

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICISTA**

P R E S E N T A N:

BOYZO RUIZ JUAN ALBERTO

ROJAS SANCHEZ RENÉ

VALDERRABANO RAMÍREZ JORGE



MÉXICO, D.F. 2008

Agradecimientos

Juan Alberto Boyzo Ruiz

A mi esposa, a mis padres a mis hermanos gracias por sus atenciones durante la carrera. A mis compañeros de la carrera quienes aportaron ideas muy valiosas para la realización de este trabajo.

A los asesores por sus atenciones en la revisión de este trabajo y su aportación académica en la integración de la información de la tesis.

René Rojas Sánchez:

A mis padres que con su esfuerzo y dedicación han sido parte fundamental para la conclusión de mis estudios

A mis compañeros de tesis que siempre hubo esos grandes momentos de compañerismo y aprendizaje durante la realización de este trabajo

A mis profesores de la institución y sobre todo mis asesores de tesis que han puesto gran apoyo y dedicación para la realización de este trabajo

Jorge Valderrábano Ramírez

Al Instituto Politécnico Nacional, a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por el apoyo que me ofrecieron.

A mis padres por el apoyo que me brindaron durante la carrera, a mis hermanos. A toda la familia Valderrábano Ibarra, a la familia Ortega, a la Sra. Donaciana a todos ellos gracias.

Gracias a todos los profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica, en especial al Ingeniero Telésforo Trujillo Sotelo, al Ingeniero Ernesto A. Niño Solís y al M. en C. René Tolentino Eslava.

Gracias a mis compañeros de trabajo, a mis amigos, a los compañeros de clases de la carrera. A todas las personas que de alguna manera me brindaron su apoyo.

Índice

RELACIÓN DE FIGURAS.....	<i>i</i>
RESUMEN.....	<i>iii</i>
INTRODUCCIÓN.....	<i>iv</i>

Capítulo 1

Tipos de Sistemas de Transferencia de Energía Eléctrica	1
1.1 Sistemas Automáticos de Transferencia de Energía Eléctrica	1
1.2 Interruptores de Transferencia (Transfers) Entre Dos Fuentes de Potencial de la Compañía Suministradora	2
1.3 Transferencia con Interruptores de Potencia de Estado Sólido	5
1.4 Arreglo Básico de Sistemas de Transferencia Usando Interruptores de Potencia	6
1.5 Arreglo de Transferencia de Energía en Media Tensión	9
1.6 Arreglos de Sistemas de Transferencia de Energía Eléctrica Para Grupos Electrónico	11
1.6.1 Transferencia Entre una Fuente Normal y Emergencia	12
1.6.2 Transferencia Automática Entre una Fuente Normal y Dos de Emergencia	13
1.7 Normas Nacionales e Internacionales de Aplicación a Interruptores de Transferencia	15

Capítulo 2

Componentes de un Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica	17
2.1 Interruptores de Potencia	17
2.1.1 Interruptores de Potencia en Vacío	18
2.1.2 Interruptores de Potencia en SF ₆	19
2.2 Transformadores de Instrumento	21
2.2.1 Transformadores de Corriente (TC)	21
2.2.2 Transformadores de Potencial (TP)	23

2.3	Relevadores Usados en la Transferencia de Energía Eléctrica	25
2.3.1	Relevador de Baja Tensión (27)	25
2.3.2	Relevador de Frecuencia (81)	27
2.3.3	Relevador de Sincronización (25)	27
2.3.4	Relevadores de Protección (50/51)	28
2.3.5	Relevador de Sobrecorriente Instantánea (50)	29
2.3.6	Relevador de Sobrecorriente con Retardo de Tiempo (51)	30
2.4	Tableros	31
2.5	Barras Conductoras Principales y Derivadas	31
2.6	Equipos de Señalización	33
2.7	Tipos de Cables para la Conexión de los Equipos de Control de la Transferencia	33

Capítulo 3

	Tipos de Carga en una Instalación Eléctrica Industrial	34
3.1	Cargas Resistivas	34
3.1.1	Resistencias	34
3.1.2	Lámparas Incandescentes	34
3.2	Cargas Resistivas-Inductivas y Resistivas –Capacitivas	34
3.2.1	Lámparas Fluorescentes	35
3.2.2	Lámparas de Alta Intensidad de Descarga (AID) Vapor de Mercurio, Sodio y Aditivos Metálicos	35
3.2.3	Curvas de Sensibilidad de Lámparas	36
3.2.4	Motores de Inducción	37
3.2.5	Contactores	42
3.2.6	Capacitores	43
3.3	Cargas Electrónicas	43
3.3.1	Curvas de Operación de la Tolerancia a las Variaciones de Tensión para Cargas Electrónicas	44
3.3.2	Variadores de Frecuencia	46

CAPÍTULO 4

Cálculo y Selección del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica	48
4.1 Pasos para el Cálculo y Selección del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica (STEE)	48
4.2 Desarrollo de los Pasos para Seleccionar un STEE para una Planta Industrial	49
4.2.1 Paso 1. Determinar las Características Eléctricas de la Carga (tolerancia a las interrupciones eléctricas)	49
4.2.2 Paso 2. Identificar las características eléctricas de la planta industrial	55
4.2.3 Paso 3. Seleccionar el Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica	62
4.3 Operación del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica	75
4.4 Estudio Económico del proyecto	77
Conclusiones	83
Bibliografía	84
Anexos	
Anexo - 1 Características de los interruptores de potencia según ANSI C37.06	86
Anexo - 2 Números ANSI	88
Anexo - 3 Curvas de operación de los relevadores de protección	89
Anexo - 4 Coordinación de protecciones del alimentador preferente y emergente	90
Anexo - 5 Diagrama unifilar del sistema de transferencia de estado sólido en media tensión	91

RELACIÓN DE FIGURAS

No. de Figura	Nombre	Pág.
Figura 1.1	Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble.	2
Figura 1.2	Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con dos fuentes de la compañía suministradora y una de emergencia.	3
Figura 1.3	Diagrama eléctrico y tabla estados de una transferencia a transición cerrada.	3
Figura 1.4	Diagrama eléctrico y tabla estados de una transferencia a transición abierta.	4
Figura 1.5	Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con interruptores de estado sólido.	5
Figura 1.6	Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble usando interruptores.	7
Figura 1.7	Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble usando un interruptor de enlace.	8
Figura 1.8	Diagrama unifilar de un sistema de transferencia en media tensión en una instalación industrial.	9
Figura 1.9	Diagrama unifilar de un arreglo básico de sistema de transferencia para grupos electrógenos.	12
Figura 1.10	Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble.	13
Figura 1.11	Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con tres sistemas de alimentación a las cargas.	14
Figura 2.1	Componentes de un interruptor de potencia en vacío.	19
Figura 2.2	Secuencia de operación de un interruptor de SF ₆ .	20
Figura 2.3	Comparación del TC de protección y medición.	22
Figura 2.4	Transformador de corriente (TC).	22
Figura 2.5	Conexión de los transformadores de potencial.	24
Figura 2.6	Diagrama de conexión del relevador de baja tensión (27).	26
Figura 2.7	Esquema eléctrico de la conexión del relevador de frecuencia (81).	27
Figura 2.8	Diagrama general para la conexión del relevador de sincronización.	28
Figura 2.9	Diagrama unifilar básico de conexión de relevador 50, 51, 50N y 51N.	29
Figura 2.10	Curva de operación de un relevador de tiempo inverso.	29
Figura 2.11	Barra de cobre (solera).	32
Figura 3.1	Efectos de las variaciones de tensión de línea (V_L) en la potencia en (W) de las lámparas con balastro.	36

Figura 3.2	Curvas de sensibilidad de diversas lámparas.	36
Figura 3.3	Circuito equivalente del motor de inducción.	38
Figura 3.4	Diagrama fasorial entre la tensión del sistema y la tensión residual en el motor.	40
Figura 3.5	Curvas de la extinción de tensión residual en motores de inducción.	42
Figura 3.6	Curvas de tolerancia a las variaciones de tensión de diversos contactores.	43
Figura 3.7	Curva de operación de la tolerancia de cargas electrónicas.	44
Figura 3.8	Tolerancia a las variaciones de tensión de diversos equipos industriales de acuerdo a la tabla 3.2	46
Figura 3.9	Tolerancia a las variaciones de tensión de diversos variadores de frecuencia.	47
Figura 4.1	Diagrama unifilar de la empresa propuesta	51
Figura 4.2	Grafica de la operación de la transferencia de energía eléctrica.	55
Figura 4.3	Diagrama de impedancia del sistema eléctrico industrial.	59
Figura 4.4	Diagrama de impedancia simplificado del sistema eléctrico industrial.	60
Figura 4.5	Diagrama de impedancias.	60
Figura 4.6	Diagrama de impedancia total.	61
Figura 4.7	Formas de onda de operación del sistema de transferencia de estado sólido.	63
Figura 4.8	Diagrama de un sistema de transferencia con interruptores de estado sólido.	64
Figura 4.9	Diagrama unifilar de conexión de los transformadores de corriente.	65
Figura 4.10	Diagrama de conexión de los transformadores de potencial.	66
Figura 4.11	Diagrama de las protecciones ANSI 50/51 del alimentador preferente y emergente.	71
Figura 4.12	Diagrama del relevador ANSI 27 en los alimentadores preferente y emergente.	73

Resumen

En este trabajo se realizó una metodología para el cálculo y selección de un sistema de transferencia de energía eléctrica en media tensión, tomando en cuenta los tiempos de interrupción de energía eléctrica que las cargas pueden tolerar. Con ayuda de las curvas de susceptibilidad a las interrupciones eléctricas de cargas electrónicas, se determinó el tiempo para la transferencia de energía eléctrica. Además se realizó un estudio económico en donde se obtuvo el costo del sistema de transferencia de energía eléctrica, el tiempo de recuperación de la inversión, así como una comparación del costo de los diferentes sistemas de transferencia.

En base al número de interrupciones que se tienen en la zona periferia se determinaron las pérdidas que la industria tiene por cada interrupción, con el sistema de transferencia el tiempo de interrupciones se reduce de un 95% a 99% los paros de producción debidos a las interrupciones.

La selección se determinó por el tiempo máximo para la transferencia de energía eléctrica, con este dato se procedió a elegir el sistema de transferencia que opere en un tiempo no mayor a 1,199 ciclos (20 ms). Realizando un estudio de corto circuito, se determinó la capacidad interruptiva de los interruptores de potencia encargados de realizar la transferencia de energía eléctrica.

El resultado consta en un sistema de transferencia energía que opera en un tiempo menor a 1,199 ciclos (20 ms). Es un sistema de transferencia con interruptores de estado sólido, que tienen un tiempo de apertura y cierre de $\frac{1}{4}$ de ciclo (4,17 ms) sin carga. En condiciones de operación normal el tiempo de transferencia no rebasa los 1,199 ciclos. De acuerdo a la curva ITIC la transferencia protege las cargas más susceptibles.

El sistema de transferencia seleccionado es de nueva tecnología, cumple con las tareas específicas de conmutación con carga en casos de interrupciones de energía eléctrica. El tiempo de conmutación es de $\frac{1}{4}$ de ciclo en condiciones normales de operación, en condiciones de operación con carga el tiempo de transferencia inicia desde la interrupción hasta que el interruptor de transferencia del lado emergente está en la posición de cerrado. Otro dato importante de este tipo de sistema de transferencia, es que cuenta con un paralelo redundante, para cuando uno de los interruptores de estado sólido sufra algún daño.

Introducción

En los últimos años se ha incrementado el interés por los temas de autoabastecimiento, sistemas de emergencia y confiabilidad en el sistema de alimentación de energía eléctrica en plantas industriales. Para todos estos temas, consiste en tener dos o más fuentes de alimentación y dispositivos con la capacidad de seleccionar una u otra fuente. Para aplicarlos se requiere de equipo especial como Interruptores de Transferencia, Interruptores de Potencia o Interruptores Electrónicos de Potencia, que cuenten con un control para seleccionar la fuente que tenga potencial. Un equipo de Transferencia, debe diseñarse e instalarse para prevenir la conexión inadvertida de las fuentes de alimentación normal y de emergencia, al realizar cualquier manipulación del equipo de Transferencia, estos deben operarse y retenerse mecánicamente.

Algunos empresarios con la finalidad de contar con mayor confiabilidad y obtener una fuente alterna para realizar mantenimientos sin afectar la carga han invertido cuantiosas cantidades de dinero y sin embargo no consideran poner la atención suficiente al Sistema de Transferencia. Al no realizar una selección adecuada del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica afectan considerablemente la carga. Por ejemplo cuando en los hogares se produce una interrupción del suministro eléctrico los usuarios se molestan. Si esto sucede a nivel industrial las consecuencias son mayores, se tienen equipos muy sensibles, especialmente en líneas de procesos automatizados en los cuales la menor interrupción de la fuente de energía eléctrica provoca un daño que se refleja en los equipos, afectando a la producción y traduciendo esto a la económico se enfatiza más.

Dentro de una industria se cuenta con dos alimentadores de energía eléctrica. Ambas corresponden a la compañía suministradora, el alimentador preferente y el emergente respectivamente. En el área de producción se tienen cargas resistivas-inductivas-capacitivas y electrónicas que no toleran una interrupción del suministro eléctrico mayor a 20 ms (1,199 ciclos), de acuerdo de la curva de daño electrónica ITI (CBEMA)¹. Con este planteamiento se aplica una metodología para seleccionar un Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica para una industria considerando los parámetros de la carga instalada en las líneas de producción y sus sistemas de cómputo.

Debido a la importante carga electrónica que se tienen en las líneas de producción como son los controladores lógicos programables (PLC), computadoras personales (PC), variadores de frecuencia, la alimentación eléctrica a estos equipos resulta de vital importancia. Este tipo de cargas exige que no sobrepase un periodo de interrupción de 20 ms (1,199 ciclos), debido a que con una interrupción de mayor a este tiempo se presentan fallas como pérdida de información de las PC, que se desprogramen los controladores de las máquinas y se afecten las líneas de producción. Ante la importancia que esta representa para la empresa, se considera que el tiempo de transferencia no rebase los 20 ms (1,199 ciclos).

¹ ITIC: Información y Consejos Tecnológicos para la Industria.
CBEMA: Asociación de Fabricantes de Equipos de Cómputo.

Objetivo

Calcular y seleccionar un sistema de transferencia de energía eléctrica de acuerdo a la carga instalada en un sistema eléctrico industrial con cargas sensibles.

Justificación

Cada año en la Ciudad de México se tienen alrededor de 6 hrs sin energía eléctrica al año lo que representa un 0,25 falla/año de las cuales algunas pueden durar horas causando pérdidas muy significativas para los empresarios. Una solución para disminuir las interrupciones eléctricas las industrias es la de implementar un sistema de transferencia de energía eléctrica. Actualmente los empresarios optan por contar con doble alimentador que corresponden a la compañía suministradora y la planta de emergencia y, el éxito de la conmutación está en el sistema de transferencia. La dinámica de la situación actual requiere que los equipos usados para hacer la Transferencia de Energía, sean seleccionados tomando en cuenta criterios como el tipo de carga, es muy importante tomar en cuenta la apertura y cierre de los interruptores de potencia para realizar la transferencia de energía eléctrica, las condiciones de operación de la fábrica, es decir, que uso le pretende dar. En términos generales, con la selección de este tipo de transferencia de energía eléctrica se logra una mejora en la operación de las líneas de producción de la industria.

Para estas industrias es importante que puedan seleccionar sus alimentadores cuando lo deseen, sin que afecte la carga, tal como cuando el servicio eléctrico sufre una interrupción, cuando se da mantenimiento a la subestación. Con este estudio se selecciona al equipo de transferencia tomando en cuenta los parámetros de la carga instalada.

Alcance

En este trabajo se presenta una metodología para seleccionar un sistema de transferencia de energía eléctrica, tomando en cuenta el tipo de control que se implementara así como una solución desde el punto de vista de la carga, aplicando este método se obtendrá una mejor integración de los equipos adecuados para una transferencia de energía eléctrica. En los que se refiere al primer capítulo, se describen los diferentes sistemas de transferencia. En el capítulo dos se refiere a los componentes de los sistemas de transferencia, así como los interruptores empleados para la conexión de la carga, además de sus componentes que hacen posible la función del enlace entre la alimentación del suministro eléctrico y la alimentación emergente hacia la carga. Se hace una mención de los tiempos de “apertura y cierre”, de los interruptores de las diferentes marcas que existen en el mercado.

Posteriormente, en el capítulo tres; se procede a realizar un estudio de las cargas lineales y no lineales, implica cargas inductivas, capacitivas y resistivas. En el capítulo cuarto se realiza una selección adecuada del sistema de transferencia de energía eléctrica. Se presenta lo que respecta a la evaluación económica del costo del proyecto, así como las conclusiones

Capítulo 1

Tipos de Sistemas de Transferencia de Energía Eléctrica

1. Sistemas Automáticos de Trasterencia

Un sistema automático de transferencia de energía es un conjunto de elementos que da la posibilidad de alimentar la carga desde dos fuentes diferentes. El primer paso para realizar una trasterencia es la evaluación de la fuente emergente y las condiciones de los equipos para la transferencia. Durante los primeros milisegundos después de una perturbación, el control analiza la fuente emergente para asegurarse que se encuentra en mejores condiciones que la preferente. Al mismo tiempo, se revisan las condiciones de los interruptores de transferencia para asegurarse que estén listos para operar. El segundo paso es transferir la carga de la fuente 1 a la 2 y seguir monitoreando las condiciones de ambas fuentes. Si después de un determinado tiempo se requiere regresar a la fuente 1 se inicia con el primer paso.

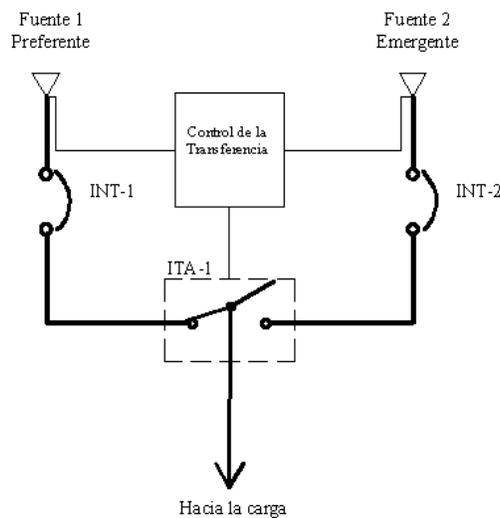
El equipo de transferencia incluyendo interruptores automáticos de transferencia, debe ser automático y manual, estar identificado para uso en emergencia y aprobado. El equipo de transferencia debe diseñarse para prevenir cualquier conexión inadvertida de las fuentes de alimentación normal y de emergencia al realizar cualquier manipulación del equipo de transferencia.

En la mayoría de los casos la fuente para usos generales es la normal (fuente de alimentación eléctrica suministrada por la compañía suministradora) y un sistema motor generador proporciona la fuente de potencial de emergencia. El equipo de transferencia de energía eléctrica supervisa ambas fuentes de alimentación y toda vez que exista una falla, una caída de tensión, un incremento abrupto de la tensión o una disminución de la frecuencia tomará la decisión de trasterferir la carga a una fuente de potencial segura.

En los Sistemas de Trasterencia para los grupos electrógenos (conjunto motor generador) el equipo supervisa la fuente de potencial normal y cuando exista una interrupción arranca el motor del generador. La carga es transferida automáticamente tan pronto como el generador alcance sus valores de frecuencia, y tensión nominal. Cuando se restaura el alimentador normal la carga se vuelve a transferir de la fuente de emergencia al alimentador normal.

1.2 Interruptores de Transferencia (Transfer) Entre Dos Fuentes de Potencial de la Compañía Suministradora

Si se tienen más de dos fuentes de energía eléctrica estas se pueden configurar de tal manera que una sea preferente y que la otra esté en espera de ser utilizada. En este caso se debe considerar que las dos fuentes tengan un origen diferente y que en el punto de utilización se cuente con el equipo de transferencia de energía. En la figura 1.1 se muestra el diagrama unifilar básico de un sistema de transferencia de energía eléctrica entre dos fuentes. La fuente 1 es el suministro eléctrico preferente y la fuente 2 es el suministro eléctrico emergente, como se muestra ambos interruptores están normalmente cerrados. La carga debe tolerar aproximadamente de 3 a 5 ciclos de interrupción mientras que el dispositivo automático de transferencia actúa.



INT-1	Interruptor de la fuente preferente
INT-2	Interruptor de la fuente emergente
ITA-1	Interruptor automático de transferencia

Figura 1.1 Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble.

Si las dos fuentes de energía permiten estar conectadas juntas momentáneamente, el equipo de transferencia de energía debe estar provisto de los controles necesarios para que se pueda realizar la transferencia de energía a transición cerrada. Con transición cerrada requiere que las fuentes estén sincronizadas con el mismo ángulo de fase, secuencia de fase, mismo potencial y frecuencia. Si esto no se toma en cuenta se puede provocar un corto circuito severo produciendo daños al equipo instalado. Los sistemas de transferencia pueden operar en transición cerrada y transición abierta cuyas características se mencionan a continuación.

- **Transición Cerrada:** Es cuando el interruptor de la fuente 1 está cerrado (estado 1) y el interruptor de la fuente 2 pasa de abierto a cerrado (estado 2) para posteriormente abrir el interruptor de la fuente 1 (estado 3). En este instante la carga es alimentada por la fuente 2. Como se muestra en la figura 1.2

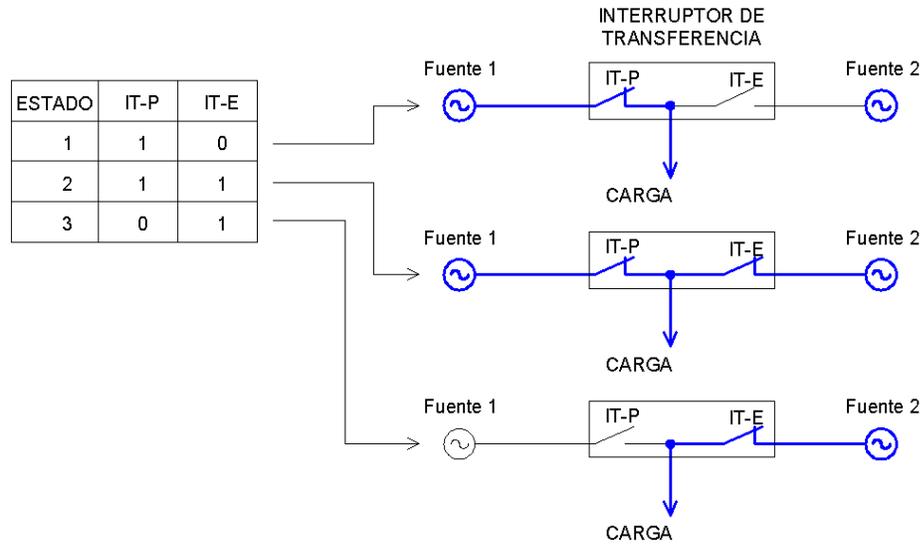


Figura 1.2 Diagrama eléctrico y tabla de estados de una transferencia a transición cerrada.

- **Transición Abierta:** Es cuando el interruptor de la fuente 1 está cerrado (estado 1) y el interruptor de la fuente 1 pasa de cerrado a abierto (estado 2) para posteriormente cerrar el interruptor de la fuente 2 (estado 3). En este instante la carga es alimentada por la fuente 2. Como se muestra en la figura 1.3.

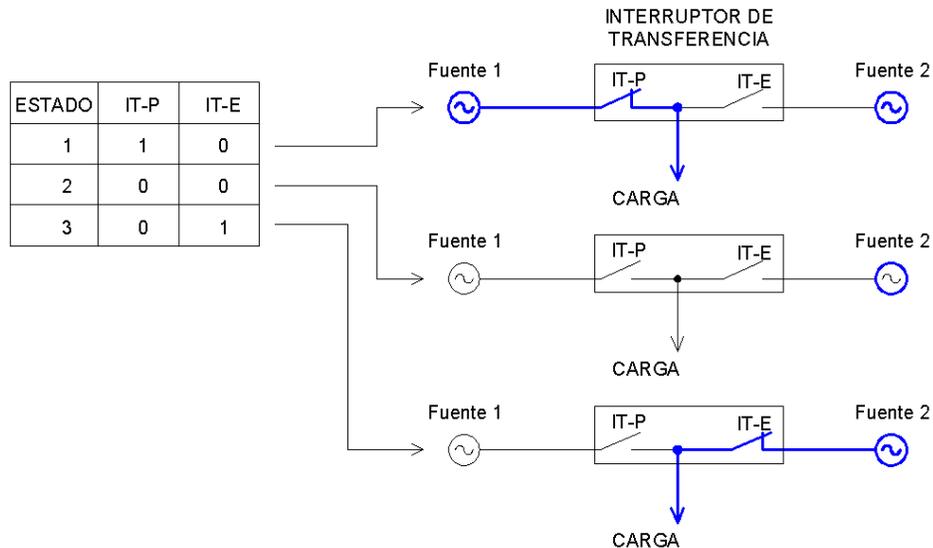


Figura 1.3 Diagrama eléctrico y tabla de estados de una transferencia a transición abierta.

Existen más variantes para estos arreglos lo cual depende el grado de confiabilidad que se quiera para el sistema eléctrico de la planta industrial y de la inversión. Otro arreglo muy común es emplear dos fuentes de suministro de la compañía suministradora y una más que corresponde a una fuente de emergencia. Este arreglo se puede utilizar para el autoabastecimiento o cuando las dos fuentes tienen una falla. La fuente de emergencia en estas condiciones no puede soportar toda la carga del sistema, la solución es insertar interruptores de transferencia dentro del circuito eléctrico de la industria para transferir al generador únicamente las cargas más críticas (cargas 1 y cargas 2) como se muestra en la figura 1.4. El arreglo muestra que el circuito de las cargas críticas (cargas 1) está conectado directamente a la fuente preferente y emergente esto le da una confiabilidad alta al sistema y garantiza la continuidad del suministro a los circuitos de cargas 1 y 2.

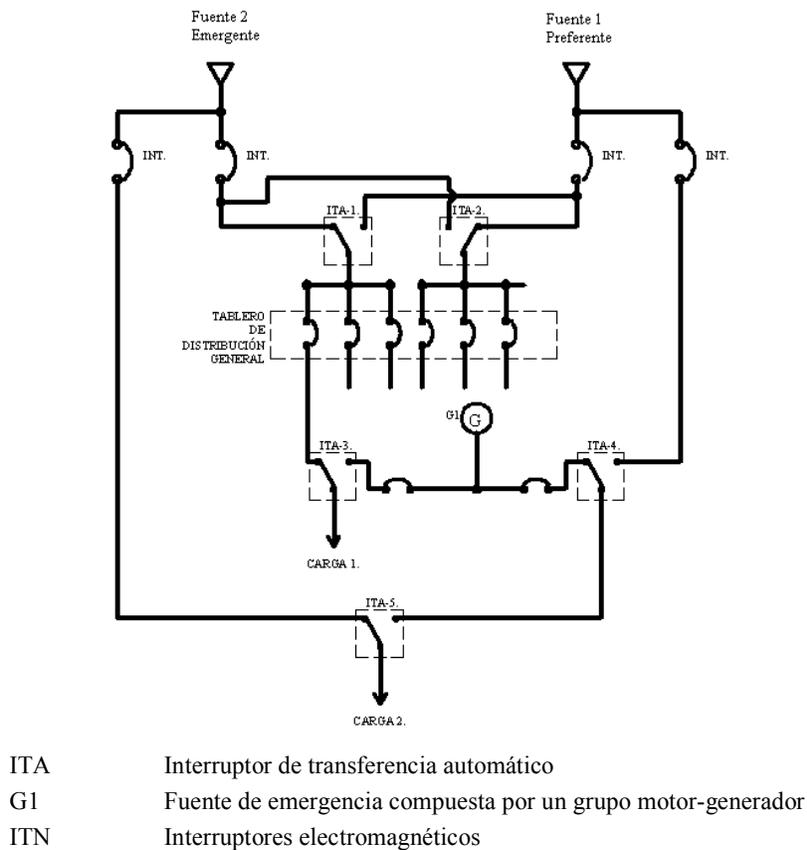


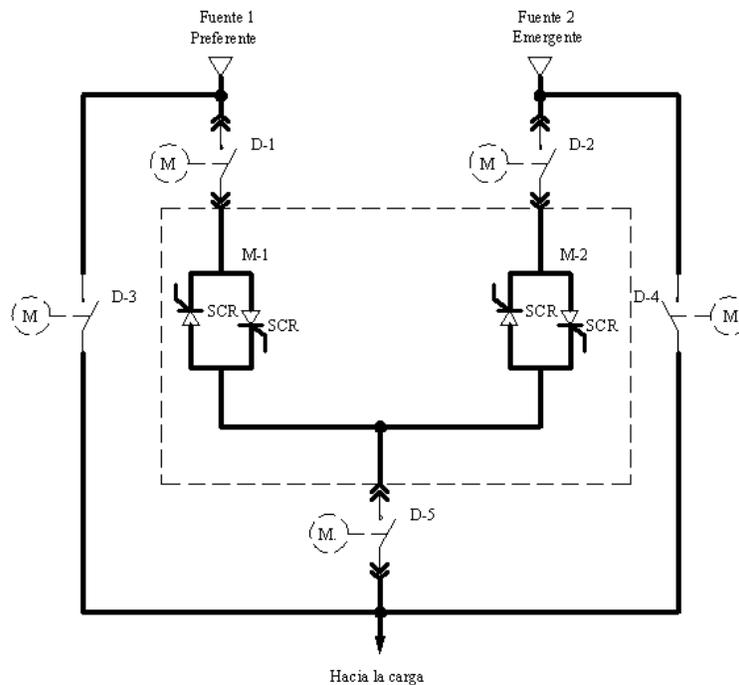
Figura 1.4 Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con dos fuentes de la compañía suministradora y una de emergencia.

