), Actúa sobre el interruptor (6).

10. Idem al (2).

11. Idem al (3).

12. Idem al (4).

13. Idem al (5) Actúa sobre el interruptor (10).

14. Transformador de Potencia de 10/12.5 MVA (OA/FA), relación de transformación 13.8-4.16 KV, 3 fases, 60 Hertz, - Z=6.0%, 65°C. Conexión Delta-Estrella. Marca General Electric

15. Resistencia de Puesta a tierra del transformador de Potencia TR-2A,

16. Interruptor de potencia en pequeño volumen de aceite tipo HG 4/9H. Tensión de servicio 2.4-4.16 KV. Corriente nominal 1,600 - 2,000 Amps. Capacidad Interruptiva 170-300MVA. - Marca ENERGOMEX.

17. Transformador de Corriente, servicio interior, relación de transformación 2000 : 5 Amps., frecuencia nominal 60 Hertz Clase y Potencia de protección: 1.2 B 0.2. Marca Balteau.

18. Relevador tipo IAC-53. Marca General Electric, con unidad de tiempo y unidad instantánea. La curva T-C es la GES-7002 B que se observa en la figura 6.3

19. Relevador auxiliar que complementa al anterior, abre o cierra el circuito actuando sobre el interruptor marcado como (16).

20. Interruptor de Potencia en pequeño volumen de aceite - tipo HG 4a/8F. Tensión de servicio 2.4-4.16 KV. Corriente nominal 1,250 Ampers. Capacidad Interruptiva 150-250 MVA. Marca ENERGOMEX.

21. Transformador de corriente con relación de transformación de 600:5 Ampers. 60Hz Marca Balteau.

22. Idem al (18).

23. Idem al (19). Actúa sobre el interruptor (20).

24. Idem al (20)

25. Idem al (21).

26. Idem al (18).

27. Idem al (19). Actúa sobre el interruptor (24).

28. Fusible de Potencia limitador de corriente tipo EJ-1 - Marca General Electric. Las curvas T-C son la GES-8104 que se observa en la figura 6.4.

29. Transformador de potencia de 1/1.12 MVA 4.16-0.48 KV, 60 Hz, Z=5.75%, Conexión Delta-Estrella neutro aterrizado, OA, 55/65°C. Marca General Electric.

30. Interruptor Electromagnético tipo DS-416, Marca IEM Westinghouse, 3 Polos, 1,600 Ampers., 480 V. Montaje removible, operación eléctrica. La curva para estos dispositivos se muestran en la figura 6.5.