En la figura 1.4, se representan los interruptores de transferencia que conectan a los circuitos que alimentan las cargas más críticas del sistema, el control se diseña para que la transferencia sea entre las fuentes preferente a emergente cuando la fuente normal tenga una interrupción. La re-transferencia consiste en regresar del alimentador emergente al preferente. El control contempla el arranque del grupo electrógeno cuando las dos fuentes tengan una falla o cuando se dé mantenimiento a los tableros de distribución general. La secuencia de mantenimiento consiste en usar los interruptores de puente ubicados en las acometidas de los alimentadores preferentes y emergentes

junto con los interruptores de transferencia 5, 3 y 4. De ocurrir una falla en la fuente preferente cuando se efectúen operaciones de mantenimiento el sistema de control transfiere los circuitos de las cargas críticas a la fuente emergente. Si las dos fuentes tienen una interrupción el sistema de control manda una señal para el arranque del grupo motor - generador.

1.3. Transferencia con Interruptores de Potencia de Estado Sólido

Las unidades de los interruptores formados por conmutadores de estado sólido (Rectificadores Controlados de Silicio o SCR) tienen la capacidad de una conmutación de 4,17 ms (1/4 de ciclo). Estos equipos de transferencia están disponibles en baja tensión (600 V) y en media tensión (1 kV – 34,5 kV) con una capacidad de corriente nominal de 1400 A. Usando un equipo de transferencia con estos dispositivos (SCR), le toma aproximadamente 4,17 ms transferir la carga de la fuente preferente a la fuente emergente. A este tipo de transferencia se le conoce como transferencia cerrada de ½ ciclo (8,3 ms). Tiene una aplicación en industrias que tienen cargas que no toleran interrupciones mayores a ½ ciclo.



D1- D2-D3 Interruptores de aislamiento

M1-M2 Módulo de interruptores de estado sólido

D3-D4 Interruptores de puente

SCR Componente principal del interruptor de estado sólido (Rectificador Controlado de Silicio)

Figura 1.5 Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con interruptores de estado sólido.

El sistema de la figura 1.5 se utilizan dos interruptores de potencia de estado sólido para transferir de una fuente de energía que tenga una interrupción a una fuente de energía

que tenga las mejores condiciones. Si la fuente preferente tiene una disminución de la tensión, una sobretensión o se pierde por completo, el control inicia la transferencia. La característica principal de los conmutadores de estado sólido radica en que no tienen contactos mecánicos, lo que los hace actuar muy rápido. El sistema utiliza dos fuentes de energía relativamente independientes que se nombran como fuente 1 preferente y emergente es la fuente 2. En un esquema típico de barra común (figura 1.5), cuando el control de transferencia detecta algún problema en la fuente preferente, el sistema de transferencia de fuente hace la transferencia automática a la fuente emergente automáticamente. Si el servicio es restablecido inicia la re-transferencia con la misma rapidez. Si uno de los SCR tiene un daño, el control de transferencia registra esto y se dispara una alarma indicando que un dispositivo tiene un daño y cambia al dispositivo que esté en condiciones de operación.

El sistema de la figura 1.5, cuenta con tres interruptores de aislamiento (D1- D2 y D5) para aislar el módulo de los SCR cuando se aplique algún mantenimiento. Partiendo de las condiciones normales de operación del sistema de transferencia D1 y D5 se encuentran cerrados. La transferencia es programada y se cierra uno de los interruptores D3 y se abre el contacto del interruptor de estado sólido y se está desconectado al módulo de los SCR junto con los interruptores de aislamiento D1 y D5. La corriente eléctrica que toma la carga ahora circula por D3. En esta transferencia la carga no sufre ninguna interrupción del suministro eléctrico además se asegura la continuidad del servicio en un mantenimiento a una parte del equipo de transferencia.

1.4. Arreglo Básico de Sistemas de Transferencia Usando Interruptores de Potencia

Los interruptores que cuentan con una unidad de disparo son muy flexibles para ser usados en sistemas de transferencia. Los interruptores se usan generalmente donde se tengan fuentes con un potencial mayor a 600 V, son más costosos pero en cuanto al funcionamiento son más seguros. Para tensiones que tengan un valor de 4,16 kV, 13,8 kV, 23 kV o 34,5 kV es conveniente usar interruptores de potencia en vacío.

En la figura 1.6 se muestra un sistema de transferencia con dos interruptores electromagnéticos adecuados para control de la apertura y cierre de los contactos. Se debe prever el control adecuado para que los interruptores R estén cerrados al mismo tiempo cuando la fuente preferente y emergente estén sincronizadas; tensión, frecuencia y secuencia de fases. De ocurrir lo contrario nunca deben ser cerrados al mismo tiempo y para prevenir esto el interruptor tiene unos seguros que pueden ser mecánicos o electrónicos.

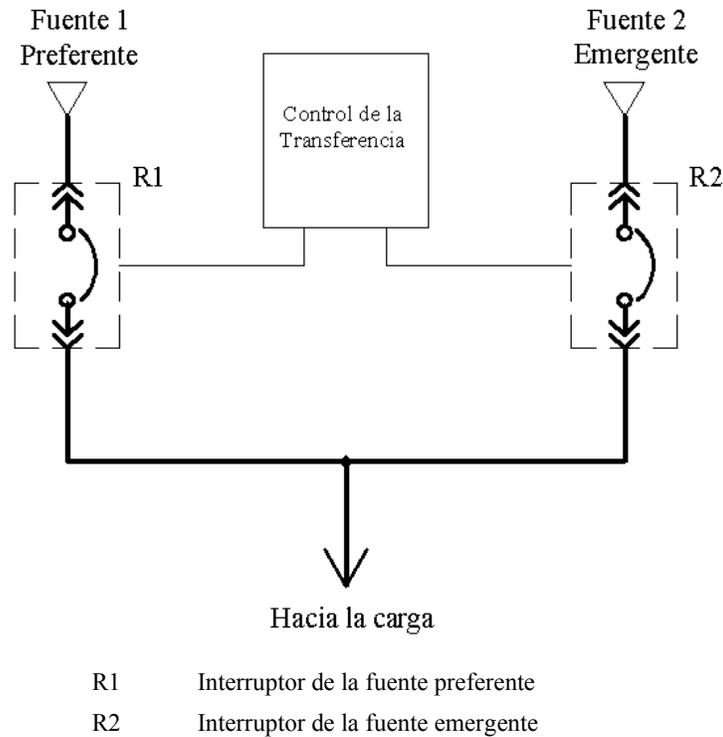


Figura 1.6 Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble usando interruptores.

Este sistema de transferencia consiste en tres interruptores con el control y dispositivos de disparo convenientes. En la figura 1.7 se muestra un arreglo de transferencia usando tres interruptores. Si la carga puede ser conectada en ambas fuentes simultáneamente, los interruptores son cerrados y el interruptor de enlace deberá abrir. Los interruptores tienen un candado de seguridad para garantizar que en ningún instante los tres interruptores estén cerrados. Cuando las dos fuentes de suministro no pueden ser conectadas al mismo tiempo, el control implementado no debe permitir que ambos interruptores R sean cerrados al mismo tiempo. La secuencia es que si uno de los interruptores R se cierra el interruptor de enlace E se abre y así sucesivamente.

Cuando la fuente preferente tiene una falla la transición toma alrededor de 80 ms (4,79 ciclos) en ejecutarse. Por el tiempo que toma la energización de las bobinas de los mandos que gobiernan el control de la transferencia hasta la apertura y cierre de los contactos del interruptor. Si se ha planeado la transferencia, es decir que la compañía suministradora informe al cliente que una de las líneas eléctricas tendrá un mantenimiento, se puede programar para que el equipo haga la transferencia a transición cerrada.

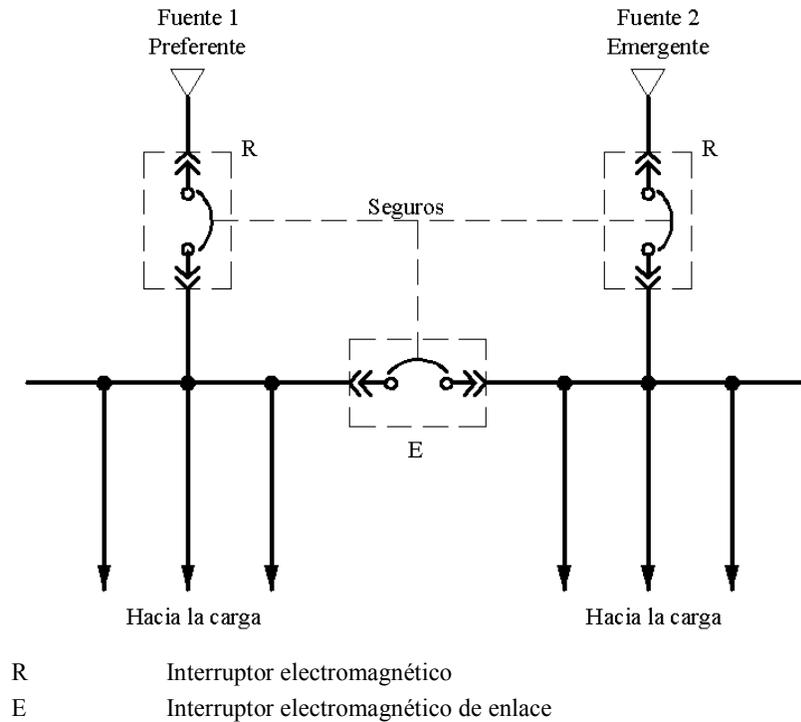


Figura 1.7 Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble usando un interruptor de enlace.

Si se tiene la alimentación eléctrica de la compañía suministradora, y la fuente a la que se transfiere la carga tiene las condiciones para tomar la carga. La transferencia a transición cerrada consta de los siguientes pasos.

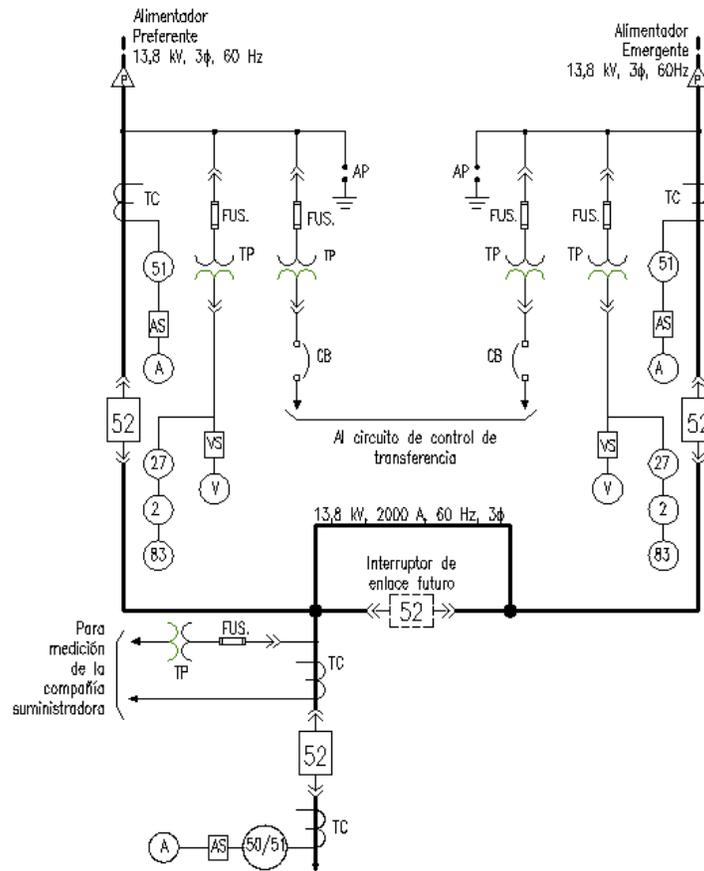
- a) Se llevan al sincronismo ambas fuentes.
- b) Se cierra el interruptor de transferencia, conectando a las dos fuentes simultáneamente.
- c) Se desconecta la alimentación eléctrica de la compañía suministradora.

Cuando se requiere realizar la transferencia de la fuente de emergencia a la fuente normal.

- d) Se llevan a sincronismo ambas fuentes.
- e) Se cierra el interruptor de transferencia, conectando a las dos fuentes simultáneamente.
- f) Se desconecta la alimentación eléctrica de la fuente de emergencia.

1.5 Arreglo de Transferencia de Energía en Media Tensión

La figura 1.8 muestra un sistema típico que suministra energía eléctrica a una instalación industrial. El sistema se diseña para la operación inicial con la alimentación preferente, la segunda alimentación se considera como emergente y se encuentra normalmente abierta. Los alimentadores eléctricos pueden ser de la misma empresa suministradora pero tienen su origen en una subestación diferente.



2	Relvador de teimpo	AS	Conmutador de ampérmetro
27	Relvador de baja tensión	TC	Transformador de corriente
51	Relvador de sobrecorriente	TP	Transformador de potencial
52	Interruptor de potencia	AP	Apartarrayos
83	Relvador de transferencia	P	Acometida
A	Ampérmetro	V	Vóltmetro
VS	Conmutador de voltmetro		

Figura 1.8 Diagrama unifilar de un sistema de transferencia en media tensión en una instalación industrial.

El sistema cuenta con relevadores de protección contra sobrecorriente (51), instrumentos de medición de la corriente (A), medición de tensión (V), apartarrayos en ambas acometidas (AP). La tensión usada para el control de la transferencia se toma de los alimentadores preferente y emergente y es reducida por los transformadores de potencial para su utilización.

Cada una de las fuentes está conectada a un interruptor de potencia (52), el cual se encarga de realizar la transferencia cuando se requiera de acuerdo a las situaciones o requerimientos de la empresa. La secuencia de operación es como se indica en los siguientes puntos:

- 1) Si la tensión en la fuente preferente cae apreciablemente por varios ciclos, esta caída de tensión activará el relevador de baja tensión (27) provocando que se abran los contactos del interruptor de la fuente preferente y así el otro interruptor que lleva la línea emergente cierre sus contactos.
- 2) Cuando la fuente preferente es restablecida el relevador de baja tensión es activado y se inicia un contador de tiempo que normalmente es de 1 min a 10 min. El objetivo es evaluar las condiciones de la fuente emergente y alimentar electricamente la carga. Para esto si las condiciones son adecuadas el interruptor de la fuente preferente se cierra y el de la fuente emergente se abre.
- 3) Si no hay tensión presente en la línea emergente justo cuando la fuente preferente pierde potencial los contactos del interruptor de la línea emergente no se cierran. Cuando la tensión se restaura para la fuente preferente el interruptor de esta fuente se cierra inmediatamente.
- 4) Si un desperfecto o una sobrecarga ocurre en el lado de la carga de cualquier interruptor entrante, un relevador de cierre mantiene ambos interruptores abiertos, inhabilitando el sistema de transferencia automático hasta que se realice el reajuste necesario para que se lleve a cabo la transferencia.

Mientras que las demandas de la energía aumentan, este sistema se puede ampliar insertando un interruptor de enlace en las barras de 13,8 kV. La parte de la carga entonces será suministrada por cada línea de suministro en la transferencia de toda la carga a la línea del alimentador. La incorporación de cargas no críticas se puede despreciar de acuerdo a la necesidad de producción.

La operación para esta condición es como sigue:

- a) Una disminución o caída de tensión apreciable en cualquiera de los alimentadores hará una transferencia normalmente a transición cerrada. Cuando la tensión efectiva regresa, este alimentador tardará aproximadamente de 1 min a 10 min para sincronizarse con la otra fuente y así el interruptor entrará cuando el otro interruptor se abra.
- b) Una pérdida simultánea de tensión en ambas líneas de suministro provoca que los interruptores normalmente cerrados se abran y el interruptor de enlace que se encuentra abierto se cierre. Cuando la tensión normal se restablece en el segundo alimentador el interruptor se cierra en un cierto tiempo y el interruptor de enlace se abre.
- c) La corriente de falla o la corriente de la sobrecarga que provoca que cualquier alimentador se desconecte mediante el disyuntor, tiene la característica de que el sistema de transferencia automático del circuito de enlace se mantenga cerrado hasta que se reajuste manualmente.

Si la empresa de servicio público necesita tomar una línea eléctrica para darle mantenimiento, está notifica al cliente, quien cierra manualmente el disyuntor de enlace y abre la línea que se afectará. El arreglo mostrado en la figura 1.6 proporciona solamente la protección contra la falla de la fuente de suministro. Para proporcionar la protección contra la interrupción de la energía dentro de las áreas del edificio, es deseable localizar los interruptores automáticos adicionales de la transferencia del lado de baja tensión de los transformadores o cerca de la carga.

Por otro lado, cuando se tienen dos alimentadores eléctricos por parte de la compañía suministradora la transferencia se puede hacer a transición cerrada, cuando es planeada. Pero si el alimentador preferente sufre una interrupción, la transferencia está directamente en función del tiempo de apertura y cierre de los interruptores de transferencia o interruptores de potencia. El tiempo de transferencia estimado es de 83 ms (5 ciclos). Si la fuente preferente tiene una interrupción que no ha sido programada y la fuente de emergencia es un generador, el tiempo que transcurre desde que el motor arranca hasta que el generador está en condiciones de alimentar la carga es de 10 s para el mejor de los casos. Por lo que la transferencia de energía se considera como abierta por el tiempo de arranque del grupo electrógeno.

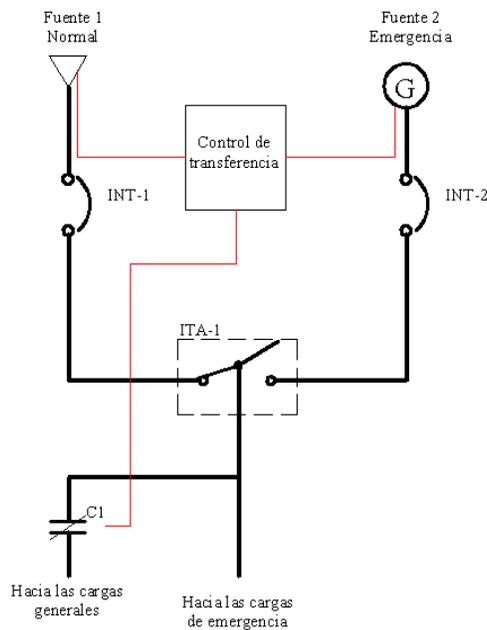
1.6. Arreglos de Sistemas de Transferencia de Energía Eléctrica para Grupos Electrógenos

El equipo de transferencia que se usa para sistemas de emergencia donde la fuente es un grupo electrógeno, debe proveerse con los medios necesarios para el arranque

automático del motor en una falla en el servicio normal para la transferencia y operación automática de todos los circuitos eléctricos requeridos. Debe proveerse un dispositivo con ajuste mínimo de tiempo de 15 min para impedir la re-transferencia en caso de restablecimiento de la fuente normal.

1.6.1 Transferencia entre una Fuente Normal y una de Emergencia

Cuando se tiene un circuito de transferencia simple como el mostrado en la figura 1.9, la transferencia requiere de un control simple, se puede programar para el autoabastecimiento para que el control de la transferencia arranque el motor, únicamente en horarios punta o cuando se tenga una falla de la fuente de suministro normal. De acuerdo al horario punta el grupo motor-generador se arranca con una anticipación en promedio de 10 min, el interruptor de transferencia se cierra (ITA-1) y la fuente de emergencia queda conectada en paralelo con la fuente normal. El siguiente paso es que el ITA-1 se abra del lado de la fuente normal. En la figura 1.9 se observa un contactor conectado a las cargas generales, este se abre cuando la fuente de emergencia no soporta la carga. Una vez pasado el horario punta el grupo motor-generador es desenergizado y el circuito regresa a las condiciones normales.

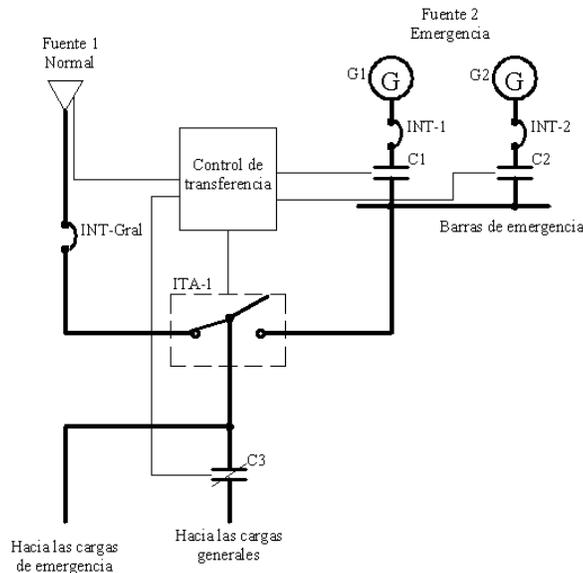


INT-1	Interruptor de la fuente preferente
INT-2	Interruptor de la fuente emergente
ITA-1	Interruptor de transferencia
C1	Contactor normalmente cerrado

Figura 1.9 Diagrama unifilar de un arreglo básico de sistema de transferencia para grupos electrógenos.

1.6.2 Transferencia Automática entre una Fuente Normal y Dos de Emergencia

Si se cuenta con varias unidades de generación, el equipo de transferencia cuenta con los controles suficientes para los arranques sincronizados automáticos o para que entren en operación alternadamente con un determinado retraso de tiempo. La ventaja de tener un arreglo de este tipo es que pueden incorporarse más unidades en función del crecimiento de la carga eléctrica. Un arreglo tipo de un sistema de transferencia eléctrica que involucra a dos fuentes de emergencia y a una fuente proporcionada por la compañía suministradora se muestra en la figura 1.10.



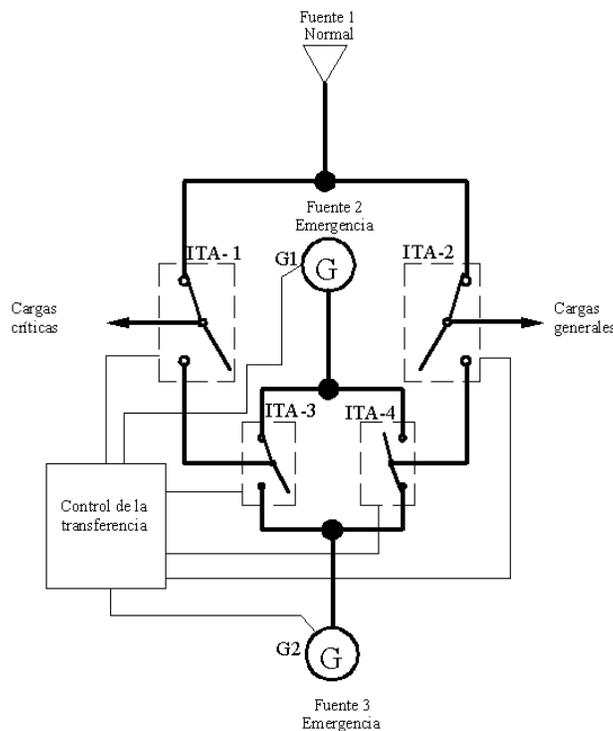
ITA	Interruptor de transferencia automático	INT-2	Interruptor de protección del G
C1,C2	Contactores normalmente abiertos	G1	Generador de corriente alterna 1
C3	Contactador normalmente cerrado	G2	Generador de corriente alterna 2
INT-1	Interruptor de protección del G1		

Figura 1.10 Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble.

Este sistema de transferencia de energía si la fuente proporcionada por la compañía suministradora tiene una interrupción ambos motores de los generadores (G1 y G2) arrancan automáticamente, después de que el generador uno (G1) alcanza la tensión de operación y frecuencia del sistema el contactor (C1) pasa del estado abierto al cerrado. Cuando el generador dos (G2) está listo para ser sincronizado se cierra el contactor (C2) y se está conectando automáticamente en paralelo al generador G1 con el generador (G2). El paso que sigue es que el interruptor de transferencia se cierre para que la carga quede conectada eléctricamente a los generadores, si uno de los generadores presenta algún problema al estar conectado a la carga y sale de operación el contactor C3 se abrirá para desconectar la carga. Con esto se asegura que la máquina que está en funcionamiento no sufra ningún daño por sobrecarga, además de garantizar la continuidad de la energía eléctrica en el circuito de la carga 1.

Cuando la fuente de la compañía suministradora es restablecida, toda la carga es retransferida a su conexión normal y los equipos de generación son desenergizados después de asegurarse que la fuente normal está en buenas condiciones de servicio. El control de todos los equipos de conmutación es gobernado por el sistema de transferencia de energía. Los interruptores INT-1 y INT-2 son para la protección del generador en caso de que se presente una falla de corto circuito. Se considera que estas protecciones deben estar coordinadas con los demás equipos de protección de la red eléctrica de la industria.

La figura 1.11, muestra un arreglo en donde se tienen tres fuentes de potencial, una corresponde al suministro normal y las dos restantes son fuentes de emergencia. Este arreglo es similar al anterior sólo que aquí las tres fuentes tienen como prioridad principal el suministro eléctrico al circuito de las cargas más críticas y como prioridad secundaria al circuito de las cargas no tan críticas. Es un arreglo en donde se tienen conectadas en las partes laterales las cargas más críticas, y las cargas generales a través de los interruptores de transferencia ITA-1 e ITA-2, respectivamente. Si la fuente normal sufre una interrupción ambos generadores arrancan (G1 y G2) y se conecta al circuito de las cargas más críticas el que tenga en primer lugar las mejores condiciones de tensión y frecuencia. La segunda fuente de emergencia toma la carga del circuito de cargas generales.



ITA Interruptor automático de transferencia
G1, G2 Fuente de emergencia compuesta por un generador de corriente alterna

Figura 1.11 Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con tres sistemas de alimentación a las cargas.

Para este arreglo se tiene la condición de tener energizadas las cargas críticas en todo momento. Si la fuente que alimenta a la carga 1 falla el ITA-3 conmutará para que la fuente 1 sea energizada por la fuente de emergencia 2. Si el suministro de energía es restablecido los interruptores de transferencia regresan a sus condiciones normales y los grupos electrógenos son desenergizados.

1.7 Normas Nacionales e Internacionales de Aplicación a Interruptores de Transferencia

En la selección de los interruptores de transferencia debe tenerse atención en la corriente nominal de operación, capacidad máxima de interrupción (capacidad interruptiva), tiempos de apertura y cierre bajo condiciones de operación a la corriente nominal. Estas características son importantes porque se debe proteger al equipo contra fallas de corto circuito y para hacer la coordinación adecuada, es uno de los aspectos más importantes mantener la integridad y confiabilidad necesarias de la operación de la red eléctrica y estos parámetros están normalizados por las siguientes normas internacionales:

- ANSI C37. 16-1988 Requerimientos y recomendaciones relacionados para las aplicaciones en interruptores de circuitos eléctricos en baja tensión de corriente alterna.
- IEEE Std. C37.90.1989 Normas para relevadores asociadas con equipos eléctricos de potencia.
- ANSI/NFPA 110-1993 Sistemas eléctricos de emergencia.
- CSA C22.2/No.178-1987 (Soluciones de Informática y de Tecnología). Interruptores de transferencia automáticos.

Otros tipos de normas que pueden ser consultadas como referencias son las que se muestran a continuación:

- NFPA 70-1996. Código Nacional Eléctrico.
- IEEE Std 241-1990. Prácticas recomendadas para sistemas eléctricos en edificios comerciales.

La Norma Oficial Mexicana,- NOM – 001 – SEDE - 2005, en el capítulo 7 artículo 700-6 Equipo de Transferencia, dice: [5]

- a) El equipo de transferencia incluyendo los desconectores automáticos de transferencia debe ser automático, estar identificado para uso en emergencia y aprobado. El equipo de transferencia debe de diseñarse e instalarse para prevenir

la conexión inadvertida de las fuentes de alimentación normal y de emergencia al realizar cualquier manipulación del equipo de transferencia.

- b) Se permite el uso de medios para conectar en derivación y aislar físicamente el equipo de transferencia. Cuando se utilicen desconectores de aislamiento para hacer las derivaciones, debe evitarse el funcionamiento inadvertido en paralelo.
- c) Los desconectores de transferencia automática deben operarse eléctricamente y retenerse mecánicamente.
- d) El equipo de transferencia debe alimentar sólo a cargas de emergencia.

Las normas para la protección de interruptores de transferencia pueden variar en cuanto al uso. La NEC se limita a los requerimientos de equipo de transferencia para un sistema de emergencia.

En el capítulo siguiente se trata de los equipos usados para realizar la transferencia de energía eléctrica como son relevadores, interruptores, transformadores de corriente y de potencial, así como equipos auxiliares, buses, tableros. Se mencionan los ajustes de los parámetros para los relevadores de pérdida de potencia (ANSI 27), de protección contra sobrecorriente instantánea (ANSI 50) y con retardo de tiempo (ANSI 51).

Capítulo 2

Componentes de un Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica

2.1 Interruptores de Potencia

El interruptor es un aparato destinado a establecer o cortar la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga y está construido de tal manera que esta continuidad pueda ser mantenida después de cada maniobra de cierre o apertura. Tiene por objetivo insertar en un sistema eléctrico o retirar de él máquinas, aparatos o líneas cuando se produce una sobrecorriente, al iniciarse la interrupción de la corriente se forma un arco eléctrico entre los dos contactos que se separan cuya extinción tiene lugar en un tiempo reducido que depende de la construcción y clase del interruptor.

El interruptor está diseñado para extinguir el arco al alargarlo y enfriarlo. El hecho de que la corriente de arco eléctrico de alterna pase naturalmente por cero dos veces durante un ciclo ayuda al proceso de extinción del arco. La energía que se desarrolla durante el proceso de interrupción puede calcularse por la ecuación.

$$P_r = \sum^{t_a} eit_a \quad 2.1$$

Donde:

P_r = Energía que se desarrolla durante el proceso de interrupción del circuito (W.s).

t_a = Tiempo de duración del arco (s).

e = Tensión eléctrica del arco (V).

i = Corriente que circula por el interruptor en (A).

Por otra parte, la duración del arco t_a (ec. 2.2) depende del tiempo t_0 , que comprende desde que se inicia la apertura de los contactos hasta el primer paso de la corriente por cero y además del número (n) sucesivo de recierres que se producen en cada semiperiodo.

$$t_a = t_0 + nt \quad 2.2$$

Donde:

t_0 = Tiempo de inicio de la apertura de contactos del interruptor.

n = Número sucesivo de recierres que produce cada semiperiodo.

Otra cuestión importante que se presenta en la interrupción de la corriente es la sobretensión originada que se calcula con la siguiente ecuación.

$$E = I \sqrt{\frac{L}{C}} \quad 2.3$$

En donde:

E = Valor de la tensión máxima alcanzada (V).

I = Intensidad de corriente que circula en el momento de la interrupción (A).

L = Coeficiente de Autoinducción del circuito (H).