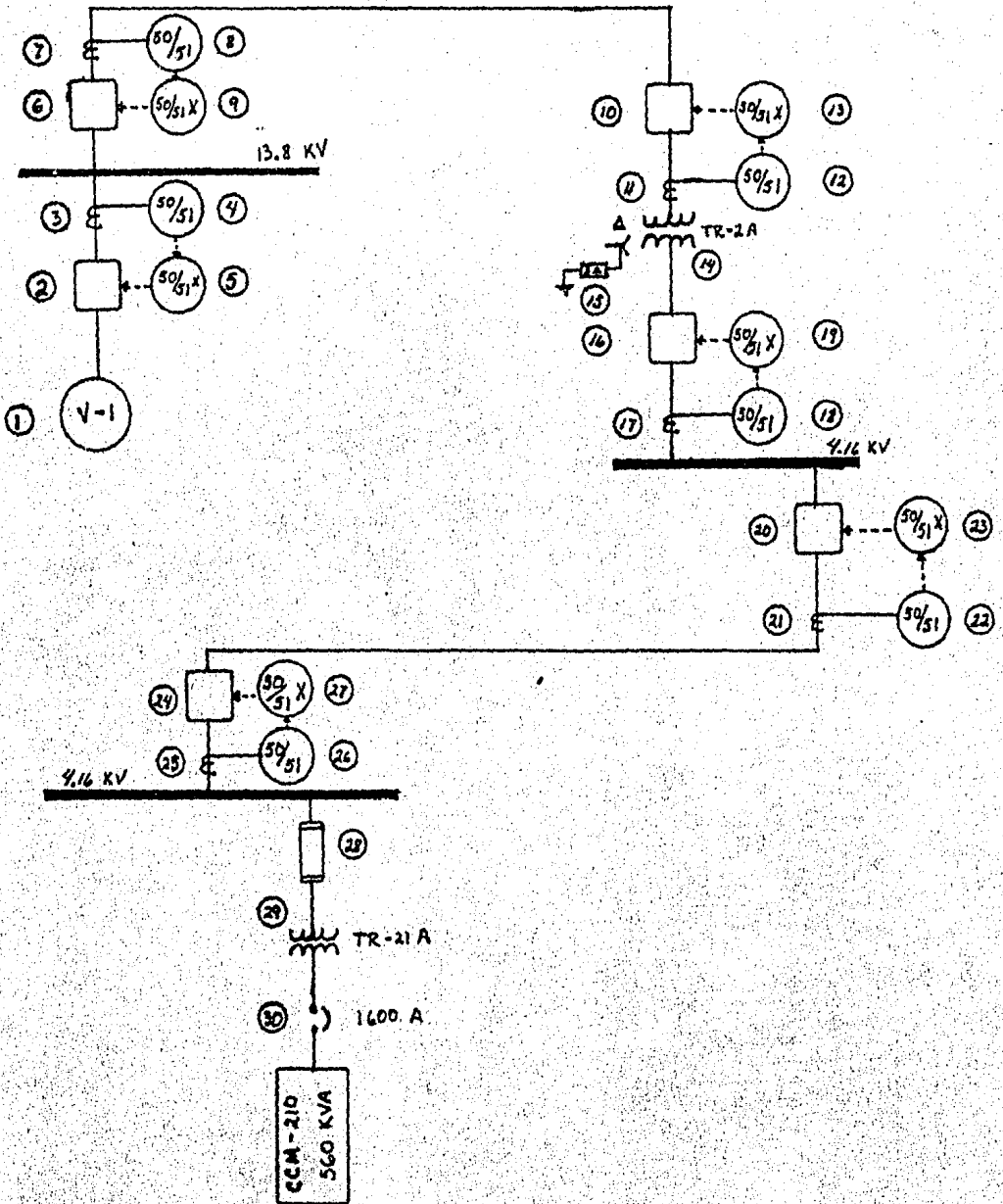


Figura 6.1

Con todos los datos que ya se tienen, vamos a proceder a -- coordinar el ramal seleccionado.

I. SELECCION DEL VOLTAJE BASE.

Para la selección del voltaje deben de considerarse dos limitantes en la gráfica.

- 1.- Que el dispositivo más alejado de la fuente quede totalmente dentro de la hoja log-log (límite-inferior)
 $I_{min}=1,600\text{Amps}$ (Interruptor Electromagnético)
- 2.- El límite superior será el corto circuito máximo --- del sistema.

$$I_{cc}=I_{cc} \text{ 13.8Kv} = \frac{P_{cc} \text{ 13.8 X 1000}}{\sqrt{3} \text{ Kv}}$$

$$I_{cc} = \frac{909.543 \text{ X } 1000}{\sqrt{3} \text{ 13.8}} = 38,052.53 \text{ Amps. sim}$$

$$I_{cc_{ASM}} = 38,052.53 \text{ X } 1.6 = 60,884.05 \text{ Amps}_{ASM}$$

La ruta de coordinación principal puede observarse en que tensión existe más dispositivos de protección, éste voltaje - lo podemos proponer como base ya que éste minimizará las multiplicaciones y manipulaciones sobre los dispositivos, donde, para fijar las calibraciones son necesarias varias operaciones de aquí decimos que el voltaje base es el de 4160 Volts.

Seleccionado el voltaje base se comprueba que cumpla con - los dos límites (inferior y superior), de la manera siguiente:

Límite Inferior:

$$I_{n1} V_{n1} = I_R V_B$$

$$I_R = \frac{V_{n1}}{V_B} I_{n1}$$

Donde:

I_{n_1} = Corriente nominal del dispositivo más lejano.

V_{n_1} = Voltaje nominal

I_R = Corriente referida

V_B = Voltaje base

La comprobación se cumple con éste límite inferior si y sólo si

$$I_R \geq i_m$$

Donde i_m está definida como la corriente mínima representada en el inicio de las décadas en el eje horizontal.