C = Coeficiente de capacitancia del circuito (μ F).

Para la selección se debe tomar en cuenta la corriente que fluye por las barras principales, la corriente asimétrica (suma de una corriente alterna simétrica y una componente de C.C.) para el cálculo de la capacidad interruptiva de los contactos. La capacidad interruptiva representa la máxima corriente de corto circuito que puede fluir a través de los contactos de un interruptor; es decir, la corriente máxima a la que puede abrir. Para la capacidad interruptiva se usa la ecuación 2.4, en donde la obtención de la reactancia subtransitoria requiere de realizar un estudio de corto circuito o si se tiene, revisar estos valores para dicho sistema.

$$I_{CC-ASIMETRICA} = \frac{kVA_{BASE}}{\sum Z''d} \quad 2.4$$

Donde:

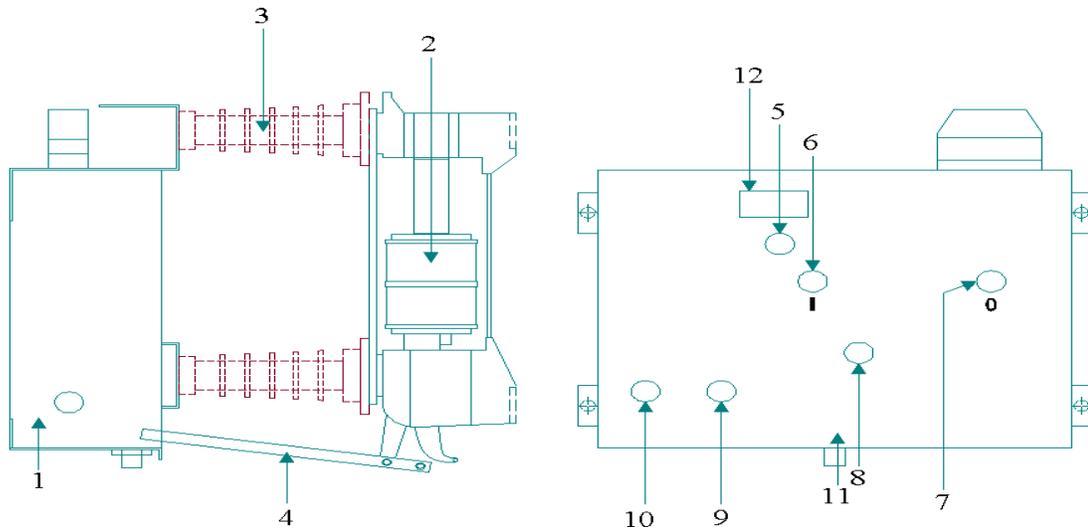
kVA_{base} = Potencia base de corto circuito (kVA)

$Z''d$ = Impedancia sub transitoria de medio ciclo (Ω).

En el ANEXO A-1 se pueden relacionar las capacidades nominales de los interruptores de potencia que se especifican de acuerdo con las normas ANSI C.36.06-2000 (AC HV Circuit Breaker Prefer Ratings; Parámetros de interruptores de potencia en media tensión) y las recomendaciones de IEEE, estas se clasifican tomando en cuenta el tipo de interruptor, tensión, corriente y capacidad interruptiva.

2.1.1 Interruptores de Potencia en Vacío

Estos interruptores utilizan botellas al vacío, las cuales alojan en su interior los contactos para interrumpir las corrientes normales de la carga o de corto circuito demandadas durante la condición de apertura. En la figura 2.1 se muestra este tipo de interruptores.



- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Caja de accionamiento | 7. Pulsador de desconexión (apertura) |
| 2. Botellas al vacío | 8. Indicador de Posición |
| 3. Aislador de apoyo de resina colada | 9. Indicador del estado del resorte |
| 4. Barra de maniobra | 10. Contador de maniobras |
| 5. Troquel para manivela | 11. Tapa |
| 6. Pulsador de conexión (cierre) | 12. Placa de características |

Figura 2.1 Componentes de un interruptor de potencia en vacío.

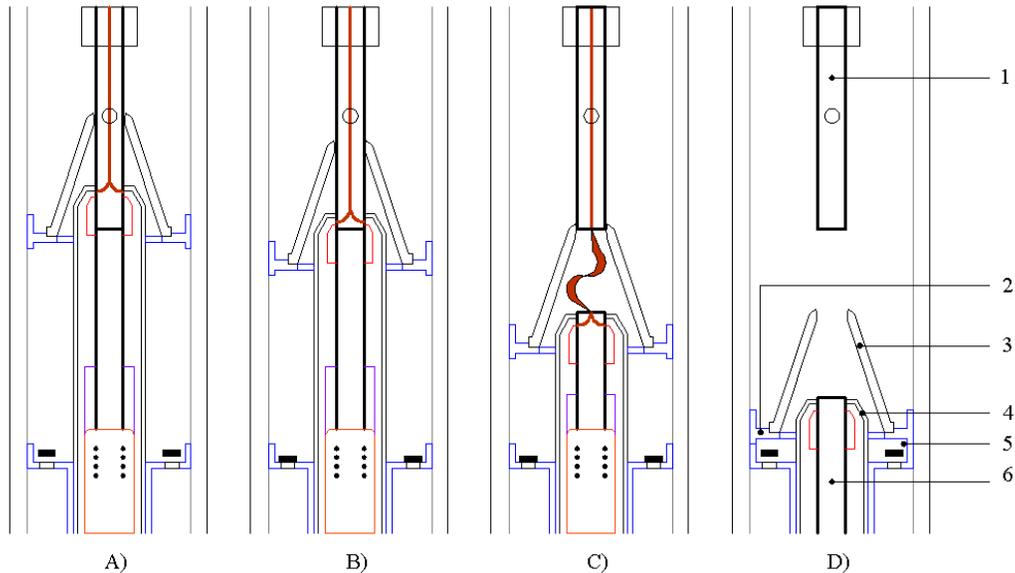
Estos interruptores pueden ser de operación manual o automática. Cuando los contactos con tensión se separan en el vacío los electrodos metálicos empiezan a evaporarse y el vapor metálico proporciona un medio conductor para la formación del arco. Dado que los electrodos tienen forma de espiral, se induce un campo magnético en el que gira el arco. El arco se extingue cuando el vapor metálico se vuelve a condensar en los electrodos y paredes de la cámara del interruptor. Las principales características de los interruptores de potencia en vacío son las siguientes:

- Vida eléctrica útil mayor respecto a los de gran volumen de aceite.
- Alta capacidad de carga.
- Los tiempos de operación son de 83 ms y en general la corriente se anula en el primer cruce por cero.
- Intervalos de mantenimiento más prolongados.
- Más ligeros y pequeños respecto a los interruptores sumergidos en aceite.

2.1.2 Interruptores de Potencia en Hexafluoruro de Azufre (SF₆).

Son equipos que están basados en las propiedades que tiene el gas SF₆ para extinguir un arco eléctrico. El SF₆ es un gas inerte con excelentes propiedades aislantes, incluso a una presión baja (0,5 MPa). Esta presión es crucial, ya que el SF₆ se licuaría con altas presiones y no podría interactuar con el arco. Generalmente están contruidos con tres

recipientes llenos de SF₆, los cuales tienen en su interior un juego de contactos de conducción y un juego de contactos de arqueo, dentro de un cono o tobera, como se observa en la figura 2.2. El contacto móvil está conectado a una boquilla y un cilindro que constituye el pistón que comprime el gas SF₆ cuando se mueve el contacto. Este dispositivo combina varias ventajas, como el bajo mantenimiento, la limpieza de funcionamiento y la falta de compresión externa y de ruido de escape.



- | | |
|----------------------------|---|
| 1) Contacto de arqueo fijo | 4) Contacto principal móvil con juntas de presión |
| 2) Pistón móvil | 5) Cámara de presión |
| 3) Tobera aislante | 6) Contacto de arqueo móvil |

Figura 2.2 Secuencia de operación de un interruptor de SF₆.

La secuencia de operación de los interruptores de potencia en hexafluoruro de azufre (SF₆) es la siguiente:

- A. Posición cerrada, flujo de corriente por los contactos principales y los contactos de arqueo, pueden indicarse de esta forma (figura 2.2.A).
- B. Secuencia de apertura, el pistón móvil comprime ligeramente el gas SF₆ en la cámara de presión.
- C. El arco se forma, entre los contactos de arqueo y el pistón móvil continúa su movimiento. El gas SF₆ sale de la cámara de presión el cual se dirige por la tobera aislante e es inyectado en el arco.
- D. Arco próximo a la corriente cero afectado por el flujo forzado de gas. Los contactos quedan completamente abiertos.

Los recipientes están montados en un bastidor de acero en donde va montado un mecanismo de resortes (para almacenar energía) y una serie de levas y palancas que

operan de manera simultanea a los contactos internos de las botellas produciendo la apertura y cierre de los polos al mismo tiempo y a gran velocidad. Los interruptores de potencia en SF₆, se fabrican para tensiones de 11 kV y tensiones tan altas como 230 kV y corrientes desde 400 A hasta 3150 A estos interruptores operan en forma muy adecuada a tensiones de 23 kV teniendo una buena aplicación en la industria.

2.2 Transformadores de Instrumento

Para el control y protección de los sistemas eléctricos es necesario disponer de información de su estado, es decir el valor de la tensión y de la corriente. Estas magnitudes se utilizan en relevadores, aparatos de medición, contadores, etc., que normalmente están montados en paneles o consolas y frentes de los tableros. Los transformadores deben tener un nivel de aislamiento compatible con la tensión del sistema. En función de su utilización se clasifican en:

- Transformadores de corriente (TC)
- Transformadores de potencial (TP)

Las principales características a considerar en la elección de un transformador de medida son: dimensionamiento del aislamiento para la tensión de utilización y la ubicación, precisión en la reproducción de la magnitud primaria calentamiento del equipo y capacidad de las sobrecargas. De la correcta definición de estos parámetros dependerá el funcionamiento de los equipos de protección en momentos críticos.

2.2.1 Transformadores de Corriente (TC)

Son transformadores de medida en los cuales la corriente del secundario es en condiciones normales de uso, prácticamente proporcional a la intensidad primaria, desfasada con relación a la misma en un ángulo próximo a cero. Son muy parecidos a un transformador de potencial monofásico, aunque presentan ciertas diferencias fundamentales, principalmente en su forma de conexión en el circuito eléctrico.

La primera clasificación que se puede establecer para los TC es según se utilicen para la protección o para la medición. Estos últimos deben mantener su exactitud hasta el nivel de corrientes próximo al nominal, y es conveniente que se saturen rápidamente cuando esta se sobrepase, con objeto de proteger los objetos de medición. Por tanto no deben utilizarse TC de medición para protección ya que en caso de una falla la información que suministrarían no sería correcta. La diferencia entre los transformadores de corriente de medida o protección es el comportamiento de la sobrecarga que se puede producir en el primario, los que se aplican para medida a partir de una sobrecarga se saturan para no dañar al equipo del secundario. En protección no se saturan hasta que circula por el circuito que se desea proteger una corriente elevada.

En la figura 2.3 se muestran las gráficas de comparación del TC para medida y protección, las gráficas muestran un transformador de protección de clase 5P5 indica que no se satura hasta que pase por el primario 5 veces la corriente nominal. Para los transformadores de medición el parámetro de factor de seguridad (FS) indica el número de veces de corriente primaria que el transformador es capaz de transferir a los equipos de medida.

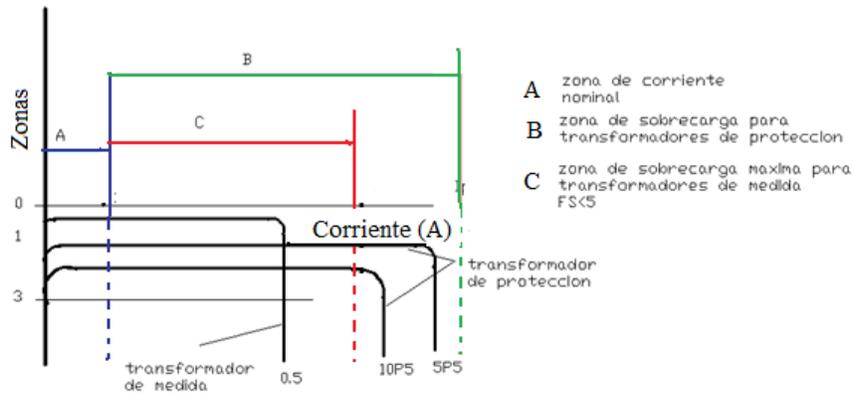
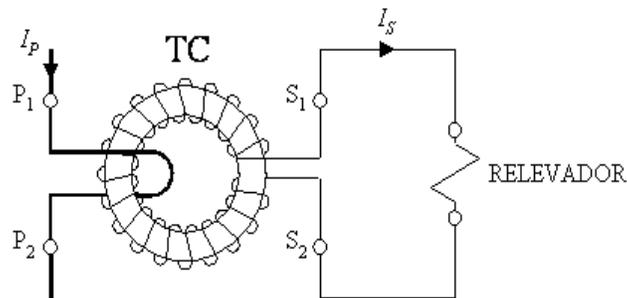


Figura 2.3 Comparación del TC de protección y medición.

Por norma se establece que la corriente en el secundario debe ser igual o menor a 5 A, en casos especiales se permite tener un secundario de 1 A. En la aplicación adecuada de los transformadores de corriente para protección se deben considerar varios requerimientos tales como:

- Relación de transformación.
- Clase de exactitud.
- Condiciones de servicio.
- Clase y nivel de aislamiento.
- Capacidad térmica continua.
- Corriente térmica de corto circuito.
- Corriente dinámica de corto circuito y construcción mecánica.

En nuestro país la norma nacional “NOM-J-109 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE”, suministran la información de los requisitos mínimos que deben cumplir los fabricantes para los requerimientos anteriores. Los TC se conectan con su devanado primario en serie con el circuito que se quiere proteger como se muestra en la figura 2.4 y el devanado secundario al circuito de la carga en este caso el dispositivo protector.



I_p : Corriente del primario (A) P_1, P_2 : Terminales del devanado primario del TC
 I_s : Corriente del secundario (A) S_1, S_2 : Terminales del devanado secundario del TC

Figura 2.4 Transformador de corriente (TC).

La exactitud se designa con un número y corresponde en porcentaje y ángulo de defasamiento al error máximo de relación admisible de la corriente, para los relevadores se usan TC como límite máximo $\pm 5\%$ de error de relación y 5° de defasamiento de la corriente. Cuando se trata de transformadores para protección se utiliza un número y la letra P; por ejemplo, 5P y 10P. La letra P indica la finalidad del transformador y el número corresponde al error máximo compuesto para la intensidad límite de protección y la carga nominal.

Para la adecuada selección de un TC de protección, se deben tomar en cuenta las siguientes ecuaciones:

Para obtener la relación de transformación (RTC) se tiene la siguiente ecuación.

$$I_{PRIMARIO} = I_n * 1,5 \quad 2.5$$

El resultado es en amperes.

Donde:

I_n : Corriente nominal (A)

Tabla 2.1 Características técnicas de los transformadores de corriente.

Niveles de aislamiento (kV)	Tensión nominal del sistema (kV)	Relación de transformación típicas	Precisión		NBA* (kV)
			Para medición	Para protección	
0,5	0,440	Desde 5/5 Hasta 3000/5	0,5-BO.1 0,5-BO.2	C-10 C-20	110
5	4,18	10/5, 20/5, 30/5, 50/5, 100/5, 150/5, 300/5, 400/5, 600/5	0,3-B0,1 0,3-B0,2 0,3-B0,5 0,3-B1,0	C-10 C-20	60
15	13,8	10/5, 20/5, 30/5, 50/5, 100/5, 150/5, 300/5, 400/5, 600/5	0,3-B0,1 0,3-B0,2 0,3-B0,5 0,3-B1,0 0,3-B2,0	C-20 C-20 C-50 C-100 C-200	95
25	23	10/5, 20/5, 30/5, 50/5, 100/5, 150/5, 300/5, 400/5, 600/5	0,3-B0,1 0,3-B0,2 0,3-B0,5 0,3-B1,0 0,3-B2,0	C-100 C-200	125
35	34,5	10/5, 20/5, 30/5, 50/5, 100/5, 150/5, 300/5, 400/5	0,3-B0,1 0,3-B0,2 0,3-B0,5 0,3-B1,0 0,3-B2,0	C-100 C-200	150

*NBA : Nivel Básico de Aislamiento.

2.2.2 Transformadores de potencial (TP)

El TP es un transformador con devanados especiales: el primario para alta tensión (H) y el secundario para baja tensión (X). Estos transformadores a diferencia de los de corriente, están conectados en paralelo en los puntos en que se quiere medir la diferencia de potencial. Este transformador tiene una potencia nominal baja y su único propósito es suministrar una muestra de la tensión de la red eléctrica que monitorea.

Debido a que la principal función es tomar muestras de la tensión, debe ser exacto para no distorsionar el valor del potencial. Se pueden comprar transformadores de varios niveles de exactitud, dependiendo de que tan exactas deban ser las medidas para determinada aplicación.

La conexión usual de los transformadores de tensión es entre fase y tierra, para algunas aplicaciones se utilizan 2 transformadores conectados entre fase (con conexión en V o delta abierta), como se muestra en la figura 2.5. Este último tipo de arreglo se utiliza principalmente para equipos de media tensión pero no para propósitos de protección, al no permitir la obtención de las tensiones simples que son necesarias para muchos propósitos de protección. Otra ventaja de la conexión fase-tierra en los sistemas de neutro aislado o puesto a tierra a través de un elemento limitador, es que los efectos de una avería en el devanado primario del propio transformador son mucho menos dañinos para el resto de la instalación cuando el primario está conectado fase-tierra que cuando está entre fases.

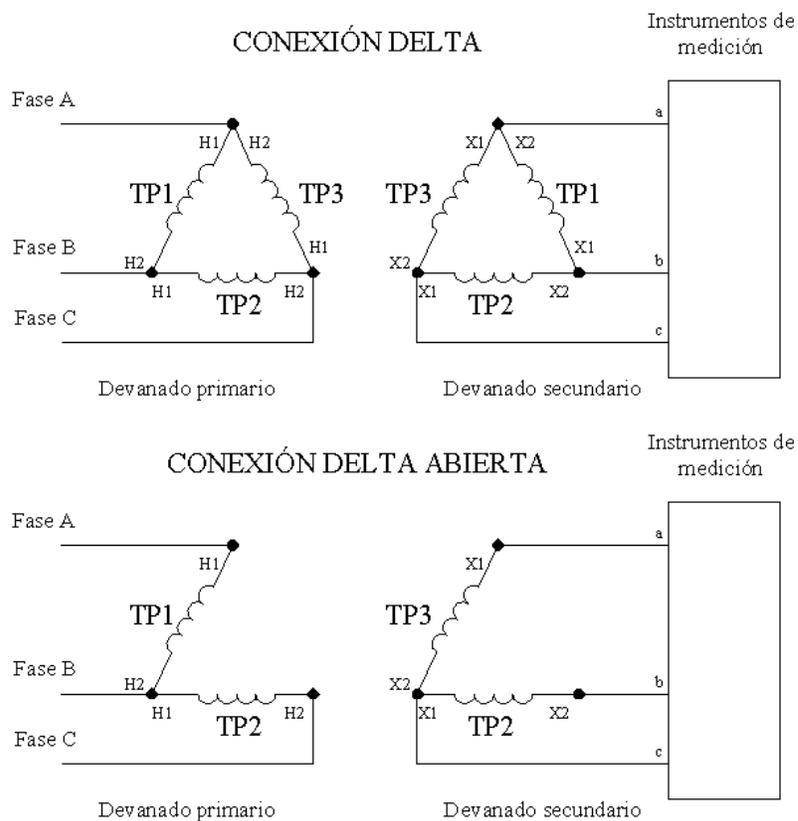


Figura 2.5 Conexión de los transformadores de potencial.

La precisión en los transformadores electromagnéticos, dependerá de la capacidad de los devanados, pero sus respuesta hasta el armónico 30 es lo suficiente buena para utilizarse sin problemas en tensiones de hasta 30 kV. Para tensiones superiores, se presentan fenómenos de resonancia entre la C y L, y será necesario conocer la curva de respuesta a diferentes frecuencias de cada modelo.

2.3 Relevadores Usados en la Transferencia de Energía Eléctrica

Son dispositivos eléctricos usados para responder a condiciones de entradas predeterminadas y después de que las condiciones son satisfechas, se produce la operación de los contactos o cambios abruptos en los circuitos eléctricos de control asociados. Un relevador de control o protección, puede consistir en la combinación de varios relevadores cada uno respondiendo a entradas específicas, y la combinación de todos darán las características de funcionamiento deseadas.

La corriente es la variable más utilizada en la detección de anomalías en los elementos del sistema eléctrico, dado el elevado incremento de la corriente que se registra cuando se presentan fallas. Se define como sobrecorriente a cualquier valor que excede la corriente normal de operación de un dispositivo. Entre los dispositivos de protección de sobrecorriente más utilizados en sistemas eléctricos están los relevadores de sobre corriente y fusibles en todos los niveles de tensión y los interruptores termomagnéticos en baja tensión. Los relevadores no realizan directamente las maniobras de conexión y desconexión del sistema eléctrico, estas las realiza el equipo de corte y maniobra.

Para la transferencia entre dos fuentes de potencial se deben conocer parámetros de tensión, corriente, frecuencia secuencia de fases. A partir de estos parámetros se obtiene la cantidad de relevadores en el sistema de transferencia. Estos están clasificados por la ANSI con números específicos según su función. Esta clasificación se muestra en el ANEXO A-2. Donde se mencionan las características de los relevadores y a continuación se mencionan sus parámetros de ajuste y diagramas de conexión.

2.3.1 Relevador de baja tensión (27)

Un relevador de baja tensión es un dispositivo que está calibrado para que a la disminución de tensión se dé una señal que permita cerrar los contactos del interruptor cuando este relevador registra una tensión menor a la especificada. El relevador puede recibir la señal de un TP y actuar ante cargas como motores de inducción debido a la caída de tensión que producen al arranque, siempre que en la línea de alimentación se registre un valor de tensión debajo del ajuste previamente calibrado. Un relevador de tiempo se utiliza normalmente para permitir accionarse sólo si el nivel de baja tensión no es transitorio o una caída de tensión instantánea, previniendo así la operación de los contactos de forma errónea. Un relevador de baja tensión instantáneo se conecta en serie con las terminales del relevador de tiempo y se puede utilizar también para proporcionar un reajuste rápido (Figura 2.6).

El relevador se utiliza para iniciar la transferencia en el momento en que se requiera. Debido a la posibilidad de que exista la carga de un motor, este relevador tiene un retraso de tiempo para impedir que estos puedan actuar y afectar el proceso de sincronización. Para los usos de la sincronización un relevador de tiempo de baja tensión se puede utilizar para registrar un valor exacto de retraso de tiempo de acuerdo a su operación y la carga que vaya a proteger. Ciertas funciones de protección tales como un relevador de tensión de secuencia negativa requieren un retraso de tiempo para prevenir fallas transitorias.

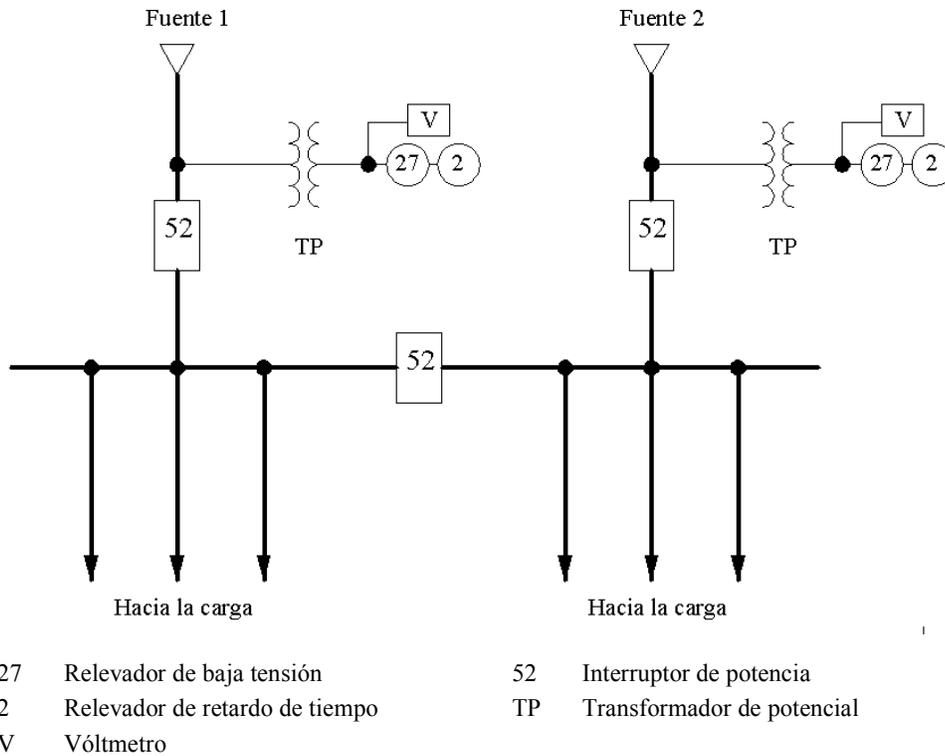


Figura 2.6 Diagrama de conexión del relevador de baja tensión (27).

2.3.2 Relevador de frecuencia (81)

Un relevador de frecuencia es un dispositivo que funciona a un valor determinado si se presenta una frecuencia inferior o superior a la frecuencia fundamental. El relevador de frecuencia se emplea para el rechazo de la carga en situaciones en que la potencia consumida rebasa la potencia disponible en la red. En tal situación de desequilibrio, la frecuencia de la red tiende a caer. El relevador de frecuencia permite controlar los interruptores automáticos, haciendo posible desconectar de la red la carga para reconectarla en una fuente que esté en mejores condiciones, (Figura 2.7).

Cuando se utiliza para funcionar a un valor predeterminado debajo de frecuencia nominal, generalmente se llama un relevador de frecuencia baja (81U), y cuando funciona a un valor superior a la frecuencia del sistema se llama relevador de sobre frecuencia (81O). Ambas funciones se incluyen a menudo en el mismo relevador, pero se utilizan para diversos propósitos. Es altamente deseable aplicar los relevadores de sobrefrecuencia siempre que el suministro a las cargas sea exclusivamente por los generadores locales o por una combinación de transferencia de generación local y de enlace a la compañía suministradora.

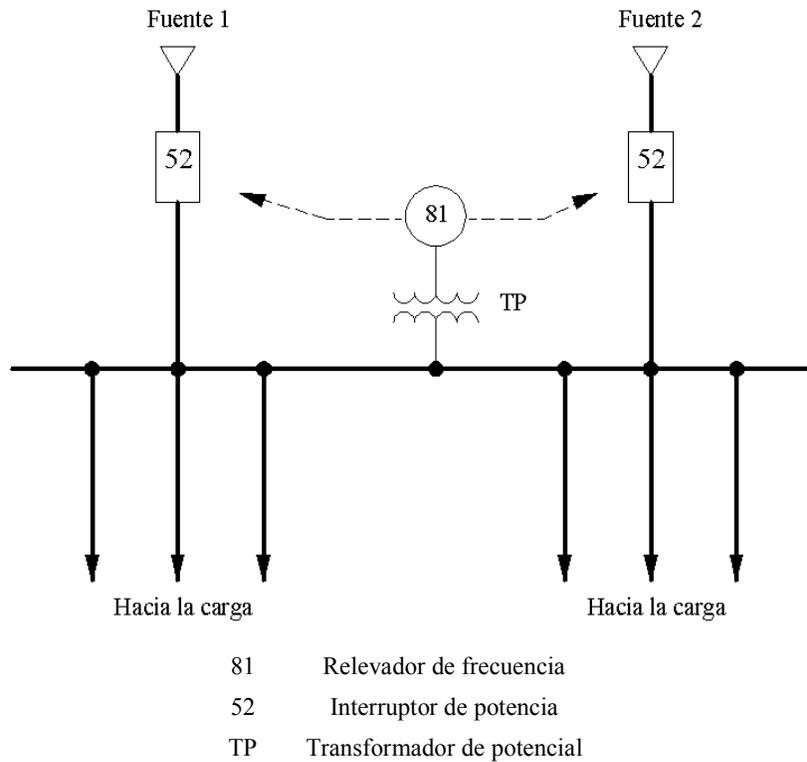
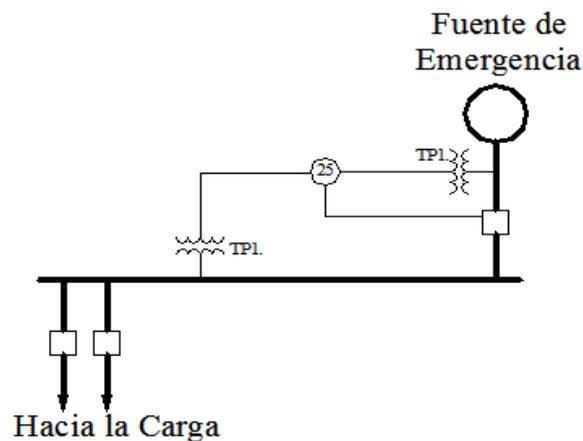


Figura 2.7 Esquema eléctrico de la conexión del relevador de frecuencia (81).

2.3.3 Relevador de Sincronización (25)

Estos relevadores son aplicados cuando dos o más fuentes de energía deben ser conectadas en una barra principal común como se muestra en la figura 2.8. Las consideraciones para conectar dos fuentes de potencial es llegar a igualar los niveles de tensión, ángulos de fase y la frecuencia.



25 Relevador de sincronización TP1 Transformador de potencial

Figura 2.8 Diagrama general para la conexión del relevador de sincronización.

Es práctico utilizar un relevador de sincronización como dispositivo permisivo para supervisar el mando de cierre de un interruptor. En este esquema, el relevador realiza el control normal que sincroniza los dos alimentadores, al mismo tiempo el relevador monitorea las condiciones adecuadas que demanda la carga y se encarga de dar la señal para que el interruptor de la fuente emergente cierre sus contactos siempre y cuando se cumplan en ese instante. Los relevadores de sincronización están disponibles para ángulos de operación de cierre ajustables o fijos a un ángulo de cierre igual a 20° . El relevador permite el cierre del interruptor debido a la magnitud del ángulo y la tensión de fase si difiere por el flujo residual de la carga en el sistema.