Si $V_{n_1} = 480$ V e $I_{n_1} = 1,600$ Amp

$$I_R = \frac{480 \cdot 1,600}{4160} = 184.61$$

$$184.61 > 50$$

Límite Superior:

$$I_{cc_MAX} V_{n_1} = I_R V_B$$

$$I_R = \frac{V_{n_1} I_{cc_MAX}}{V_B}$$

Donde:

I_{cc_MAX} = Corriente de corto circuito máximo

La comprobación se cumple con el límite superior si y sólo si

$$I_R \leq I_M$$

Donde I_M está definida como la corriente máxima representada al final de las décadas en el eje horizontal.

Si: $I_{cc_MAX} = 60,884.05$ A.

$$V_n = 13.8 \text{ Kv}$$

$$V_B = 4.16 \text{ Kv}$$

$$I_R = \frac{13.8}{4.16} (60,884.05) = 201,971.12$$

$$201,971.12 < 1,000,000$$

Como cumple con ambas condiciones podemos aceptar el volta
je base de 4160 Volts.

II. NOMENCLATURA USADA

1.- Transformadores.

$I_n \text{ prim}$ = Corriente nominal del primario

$I_n \text{ sec}$ = Corriente nominal del secundario

Z = Impedancia del transformador

ANSI = Indica el punto de daño del transformador

I_{MAG} = Corriente de magnetización del transformador

NEC OC del primario = Límite de ajuste contra sobre co
rriente del primario

NEC OC del secundario = Límite de ajuste contra sobre
corriente del secundario

T = Tiempo que resiste el transformador sin dañarse
con la corriente ANSI.

2.- Motores

I_{PC} = Corriente de plena carga

I_{RMAX} = Corriente máxima de rotor bloqueado

t_a = Tiempo de aceleración.

T_{aMAX} = Tiempo máximo de parado del motor a la corrien
te de rotor bloqueado

NEC OL = Sobre carga máxima del motor permitida por el
NEC.

NEC OC del motor = Límite del ajuste contra sobre co
rriente.

III. MEMORIA DE CALCULO

Sub estación no.21

A) Transformador Tr-21A

$$I_{n \text{ prim}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 4.16} = 138.78 \text{ Amps}$$

$$I_{n \text{ sec}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0.48} = 1,202.81 \text{ (138.78 A referido } V_B)$$

$$\text{Punto ANSI} = \frac{100}{Z} \times 0.58 \times I_{n \text{ prim}} = \frac{100}{5.75} \times 0.58 \times 138.78$$

$$\text{Punto ANSI} = 1,399.86 \text{ Amps}$$

$$T = 5.75 - 2 = 3.75 \text{ seg.}$$

$$I_{MAG} = I_{n \text{ prim}} \times 8 = 138.78 \times 8 = 1,110.24 \text{ Amps. en } 0.1 \text{ seg.}$$

Capacidad de sobrecarga = $I_{n \text{ sec}} \times f \text{ de elevación} - f \text{ de enfriamiento.}$

$$\text{Capacidad de sobrecarga} = 1,202.81 \times 1.12 \times 10 = 1,347.15 \text{ Amp. (155.44 Amps referido a } V_B)$$

AJUSTES MAXIMOS PERMITIDOS POR EL NEC

$$\text{NEC OC del primario} = I_{n \text{ prim}} \times 3 = 138.78 \times 3 = 416.34 \text{ Amp.}$$

$$\text{NEC OC del secundario} = I_{n \text{ sec}} \times 2.5 = 1,202.81 \times 2.5 = 3,007.25 \text{ Amps. (345.99 Amp. referido a } V_B)$$

B) CCM- 210 de 560 KVA

$$I_{pc} = \frac{560}{\sqrt{3} \cdot 0.48} = 673.57 \text{ Amps.}$$

$$I_{RB} = 673.57 \times 6 = 4,041.42 \text{ Amp}$$

$$T_{a,MAX} = 20 \text{ seg.}$$

$$I_{RBMAX} = I_{RB} \times \text{factor de compensación} \times \text{factor de seguridad}$$

$$I_{RBMAX} = 4,041.42 \times 1.76 \times 1.0 = 7,112.89 \text{ Amps. en } 0.1 \text{ seg.}$$

AJUSTES MAXIMOS PERMITIDOS

$$\text{NEC OC del motor} = I_{pc} \times 2.5 = 673.57 \times 2.5 = 1,683.92 \text{ Amps}$$

$$\text{NEC OC del motor} = 1,683.92 \text{ Amps.}$$

$$\text{NEC OL del motor} = I_{pc} \times 1.25 = 673.57 \times 1.25 = 841.96 \text{ Amps.}$$