En la figura 2.8 mostrada anteriormente se muestra la operación que se realiza de forma manual que sincroniza las funciones, pero no puede llevar a cabo el cierre del interruptor hasta que el relevador detecte que los sistemas están en sincronismo. El relevador cierra sus contactos cuando el ángulo de fase entre las dos fuentes es menor que el ángulo cerrado del sistema el cual puede ajustarse típicamente entre 10° y 30° y sigue siendo cerrado hasta que excede el valor de este ángulo. Una última señal puede permitir que las fuentes sean un ángulo mayor al ángulo cerrado ajustado al el sistema debido a el tiempo de retardo.

Los relevadores usados son los dispositivos de funciones múltiples que detectan las diferencias entre ángulo de fase, magnitud de la tensión, y la frecuencia de las fuentes en ambos lados del alimentador entrante por parte del generador. El relevador sincronizador tiene por lo menos dos ajustes que se pueden realizar para el funcionamiento correcto. Hay un ajuste para permitir que el relevador acomode el tiempo límite del alimentador, por ejemplo, de 0,05 a 0,4 s se realiza un ajuste para fijar el avance máximo del ángulo de fase, a partir de 0° hasta 30° o 40° . El ángulo cerrado anticipado es calculado por la expresión siguiente:

$$q = 360 \times s \times t \quad 2.6$$

Donde:

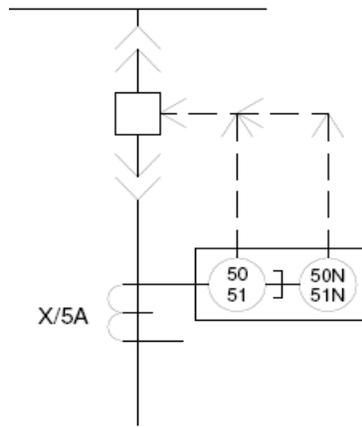
- q = Angulo anticipado
- s = Frecuencia de entrada en sincronismo (Hz/s)
- t = Tiempo límite del alimentador (s)

Por ejemplo, para los sistemas que entran en sincronismo rápidamente es decir, $s = 0,5$ ciclos/s, el circuito cerrado se debe energizar mucho antes. Si el alimentador tiene 0,15 horas de límite, el ángulo anticipado requerido sería 27° . Si la frecuencia de entrada es mucho más baja, el ángulo anticipado es mucho más pequeño cuando los contactos cierran para energizar el interruptor. Para las frecuencias de 0,1 de ciclo/s, el ángulo cerrado es de $5,4^{\circ}$. Así, el control en el punto de sincronismo puede obtenerse de forma muy exacta.

2.3.4 Relevadores de Protección 50/51

Los relevadores de sobrecorriente constituyen el tipo más común de relevadores de protección. Estos activan el interruptor (52) cuando fluye corriente en exceso por una determinada sección de un sistema de alimentación. Los relevadores protectores de mayor uso general son los relevadores tiempo e instantáneos de sobrecorriente (figura

2.9). Se utilizan como dispositivos protectores primarios y de reserva. El relevador de retraso de tiempo sobrecorriente se selecciona para dar un cierto límite de sobre corriente en caso de que sólo sean momentáneas, mientras que los relevadores instantáneos de sobre corriente se seleccionan para operar de forma rápida (0,5 hasta 2 ciclos).



50	Relevador de sobrecorriente instantáneo	51	Relevador de sobrecorriente con tiempo
50N	Relevador de sobrecorriente instantáneo a tierra	51N	Relevador de sobrecorriente con tiempo a tierra

Figura 2.9 Diagrama unifilar básico de conexión de relevador 50, 51, 50N y 51N.

2.3.5 Relevador de Sobrecorriente Instantáneo (50)

Si la corriente activa al relevador sin un tiempo establecido de retardo, la protección se denomina instantánea. Los relevadores de estado sólido de sobrecorriente, tienen sus características y son generalmente comparables a los relevadores electromagnéticos, salvo que los relevadores de estado sólido pueden proporcionar tiempos más rápidos de cierre o apertura. Hay dos tipos de relevadores instantáneos usando el principio de inducción electromagnética. Uno se llama el solenoide o tipo émbolo y el otro se llama tipo bisagras de armadura.

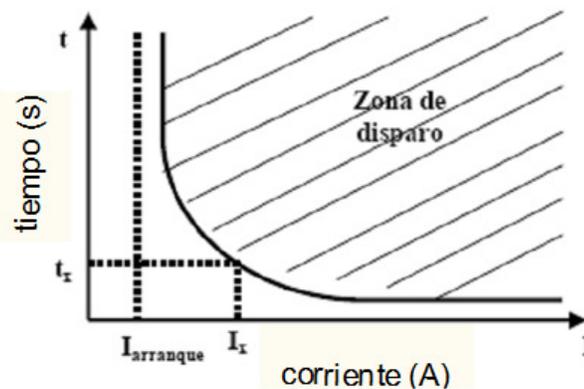


Figura 2.10 Curva de operación de un relevador de tiempo inverso.

En la figura 2.10, se representa en el eje de las abscisas la corriente de arranque de un motor y en el eje de las ordenadas el ajuste del tiempo de disparo del relevador de sobre corriente, para la zona sombreada es donde opera el relevador. Esta curva se puede ajustar de acuerdo a las condiciones del sistema eléctrico

2.3.6 Relevadores de Sobrecorriente con Retardo de Tiempo (51)

Si la sobrecorriente es transitoria por naturaleza no es conveniente que se abra el interruptor. Esta es la razón por lo cual la mayoría de los relevadores están equipados con un mecanismo de tiempo de retardo que permite que una corriente varias veces mayor que la que se ha fijado persista por un periodo limitado de tiempo. En los relevadores de sobrecorriente temporizados de tipo “tiempo inverso” el tiempo para operación es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente registrada, de acuerdo a grado de inversión pueden ser:

- Tiempo inverso
- Tiempo muy inverso
- Tiempo extremadamente inverso

Las curvas de comportamiento de los relevadores de sobrecorriente de tiempo definido se muestran en el ANEXO A-3. Para ajustar los relevadores de una protección ANSI 51 se procede de la siguiente forma:

- a) Se fija la corriente mínima primaria de operación I_N .
- b) Se calcula la corriente mínima secundaria de operación (I_{MS}), con la siguiente ecuación:

$$I_{MS} = \frac{I_N}{RTC} \quad 2.7$$

Donde:

RTC: Relación de transformación de corriente

- c) Se calcula la corriente secundaria de corto circuito (I_{CC-S}) con la ecuación:

$$I_{CC-S} = \frac{I_{CC-P}}{RTC} \quad 2.8$$

- d) Se calculan los valores múltiplos de la corriente (M) respecto a la corriente mínima de operación:

$$M = \frac{I_{SS-C}}{I_{MS}} \quad 2.9$$

Para el cálculo de la corriente instantánea (ANSI 50):

$$Ajuste - ins. = \frac{I_{CC}}{RTC} \quad 2.10$$

Con los valores obtenidos en las ecuaciones anteriores se entra a la gráfica tiempo corriente del ANEXO 3. Las curvas características para los relevadores de sobrecorriente de tiempo inverso están determinadas por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{k}{(M)^a - 1} \quad 2.11$$

t = Tiempo de operación (s)

k = Constante de diseño para un tipo de característica

M = Múltiplo de la corriente

a = Grado de inversión de la curva característica

2.4 Tableros

Un tablero es un conjunto integrado en un gabinete metálico, total o parcialmente cerrado, para el caso de un tablero de transferencia en media tensión aloja dispositivos de interrupción de media tensión (más de 1000V). En una sección especial se coloca el equipo de medición, protección y regulación así como los elementos necesarios para la interconexión y soporte de tales dispositivos. Se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Por su tipo de construcción.
- Por su tensión de operación.
- Por su tipo de construcción.
- Servicio interior NEMA 1 para usos generales.
- Servicio interior NEMA 12 a prueba de polvo.
- Servicio interior o intemperie NEMA 3R.

Se fabrican en lámina de acero rolada en frío, calibre 12 en la estructura y calibre 14 en las tapas y puertas. Sometidos a un tratamiento de desengrasado y fosfatizado para después recubrir con una capa de corrosivo (a base de piroxilina) y un acabado con pintura epoxi color gris ANSI 61.

2.5 Barras Conductoras Principales y Derivadas

La unión eléctrica entre los diversos aparatos usados para la transferencia (interruptores de potencia, acometidas, TC, TP en sus respectivos lados de alta tensión) con el objetivo de formar los circuitos necesarios para la circulación de la corriente, se realiza por medio de conductores eléctricos empleándose el cobre y algunas veces el aluminio. Estos conductores para éste caso están constituidos por barras de cobre (solera) de cantos redondeados (para minimizar el efecto corona).

Las barras deberán estar rígidamente soportadas por medio de aisladores, para soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos producidos por las corrientes de corto circuito. Estos esfuerzos son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente de corto circuito e

inversamente proporcionales a la separación del centro de las barras, y se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{5,4K \times I_{cc-a} \times l \times F \times 10^{-5}}{d} \quad 2.12$$

En donde:

$P =$ Esfuerzo lateral por aislador, (lb)

$I_{CC-A} =$ Valor inicial de la corriente asimétrica total de corto circuito, (A)

$l =$ Longitud de las barras conductoras de cobre entre los soportes o aisladores, (ft)

$d =$ Distancia entre los centros de las barras en pulgadas, (in)

$K =$ Factor de corrección por la forma de las barras

$K = 1,0$ para barras tubulares

$K = 1,1$ para barras rectangulares

$F =$ Factor de esfuerzo

$F = 3,8$ para una separación promedio entre aisladores de 36in, utilizando aisladores tipo ligero

$F = 4,1$ para una separación promedio entre aisladores de 36in, utilizando aisladores tipo pesado

El arreglo de las fases en un sistema de tres hilos debe ser por norma (NOM-001-SEDE-2005) A, B, C visto el tablero de frente, de arriba abajo o de izquierda a derecha. Las barras para asegurar una mejor continuidad se estañan y se recubren de plata en todas las uniones, derivaciones o conexiones a zapatas. La tornillería que se usa es no magnética de latón o de acero inoxidable. La densidad de la corriente en las barras conductoras principales se mantiene a un máximo de $254000 \text{ A/mm}^2 - 279400 \text{ A/mm}^2$. El cálculo de la densidad de corriente para seleccionar una barra se calcula con la siguiente ecuación:

$$A / \text{mm}^2 = (a \times b)(\text{densidad} - \text{de} - \text{corriente}) \quad 2.13$$

Donde:

a = En mm

b = En mm

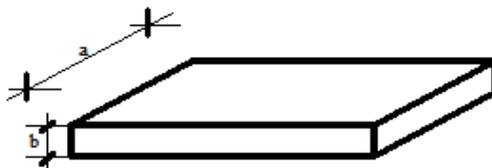


Figura 2.11. Barra de cobre (solera).

2.6 Equipos de Señalización

Se colocan generalmente lámparas de señalización que indican el estado del interruptor, esto es, cerrado lámpara de color rojo o abierto con una lámpara de color verde, las etapas de la transferencia que generalmente es una lámpara de color ámbar. Los tableros deben tener otras marcas que indiquen la tensión eléctrica, la corriente eléctrica de las barras conductoras principales, potencia u otras características nominales. Además del nombre del fabricante u otra marca comercial mediante la cual se pueda identificar a la empresa responsable de la fabricación del producto. Por lo que respecta a los aparatos, que es necesario colocar en las partes frontales de los tableros son los siguientes: Ampérmetros, voltímetros, medidores de frecuencia, medidores del factor de potencia y controladores de los relevadores de control.

2.7 Tipos de Cables para la Conexión de los Equipos de Control de la Transferencia

Para la interconexión de los equipos de control se usa cable especial para tableros en media tensión nombrado comercialmente como SIS en calibre 14 AWG. Para los circuitos de potencia y de acuerdo a la corriente que estos requieren para un buen funcionamiento se recomienda usar cable SIS calibre 10 AWG como mínimo. Para las conexiones de los cables con las terminales de los transformadores de corriente y de potencial se usan zapatas tipo anillo. Con el fin de asegurar al máximo estas conexiones se emplean zapatas tipo espada para los demás circuitos todos los cables se deben marcar con números visibles en ambos extremos. Los números deben corresponder con los representados en los diagramas eléctricos de fuerza del tablero de transferencia.

En el siguiente capítulo se analizan los tipos de cargas que existen en una industria, como las cargas resistivas, cargas resistivas-inductivas y resistivas-capacitivas, además de las cargas electrónicas. Para los motores de inducción se dan las características de operación ante las interrupciones eléctricas. Es importante mencionar las curvas de operación ante interrupciones eléctricas para las cargas electrónicas. Con estas curvas nos indican el nivel de susceptibilidad de las cargas electrónicas.

Capítulo 3

Tipos de Cargas en una Instalación Eléctrica Industrial

3.1 Cargas Resistivas

El fallo de estos componentes generalmente no produce efectos directos en la producción. La falta de iluminación pone en riesgo la seguridad de las personas que trabajan en los ambientes industriales. El principal riesgo del personal debido a la falta de iluminación ocurre en locales donde hay gran concentración de personas, como por ejemplo, centros comerciales, vías públicas, teatros, cines, etc.

3.1.1 Resistencias

En máquinas que utilizan resistencias para generar calor (resistencias calefactoras) para cumplir con su proceso, las interrupciones momentáneas no tienen un efecto considerable, en la resistencia. Con interrupciones mayores a 30 min la temperatura tiene un decremento importante afectando el producto que se quedó en la máquina, como por ejemplo máquinas en el proceso de vidrio, curvado de vidrio, calderas etc. La pérdida de calor en estas máquinas pueda dañar el producto.

3.1.2 Lámparas Incandescentes

La mayoría de las lámparas pueden soportar una variación de tensión del 50% de la tensión nominal del sistema, el rendimiento del flujo luminoso de una lámpara incandescente y el filamento es críticamente afectado por las variaciones rápidas de tensión de la fuente de alimentación eléctrica. Para lámparas de vapor de sodio y mercurio, estas dejan de funcionar con una variación de alimentación eléctrica inferior al 80% y de una duración de aproximadamente 25 ms, si esto sucede debe pasar un tiempo previo a su energización posterior. El equipo de iluminación dentro de un proceso industrial generalmente se compone de lámparas de alta intensidad de descarga, lámparas fluorescentes en sus diferentes tipos, lámparas halógenas, lámparas incandescentes, entre otras.

3.2 Cargas Resistivas-Inductivas y Resistivas-Capacitivas

Son cargas que constan de una bobina la cual al paso de una corriente eléctrica con una frecuencia de 60 Hz genera un campo magnético. Las cargas inductivas tales como transformadores, motores de inducción, lámparas con balastro y en general cualquier tipo de inductancia, generan potencia inductiva atrasando la corriente respecto a la tensión. Las cargas capacitivas, tales como bancos de condensadores o cables de energía, generan potencia reactiva adelantando la corriente respecto a la tensión. Este tipo de cargas es muy común en los procesos productivos.

3.2.1 Lámparas Fluorescentes

El rendimiento del flujo luminoso para lámparas con balastos se ve afectado con las variaciones de tensión aplicada en sus terminales. Una sobretensión del 1% provoca un aumento del rendimiento del flujo luminoso del mismo valor (1%) y, viceversa si hay una caída de tensión de 1% disminuye el flujo luminoso en la misma proporción. La vida útil de este tipo de lámparas a causa de las interrupciones de suministro eléctrico es menos afectada que las lámparas incandescentes. Los componentes de una lámpara fluorescente más sensibles a las interrupciones, son el reactor, el arrancador del filamento. Esta lámpara tolera una interrupción del suministro de aproximadamente 25 ms (1,56 ciclos), una interrupción de mayor duración provoca que el reactor pierda la continuidad de la alimentación eléctrica y sea reencendida.

3.2.2 Lámparas de Alta Intensidad de Descarga (AID), Vapor de Mercurio, Sodio y Aditivos Metálicos

Este tipo de lámparas requieren de un balastro que tendrá una disminución de un 12% del rendimiento requerido para el flujo luminoso con una variación de la tensión del 5%. La intensidad de descarga de la lámpara se extingue cuando la tensión cae a 75% de la tensión nominal. En lámparas de vapor de mercurio un cambio de $\pm 5\%$ en la tensión se refleja en la intensidad luminosa, para las de vapor de sodio $\pm 10\%$, y en las de aditivos metálicos corresponde a $\pm 10\%$. En la tabla 3.1 se muestran los tiempos que le toma a una lámpara de AID proporcionar la iluminación requerida, así como el tiempo que toma el re-encendido.

La vida útil de una lámpara de este tipo es relacionada con el número de veces que se energiza. Si ocurre una interrupción del suministro eléctrico mayor a 25 ms (1,56 ciclos), cuando las lámparas están en operación estas se apagan, si el suministro es restablecido inmediatamente ocurre un re-encendido de la lámpara decrementando su vida útil. Por otra parte si hay una sobretensión mayor a los límites permitidos, aumenta la temperatura del arco y ocasiona un daño al cristal del bulbo.

Tabla 3.1. Tiempos aproximados de precalentamiento y re-encendido para lámparas AID.

Tipo de Lámpara	Pre calentamiento [min]	Re-encendido [min]
Vapor de Mercurio	5 a 7	3 a 6
Aditivos Metálicos	2 a 5	10 a 20
Alta Presión de Sodio	3 a 4	0,5 a 1
Baja Presión de Sodio	7 a 10	1,2 s a 5

La mayoría de las lámparas usadas para la iluminación de los locales de las plantas industriales usan balastos magnéticos de diferentes tipos. En la figura 3.1 se muestra el

comportamiento de diferentes balastos a la variación de la tensión eléctrica, y como afectan el rendimiento del consumo de la energía eléctrica.

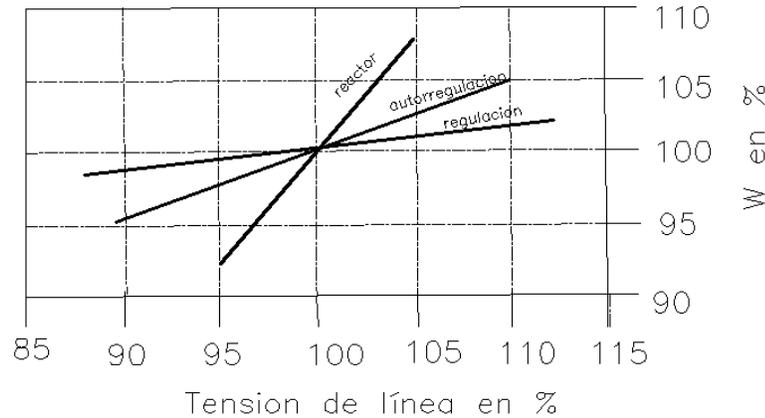


Figura 3.1 Efectos de las variaciones de tensión de línea (V_L) en la potencia en (W) de lámparas con balastro.

3.2.3 Curvas de Sensibilidad de Lámparas

En la figura 3.2 se presentan las curvas de sensibilidad de las lámparas de vapor de mercurio, sodio, aditivos metálicos y de alta intensidad de descarga. Estas curvas son el resultado de pruebas de variaciones de tensión en este tipo de lámparas, con potencias de entre 70 W y 250 W. En el eje de las Y se representa el valor de tensión en p.u. (valores por unidad) en el eje de las X corresponde al valor del tiempo en ms. En la gráfica se muestra que las lámparas se apagan cuando la duración de la interrupción es mayor a 25 ms (1,56 ciclos).

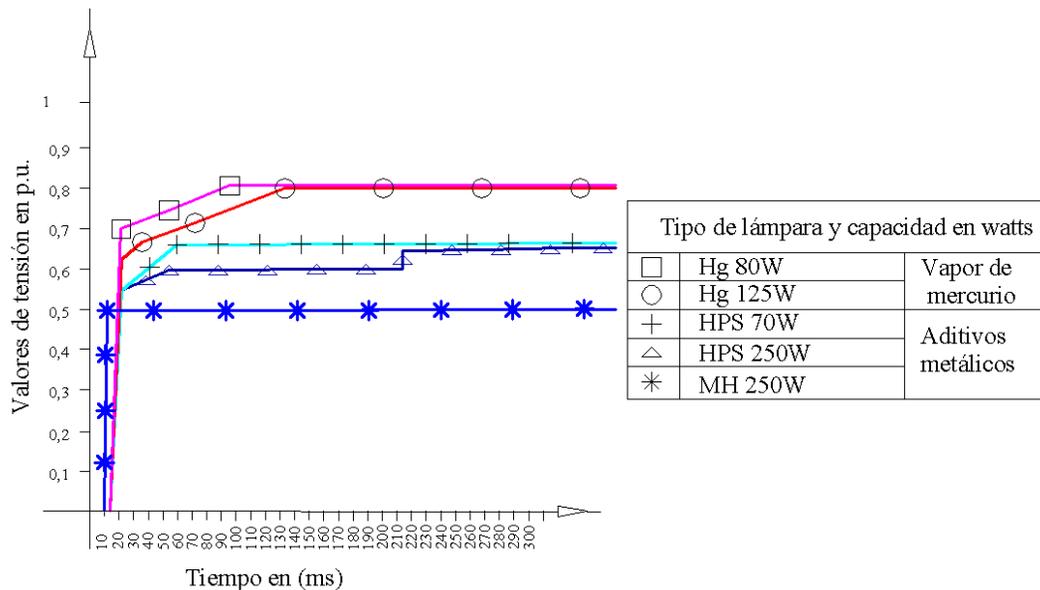


Figura 3.2 Curvas de sensibilidad de diversas lámparas.

3.2 4 Motor de Inducción

Los motores de inducción no se toman como cargas sensibles, aunque lo son y una variación de la tensión en las terminales de los motores puede ocasionar operaciones inadecuadas y un mal funcionamiento de los equipos. En las interrupciones de corta duración el motor queda desconectado eléctricamente de la red y sufre una desaceleración. Simultáneamente, en el estator se desarrolla una tensión trifásica de frecuencia y amplitud decreciente inducida por el flujo residual atrapado en el rotor. La amplitud de esta tensión decrece exponencialmente con una constante de tiempo que depende de la potencia del motor y del estado de operación del mismo.

Cuando se restablece el suministro eléctrico, la tensión puede aparecer en oposición de fase a la tensión residual produciéndose un efecto similar a la sincronización fuera de fase de una máquina síncrona al sistema. En este caso surgen corrientes que superan hasta 20 veces la corriente nominal y con ella esfuerzos electromecánicos. En casos de apertura de interruptores debe tenerse presente que la tensión no cae hasta cero inmediatamente después de la apertura del interruptor, debido a la presencia de flujo magnético en las máquinas eléctricas rotatorias. Cuando ocurre una caída en la tensión, el momento electromagnético desarrollado por un motor asíncrono que es proporcional a la tensión al cuadrado, cae súbitamente disminuyendo las revoluciones del rotor del motor. En estas condiciones el motor puede perder estabilidad o debido al incremento de la corriente producir un disparo de las protecciones e interrumpir la producción.

La reducción de la velocidad depende tanto de la magnitud y duración de la caída de la tensión como de la masa inercial rodante. Si el momento desarrollado del motor cae por debajo del momento resistivo, el motor se detiene. La magnitud y el tiempo límite máximo de duración de la caída de tensión está determinado por la estabilidad del motor y por el valor de la corriente que crece y sobrecalienta dañando al motor.

Con efectos como las variaciones de tensión en los motores se tienen aumentos en las pérdidas de energía, envejecimiento del equipo por sobrecalentamiento, esfuerzos electrodinámicos que ocasionan daños mecánicos en los engranes y otras partes de la carga que está acoplada al eje del motor. Debe tenerse presente que cuando existen varios motores en un circuito, ocurre un re-arranque simultáneo. En estas condiciones, debido a las corrientes altas que se generan se produce una caída de tensión de una magnitud considerable que ocasiona que algunos equipos queden fuera de operación y afectar a otras cargas sensibles. La corriente pico transitoria de arranque de un motor está dada por la ecuación 3.1.

$$i(t) = \frac{\sqrt{2V_N}}{\sqrt{(r_1)^2 + (x')^2}} \left[\text{sen}(wt + \delta - \theta) - \text{sen}(\delta - \theta) \times e^{-\frac{t}{\tau_{dc}}} \right] \quad 3.1$$

Donde:

r_1 = Resistencia del estator, (Ω)

x' = Reactancia subtransitoria, (Ω)

V_N = Tensión nominal del motor, (V)

t = Tiempo, (s)

$$\omega = 2\pi f \tau_{DC} = \frac{x'}{\omega r_1}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{x'}{r_1} \right]$$

Donde:

r_1 = Resistencia del estator (Ω)

x' = Reactancia subtransitoria (Ω)

Durante los estados transitorios los motores se caracterizan por constantes de tiempo que permiten evaluar su comportamiento. Entre ellas se tienen las constantes de tiempo de circuito abierto, corto circuito y la de compensación reactiva. Estas constantes se determinan a partir del circuito equivalente mostrado en la figura 3.3.

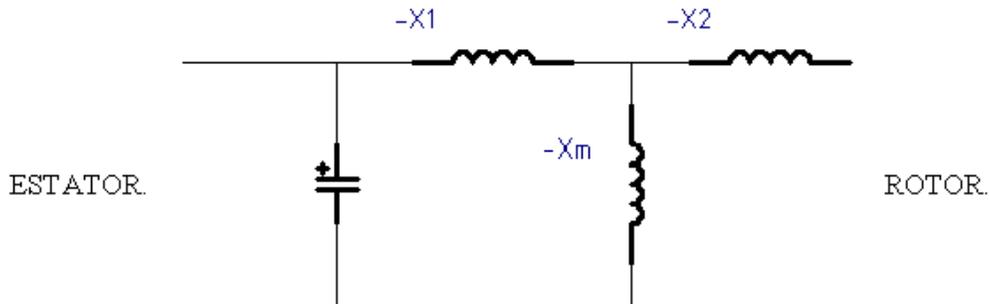


Figura 3.3 Circuito equivalente del motor de inducción.

Constante de tiempo de circuito abierto: Es la mayor constante de tiempo asociado con las corrientes transitorias en el rotor cuando se abre el circuito de armadura y se determina con la siguiente ecuación:

$$\tau_{oc} = \frac{x_2 + x_m}{2\pi f r_2} t \quad 3.2$$

Constante de tiempo de corto circuito: Es la constante de tiempo cuando la armadura está en corto circuito, y la inductancia del campo aparente es menor debido al acoplamiento con el devanado de armadura, (ec. 3.3).

$$\tau_{sc} = \frac{x_2 + \frac{x_m x_1}{x_m + x_1}}{2\pi f r_2} \quad 3.3$$

Constante de tiempo compensado.

$$\tau_{CC} = \frac{x_2 + \frac{x_m(x_1 - x_C)}{x_m + (x_1 - x_C)}}{2\pi f r_2} \quad 3.4$$

Donde:

- r_2 = Resistencia del rotor (Ω) x_C = Reactancia capacitiva (Ω)
 x_1 = Reactancia del estator (Ω) τ_{oc} = Constante de tiempo de circuito abierto (s)
 x_2 = Reactancia del rotor en (Ω) τ_{SC} = Constante de tiempo de corto circuito (s)
 x_m = Reactancia de magnetización (Ω) τ_{CC} = Constante de tiempo compensado (s)

En el caso de una interrupción del suministro eléctrico, un motor con compensación de potencia reactiva se acelera por efecto de la carga, y la tensión generada por el flujo residual puede superar el valor de la tensión de línea. En la tabla 3.2 muestra el tiempo aproximado necesario para la extinción del flujo residual en función de la potencia en motores de diseño estándar.

Tabla 3.2 Constantes de tiempo y reactancia subtransitoria.

POTENCIA EN kW	COSTANTES DE TIEMPO Y REACTANCIA SUBTRANSITORIA		
	τ_{SC} (s)	τ_{OC} (s)	X' (p.u.)
10	0,02	0,3	0,117
100	0,03	0,4	0,156
200	0,04	0,6	0,16
400	0,06	1,1	0,17
800	0,01	1,5	0,17

Si no se realiza un ajuste adecuado del tiempo de recierre, la reconexión rápida del motor a la fuente puede crear sobrecorrientes y esfuerzos elevados que no todas las máquinas y sistemas pueden soportar. El valor de la corriente puede superar tres o cuatro veces la corriente de arranque de un motor originándose caídas de tensión considerables dando lugar a esfuerzos electrodinámicos de una magnitud considerable y disparos indeseables de interruptores que operan bajo condiciones de corto circuito. Un motor puede soportar una reconexión en oposición de la tensión si, fasorialmente la diferencia entre la tensión del sistema V_s , y la tensión residual V_{RM} , en sus terminales

no excede el 25% de la tensión nominal del motor. Esta condición se muestra en el diagrama fasorial figura 3.4.

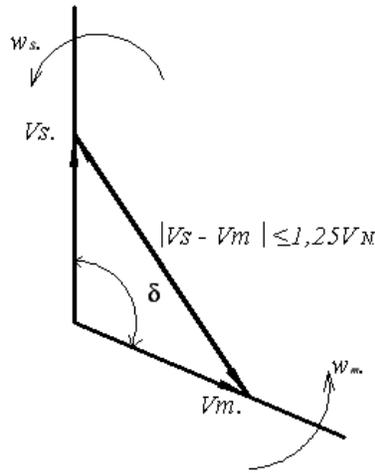


Figura 3.4 Diagrama fasorial entre la tensión del sistema y la tensión residual en un motor.