C) Motor de 1,000 HP, 4.16 Kv, 60 Hz, FS = 1.15

$$I_{pc} = \frac{746 \times \text{HP}}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times \text{EP.} \sqrt{3} \times 4160 \times 0.9 \times 0.85} = \frac{746 \times 1000}{\sqrt{3} \times 4160 \times 0.9 \times 0.85} = 135.34 \text{ Amps}$$

$$I_{RB} = 135.34 \times 6 = 812.04 \text{ Amp.}$$

$$T_{aMAX} = 20 \text{ seg.}$$

$$I_{RBMAX} = I_{RB} \times \text{Factor de compensación} \times \text{factor de seguridad}$$

$$I_{RBMAX} = 812.04 \times 1.76 \times 1.0 = 1,429.19 \text{ Amps. en } 0.1 \text{ seg.}$$

AJUSTES MAXIMOS PERMITIDOS POR EL NEC

$$\text{NEC OC del motor} = I_{pc} \times 3 = 135.34 \times 3 = 406.02 \text{ Amps}$$

$$\text{NEC OL del motor} = I_{pc} \times 1.25 = 135.34 \times 1.25 = 169.175$$

Amps.

SUBESTACION N° 2

A) Transformador TR-2A

$$I_{n \text{ prim}} = \frac{10,000}{\sqrt{3} \times 13.8} = 418.37 \text{ Amps. (1,387.86 A referido } V_B)$$

$$In \text{ sec} = \frac{10,000}{\sqrt{3} \cdot 4.16} = 1,387.86 \text{ Amps}$$

$$\text{Punto ANSI} = \frac{100}{z} \times 0.58 \times In \text{ prim} = \frac{100}{6} \times 0.58 \times 418.37$$

$$\text{Punto ANSI} = 4,044.24 \text{ Amps (13,415 A referido } V_B)$$

$$T = 6 - 2 = 4 \text{ seg.}$$

$$I_{MAG} = In \text{ prim} \times 12 = 418.37 \times 12 = 5,020.44 \text{ Amps. en } 0.1 \text{ seg (16,654 A referidos } V_B)$$

Capacidad de sobrecarga = In sec X f de elevación de temperatura X f de enfriamiento =

$$\text{Capacidad de sobrecarga} = 1,387.86 \times 1.12 \times 1.67$$

$$\text{Capacidad de sobrecarga} = 2,595.85 \text{ Amps.}$$

AJUSTES MAXIMOS PERMITIDOS POR EL NEC

$$\text{NEC OC del primario} = In \text{ prim} \times 6 = 418.37 \times 6 = 2,510.22 \text{ Amps. (8,327.17 Amps. referido a } V_b)$$

$$\text{NEC OC del secundario} = In \text{ sec} \times 3 = 1,387.86 \times 3 = 4,163.58 \text{ Amps. (4,163.58 Amps. referido a } V_b)$$

IV. SELECCION DE AJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION

1. Transformador Tr-21 A

A) Protección del secundario

El interruptor electromagnético seleccionado (no.30 de la figura 6.1) deberá permitir:

- a) Sobrecargar el transformador hasta 1,347.15 A. - (155.44 Amp referido a V_B)
- b) No rebasar el límite NEC OC del secundario, ----

3,007.25 Amps (347 Amp. referido a V_B)

Basándonos en la figura 6.5 vamos a obtener lo siguiente:

Ajuste Largo.- La corriente mínima nominal que puede proporcionar el transformador es 1,202.81 Amps (138.78 Amps referido V_B). Por lo tanto su protección debe ser algo mayor. En este caso el sensor es de 1,600Amps. por lo tanto:

$$\text{Múltiplo del sensor} = \frac{1,202.81}{1,600} = 0.751$$

El ajuste más próximo es 0.8

Verificando que se cumpla con el inciso a) tenemos:

$$1,600 \times 0.8 = 1280 \text{ Amp (147.69 Amps referido a } V_B)$$

Donde podemos ver que está un poco por debajo del valor -- que debería permitir para sobrecarga del transformador (115.44 Amps) , es por ello que tenemos que seleccionar el siguiente valor de ajuste de 0.9

Verificando de nuevo que cumpla con el inciso a) tenemos:

$$1,600 \times 0.9 = 1440 \text{ Amps (166.15 Amps referido a } V_B)$$

Verificando que se cumpla con el inciso b), tenemos que :

$$166.15 < 347 \text{ por lo tanto si cumple.}$$

Ajuste corto.- Será la corriente nominal del transformador menos la corriente nominal del motor mayor más la corriente de rotor bloqueado del mismo.

$$1,202.81 - 150 + 6(150) = 1,952.81 \text{ Amps.}$$

$$\text{Múltiplo del sensor} = \frac{1,952.81}{1600} = 1.22$$

El ajuste mínimo existente para éste dispositivo es 4, como puede verse en la figura 6.5 Por lo Tanto seleccionaremos éste ajuste.

Considerando éstos ajustes queda ubicada la curva del dis-

positivo en la grafica T-C log-log tal como se muestra en la figura 6.6 con el número 30.

B) Protección del primario

El fusible seleccionado (No.28 de la fig. 6.1)deberá permitir:

- a) La energización del transformador (I_{MAG})
- b) No rebasar la corriente que pueda soportar el transformador (Punto ANSI)
- c) No rebasar el ajuste máximo permitido por el NEC.

Basándonos en la figura 6.4 tenemos que para que cumpla con los incisos a,b,c seleccionaremos el tamaño EE, con rango de corriente de 175 Ampers, cuya curva se muestra en la figura 6.6, con el número 28.

2.- Bus del tablero de la S.E. No. 21

El elevador seleccionado (no.26 de la figura 6.1) deberá cumplir con:

- a) Permitir las corrientes críticas en el bus
- b) Tomar en cuenta la capacidad del bus
- c) Tener selectividad con los alimentadores derivados (el fusible)

Las corrientes críticas que se considerarán son:

I_{c1} = Es la corriente que se demanda en el bus cuando arranca el motor mayor del grupo, estando las otras cargas normales demandando su corriente nominal.

I_{c1} = $812.04 + 138.78 = 950.82$ Amps en 20 seg.

I_{c2} = es la corriente que se demanda en el bus cuando se energiza el transformador y el motor está trabajando normalmente.

$$I_{c2} = 1,110.24 + 135.34 = 1.245.58 \text{ Amps. en } 0.1 \text{ seg.}$$

La selectividad del relevador deberá ser tal que no operará antes que el fusible se funda, por lo tanto, para el ajuste - contra sobrecorriente; la corriente del disparo del relevador deberá ser mayor o igual al 120% de la corriente de fusión del fusible en un tiempo determinado.

Para seleccionar el tap. del relevador se considera una de manda de corriente igual a la suma de corrientes nominales en el transformador TR-21A y en el motor de 1000HP, o sea:

$$135.34 + 138.78 = 273.12 \text{ Amps.}$$

Esta corriente reflejada através del T.C. (Marcado con el No. 25 en la figura 6.1) será de:

$$273.12 \times \frac{5}{600} = 2.276 \text{ Amp}$$

Nuestro relevador tiene taps de ajuste de 1.5, 2.0, 2.5, - 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 10.0 y 12.0, de los cuales seleccionamos en primera instancia el tap más próximo mayor que es el de 2.5 en la figura 6.3.

Verificando que el tap seleccionado de 2.5 al aplicarlo en alguna de las curvas de la figura 6.3 nos dé una corriente de operación en cualquier tiempo \gg 120% de la corriente de fusión del fusible encontramos que ésto no se cumple para ninguna de las curvas, teniendo que seleccionar el tap 6. Una vez seleccionado el valor del tap vemos cual de los ajustes del disco (time dial setting) es el que nos dá selectividad para la --- coordinación y cumple con las condiciones enumeradas en los - incisos a, b, y c, seleccionamos, tentativamente, el Time dial setting 2.

Verificando que cumple para todas las condiciones tenemos:

En 6 segundos el múltiplo de tap para nuestra curva es -
1.5.

$$\therefore I_{TC} = 1.5 \times 6 = 9 \text{ Amperes.}$$

La corriente en la línea será

$$I_L = 9 \times \frac{600}{5} = 1,080 \text{ Amps}$$

1,080 ~~7~~120% de I fusible en ese mismo tiempo

I fusible = 900 Amps en 6 seg.