La diferencia de tensión ΔV está dada por:

$$\Delta V = V_S - V_{RM} = V_S \text{sen}(\omega_S t) - V_{RM} \text{sen}(\omega_M t - \delta) \quad 3.5$$

Donde:

ΔV = incremento del valor de la tensión (V)

V_S = tensión del sistema (V)

ω_S = frecuencia del sistema (Hz)

V_{RM} = tensión residual (V)

ω_M = frecuencia residual (Hz)

δ = Angulo entre V_S y V_{RM} ($^\circ \mathcal{E}$)

Si se asume $V_S = V_{RM}$ y $\omega_S = \omega_M$ los cálculos se simplifican y en las condiciones más críticas, se tiene:

$$\Delta V = 2V_S \text{sen} \frac{\delta}{2} \quad 3.6$$

El valor pico máximo de la componente de la corriente alterna, para $\delta = \pi$ está dado por:

$$I_{PICO_{MAX}} = \frac{2\sqrt{2}V_S}{x} \quad 3.7$$

Si se considera el nivel de corriente en la fase más crítica mediante el factor k , cuyo orden está en el intervalo de 1,25 – 1,6 y tomando V_S como base se tiene:

$$k = \frac{r_1}{x'}$$

$$I_{PICO_{MAX}} = \frac{2k\sqrt{2}V_S}{x'} p.u. \quad 3.8$$

Donde:

$$x' = x_1 + \frac{x_m x_2}{x_m + x_2} = x_1 + x_m - \frac{(x_m)^2}{x_m + x_2} \quad 3.9$$

La reactancia subtransitoria en máquinas de diseño nominal se encuentra entre 0,12 y 0,20 en p.u. Cuando no se conocen los parámetros, se determina como el inverso de la corriente de arranque a tensión nominal.

$$x' = \frac{1}{I_{RB}} \quad 3.10$$

Donde:

$$I_{RB} = \text{Corriente a rotor bloqueado en p.u.}$$

En los circuitos con transferencia de fuentes y retransferencia automática, es necesario considerar las constantes de tiempo para extinción del flujo residual de las máquinas asíncronas. Cuando la alimentación eléctrica se interrumpe para un motor, la tensión en el rotor decrece como se muestra en la figura 3.5, en la cual se tienen cuatro potencias mayores a 50 C.P. (conectados en un sistema de 440 V, 60Hz, 3F), cuando pierden continuidad con la fuente eléctrica le toma 2 s perder la tensión total. Después de este lapso de tiempo la fuente es restablecida, el motor arrancará desde cero.

Los motores síncronos son afectados de igual manera que los motores asíncronos excepto que estos tienen una velocidad constante (a menos que la frecuencia cambie) y el máximo par del motor se obtiene con la tensión constante en las terminales. Por lo tanto, el par cambia proporcionalmente a la tensión aplicada en las terminales. Una interrupción de la tensión de alimentación en el circuito rectificador de la excitatriz causa que el máximo par de salida se afecte con el cuadrado de la tensión aplicada en las terminales.

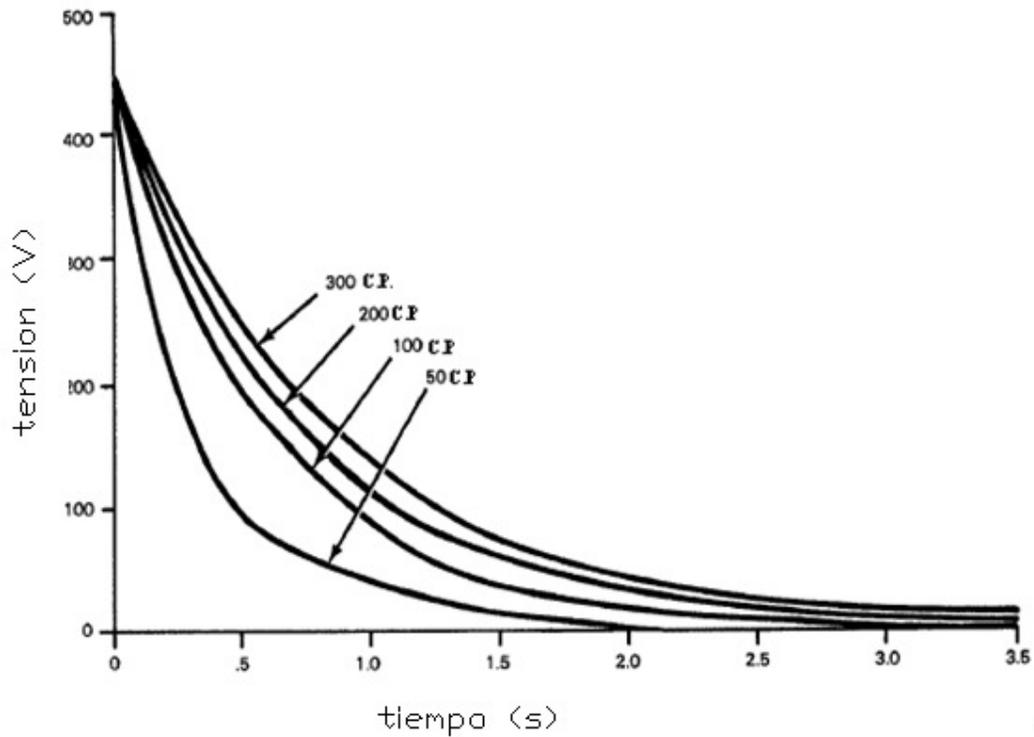


Figura 3.5 Curvas de la extinción de tensión residual en motores de inducción.

3.2.5 Contactores

En el caso de los contactores, la situación es más crítica en cuanto el tiempo que toleran una caída de tensión a 0 V es de medio ciclo de acuerdo a la figura 3.6. La razón de esto es que los contactores no tienen elementos que almacenen energía y que eviten que estos se abran. En algunos casos, estos mismos pueden soportar disminuciones de la tensión de hasta el 50% del valor rms del valor nominal de la tensión de alimentación. Las características de duración permisible a caídas de tensión puede variar de fabricante a fabricante y de diseño a diseño; también si una misma disminución de tensión se presenta bajo dos condiciones distintas de operación del equipo. Otro factor que afecta el perfil de duración es la vida útil de los equipos; a medida que el tiempo avanza los elementos que integran los equipos se van deteriorando y tienden a ser más susceptibles a las variaciones de tensión.

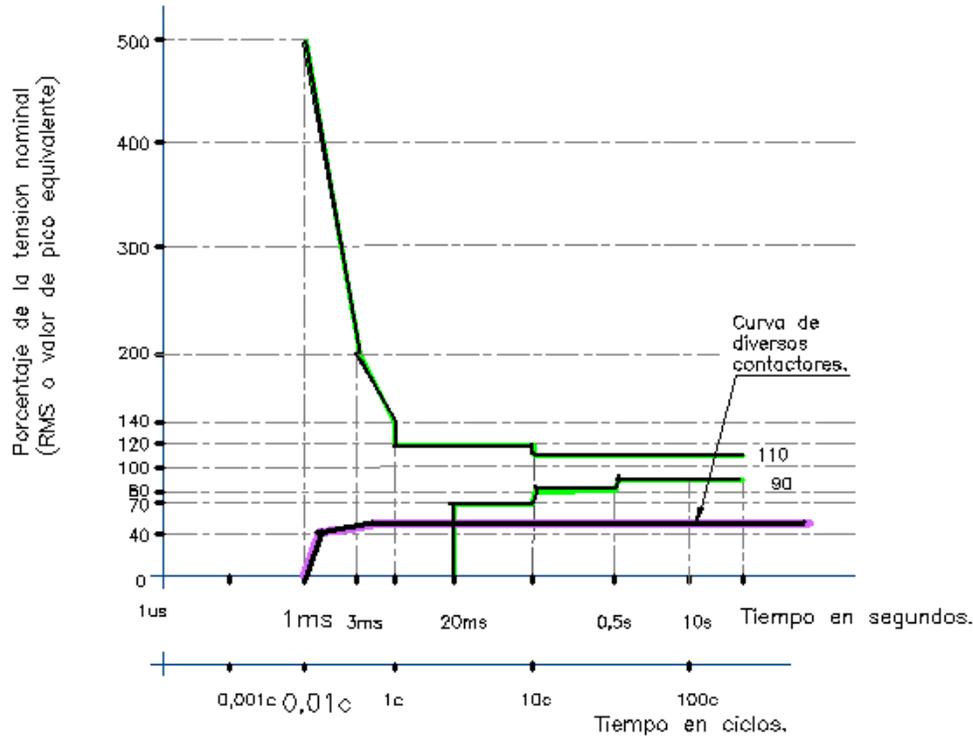


Figura 3.6 Curvas de tolerancia a las variaciones de tensión de diversos contactores.

Generalmente estos equipos son diseñados para operar con 10% de sobretensión y 15% debajo de la tensión de alimentación. En la figura 3.6 se muestra que el contactor tolera una caída de tensión inferior al 50% cuatro ciclos, si se rebasa este límite puede provocar su apertura, dejando sin alimentación todo un circuito eléctrico.

3.2.6 Capacitores

La potencia reactiva de salida de los capacitores varía con el cuadrado de la tensión aplicada en las terminales del banco. Una disminución de la tensión del 10%, disminuye la potencia reactiva de salida en un 19%. Donde el usuario tiene una inversión considerable en condensadores para la corrección del factor de potencia se tienen pérdidas de alrededor del 20%.

3.3 Cargas Electrónicas

Los equipos de cómputo, telecomunicaciones, controladores lógicos programables, equipos de seguridad y en general todos los equipos electrónicos delicados son más susceptibles cuando se presentan interrupciones del servicio eléctrico. En este punto se describe el comportamiento de los equipos que para su funcionamiento dentro de un proceso requieren de componentes electrónicos, esta descripción se realiza de manera más fácil mediante curvas de tolerancia de susceptibilidad a las variaciones de la tensión.

3.3.1 Curvas de Operación de la Tolerancia a la Variación de la Tensión para Cargas Electrónicas

Una representación típica de tolerancia frente a variaciones de la tensión se realiza mediante una gráfica en cuyos ejes se presenta en porcentaje y en p.u. el valor de la tensión contra tiempo en ciclos. Esta curva para computadoras y equipos electrónicos fue realizada por CEBEMA, publicada en la norma IEEE-446. Originalmente fue realizada para mostrar la sensibilidad de los componentes electrónicos de las computadoras. Actualmente es utilizada para otros componentes electrónicos como microcontroladores, microprocesadores, memorias, etc.

Recientemente la curva CEBEMA fue modificada para representar mejor la sensibilidad a fin de adecuarla más a la diversidad de los equipos electrónicos en las industrias y no sólo para las computadoras. Esta curva CBEMA revisada ha sido adoptada por la ITIC, se conoce como la curva ITIC se representa en la figura 3.7. La curva ITIC describe (el intervalo) de la tensión de suministro de corriente alterna que normalmente pueden tolerar; es decir, que no interrumpen su funcionamiento, la mayoría de equipos electrónicos denominados como equipos de la tecnología de la información. La curva es aplicable solamente para tensiones monofásicas de 120 V nominales de valor eficaz y 60 Hz. La curva define tanto condiciones estacionarias como transitorias y su utilización para otras tensiones nominales y para otras frecuencias no está específicamente considerada.

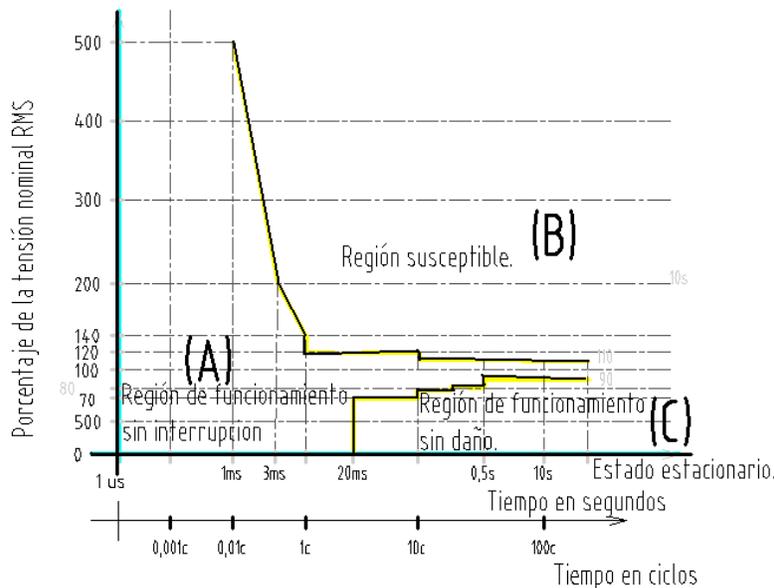


Figura 3.7 Curva de tolerancia a las variaciones de tensión de cargas electrónicas.

En el área del gráfico de la curva se representan 3 regiones de operación asociadas a las letras A, B y C.

- Región A: Región de funcionamiento sin interrupción.
- Región B: Región susceptible con posibilidad de daño del aislamiento del dispositivo electrónico debido a sobretensiones transitorias.

- Región C: Región de sensibilidad o de funcionamiento sin daño, con posibilidad de una mala operación de los equipos por causa de un caída de tensión o interrupción momentánea, prolongada.

Dentro de los equipos más sensibles a las variaciones de tensión se pueden destacar las computadoras, equipos de control de procesos, equipos con dispositivos electrónicos, variadores de frecuencia, arrancadores de estado sólido, motores de inducción, motores síncronos, contactores, sistemas de protección y equipos de iluminación. La tolerancia de todos estos equipos es muy diversa, e incluso para un mismo equipo, la tolerancia depende de la marca y del modelo del equipo. La Tabla 3.3, tomada de la norma IEEE Std. 1346-1998 [], da intervalo de tolerancia de distintos tipos de equipos actualmente en uso.

Tabla 3.3 Intervalos de tolerancia de distintos tipos de equipos según IEEE Std. 1346-1998.

Equipo	Tolerancia a las variaciones de Tensión		
	Intervalo Superior	Promedio	Intervalo Inferior
Controlador Lógico Programable (PLC)	20 ms, 75%	260 ms, 60%	260 ms, 45%
Tarjetas de entradas de un PLC	20 ms, 80%	40 ms, 55%	40 ms, 30%
Variadores de frecuencia de motores asíncronos	30 ms, 80%	50 ms, 75%	80 ms, 60%
Contactores	10 ms, 75%	20 ms, 65%	30 ms, 60%
Arrancador de motores	20 ms, 60%	50 ms, 50%	80 ms, 40%
Computadora personal	30 ms, 80%	50 ms, 60%	70 ms, 50%

Los valores que se proporcionan en la tabla 3.3. se interpretan de la siguiente manera. Una tolerancia de 20 ms y 75% implica que el equipo puede tolerar 0 V durante 20 ms y una tensión de 75% del valor nominal de forma indefinida. Un hueco de tensión de mayor duración que 20 ms y de mayor magnitud que 75% produce una operación inadecuada del equipo en un proceso. Graficando la tolerancia de variaciones promedio que los equipos toleran de acuerdo a la tabla 3.3 se obtiene la figura 3.8.

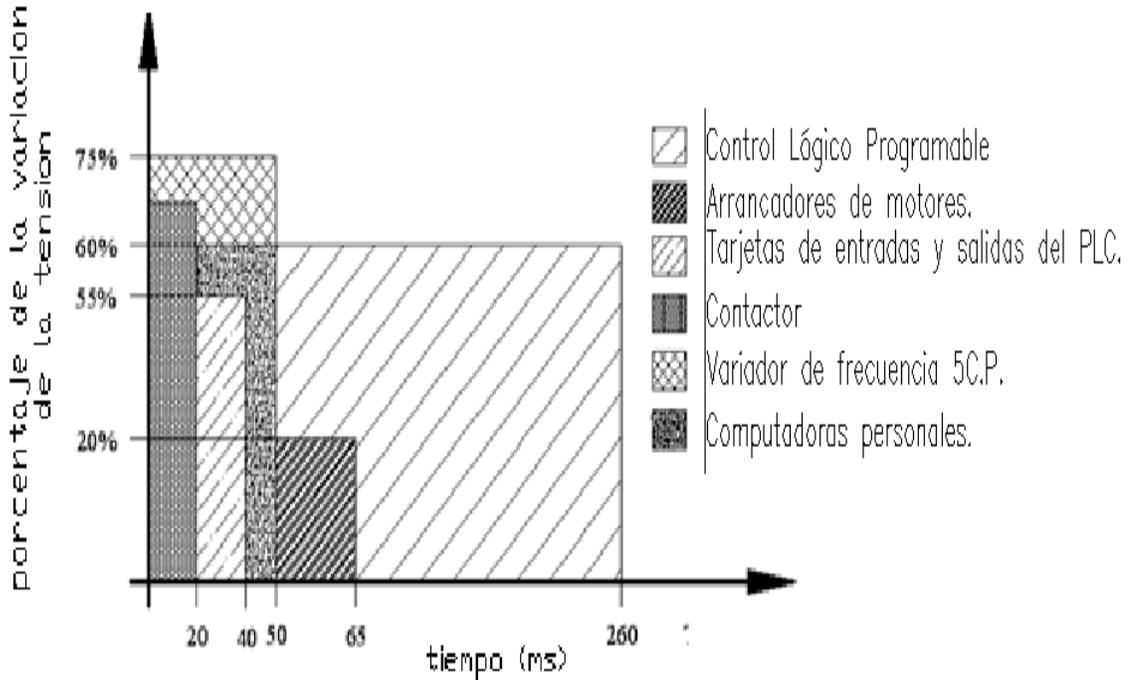


Figura 3.8 Tolerancia a las variaciones de tensión de diversos equipos industriales de acuerdo a la tabla 3.3

3.3.2 Variadores de Frecuencia

En la figura 3.9 se muestra la curva de tolerancia a las variaciones de tensión para variadores de frecuencia y la curva ITIC (en la parte del límite inferior y superior de la figura). En las abscisas se representan los tiempos máximos que el equipo mantiene su funcionamiento normal en ausencia de tensión y en las ordenadas se indica la disminución máxima de tensión que el equipo soporta durante un tiempo ilimitado. La curva del variador de frecuencia muestra que si el valor de la disminución de la tensión está por arriba del 90% de la tensión nominal, el variador de frecuencia soporta la perturbación, al igual que si la tensión cae a 0 V durante menos de 3 ciclos.

Por otro lado, si la perturbación cae abajo del 90% de tensión rms nominal durante más de 3 ciclos, el variador de frecuencia detecta esta condición como una falla y hará que las protecciones operen. En la pantalla que generalmente se encuentre en el frente del variador de frecuencia se despliega un código que indica el tipo de falla por el cual dejó de operar.

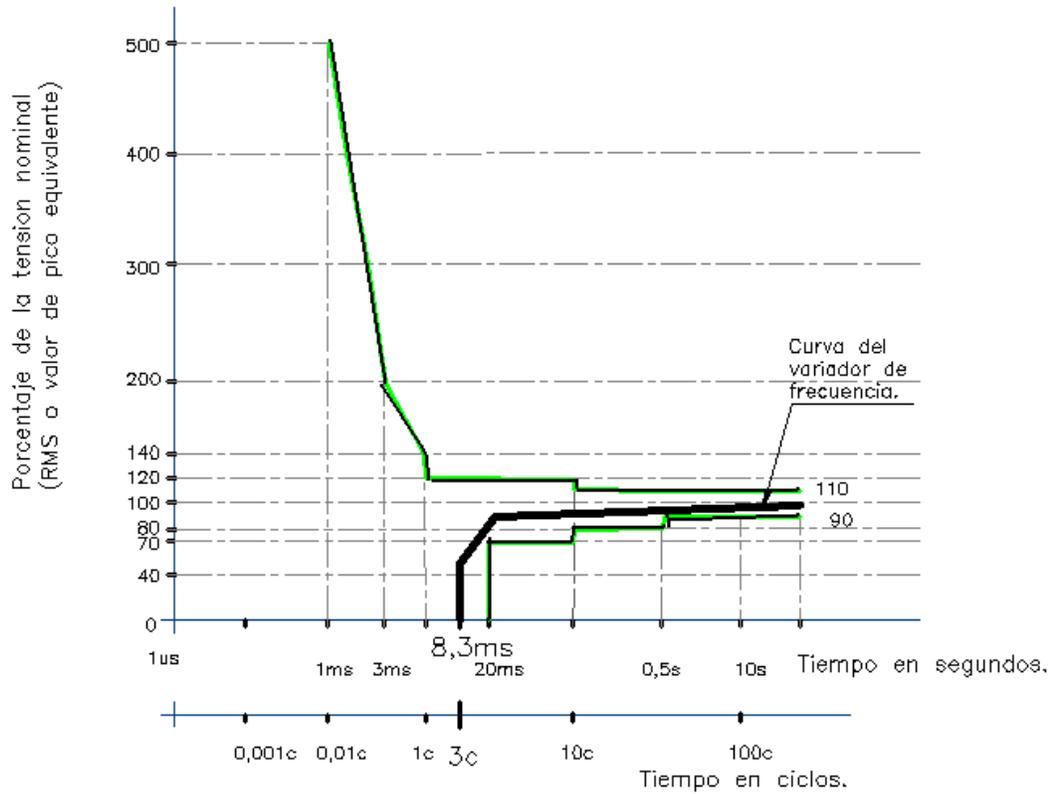


Figura 3.9 Tolerancia a las variaciones de tensión de diversos variadores de frecuencia.

En el capítulo 4 se tratará la metodología que se aplicará para seleccionar el sistema de transferencia de acuerdo a la carga instalada así como de la forma de calcular cada uno de los elementos que integran a éste. La parte económica también se tratará y la comparación de costo de cada uno de los equipos que se plantearon desde un inicio.

Capítulo 4

Cálculo y Selección del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica

4.1 Metodología Para el Cálculo y Selección del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica (STEE)

1. Determinar las cargas críticas y las susceptibles a interrupciones eléctricas.

- a) Usar los diagramas unifilares para identificar los niveles de tensión, ubicación de las cargas y clasificación de cargas eléctricas.
- b) Identificar las cargas susceptibles y críticas de acuerdo a las condiciones de operación y nivel de importancia en el proceso productivo.
- c) Con los puntos anteriores definir el tiempo de transferencia máximo permisible (el tiempo de transferencia queda determinado por las cargas más susceptibles en el proceso productivo).

2. Identificar las características eléctricas de la planta industrial.

- a) Tensión de alimentación de las acometidas eléctricas:
 - 2 fuentes de alimentación eléctrica, 2 alimentadores de la compañía suministradora.
 - Una fuente de alimentación eléctrica de la compañía suministradora y una fuente de emergencia (conjunto motor-generador).
- b) Características técnicas de los alimentadores eléctricos.
 - Origen de las acometidas eléctricas.
 - Confiabilidad de los alimentadores eléctricos.
- c) Nivel de potencia corto circuito, corriente de corto circuito.
- d) Características del lugar de ubicación de la empresa, altitud y temperatura.

3. Seleccionar el sistema de transferencia de energía eléctrica (STEE)

- a) Determinar el tipo de transición.

- Abierta. 2 fuentes de alimentación eléctrica de la compañía suministradora.
 - Cerrada. 1 fuente de alimentación de la compañía suministradora y una de emergencia (conjunto motor-generador).
- b) Nivel de tensión a la que operará la transferencia de energía eléctrica.
- Media tensión.
 - Baja tensión.
- c) De acuerdo al tiempo de transferencia y tipo de fuentes definir el tipo de transferencia.
- Abierta con interruptores electromecánicos, interruptores de transferencia o interruptores de estado sólido.
 - Cerrada con interruptores de potencia electromecánicos, interruptores de transferencia o interruptores de estado sólido.
- d) Cálculo y selección del S.T.E.E.
- Cálculos de los elementos del sistema de transferencia.
 - Condiciones de operación de la transferencia.
 - Ajuste de los parámetros de protecciones eléctricas (opcional)
 - Ajuste de los parámetros de los relevadores ANSI 27, 81 (opcional).
 - Disposición final de los elementos de la transferencia.

4.2 Desarrollo de los Pasos para Seleccionar un STEE para una Planta Industrial

La planta industrial que se toma como ejemplo para la aplicar la metodología de selección del sistema de transferencia, se ubica en la parte norte de la Ciudad de México. Su giro es la manufactura de productos para el consumo humano, específicamente se dedica al proceso de lácteos y sus derivados, trabaja los 365 días del año. En su proceso productivo desde la entrada del producto la mano del hombre no toca el producto, significando esto que el 80 % de la planta es automatizada. Las líneas de recibo de materia prima, proceso, empaque, transporte de producto a sus almacenes son las principales áreas automatizadas. Además cuenta con una fabrica de plásticos para el emvasado de sus productos con maquinaria de tecnología para el proceso del plástico, así como el etiquetado.

4.2.1 Determinar las cargas críticas y las susceptibles a las interrupciones eléctricas

- a) **Usar los diagramas unifilares e identificar los niveles de tensión y ubicación de las cargas y clasificación de cargas eléctricas**

En los diagramas unifilares el tipo de cargas que se encuentran conectadas a su sistema eléctrico se enlistan, en las tablas siguientes. Donde se muestra una relación de las cargas predominantes en este tipo de industria.

Es importante contar con un diagrama unifilar, como el que se observa en la figura 4.1 en donde se contemplen los datos de la alimentación actual, así como las características de la carga que se utilizaran más adelante. Es importante esta información ya que nos dará una idea más amplia para la selección del sistema de transferencia de energía eléctrica.

b) Identificando las cargas susceptibles y críticas de acuerdo a las condiciones de operación, nivel de importancia en el proceso productivo

En la tabla 4.1 se agrupan todas las cargas críticas que se componen de motores, y se ocupan para servicios de bombas, sopladores, extractores, que tienen un funcionamiento no continuo, además de que el proceso productivo es afectado directamente cuando estos motores dejan de operar por causa de una interrupción. Cuando ocurre una interrupción del sistema eléctrico y estos motores dejan de funcionar el proceso productivo se ve afectado directamente.

Tabla 4.1 Grupo de cargas no críticas.

Grupo de cargas no críticas				
No. De Motores menores a 50 C.P.	No. De Motores entre 50 - 100 C.P.	No. De Motores entre 100 - 200 C.P.	No. De Motores entre 200 - 300 C.P.	No. De Motores entre 300 - 400 C.P.
431	27	3	5	2

De todo este grupo de cargas que contiene motores, el 35% usa para su arranque un sistema de velocidad ajustable (variadores de frecuencia y arrancadores de estado sólido). El resto usa dispositivos electromecánicos como contactores. El tiempo de transferencia para este grupo de cargas se fija de acuerdo a la gráfica de la figura 3.5.

Tiempo de transferencia no debe ser mayor a 3,5 s (210 ciclos).

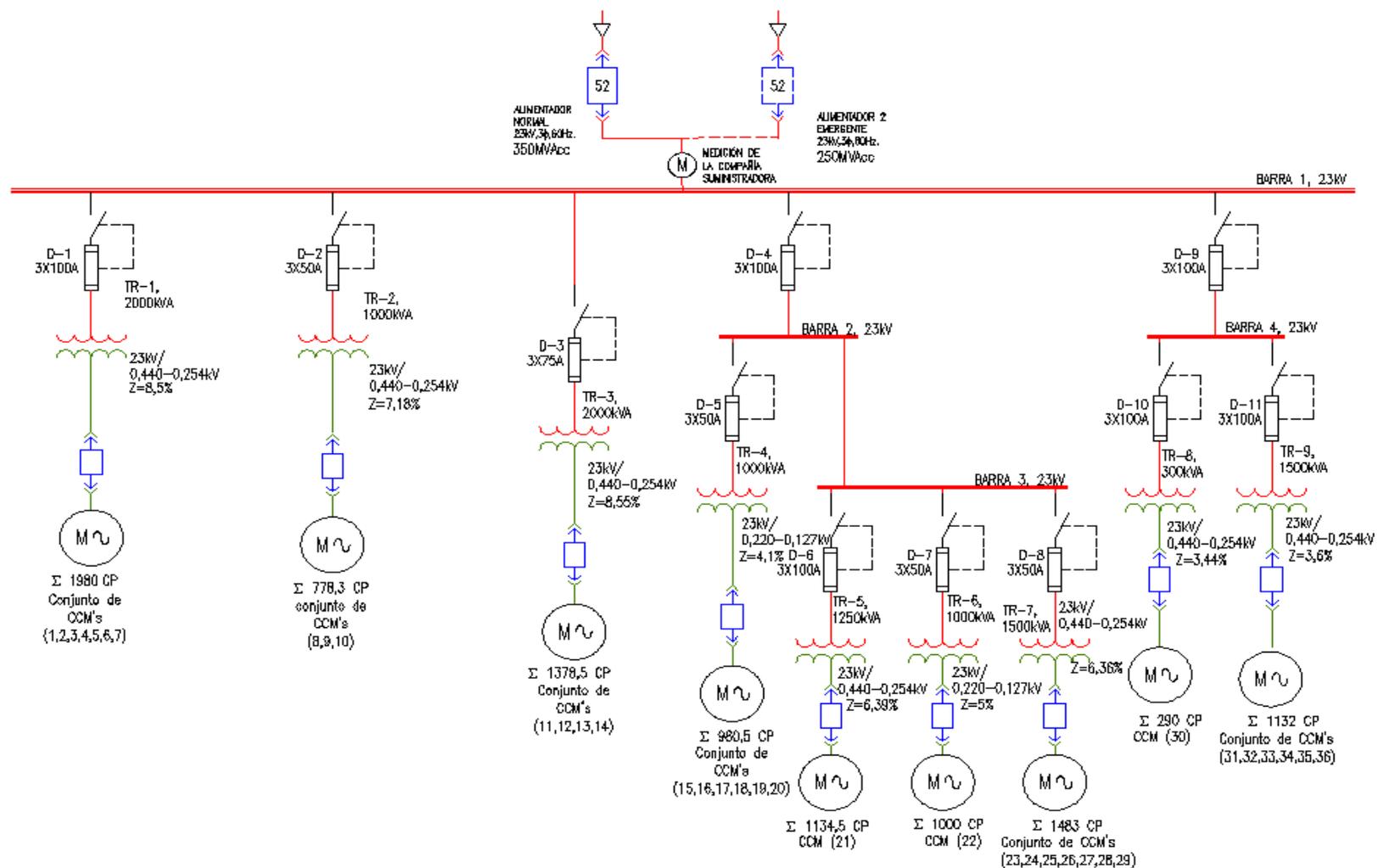


Figura 4.1 Diagrama Unifilar de la empresa propuesta.

El siguiente tabla hay un listado de maquinas que toleran una interrupción del suministro eléctrico menor o igual a 20 ms. Estas máquinas tienen un tiempo de proceso de inicio de aproximadamente 2 horas. Además que para hacer continuo el proceso y no sufrir retrasos necesita que los motores enlistados en la tabla 4.2 estén en funcionamiento.

Para el transformador 1, se tiene las siguientes cargas más susceptibles a presentar una falla debido a las interrupciones del suministro eléctrico. Se enlistan los motores que las máquinas tienen para realizar su proceso así como el equipo de control implementado para realizar su función

Tabla 4.2 Cargas susceptibles del transformador 1 de 2000 kVA.

Cargas conectadas al transformador 1 (2000 kVA)						
Nombre del equipo	Capacidad del motor en C.P.	Control		Valor de la tensión que soportan abajo de la nominal (100 %)		Tiempo que pueden tolerar una ausencia de tensión (0%)
				Tensión %	Tiempo (ms)	Tiempo (ciclos)*
Homogenizador S-16	150	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	45	80	<1,199
Homogenizador M-19	270	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	45	80	<1,199
Homogenizador B-19	270	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	45	80	< 1,199
Bombas	44	PLC	Variador de frecuencia	60	80	< 1,199
TBA-8 No. 28 y 29	80	PLC	Contactores	40	80	< 1,199
Bombas H-19	44	PLC	Variador de frecuencia	40	80	< 1,199
Pasteurizador	15	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	45	80	< 1,199
Bombas R-15	15	PLC	Variador de frecuencia	40	80	< 1,199
Bombas R-19	15	PLC	Variador de frecuencia	40	80	< 1,199
Total de C.P.	903					

*1,199 ciclos =20 ms

Para el transformador 3, se tiene las siguientes cargas susceptibles a presentar una falla debido a las interrupciones del suministro eléctrico.

Tabla 4.3 Cargas susceptibles del transformador 3 de 1000 kVA.

Cargas conectadas al transformador 3 (1000 kVA)						
Nombre del equipo	Capacidad del motor en C.P.	Control		Valor de la tensión que soportan abajo de la nominal (100 %)		Tiempo que pueden tolerar una ausencia de tensión (0%)
				Tensión %	Tiempo (ms)	Tiempo (ciclos)*
Bombas R-15	30	PLC	Variador de frecuencia	60	80	< 1,199
Bombas S-16	30	PLC	Variador de frecuencia	60	80	< 1,199
Equipo UHT	120	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Equipo UHT	120	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Equipo UHT	130	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Envasadora	80	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Envasadora	40	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Envasadora	40	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Envasadora	40	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Envasadora	40	PLC	Arrancador estado sólido (soft start)	40	80	< 1,199
Total en C.P.	670					

Tabla 4.4 Cargas susceptibles del transformador 4 de 1000 kVA.

Cargas conectadas al transformador 4 (1000 kVA)						
Nombre del equipo	Sumatoria de los motores (C.P.)	Control		Valor de la tensión que soportan abajo de la nominal (100 %)		Tiempo que pueden tolerar una ausencia de tensión (0%)
				Tensión %	Tiempo (ms)	Tiempo (ciclos)*
CCM-1	120	PLC	Contactador	60	30	< 1,199
CCM-2	30	PLC	Contactador	60	30	< 1,199
CMM-10-IZQ.	325	PLC	Contactador	60	30	< 1,199
CMM-10-DER.	162	PLC	Contactador	60	30	< 1,199
Total en C.P.	637					

Tabla 4.5 Cargas susceptibles como equipo de computo.

Nombre del equipo	Tiempo que pueden tolerar una ausencia de tensión (0%)
	Tiempo (ms)*
Edificio de computo	< 1,199
Centro de computo	< 1,199

Tabla 4.6 Equipo de iluminación.

Nombre del equipo	Potencia en Watts (W)	Tiempo que pueden tolerar una ausencia de tensión (
		Tiempo (ciclos)*
Lámparas de alta intensidad de descarga	250/400	< 1,199
Lámparas fluorescentes.	75-25-35	< 1,199
Lámparas incandescentes	60-75-100	< 1,199

*1,199 ciclos = 20 ms

c) En base a esto se define el tiempo de transferencia máximo permisible

De las tablas anteriores se concluye que el tiempo de apertura y cierre de los interruptores de potencia adecuados para realizar la transferencia de energía eléctrica no debe ser mayor a 1,199 ciclos (20 ms). De acuerdo a la curva ITIC (Information Technology Industry) el tiempo de transferencia no deberá exceder los límites marcados para equipo electrónico sensible (20 ms, 1,99 ciclos) y, se define una transferencia que opere en el intervalo marcado sobre la curva ITIC, que se muestra en la figura 4.2

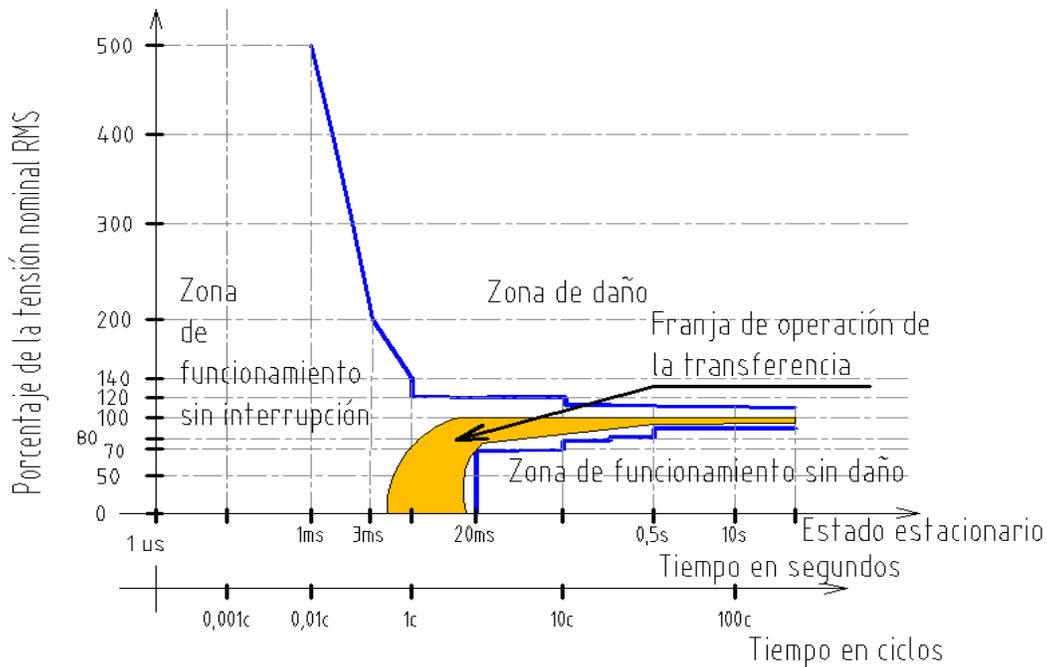


Figura 4.2 Gráfica de la operación de la transferencia de energía eléctrica.

De esta forma se protege a los equipos más sensibles del proceso productivo y se garantiza que su funcionamiento sea continuo. El tiempo de transferencia de redes queda determinado por la carga más sensible, que se encuentra en las líneas del proceso productivo de la planta industrial.

4.2.2 Conocer las características eléctricas de la planta industrial

a) Tensión de alimentación con sus datos eléctricos principales

Se cuenta con dos fuentes de alimentación eléctrica en media tensión en 23 000 V, con un sistema trifásico, que opera a una frecuencia de 60 Hz. En la tabla 4.1 se enlistan estos datos.

Tabla 4.7 Datos de las características de las acometidas eléctricas de la empresa.

• Tensión nominal de operación.	23 kV
• Frecuencia.	60 Hz
• Número de fases.	3 Fases
• Potencia de corto circuito del alimentador preferente.	350 MVA
• Potencia de corto circuito del alimentador emergente.	250 MVA

Tabla 4.8 Carga instalada en la planta industrial.

Equipo	kVA del transformador	Relación de transformación	I_{NP} (A)	I_{NS} (A)
TR-1	2000	23 kV /440-254 V	50,20	2624,31
TR-2	1000	23 kV /440-254 V	25,10	1312,15
TR-3	2000	23 kV /440-254 V	50,20	2624,31
TR-4	1000	23 kV /220-127 V	25,10	2624,31
TR-5	1250	23 kV /440-254 V	31,37	1640,19
TR-6	1000	23 kV /220-127 V	25,10	2624,31
TR-7	1500	23 kV /440-254 V	37,65	1968,23
TR-8	300	23 kV /440-254 V	7,53	393,64
TR-9	1500	23 kV /440-254 V	37,65	1968,23
TOTAL	11550		289,90	17 779,68

b) Características técnicas de los alimentadores eléctricos

- **Origen de las acometidas eléctricas**

Las acometidas eléctricas provienen de diferente subestación. El alimentador 2 tiene su punto de inicio en la subestación eléctrica lechería, es un alimentador por línea aérea. El alimentador 1 tiene su origen en la subestación eléctrica No. X, tiene las mismas características eléctricas que el preferente.

- **Confiabilidad de los alimentadores eléctricos**

Calculando la confiabilidad de los alimentadores eléctricos, con los datos que se obtienen de la compañía suministradora.

Alimentador eléctrico 1.

$$\lambda_1 = 0,25 \text{ falla/año}$$

$$\delta_2 = 24 \text{ h/falla}$$

Alimentador eléctrico 2.

$$\lambda_2 = 0,30 \text{ falla/año}$$

$$\delta_2 = 0,95 \text{ h/falla}$$

Para el alimentador eléctrico 1, calculando Q que se entiende como la no confiabilidad del sistema.

$$Q_1 = \lambda_1 \delta_1$$

$$1 \text{ año} = 365 \text{ días}$$

$$365 \text{ días} = 8760 \text{ hr}$$

$$Q_1 = \left(0,25 \frac{\text{fallas}}{8760 \text{ hr}} \right) \left(24 \text{ hr} / \text{fallas} \right) = 0,000684931$$

$$Q_1 = 0,0684931\%$$

Equivale a $6,0024 \text{ hrs/año} = 360,144 \text{ min/año}$ sin energía eléctrica.

Calculando la confiabilidad del alimentador 1

$$P_1 + Q_1 = 1$$

$$P_1 = 1 - 0,00068493 = 0,99931507$$

$$P_1 = 99,9315\%$$

Para el alimentador eléctrico 2, calculando Q que se entiende como la no confiabilidad del sistema.

$$Q_2 = \lambda_2 \delta_2$$

$$Q_2 = \left(0,30 \frac{\text{fallas}}{8760 \text{ hr}} \right) \left(9,5 \text{ hr} / \text{fallas} \right) = 0,000325342$$

$$Q_2 = 0,0325342\%$$

Equivale a $2,88 \text{ hrs/año} = 172,8 \text{ min/año}$ sin energía eléctrica.

Calculando la confiabilidad del alimentador 2

$$P_2 + Q_2 = 1$$

$$P_2 = 1 - 0,000325342 = 0,999674658$$

$$P_2 = 99,9674\%$$

El alimentador eléctrico de la subestación de lechería tiene una mayor confiabilidad 99,9674%, por lo tanto este será el preferente y quedando como emergente el alimentador 2.

Calculando la confiabilidad para los dos alimentadores. Ahora se considera como un sistema eléctrico paralelo redundante y la confiabilidad para ambos queda determinada por la siguiente ecuación.

$$P = 1 - Q_p$$

$$\text{Donde: } Q_p = (Q_1 \times Q_2)$$

$$Q_p = (6,8493 \times 10^{-4})(3,2542 \times 10^{-4}) = 0,2 \times 10^{-6}$$

$$P = 1 - 0,2 \times 10^{-6} = 0,999999772$$

$$P = 99,99\%$$

Equivale a $0,96 \text{ hrs/año} = 57,6 \text{ min/año}$ sin energía eléctrica.

c) Nivel de potencia de corto circuito y corriente de corto circuito

El nivel de potencia de corto circuito es proporcionado por la empresa suministradora. Para este caso como se tienen dos acometidas eléctricas por parte de la misma compañía suministradora se tomará la potencia de corto circuito de mayor valor. Que para este problema es el alimentador de la subestación lechería, tiene una potencia de corto circuito de 350 MVA, y el alimentador en la subestación eléctrica No. X es de 250 MVA. Por lo tanto se trabaja con una potencia de corto circuito de 350 MVA.

Para la corriente de corto circuito si se cuenta con el dato, solo hay que verificarlo que haya sido calculado con la potencia de corto circuito mayor. Si no se tiene se requiere hacer el cálculo para conocer la corriente de corto circuito. Como la empresa no cuenta con el dato de corto circuito en las barras principales de la subestación se realizó un cálculo de corto circuito.

Cálculos para determinar los datos de corto circuito en F1

De acuerdo a los valores obtenidos de resistencia y reactancia de los cables que conectan de los transformadores a los CCM's y los valores de reactancia de los motores se obtiene el siguiente diagrama de impedancias del sistema industrial.

Calculando la impedancia de la fuente:

$$Z = R + Xj$$

$$Xj = \frac{MVA_{base}}{MVA_{CC}}$$

$$= \frac{10MVA}{350MVA} = 0,02857$$

$$Z = 1 + 0,02857j = 1\angle 1,636$$

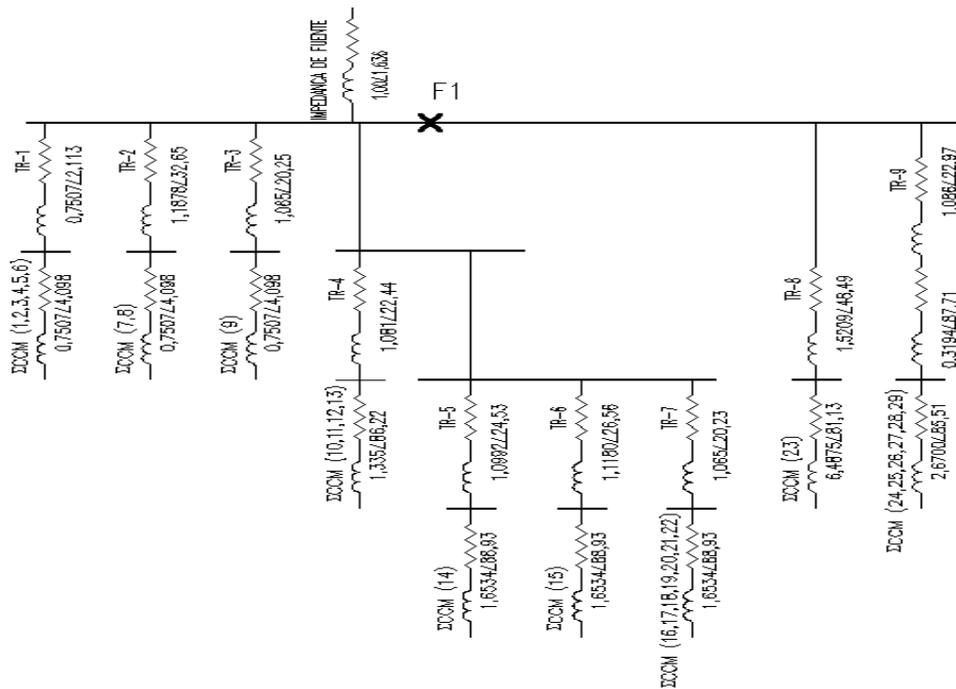


Figura 4.3 Diagrama de impedancias del sistema eléctrico industrial

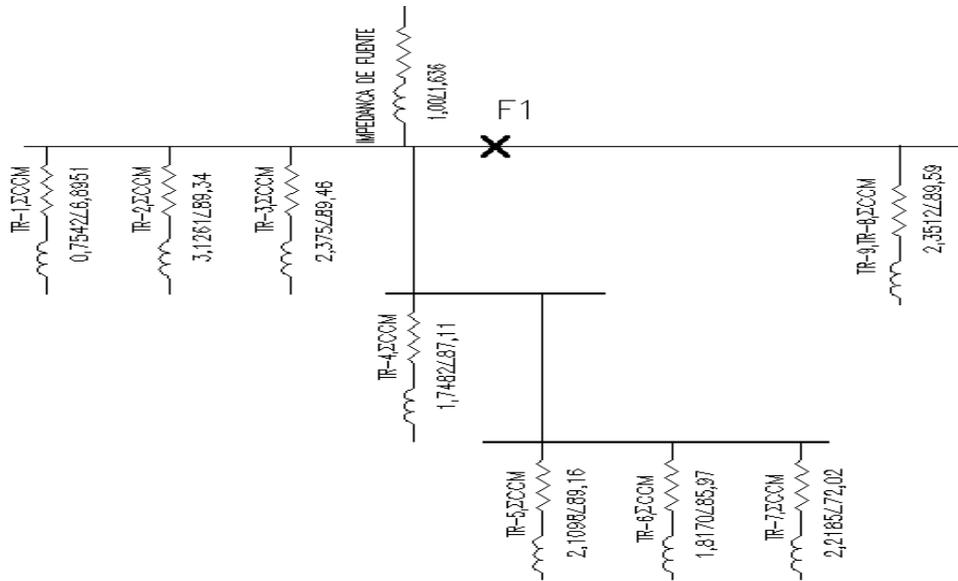


Figura 4.4 Diagrama de impedancias simplificado del sistema eléctrico industrial.

Resolviendo el diagrama unifilar de la figura 4.1 se obtiene un diagrama de reactancias que se muestra en la figura 4.3.

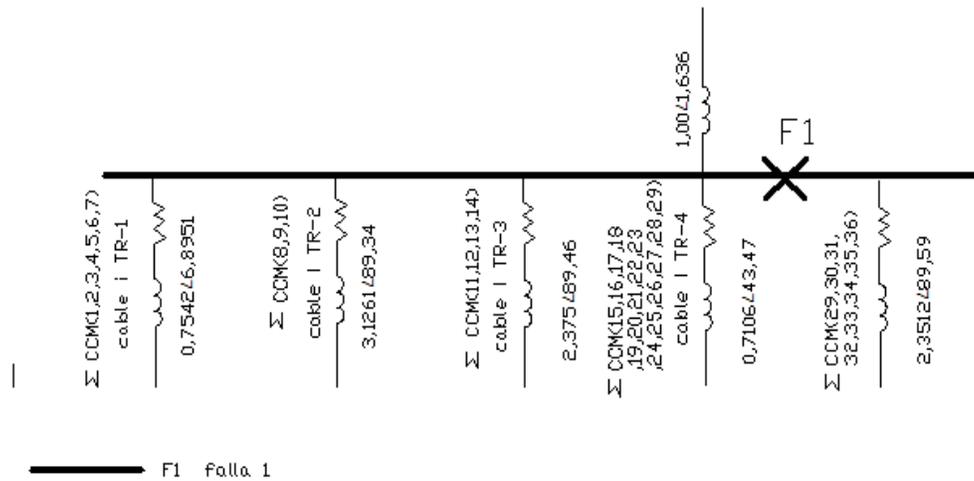


Figura 4.5 Diagrama de impedancias.

Del diagrama de impedancias se calcula la \bar{Z}_T total del circuito para obtener la corriente de corto circuito, en el punto de falla (F1) mostrado en la figura 4.4.

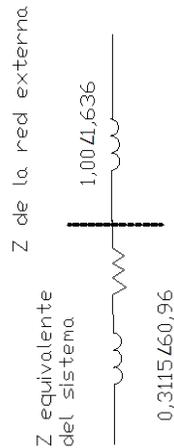


Figura 4.6 Diagrama de impedancia total.

$$Z_{EQUIV} = \frac{1}{\frac{1}{0,7542\angle 6,89} + \frac{1}{3,126\angle 89,34} + \frac{1}{2,375\angle 89,46} + \frac{1}{0,710\angle 43,47} + \frac{1}{2,3512\angle 89,59}} = 0,3115\angle 60,96$$

$$Z_{TOT} = \frac{1}{\frac{1}{0,3115\angle 60,96} + \frac{1}{1,00\angle 1,636}} = 0,02864\angle 67,22$$

Para obtener el factor X/R de la red equivalente se tiene:

$$0,02864\angle 67,22 = 0,01109 + j0,02641$$

$$\frac{X}{R} = \frac{0,02641}{0,01109} = 2,38$$

Calculando la corriente simétrica (A_{rms}) de corto circuito.

$$I_{SM} = \frac{kVA_{BASE}}{\sqrt{3} \times kV \times Z_{TOT}}$$

Usando 10 MVA como base para la potencia de corto circuito.

$$I_{SM} = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 23 \times 10^3 \times 0,02864} = 8764,72 A_{RMS}$$

Corriente asimétrica de corto circuito, usando un factor de 1,8 que depende del factor $\frac{X}{R}$ corresponde a un interruptor de potencia.

$$I_{ASIMETRICOS} = 8764,72 \times 1,8 = 15776,51 A_{RMS}$$

$$kVA_{SIMETRICOS} = \frac{kVA_{BASE}}{Z_{TOT}}$$

$$kVA_{SIMETRICOS} = \frac{10 \times 10^6}{0,02864} = 349,162 MVA$$

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, buscamos en el anexo 1 la tabla ANSI C37.06, las características del interruptor para la corriente de corto circuito calculada.

Tabla 4.8 Valores nominales de los interruptores de potencia.

Concepto	Valores.
Tensión nominal.	23 kV
Corriente nominal a 60 Hz.	1200 A
MVA nominales trifásicos.	1000 MVA
Tensión nominal máx. rms.	25,8 kV _{rms}
Tensión cresta de impulso.	125 kV _{rms}
Capacidad de interruptiva.	20,8 kA _{rms}

d) Características del lugar en donde se instalará el sistema de transferencia de energía eléctrica

La altura a la que se encuentra la planta industrial es de 2300 msnm, con una temperatura ambiente promedio de **18°C**. Dentro del área de la subestación eléctrica (S.E.) es lo más recomendable para alojar los gabinetes adecuados para la transferencia de energía eléctrica. Si se coloca dentro del área de la S.E. se facilitan las tareas de mantenimiento y revisión rápida de la transferencia de energía eléctrica.

El área de la subestación eléctrica cuenta con un techo y está delimitada por muros. Por lo tanto los tableros serán a prueba de polvo (NEMA 12), para operar en un sistema de 23 kV, 60 Hz. Y su posición final de instalación es en la S.E. principal.

4.2.3 Seleccionar el sistema de transferencia de energía eléctrica (STEE)

a) Determinar el tipo de transición

De acuerdo a las fuentes de alimentación eléctrica, que son dos de la compañía suministradora. La transferencia se tiene que realizar a transición abierta. Se considera

una transferencia a transición abierta porque no se tiene el control (de tensión, frecuencia) sobre las fuentes de potencial, el único que tiene control sobre estas fuentes de potencial es la compañía suministradora.

b) Nivel de tensión a la que operará la transferencia de energía eléctrica

Operará en media tensión en un sistema trifásico, de 60 Hz, con dos alimentadores eléctricos con una tensión en los puntos de acometida de 23 kV.

c) De acuerdo al tiempo de transferencia y tipo de fuentes determinar el tipo de transferencia

En el paso 1 se dieron los parámetros de las fuentes de alimentación. Se cuenta con dos alimentadores de energía eléctrica de diferentes puntos de origen. Por lo tanto el tipo de transferencia es a transición abierta y de acuerdo a la tolerancia de las cargas a las interrupciones de energía eléctrica, el tiempo de transferencia no debe ser mayor a 20 ms (1,19 ciclos). En la siguiente figura se muestran las formas de onda de operación de 1 STEE.

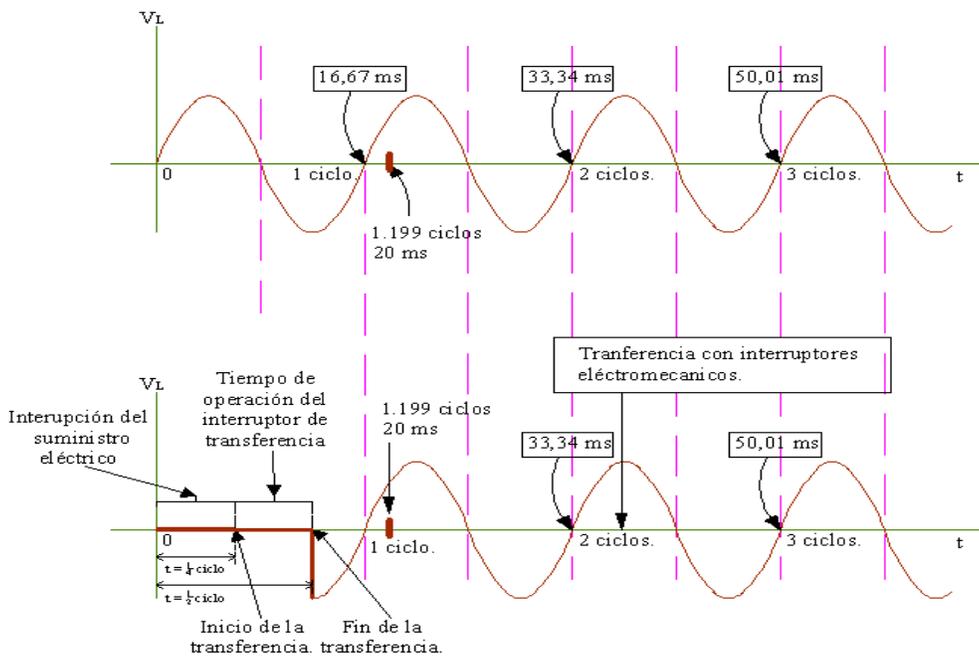
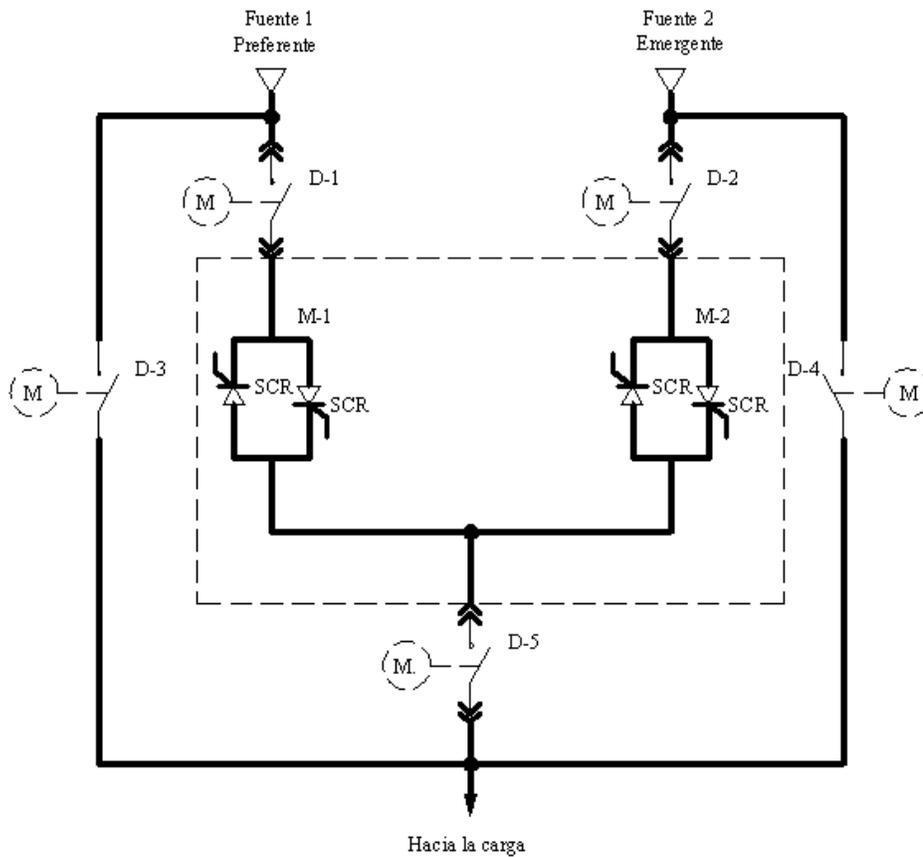


Figura 4.7 Formas de onda de operación del sistema de transferencia de estado sólido.

Por lo tanto se selecciona un sistema de transferencia con interruptores de estado sólido, que tienen un tiempo de operación menor de 4,17 ms ($\frac{1}{4}$ de ciclo) < 20 ms. En la figura 4.2 se muestra el arreglo que se implementará.



D1- D2-D3. Interruptores de aislamiento

M1-M2. Modulo de interruptores de estado sólido.

D3-D4. Interruptores de puente

SCR. Componente principal del interruptor de estado

Figura 4.8 Diagrama unifilar de un sistemas de transferencia con interruptores de estado sólido.

d) Cálculo y selección del STEE

Cálculo de los transformadores de corriente (TC)

Para la selección de los transformadores de corriente (TC), se procede a calcular la corriente que circula por las barras principales de la acometida, esto es sumando toda la carga o demandas de los transformadores de potencia y usando la ecuación siguiente.

$$I_n = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times V_L}$$

$$I_n = \frac{11550 \times 10^3}{(\sqrt{3} \times 23 \times 10^3)} = 289,930 A$$

Sustituyendo el valor de la I_n en la ecuación abajo mostrada para obtener la relación de transformación del TC.

$$I_{PRIMARIO} = I_n * 1,5$$

$$I_{PRIMARIO} = 289,930 * 1,5 = 434,895 A$$

Buscando la relación de transformación comercial en la tabla 2.1

$$a = 400 : 5$$

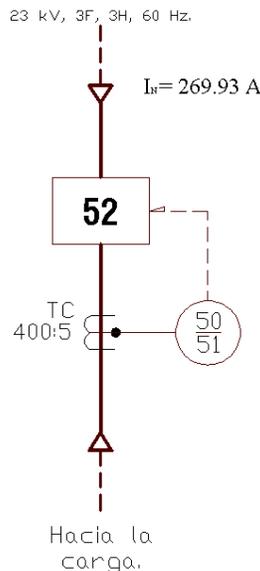


Figura 4.9 Diagrama unifilar de conexión de los transformadores de corriente.

Con este valor y de acuerdo a la tabla 2.1 que se encuentra en el capítulo dos seleccionamos el TC, que corresponde al siguiente:

Tabla 4.8 Valores nominales de los TC

Niveles de aislamiento.	Tensión nominal del sistema.	Relación de transformación típica.	Precisión		NBAI
			Para medición	Para protección	
25kV	23Kv	400/5	-----	C-100	125kV

Cálculo de los transformadores de potencial para medición (TP)

El tipo de conexión que se usará es estrella con neutro aterrizado en el primario y en el secundario como se muestra en la figura 4.. Estos transformadores a diferencia de los de control tienen una potencia nominal baja ya que su único propósito es suministrar una muestra de la tensión de la red eléctrica que monitorea. El transformador de potencial funciona en un sistema de 23 kV, a una frecuencia de 60 Hz, para montaje en soporte,

con terminales adecuadas para poder hacer las conexiones de las barras que lo conectan al circuito de las barras principales.