En 0.5 segundos el múltiplo de tap es 5

$$\therefore I_{TC} = 5 \times 6 = 30 \text{ Amps}$$

$$I_L = 30 \times 120 = 3,600 \text{ Amps}$$

3,600 \geq 120% I fusible = 1,200 Amps

En 0.2 segundos el múltiplo de tap es 40

$$I_{TC} = 35 \times 6 = 210$$

$$I_L = 210 \times 120 = 25,200 \text{ Amps.}$$

25.200 ~~7~~120% I fusible = 1,500 Amps

La curva que se obtiene se grafica en la figura 6.6 como 26 cumpliendo con todas las condiciones.

3.- Alimentador de la S.E. No. 21

El relevador seleccionado (no. 22 de la figura 6.1) deberá cumplir con:

- a) No debe rebasar el límite NEC OC del cable
- b) ~~Debe~~ ser selectivo con el relevador anterior
- c) No debe ~~rebasarse~~ el límite de calentamiento del cable

Habiendo seleccionado el mismo tipo de relevador que el anterior y estando colocado en la misma línea podemos seleccionar el mismo tap (6), lo que se tendrá que cambiar para dar selectividad en tiempo es el ajuste del disco. Para que la separación entre curvas sea de aproximadamente 0.4 seg. se escoge el Time dial setting marcado con

el número 6 en la figura 6.3.

Esta curva se grafica en la figura 6.6 con el número 22, -
cumpliendo con los incisos a, b, y c.

4.- Bus del tablero de la S.E. No. 2

El relevador seleccionado (No. 18 de la fig. 6.1) debe
rá cumplir con:

- a) Permitir las corrientes críticas en el bus.
- b) Tener selectividad con los alimentadores derivados.
- c) Cumplir con el ajuste máximo permitido por el NEC.

Las corrientes críticas que se consideran son:

I_{c1} = es la corriente que se demanda en el bus cuando arranca el motor mayor del grupo, estando - las otras cargas normales demandando su corriente nominal.

$$I_{c1} = 812.04 + 138.78 + 31.22 + 83.27 + 3(135.34) + 152.66$$

$$I_{c1} = 1,623.99 = 1,624 \text{ Amps en 20 Seg.}$$

I_{c2} = es la corriente que se demanda en el bus cuando se energiza el transformador mayor y las otras cargas demandan su corriente nominal.

$$I_{c2} = 1,110.24 + 135.34 + 31.22 + 83.27 + 3(135.34) + 152.66$$

$$I_{c2} = 1,918.75 \text{ Amps en 0.1 Seg.}$$

Para seleccionar el tap del relevador se considera la suma de las corrientes nominales que llegan al bus.

$$\sum I_n = 135.34 + 138.78 + 31.22 + 83.27 + 3(135.34) + 152.66$$

$$\sum I_n = 947.29 \text{ Amps.}$$

Reflejada por el T.C.

$$947.29 \times \frac{5}{2000} = 2.368$$

Seleccionamos en primera instancia el tap de 2.5.

Una vez seleccionado el valor del tap vemos cual de los ajustes del disco (time dial setting) es el que nos dá selectividad para la coordinación y cumple con todas las condiciones. Seleccionamos, tentativamente, el time dial setting 9.

Verificando que cumple tenemos:

En 35 segundos el múltiplo de tap para nuestra curva es - 1.5.

$$\therefore I_{tc} = 1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 3.75 \times \frac{2000}{5} = 1500 \text{ Amps.}$$

En 5 segundos

$$I_{tc} = 3.2 \times 2.5 = 8 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 8 \times \frac{2000}{5} = 3,200 \text{ Amps.}$$

En 2 segundos

$$I_{tc} = 6.3 \times 2.5 = 15.75 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 15.75 \times \frac{2000}{5} = 6,300 \text{ Amps.}$$

Esta curva se grafica en la figura 6.6 con el número 18 y cumple con todas las condiciones mencionadas en los incisos a, b, y c.

5.- Transformador TR-2A

El relevador seleccionado (No. 12 de la fig. 6.1) debe rá cumplir con:

- a) Permitir la corriente de magnetización (I_{mag}).
- b) No rebasar la corriente que pueda soportar el transformador (Punto ANSI).

c) No rebasar el ajuste máximo permitido por el NEC.

d) Tener selectividad.