Cálculos:

El transformador que se usara es de 24000/120 V, 60 Hz 1 X Fase, como se muestra en la figura 4.5 Calculando la tensión en el primario, cuando se conectan a una tensión de 23 kV.

$$V_{L-F} = \frac{23000}{\sqrt{3}} = 13279,056V$$

Si el transformador es de 24 000 / 120 V la relación de transformación es:

$$a = \frac{24000}{120} = 200$$

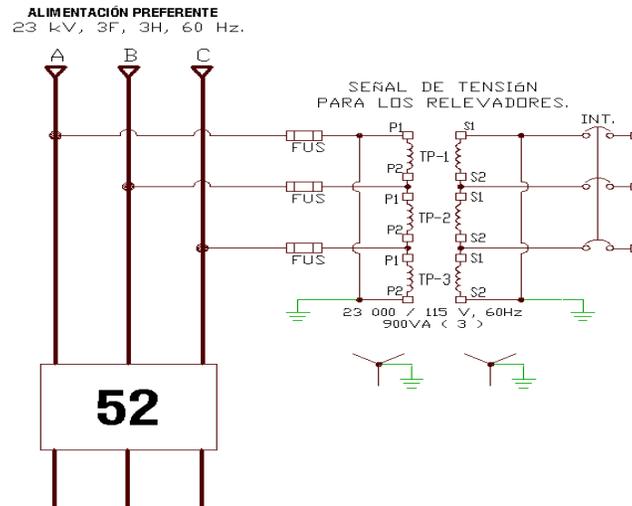


Figura 4.10 Diagrama de conexión de los transformadores de potencial.

Como se muestra en la figura 4. la conexión de los transformadores de potencial es en estrella realizando los cálculos para las tensiones en el secundario:

$$a = \frac{V_P}{V_S}$$

Despejando V_S

$$V_S = \frac{13279,56}{200} = 66,40V$$

Realizando la conexión en estrella de los TP's como se muestra en la figura 4.6, la tensión de línea es:

$$V_{L-L} = (66,40 \times \sqrt{3}) = 115,00V$$

La potencia de cada TP es de 900VA, por lo tanto el valor de los fusibles de protección del primario y del secundario es:

- Para el primario:

$$I_n = \frac{3 \times 900}{\sqrt{3} \times 23000} = 0,0677 A$$

$$Cap - del - Fusible = 0,0677 \times 3 = 0,2033 A$$

Por lo tanto el valor seleccionado del fusible para media tensión es: 1 A.

- Para el secundario:

$$I_n = \frac{3 \times 900}{\sqrt{3} \times 115} = 13,55 A$$

$$Cap - del - Fusible = 13,55 \times 1,25 = 16,94 A$$

El valor seleccionado del fusible para la protección del secundario es: 15 A por fase.

Cálculo del transformador de control

Es transformador de potencial (TP), deberá soportar toda la carga de los equipos de control instalados en las cajas de control de la transferencia. Además de estar adecuado para operar en un sistema trifásico a una tensión de 23 kV, frecuencia de 60 Hz, servicio interior, para montaje en soporte.

Cálculos:

Relación de la carga de los equipos de control:

Tabla 4.9 Relación de la carga de los equipos de control.

Equipo	VA
Relevador de control.	35
Control del interruptor de potencia.	250
Resistencias calefactoras.	125
Conmutador.	35
Lámparas piloto.	20
Total	515

La potencia del transformador en VA de acuerdo a la tabla 4.9 es de 515 VA. El transformador seleccionado es de 900 VA, que es el valor comercial mayor a 515 VA.

Tensión en el primario:

$$V_{L-F} = 13279,056V$$

Usando un transformador de control con una relación de 13 800/120 V, 60 Hz. La tensión en el secundario si la alimentación es de 13 279,056V es de:

$$a = \frac{13800}{120} = 115$$

$$V_s = \frac{13279,56}{115} = 115,00V$$

El control tendrá una tensión de alimentación de 115 V, 60 Hz en un circuito monofásico. Esta tensión será convertida a corriente directa.

El valor de los fusibles de protección del primario y del secundario es:

- Para el primario:

$$I_n = \frac{900}{13279,056} = 0,0670A$$

$$Cap - del - Fusible = 0,0670 \times 3 = 0,201A$$

Por lo tanto el valor seleccionado del fusible para media tensión es: 1 A.

- Para el secundario:

$$I_n = \frac{900}{115} = 7,826A$$

$$Fus = (7,826 \times 1,25) = 9,782A$$

Por lo tanto el valor seleccionado del fusible para la protección del secundario es: 10 A. En función de los datos obtenidos de la carga se selecciona un transformador de control con las siguientes características enlistadas en la siguiente tabla:

Tabla 4.10 Valores nominales del TP de control.

Niveles de aislamiento.	Tensión nominal del sistema.	Relación de transformación		Precisión	VA	NBAI
		Primario	Secundario	Para medición		
25kV	23kV	13 800V	120V	0,3	900	125kV

Cálculo de las barras conductoras principales y derivadas

Se usara solera de cobre con los cantos redondeados, con un recubrimiento de solución de plata para mejorar su conductividad. Además de estar perfectamente sujetas por aisladores a la base de los soportes y se identificaran por norma (NOM 001-SEDE 2005) A-B-C de izquierda a derecha de frente hacia tras y de arriba hacia abajo. Contando con las distancias mínimas permitidas para una tensión de operación de 23 kV, y de uso interior que es 26,67mm (10,5in) de fase a fase y 19,05mm (7,5in) de fase a tierra.

Cálculos:

$$I_n = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times V_L}$$

$$I_n = \frac{11550 \times 10^3}{(\sqrt{3} \times 23 \times 10^3)} = 289,930 A$$

Se tiene que conseguir una barra que soporte una corriente nominal de 289,939 A continuos sin incrementar la temperatura nominal de operación. Calculando la densidad de corriente para una barra de cobre $\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{2}$ in ($6,35 \times 38,1$ mm).

$$\rho_{corriente} = \left(\frac{1}{4} in\right) \times \left(1\frac{1}{2} in\right) \times 1000 A = 375 A / in^2$$

Por lo tanto esta barra de cobre es adecuada para la interconexión de los equipos del sistema de transferencia de energía eléctrica. El esfuerzo lateral que los aisladores deberán soportar en condiciones de corto circuito es el siguiente:

$$P = \frac{5,4 \times K \times I_{cc-a}^2 \times I \times F \times 10^{-7}}{d}$$

Considerando que el sistema es de 23 kV, y la capacidad de conducción de las barras es de 289,930 A por fase, 60 Hz, para un sistema de capacidad de corto circuito de 391,910 MVA, 9837,820 A_{RMS} , con barras de cobre de $\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{2}$ in ($6,35 \times 38,1$ mm). Que serán soportadas por aisladores tipo pesado, separados a cada 36in (914,4mm), la separación centro a centro de las barras es de 12 in, (304,8mm), aplicado la ecuación 2.8.

$$P = \frac{5,4 \times 1,1 \times (15740,512)^2 \times 3 \times 4,1 \times 10^{-7}}{12} = 1508,50 lb$$

$$1508,50 lb \text{ --- } 684,248 kg$$

$$(684,248 kg) \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) \text{ --- } 6705,630 N$$

El valor comercial del aislador para una resistencia de 6705,630 N es de 8000 N para aplicarlos en un sistema de 23 kV.

Barra de Tierra

Es de cobre y se ubica en la parte inferior del tablero, recorriendo todo la sección transversal trasera del tablero.

Ajuste de los relevadores de protección (ANSI 50/51)

Para el alimentador normal tiene una tensión de 23 kV, 3 ϕ , 3H, 60Hz con una potencia de corto circuito de 350 MVA. Esta acometida proviene de la subestación ubicada en lechería.

Tabla 4.11 Carga instalada en la planta industrial.

Equipo	kVA del transformador	Relación de transformación	I_{NP} (A)	I_{NS} (A)	$I_{MAGNETIZACIÓN}$ (A)	Tiempo en (s)
TR-1	2000	23 kV /440-254 V	50,20	2624,31	401,16	0,1
TR-2	1000	23 kV /440-254 V	25,10	1312,15	200,8	0,1
TR-3	2000	23 kV /440-254 V	50,20	2624,31	401,16	0,1
TR-4	1000	23 kV /220-127 V	25,10	2624,31	200,8	0,1
TR-5	1250	23 kV /440-254 V	31,37	1640,19	250,96	0,1
TR-6	1000	23 kV /220-127 V	25,10	2624,31	200,8	0,1
TR-7	1500	23 kV /440-254 V	37,65	1968,23	301,2	0,1
TR-8	300	23 kV /440-254 V	7,53	393,64	60,24	0,1
TR-9	1500	23 kV /440-254 V	37,65	1968,23	301,2	0,1
TOTAL	11550		289,90	17 779,68	2318,32	0,1

Ajuste de los parámetros de la protección contra sobrecorriente (ANSI 51) del alimentador preferente y emergente.

La corriente nominal del alimentador preferente es de:

$$I_{N-N} = 289,90 A \quad a \quad 23kV$$

La corriente de magnetización es 8 veces la corriente nominal de cada transformador. En la tabla 4.11 se muestra este valor para cada transformador.

$$I_{MAGNETIZACIÓN} = 2318,32 A$$

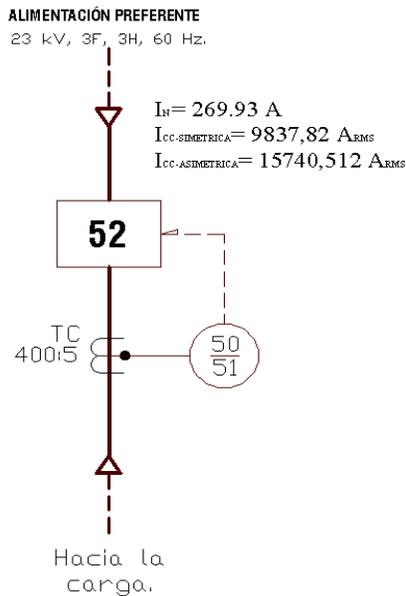


Figura 4.11 Diagrama de conexión de las protecciones (50/51) del alimentador preferente y emergente.

Con una sobrecarga del 25 % la corriente de sobrecarga es de:

$$I_{SC-N} = (1,25 \times 289,90 A) = 362,37 A$$

Calculando la corriente mínima de operación (I_{pickup}) del relevador de protección.

$$I_{pickup} = \frac{362,37}{80} = 4,52$$

El relevador se ajusta a la derivación inmediata superior: 5.

Calcular la corriente secundario de corto circuito (I_{CC-S})

$$I_{CC-S} = \frac{8764,729}{80} = 109,559$$

Los valores múltiplos de la corriente (M) respecto a la corriente mínima de operación:

$$I_{CC-S} = \frac{109,559}{5} = 21,911$$

21,911 veces la corriente mínima de operación.

Calculando el tiempo de operación del relevador y tomando una curva muy inversa (very inverse). Usando la ecuación y los datos de los factores para determinar las características de sobrecorriente de tiempo inverso.

$$t_{OPERACIÓN} = \frac{13,5}{(21,911)^1 - 1} = 0,645s$$

Ajuste de los parámetros de la protección contra sobrecorriente tiempo instantáneo (ANSI 50) de los alimentadores preferente y emergente

Tomando como la corriente $I_{ASIMETRICA} = 157765,122 A_{RMS}$ y la corriente de magnetización de toda la carga es 2318,32 A en 0,1s. Con una corriente mayor a 2318,32A se puede tomar como un corto circuito. Por lo tanto tomando la corriente nominal de 289,90 A.

$$I_{50} = \frac{2318,32}{289,90} = 8$$

El ajuste para el instantáneo de de 8 veces la corriente nominal de 289,90 A

$$a = \frac{5}{400} = 0,0125$$

$$0,0125 = \frac{I_s}{269,80} \quad \text{Despejando } I_s$$

$$I_s = (289,90)(0,0125) = 3,623A$$

$$I_s = (3,623)(8) = 28,984A$$

Curvas tiempo corriente de los relevadores de protección para los alimentadores preferente y emergente

En ambos casos (preferente y emergente) se usará una forma de curva muy inversa, tomando los valores de la corriente mínima de operación y los múltiplos (M) se busca en las graficas tiempo corriente la curva más adecuada. La curva extremadamente inversa es muy flexible para poder coordinarla con los fusibles. Ver anexo A4.

Ajuste de los parámetros de los relevadores de pérdida de potencial (27)

Este relevador tendrá un ajuste de sobretensión del 10% y un ajuste para una caída de tensión del 10%. Otra consideración importante es el retardo del tiempo después de que ocurre una variación de la tensión, ese tiempo se fijara en 10 s, el mismo para una ausencia de potencial en el alimentador normal o emergente. En la siguiente figura (4.7)

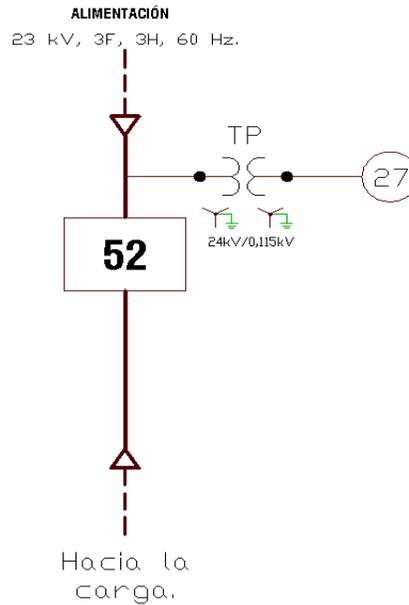


Figura 4.12 Diagrama del relevador ANSI 27 en los alimentadores preferente y emergente.

Cálculos:

Si la alimentación de normal es de 23 kV con un circuito de tres fases, 3 hilos. El transformador de medición deberá entregar una tensión de operación al relevador de 115 V, 60 Hz de línea a línea. Además de considerar los siguientes parámetros:

Valores nominales sin variación de tensión:

$$I_{L-L} = 23000V$$

$$I_F = 13279,05 A$$

1. Calculando la relación de transformación.

$$a = \frac{24000}{120} = 200$$

2. Para una variación del -10% se obtienen los siguientes valores:

$$(23000V) \times (0,1) = 2300V$$

$$\text{Por lo tanto: } V_{L-10\%} = (23000 - 2300) = 20700V$$

Valores por fase:

$$I_{F-10\%} = \frac{20700}{\sqrt{3}} = 11951,15V$$

Sí $a = 200$ la tensión en el secundario de los TP de fase considerando una variación de -10% es:

$$V_{S-F} = \frac{11951,15V}{200} = 59,755V$$

Tensión de V_{L-L} en el secundario es:

$$V_{L-L} = 59,755\sqrt{3} = 103,500V$$

3 Para una variación del $+10\%$ se obtienen los siguientes valores:

$$(23000V) \times (0,1) = 2300V$$

Por lo tanto: $V_{L-10\%} = (23000 + 2300) = 25300V$

Valores por fase:

$$V_{F+10\%} = \frac{25300}{\sqrt{3}} = 14606,96V$$

Sí $a = 200$ la tensión en el secundario de los TP de fase considerando una variación de $+10\%$ es:

$$V_{S-F} = \frac{14606,96V}{200} = 73,034V$$

Tensión de V_{L-L} en el secundario es:

$$V_{L-L} = 73,034\sqrt{3} = 126,499V$$

4. Para la ausencia de potencial en uno de los alimentadores el retardo en el tiempo se ajusta a 10 s.

El mismo procedimiento y los mismos datos se configuran para el relevador 27 del lado del alimentador emergente. En conclusión los datos se reflejan en la siguiente tabla 4. :

Tabla 4.12 Parámetros de los ajustes del relevador ANSI 27.

Caída de tensión vista en el secundario.			Sobretensión vista en el secundario.			Pérdida de potencial
Ajuste (SET) %	V_{L-L} (V)	Ajuste del retardo de tiempo (s)	Ajuste (SET) %	V_{L-L} (V)	Ajuste del retardo de tiempo (s)	Ajuste del retardo de tiempo (s)
90	103,500	10	110	126,499	10	10

En el plano de Anexo A4 se muestra un diagrama unifilar del sistema de transferencia de energía eléctrica de estado sólido con los equipos previamente calculados en los pasos anteriores.

4.3 Operación del Sistema de Transferencia de Energía Eléctrica

La subestación de lechería tomara toda la carga en primer lugar, asignándole a este alimentador eléctrico el nombre de Preferente y para el alimentador 2 que es de la subestación No. 2 Emergente. Una característica especial de este tipo de sistema de transferencia es que se realiza en $\frac{1}{2}$ ciclo (8,33 ms) en caso de una de interrupción (ver figura 4.). A continuación se dan las condiciones de operación del sistema de transferencia de energía eléctrica.

1. Disminución de potencial de 23 000 en preferente

El relevador ANSI 27 registra una disminución del 10% del valor nominal, en esta situación el relevador cierra sus contactos y manda una señal al relevador ANSI 2 que contara 1 minuto. Si el minuto se cumple con el valor de la tensión menor a la nominal se inicia la transferencia (Preferente a Emergente).

Cuando se tengan las condiciones de tensión nominales en preferente se inicia la re-transferencia solo si $V_L \geq 0$ en preferente.

2.- Ausencia de potencial de 23 000 en preferente

El relevador ANSI 27 detecta esta condición y manda la señal para abrir el interruptor de preferente y cerrar emergente. Cuando ocurre la interrupción inmediatamente se activa el relevador ANSI 2, si el tiempo de interrupción es mayor a 4,17 ms (1/4 ciclo) se inicia la transferencia de emergente a preferente. Ver la figura 4.

El tiempo total de la transferencia desde que ocurre la interrupción es de $\frac{3}{4}$ de ciclo (12,51 ms).

3.- Si regresa el potencial de 23 000 a el alimentador preferente.

- Se prepara para la transferencia.
Cuando el control de la transferencia detecta un cruce por cero se inicia la transferencia. Se da la señal al circuito de apertura del interruptor de potencia de estado sólido del alimentador emergente.
- Se cierra el interruptor preferente.

NOTA: Nunca se deberá realizar la transferencia de energía eléctrica en paralelo, siempre se deberá hacer con una interrupción de energía (no mayor a 20 ms; 1,199 ciclos) desconectando el interruptor que está cerrado y después cerrar el interruptor que en turno este abierto.

4.- Si hay ausencia de potencial en emergente.

Esta condición es cuando se haya realizado la transferencia y el alimentador emergente tenga un problema se procederá de la misma forma que en el punto 2.

5.- Si falta potencial en los mismos alimentadores al mismo tiempo.

El relevador ANSI 27 manda una señal al relevador ANSI 2 que inicia su conteo hasta 1 minuto. Si la ausencia de potencial supera el minuto se abre el interruptor preferente. De tal manera que se tengan ambos interruptores abiertos (emergente y preferente). Bajo estas condiciones se puede presentar lo siguiente:

- Que el potencial regrese a el alimentador preferente.
Este cambio es registrado por el relevador ANSI 27 e se inicia el contador (ANSI 2) si el potencial tiene las condiciones adecuadas, y esta presenta por más de 1 minuto se cierra el interruptor de preferente.
- Que el potencial esté presente en presente en ambos alimentadores simultáneamente.
Se cierra el alimentador preferente y permanece abierto emergente.
- Si hay potencial solo en emergente.
Se cierra inmediatamente el interruptor de emergente y permanece abierto preferente. Si hay potencial en el alimentador preferente se da inicio a la transferencia.

5. Condiciones de mantenimiento.

Si el personal técnico de la planta industrial requiere dar mantenimiento a uno o a los interruptores de estado sólido las condiciones de operación serán de la siguiente manera. Mantenimiento programado: En este modo de operación pueden darse las siguientes condiciones.

- Mantenimiento a los interruptores de estado sólido: Se procederá de la siguiente manera.
 1. Para esta se cierra el desconectador 1, una vez que se encuentra en cerrado se procederá a abrir el interruptor de estado sólido.
 2. Si el alimentador emergente esta conectado a la carga, el interruptor que se cierra es el 2, para después abrir el interruptor de estado sólido del lado preferente.
 3. Abrir las desconectadotes de aislamiento de los interruptores de estado sólido.
- Operación normal y se presenta una falla del interruptor de estado sólido.

Si es el interruptor del lado preferente, el control de la transferencia migra toda la carga eléctrica para el alimentador emergente en un tiempo no mayor a 1.199 ciclos. El personal técnico a cargo revisara el panel de control para identificar la falla y proceder con los puntos 1,2 y 3 descritos anteriormente.

4.4 Estudio Económico del Proyecto

Si se retoma el concepto de que en la red eléctrica de distribución en el área metropolitana llega a tener 0,25 fallas al año en la zona periferia debido a que se tienen un mayor número de alimentadores en forma radial. Es necesario realizar un estudio económico que refleje las pérdidas económicas por interrupciones eléctricas en un alimentador. Para el alimentador 1, de acuerdo a las estadísticas de la empresa suministradora se calculan la confiabilidad y la no confiabilidad.

- Confiabilidad (P) = 99,93%
- No confiabilidad (Q) = 0,07%
- Fallas al año (λ) = 0,25
- Horas al año (δ) = 24

Ahora bien, se tienen 1000 empleados, el salario de cada uno de los empleados es de 150 pesos diarios.

$$(No.Obreros)(SalarioporObrero) = (1000)(150,00) = \$150000,00 / \text{diarios}M.N.$$

Los gastos por año ascienden a:

$$(150000)(365) =]\$254750000,00 / \text{año}M.N.$$

Por estadística el numero de fallas al año de 0,2555

$$(150000)(0,2555) = \$38325,00 / \text{año}M.N.$$

Y si consideramos que la producción de la empresa de lácteos es de 690 000 litros al día y la inversión que se le da a este producto desde su extracción es de \$ 4,00 M.N. Entonces se tiene que el costo de producción es de:

$$(690000)(4,00) = 2760000,00M.N.$$

Ahora la pérdida por litros sin procesar por las 0,2555 horas al año de interrupciones se puede representar como sigue:

$$\text{Pérdida/ año} = (0,2555 \text{ horas}) (690\ 000) = 176\ 295,00 \text{ litros por año.}$$

Las pérdidas en pesos al año son:

$$(176295,00 \text{ litros} / \text{año})(4,00\$ / \text{litro}) = \$705180,00 / \text{año}M.N.$$

Sumando las ambas pérdidas por año.

$$(\text{Pago a Obreros}) + (\text{pérdidas producción}) = 38325,00 + 705180,00 = \$743505 / \text{año}$$

Implementando el sistema de transferencia energía eléctrica se incrementa la confiabilidad a 99.99%, por lo tanto se tienen 0,0365 días sin energía al año.

El costo de pago a obreros con este sistema es de:

$$(150000)(0,0365) = \$5475,00 / \text{año}M.N.$$

Las pérdidas por litros sin procesar son:

$$(690000)(0,0365) = 25185,00 \text{ litros} / \text{año.}$$

Las pérdidas en pesos

$$(25185,00)(4,00) = \$100740,00 / \text{año}M.N.$$

Total de pérdidas al año

$$(100740,00) + (5475,00) = \$106215,00 / \text{año}M.N.$$

Entonces las pérdidas disminuyen hasta un 85.69%, la diferencia en pesos es de 637 290,00 pesos de ahorro anual.

Evaluación y Valoración del proyecto de reemplazo

A continuación se evaluarán los costos y beneficios para un proyecto de reemplazo dentro de una industria. Un proyecto de reemplazo consiste en el cambio de equipo, una máquina, o cualquier otro activo para hacer eficiente las operaciones de una empresa en nuestro caso se evaluará la adquisición de un sistema de transferencia para una industria.

El primer caso trata de un sistema de transferencia a transición abierta con interruptores de potencia con un tiempo de operación de 83 ms (5ciclos). Para poder respaldar las cargas susceptibles se necesita hacer uso de equipos como UPS que den un tiempo de respaldo mayor a 83 ms (5ciclos). El segundo caso es un sistema de transferencia de energía eléctrica con interruptores de estado sólido, que tienen un tiempo de operación de 4,17 ms (1/4 de ciclo).

1. Para el primer caso con un arreglo de interruptores de potencia que su tiempo de transferencia suele ser mayor a 20 ms (1,199 ciclos) y aproximadamente a 83 ms (5 ciclos)

Para este análisis se calcula el costo que se requiere para proteger un kVA. El costo total por cada kVA de la carga instalada en el sistema eléctrico de la industria se puede calcular con la carga total del sistema industrial a proteger por las interrupciones entre el costo total del equipo que se desea adquirir.

$$\text{Costo} / \text{kVA} = \frac{\$442228,88}{11550\text{kVA}} = 38,28\$ / \text{kVA}$$

Con este tipo de arreglo al momento de realizarse la transferencia la carga crítica que no soporta menos de 20 ms (1,199 ciclos), es afectada, es decir cuando suceda la interrupción de energía 2210 kVA entre arrancadores, variadores de frecuencia, contactores y algunos equipos de iluminación serán susceptibles a la falla. Al fallar estos equipos la pérdida de producción será de casi un 70% debido a que el otro 30% es producto que puede seguir su proceso debido a que los equipos pueden soportar un tiempo mayor de interrupción de 20 ms (1,199 ciclos).

Se tiene la opción de agregar un grupo de UPS para respaldar las cargas susceptibles durante el tiempo de transferencia (5 ciclos) entonces el costo de estos equipos sería de:

$$\text{Costo} / \text{UPS} = 1\ 018\ 722,50$$

$$\text{Costo total} = 442\ 228,88 + 1\ 018\ 722,50 = 1\ 460\ 951,38\text{M.N.}$$

Ahora con este grupo de UPS el costo por cada kVA es de:

$$\text{Costo} / \text{kVA} = \frac{\$1460951,38}{11550\text{kVA}} = 126,4\$ / \text{kVA}$$

2. Para el segundo caso se tiene la opción de un sistema de transferencia con interruptores de estado sólido que tienen la capacidad de realizar la transferencia en menos de 20 ms, este sistema de transferencia lo realiza aproximadamente en un cuarto de ciclo

El costo aumenta respecto al sistema con interruptores de potencia en vacío pero las pérdidas de producción disminuyen. Si consideramos que la transferencia se realiza en menos de 20 ms (1,199 ciclos) y 2210 kVA son cargas susceptibles que no pueden tolerar una interrupción por mas de ese tiempo entonces se puede considerar que cuando haya una interrupción en la red eléctrica no habrá afectaciones en la industria y que el 95% de los equipos no tendrán ningún problema para seguir operando.

$$\text{Costo} / \text{kVA} = \frac{\$1329786,0}{11550\text{kVA}} = 115,130\$ / \text{kVA}$$

Para nuestro caso un sistema de transferencia de este tipo es lo más adecuado y la recuperación de la inversión por este equipo será en más de 1 año. Se muestra claramente que la inversión inicial es recuperable en más de un año con respecto a las pérdidas que pueden surgir debido a las fallas de la red eléctrica de distribución.

Realizando una comparación de cuánto cuesta un kVA para cada arreglo de transferencia se tiene:

Costo por cada kVA con interruptores en vacío mas UPS

$$= 126,4\$/\text{kVA}$$

Costo por cada kVA con interruptores de estado sólido.

$$= 115,13\$/\text{kVA}$$

Un arreglo de sistema de transferencia en estado sólido es más conveniente para utilizar en nuestro caso debido a que resulta más económico respecto al arreglo con interruptores de potencia y es más factible en respaldar las cargas susceptibles y críticas de la industria, ahora se hace mención de la forma de inversión y recuperación del proyecto. Considérese que la empresa opta por pagar el equipo a 3 años con una tasa de interés del 11%.

$$VPN = (\$ 1\,329\,786,00) (1,11) = \$ 1\,476\,062,24$$

$$\text{Costo / año} = \frac{\$1476062,24}{3\text{ años}} = 492020,820\$ / \text{año}$$

Tabla 4.13 Calculo del VPN

Inversión inicial (\$)	Años		
	1	2	3
0			
1 329 786,00	492 020,820	492 020,820	492 020,820

Sí consideramos que habrá flujos iguales durante el periodo de vida del proyecto, el periodo de recuperación será;

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{inversioninicial}}{\text{flujoefectivo}}$$

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{1329786,00}{492020,920} = 2,70 \text{ años equivale a 2 años 8 meses } (0,72)(12)$$

Si los flujos totales no son iguales se hace una tabla de amortización para determinar el periodo de recuperación.

Y también si se considera que a cada año se incluirá un 2% de costo total del equipo por mantenimiento entonces:

$$\text{Costo por mantto. Anual} = 132986,00(0.026595.722\text{m.n.})$$

Tabla 4.14 Amortización del costo de la transferencia.

Años	Inversión	Flujo anual	Saldo por cubrir
1	-1 329 786,00	492 020,820	- 837,7 65.180
		Costo por mantto.-----	- 840,424.900
2	-840,424,900	492 020,820	- 345 744,360
		Costo por mantto.-----	--374,999.500
3	-374,999.500	492 020,820	146 276,460
		Costo por mantto.-----	143,617.040

Después de 2 años 8 meses se obtiene una ganancia de \$143 617,040 pesos. Y se estima una vida útil del equipo es de 10 años. Los años subsecuentes se está obteniendo una ganancia.

Conclusiones

Las interrupciones de suministro eléctrico que se presentan en el área metropolitana ocasionan pérdidas de producción en algunas industrias y por lo tanto esto se enfatiza aun más desde el lado económico, no importando el giro comercial a que se dedique dicha empresa. La mayor parte de estas industrias cuentan con cargas susceptibles que pueden presentar alteraciones o daños en su funcionamiento debido a las interrupciones eléctricas y cargas críticas que son esenciales para tener un proceso de producción continuo.

En este trabajo mediante una serie de pasos para cálculo y seleccionó un sistema de transferencia de energía eléctrica tratando de que sea el más adecuado y conveniente para mantener en operación constante las cargas de la empresa. Existen varios arreglos para realizar una transferencia, en base a la metodología y conociendo las características eléctricas de la empresa se elige que la transferencia debe ser apta para operar cuando se tienen dos alimentadores y cargas susceptibles (sin interrupción menor a 20 ms, 1,199 ciclos) y un número importante de cargas críticas.

Se seleccionó un equipo que tiene la capacidad para respaldar las cargas contra interrupciones del suministro eléctrico. En esta industria se cuentan con 2 210 kVA de cargas susceptibles y se tienen dos alternativas. La primera es utilizar un sistema de transferencia normal que dura 5 ciclos y, ese tiempo de transferencia la carga queda sin energía. Esto se soluciona insertando UPS en línea para respaldar los 2 210 kVA. Con este arreglo se tienen un limitado crecimiento de la carga y una inversión mayor en la compra de un sistema de este tipo.