Basándonos en la figura 6.2 tenemos que para seleccionar el tap del relevador se considera la suma de las corrientes nominales.

$$\Sigma I_n = 947.29 \text{ Amps en } 4.16 \text{ KV}$$

$$\Sigma I_n = 947.20 \times \frac{4.16}{13.8} = 285.56 \text{ Amps.}$$

Reflejada por el T.C.

$$285.56 \times \frac{5}{600} = 2.38$$

Seleccionamos en primera instancia el tap de 2.5.

Una vez seleccionado el valor del tap verificamos que al aplicarlo en las curvas de la figura 6.2 nos dé una corriente de operación en cualquier tiempo que cumpla con la selectividad del anterior. Encontramos que esto no se cumple para ninguna de las curvas, teniendo que seleccionar el TAP 16. Una vez seleccionado el valor del tap vemos cual de los ajustes del disco (time dial setting) es el que nos dá selectividad para la coordinación y cumpla con las condiciones enumeradas en los incisos a, b, y c, seleccionamos, tentativamente, el time dial setting 8.

Verificando que cumple para todas las condiciones tenemos:

En 11 Segundos

$$\therefore I_{tc} = 1.5 \times 16 = 24 \text{ Amps}$$

$$I_L = 24 \times \frac{600}{5} = 2,880 \text{ Amps.}$$

En 5 segundos

$$\therefore I_{tc} = 2.6 \times 16 = 41.6 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 41.6 \times 120 = 4,992 \text{ Amps.}$$

En 1.1 Segundos

$$\therefore I_{tc} = 50 \times 16 = 800 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 800 \times 120 = 96,000 \text{ Amps.}$$

Esta curva se grafica en la figura 6.6 con el número 12 y cumple con todas las condiciones mencionadas en los incisos a, b, c, y d.

6.- Alimentador de la S.E. No.2

El relevador seleccionado (No. 8 de la fig. 6.1) deberá cumplir con:

- a) No debe rebasar el límite NEC OC del cable.
- b) Debe ser selectivo con el relevador anterior.
- c) No debe rebasarse el límite de calentamiento del cable.

Habiendo seleccionado el mismo tipo de relevador que el anterior y estando colocado en la misma línea, podemos seleccionar el mismo tap (16), lo que se tendrá que cambiar para dar selectividad en tiempo es el ajuste del disco. Para que la separación entre curvas sea de aproximadamente 0.4 segundos se escoge el time dial setting, marcado con el número 10.

Verificando que cumple para todas las condiciones, tenemos:

En 14.5 Segundos

$$\therefore I_{tc} = 1.5 \times 16 = 24 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 24 \times \frac{600}{5} = 2,880 \text{ Amps.}$$

En 5 segundos

$$\therefore I_{tc} = 3.6 \times 16 = 57.6$$

$$I_L = 57.6 \times \frac{600}{5} = 6,912$$

En 1.5 segundos.

$$\therefore I_{tc} = 50 \times 16 = 800 \text{ Amps.}$$

$$I_L = 800 \times 120 = 96,000 \text{ Amps.}$$

Esta curva se grafica en la figura 6.6 con el número 8 y cumple con todas las condiciones mencionadas en los incisos - a, b y c.

C O N C L U S I O N E S

Como puede verse la coordinación de protecciones es algo - relativamente sencillo, aunque muy laboriosa y más aún cuando se trata de sistemas más grandes. Es por ello que ya se han - comenzado a aplicar programas de computadoras para reducir lo tedioso y laborioso de éste tipo de trabajo.

Este trabajo es necesario porque dá máxima continuidad del servicio con mayor protección, aún cuando para sistemas com-- plicados en ocasiones se hace necesario sacrificar algo de - coordinación para máxima protección del sistema.

B I B L I O G R A F I A

- IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std. 242-1975.
- National Electrical Code. 1978. National Fire Protection Association.
- Applied Protective Relaying. Westinghouse Electric Corporation.
- IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. IEEE Std. 141-1976.
- Industrial Power Systems Hand book. Donald Beeman
Mc Graw - Hill Book Company.
- American National Standard Methods for Determining Values of a Sinusoidal Current Wave, Normal - Frequency Recovery Voltage, and a Guide for Calculation of Fault Currents for Application of AC High - Voltage Circuit Breakers Rated on a Total Current Basis. ANSI
C. 37.5 - 1969.