El sistema de transferencia de estado sólido no presenta esa limitación, si la carga crece se puede tolerar sin hacer una inversión. Además de que se tiene una continuidad en la operación de todas las líneas de producción de la planta y, se logra un respaldo de las cargas susceptibles de acuerdo a las recomendaciones de las curvas ITIC para cargas electrónicas, que recomiendan no tener un tiempo de interrupción mayor a 20 ms (1,199 ciclos). El sistema de transferencia de estado sólido no presenta esa limitación, si la carga crece se puede tolerar sin hacer una inversión. Además de que se tiene una continuidad en la operación de todas las líneas de producción de la planta y, se logra un respaldo de las cargas susceptibles de acuerdo a las recomendaciones de las curvas ITIC para cargas electrónicas, que recomiendan no tener un tiempo de interrupción mayor a 20 ms (1,199 ciclos).

Con un solo alimentador eléctrico el número de horas sin energía eléctrica es de 5,9 (354 min) al año. Contemplando dos alimentadores más el sistema de transferencia de energía eléctrica de estado sólido el número de horas sin energía al año es de solo 0,876 h (52,56 min). Si se representan estos datos en términos económicos del costo de pérdidas por interrupciones, se tiene un ahorro considerable para la empresa.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Alstom, “*PS 431 Time Overcurrent Protection Device*”, Alstom Energietechnik GmbH, 1999.
- [2] ANSI/IEEE Std 141-1986, *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*, Cap. Pp.
- [3] Catenshoild, R. “Closed-Transition Switching of Essential loads”, *IEEE transaction on Industry Application Vol. 25, no 3, May/Jun 1989,pp 403-407*.
- [4] Charles Kingsley,Jr Stephen D. Umans “*Máquinas Eléctricas*”quinta edición McGraw Hill pp 314
- [5] De Armas Teyra Marcos A. “Calidad de Energía en los Sistemas Eléctricos de Potencia. Efecto de las Perturbaciones de corta duración en motores asíncronos.
- [6] Harper Enríquez Gilberto *Fundamentos de protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores*, edit. Grupo Limusa, Noriega, México 1996, 2da edición.
- [7] <http://www.itic.org>
- [8] <http://ftp.tiaonline.org/TR-41/tr41.7.4/Public/Archive/2003-Archive/2003-02-NewportBeach/TR41.7.4-03-02-001-VoltageSags&Interruptions,SWhitesell,Vtech.pdf>
- [9] http://www.velasquez.com.co/paginas/transferencias_automaticas.htm. Mayo 2008.
- [10] <http://espana-cat-com/cda/layout?m=99321&=9>. Mayo 2008.
- [11] <http://floridapower2u.com/generator-es.html>. Abril 2008.
- [12] <http://www.ece.wisc.edu/~lipo/1994pubs/1994%publications.htm>. Abril 2008.
- [13] <http://www.ece.wisc.edu/~lipo/1970s%20pubs/1970%20publications.htm>. Abril 2008.
- [14] IEEE STD 241-1990 IEEE Electric Power System y Commercial Buildings pp, 127,144,181-184.
- [15] IEEE Std. 242-1986, *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*, Cap. 4, pp. 88 – 89 – 93 – 97 -116.
- [16] IEEE Std. 141-1993, *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*, Cap 3 “*Voltage Considerations*, pp. 82-86.
- [17] IEEE Std. 446-1995, *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*, Cap.4, *Generator and Electric Utility Systems*, pp. 100-104.

- [18] Irwin Lazar *Diseño de Sistemas Eléctricos para Plantas Industriales*, Limusa Noriega, México 1994.
- [19] Mejía Germán E, “*Coordinación Óptima de Relevadores Direccionales de Sobre corriente en Sistemas de Potencia*”, Proyecto de Grado, UTP, 2003.
- [20] Meléndez Joaquín Frigola, Herraiz Jaramillo Sergio, Colomer Llinás Joan. “*Calidad de Onda en el Servicio Eléctrico*” *Instituto de Informática y Aplicaciones Universidad de Girona Causas y Efectos de las Perturbaciones*, Febrero 1995, No/359.
- [21] Mountané Paulino “*Protecciones en las Instalaciones Eléctricas, Evolución y Perspectivas*”, 2da Edición, Marcombo, 1993 Barcelona España.
- [22] Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización).
- [23] SEMI F47-0200, “*Specification for Semiconductor Processing*” *Equipment Voltage Sag Immunity*. December 15, 1999.
- [24] Urdaneta A, Nadira R, Pérez L, “*Optimal Coordination of Interconnected Power Systems*”.
- [25] Zapata Carlos J, “*Protecciones Eléctricas*”, UTP, 2003.
- [26] Zoppeti, Júdez Gaudencia. “*Estaciones Transformadoras y de Distribución*”, *Gustavo Gili*, Cuarta edición, Barcelona.

ANEXO 1. Características de los interruptores de potencia según ANSI C37.06

Tabla 2.1 Características de los interruptores de potencia según ANSI C37.06

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IDENTIFICACIÓN			VALORES NOMINALES							CAPACIDADES NOMINALES REQUERIDAS				
ANSI	Tensión nominal rms (kV)	MVA nominales trifásicos	Tensiones		Nivel de Aislamiento		Corriente		Tiempo de Interrupción en ciclos	Retraso de interrupción permisible en segundos	Tensión nominal máxima dividida entre K kV rms	VALORES DE CORRIENTE		
			Tensión nominal max. Vrms (1)*	Factor gama de tensión nominal (2)*	Baja Frecuencia Tensión rms en kV	Tensión cresta de impulso en kV	Corriente nominal continua rms a 60Hz	Corriente de corto circuito rms (a una tensión máx. en kV) (kA) (3)*				Capacidad de interrupción simétrica máx. (kA) (4)*	Valores de corriente de capacidad de conducción de corriente de tiempo corto de 3 s	Capacidad de cierre y fijación 1.6 K veces la corriente nominal de corto circuito kA/ rms
1	4,16	250	4,76	1,24	19	60	1200	29	3	2	3,85	36	36	58
3	4,16	250	4,76	1,24	19	60	2000	29	3	2	3,85	36	36	58
4	4,16	350	4,76	1	19	60	1200	41	3	2	0,76	41	41	66
4 ^a	4,16	350	4,76	1	19	60	2000	41	3	2	4,76	41	41	66
4B	4,16	350	4,76	1,19	19	60	1200	41	3	2	4	49	49	78
4D	4,16	350	4,76	1,19	19	60	2000	41	3	2	4	49	49	78
4E	4,16	350	4,76	1,19	19	60	3000	41	3	2	4	49	49	78
6	7,2	500	8,25	1,25	36	95	1200	33	3	2	6,6	41	41	66
7 ^a	7,2	500	8,25	1,25	36	95	2000	33	3	2	6,6	41	41	66
7B	7,2	500	8,25	1,25	36	95	3000	33	3	2	6,6	41	41	66
	13,8	500	15	1,30	36	95	1200	18	3	2	11,5	23	23	37
	13,8	500	15	1,30	36	95	2000	18	3	2	11,5	23	23	37
	13,8	750	15	1,30	36	95	1200	28	3	2	11,5	36	36	58
	13,8	750	15	1,30	36	95	2000	28	3	2	11,5	36	36	58
	13,8	750	15	1,30	36	95	3000	28	3	2	11,5	36	36	58
	13,8	1000	15	1	36	95	1200	37	3	2	15	37	37	59
	13,8	1000	15	1	36	95	2000	37	3	2	15	37	37	59

	13,8	1000	15	1	36	95	3000	37	3	2	15	37	37	59
	13,8	1000	15	1,30	36	95	12000	37	3	2	11,5	48	48	77
	13,8	1000	15	1,30	36	95	2000	37	3	2	11,5	48	48	77
	13,8	1000	15	1,30	36	95	3000	37	3	2	11,5	48	48	77
	23	500	25,8	1	60	125	600	12	3	2	25,8	12	12	19
	23	1000	25,8	1	60	125	1200	20,8	3	2	25,8	20,8	20,8	33,3
	23	1000	25,8	1	60	125	2000	20,8	3	2	25,8	20,8	20,8	33,3
	34,5	1500	38	1,35	80	150	1200	21	3	2	28	28,4	28,4	45,5
	34,5	1500	38	1,35	80	150	2000	21	3	2	28	28,4	28,4	45,5

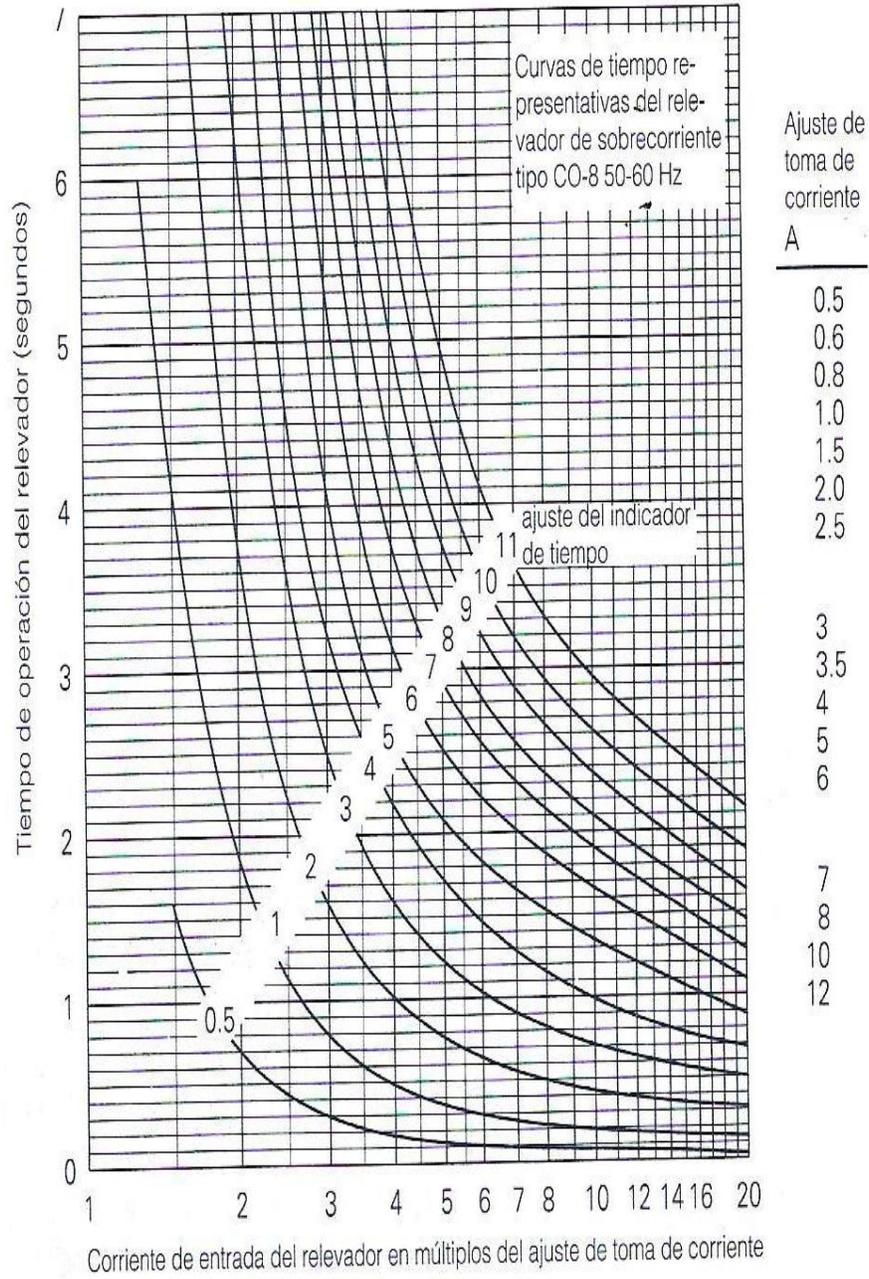
Notas de los números en paréntesis:

1. Tensión máxima para la cual se diseña el interruptor y límite externo de operación.
2. K relación de tensión nominal máximo al límite inferior de la gama de tensión de operación al cual las capacidades de interrupción simétricas y asimétricas requeridas varían en proporción inversa a la tensión de operación.
3. Para obtener la capacidad de interrupción simétrica requerida de un disyuntor a una tensión de operación entre 1/K veces la tensión nominal máxima
4. Los valores de esta columna no deben excederse aun para tensiones de operación inferiores a 1/K veces la tensión nominal máxima

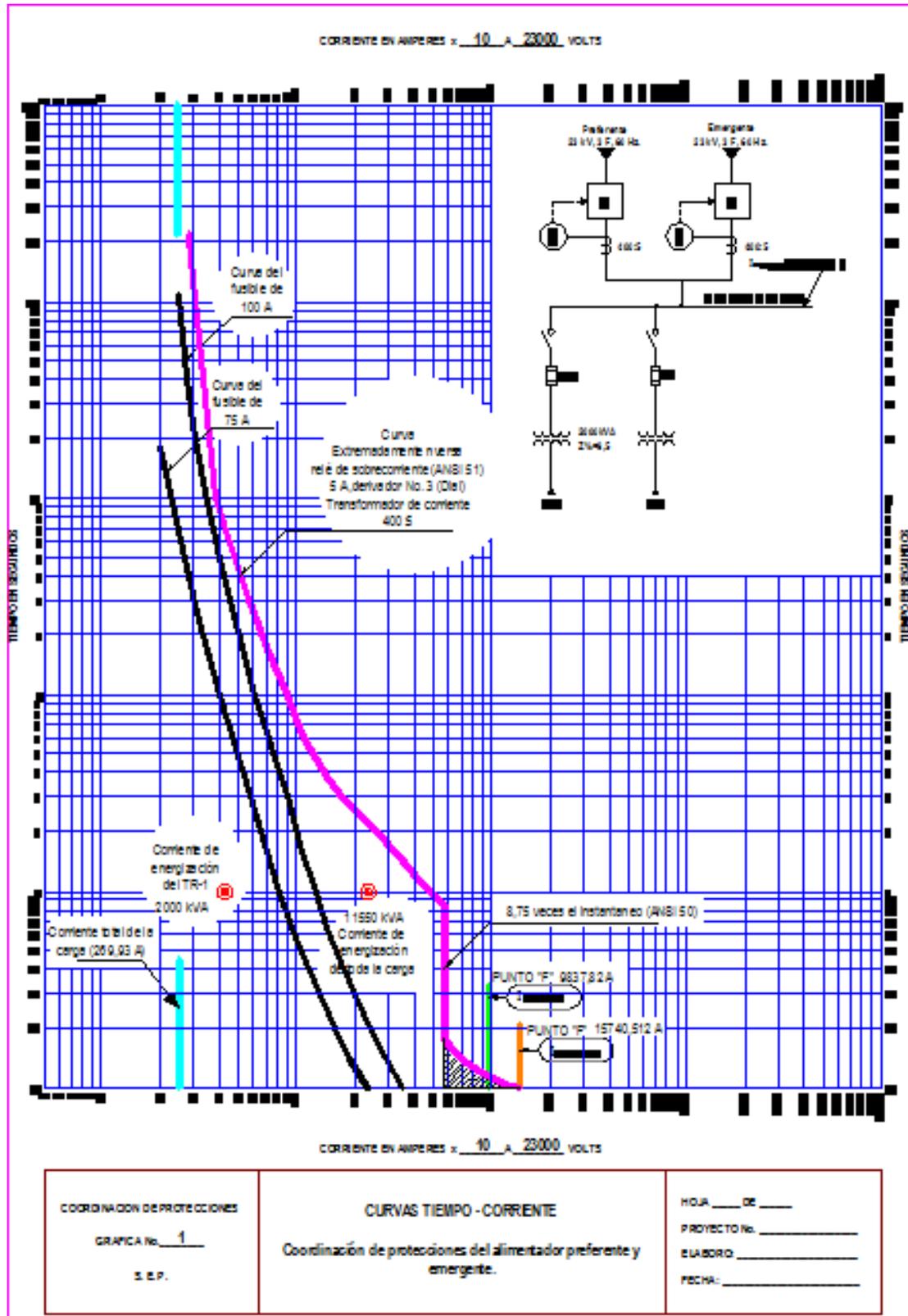
NUMEROS NORMALIZADOS USADOS EN DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

NÚMERO	FUNCIÓN
2	Relevador de retardo de tiempo de arranque o de cierre.
20	Válvula de operación eléctrica.
21	Relevador de distancia.
25	Dispositivo sincronizador o verificador de sincronismo.
27	Relevador de bajo potencial.
32	Relevador direccional de potencia.
37	Relevador de baja corriente o baja potencia.
40	Relevador de campo.
41	Interruptor de campo.
43	Dispositivo manual de transferencia o selección.
47	Relevador de tensión de secuencia de fases.
48	Relevador de secuencia incompleta.
49	Relevador térmico de máquina o transformador.
50	Relevador instantáneo de sobrecorriente.
51	Relevador de sobrecorriente con retardo intencionado en la operación.
52	Interruptor de potencia.
57	Dispositivo para poner en cortocircuito o a tierra.
59	Relevador de sobretensión.
62	Relevador de retardo de paro o apertura.
63	Relevador de presión (de líquido o de gas) o de vacío.
64	Relevador para protección de fallas a tierra que no se conecta a través de transformadores de corriente.
65	Regulador de velocidad.
67	Relevador direccional de sobrecorriente (C. A.)
68	Relevador de bloqueo.
72	Interruptor de C.D.
74	Relevador de alarma.
79	Relevador de cierre de C.A.
81	Relevador de frecuencia.
85	Relevador receptor de un sistema de onda portadora o de hilo piloto.
86	Relevador de bloqueo sostenido.
87	Relevador de protección diferencial.
89	Cuchilla desconectadora de línea, accionada eléctricamente

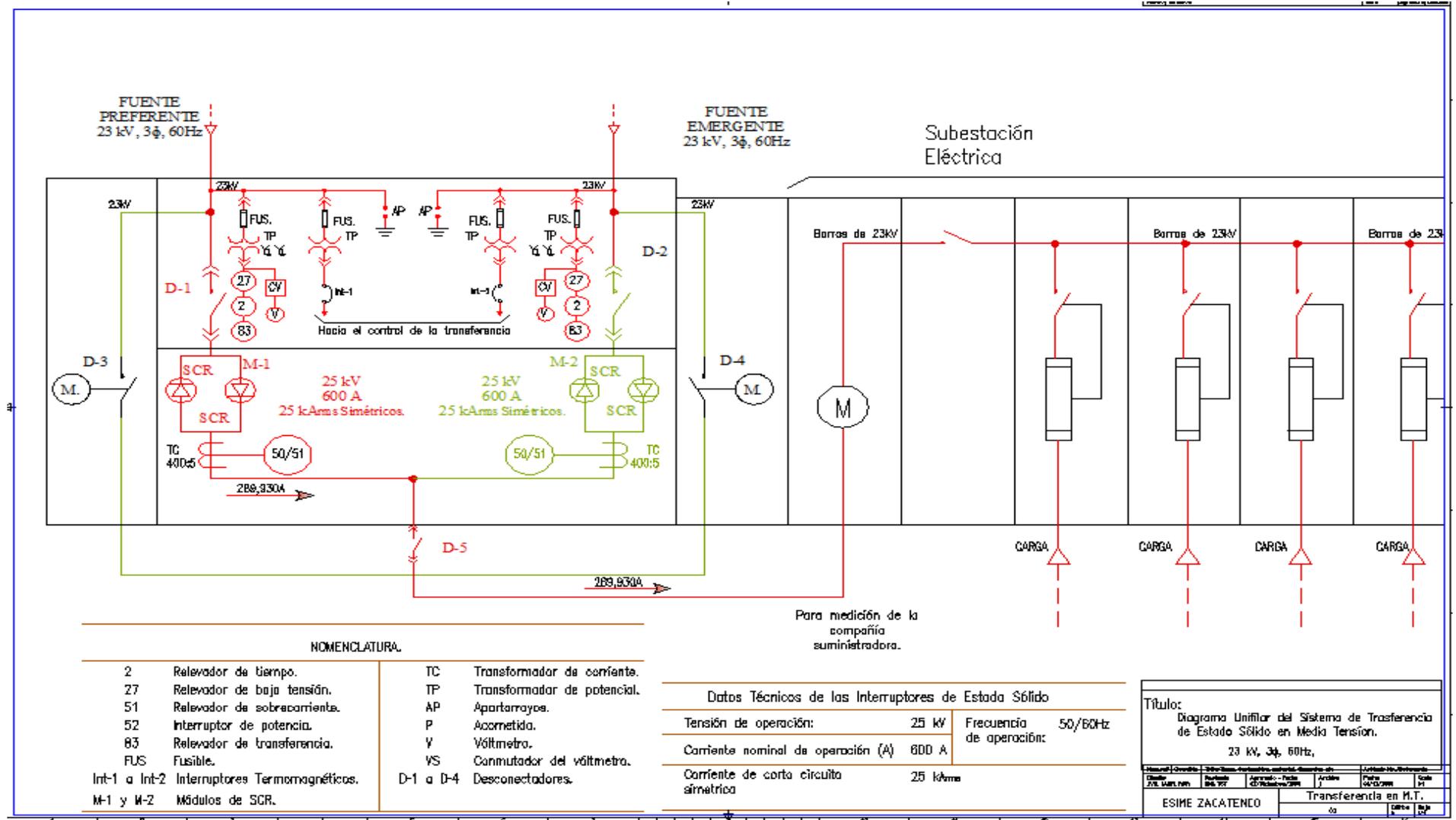
Anexo A3. Curvas de operación de los relevadores de protección.

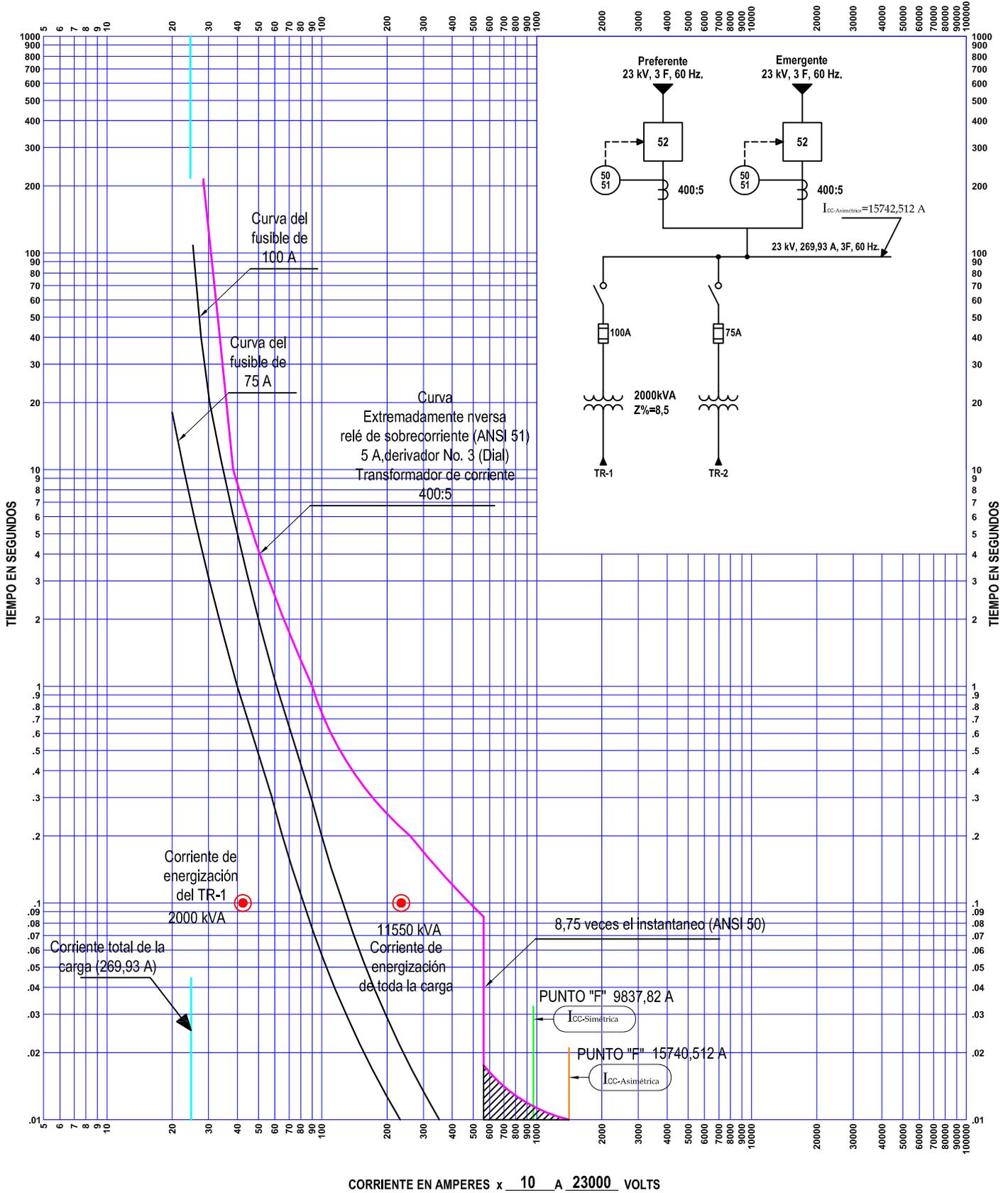


Anexo A4. Coordinación de protecciones del alimentador emergente y preferente.



Anexo A5. Diagrama unifilar del sistema de transferencia de estado sólido en media tensión





COORDINACION DE PROTECCIONES

GRAFICA No. 1

S. E. P.

CURVAS TIEMPO - CORRIENTE

Coordinación de protecciones del alimentador preferente y emergente.

HOJA ____ DE ____

PROYECTO No. _____

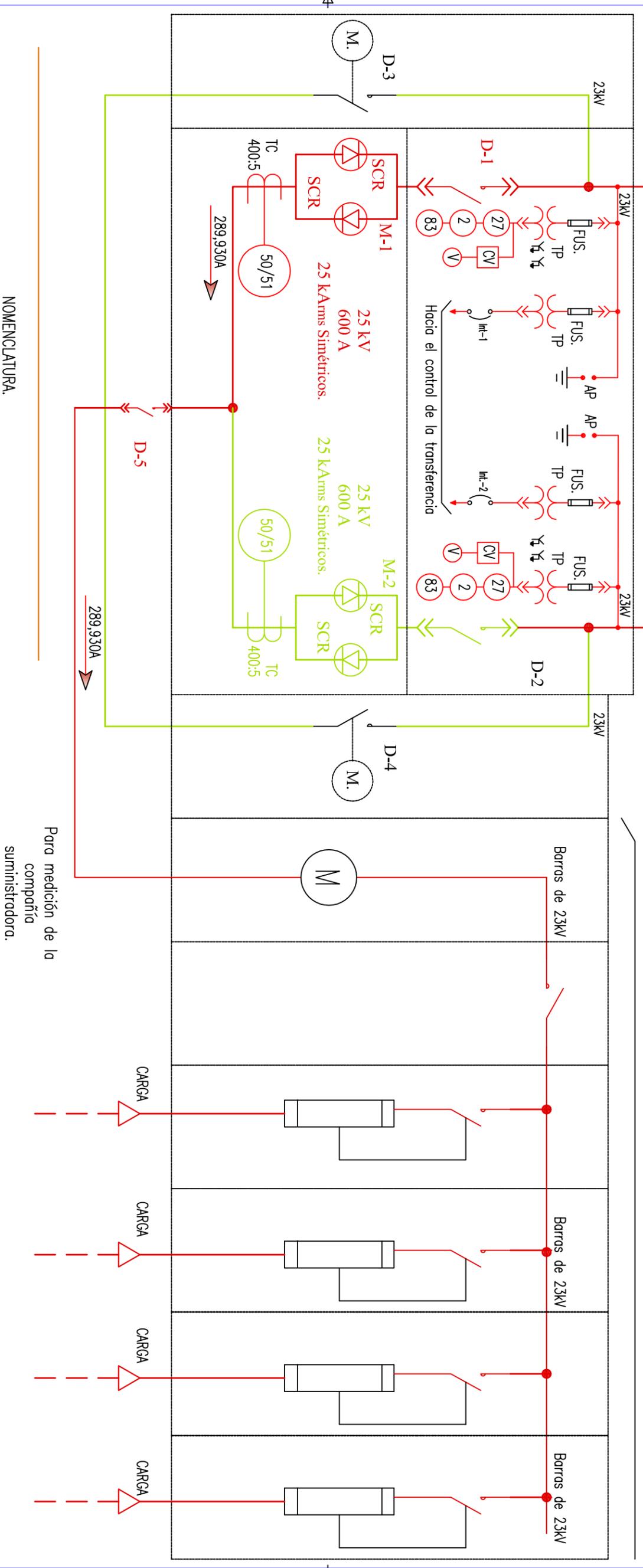
ELABORO: _____

FECHA: _____

FUENTE PREFERENTE
23 kV, 3φ, 60Hz

FUENTE EMERGENTE
23 kV, 3φ, 60Hz

Subestación Eléctrica



NOMENCLATURA.

2	Relayador de tiempo.	TC	Transformador de corriente.
27	Relayador de baja tensión.	TP	Transformador de potencial.
51	Relayador de sobrecorriente.	AP	Apartarroyos.
52	Interruptor de potencia.	P	Acometida.
83	Relayador de transferencia.	V	Vóltmetro.
FUS	Fusible.	VS	Conmutador del vóltmetro.
Int-1 a Int-2	Interruptores Termomagnéticos.	D-1 a D-4	Desconectores.
M-1 y M-2	Módulos de SCR.		

Datos Técnicos de los Interruptores de Estado Sólido

Tensión de operación:	25 kV	Frecuencia de operación:	50/60Hz
Corriente nominal de operación (A)	600 A		
Corriente de corto circuito simétrica	25 kArms		

Título:
Diagrama Unifilar del Sistema de Trasterferencia de Estado Sólido en Media Tension.
23 kV, 3φ, 60Hz.

Item/nr/ Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.	Article No./Referencia
Director: JMG, JAB, RSR	Revisado: RMC, JST	Fecha: 01/12/2008
ESIME ZACATENCO		Scale: 1/1
Transferencia en M.T.		Edición: 02
		Hoja: 1/1