



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ  
FACULTAD DE METALURGIA-ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

## TRABAJO DE DIPLOMA

*Título: Protección contra fallas a tierra en la PGD ITP-2-2  
de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa Ernesto  
Che Guevara.*

*Autor: Johandry Hernández Cordero.*

*Tutor: Ing. Leonardo René Rosell López.*

*Ing. Juana Ibis Cala Álvarez*

*Moa, Holguín, Cuba. 2010*

*"Año 52 de la Revolución"*

## **Agradecimientos.**

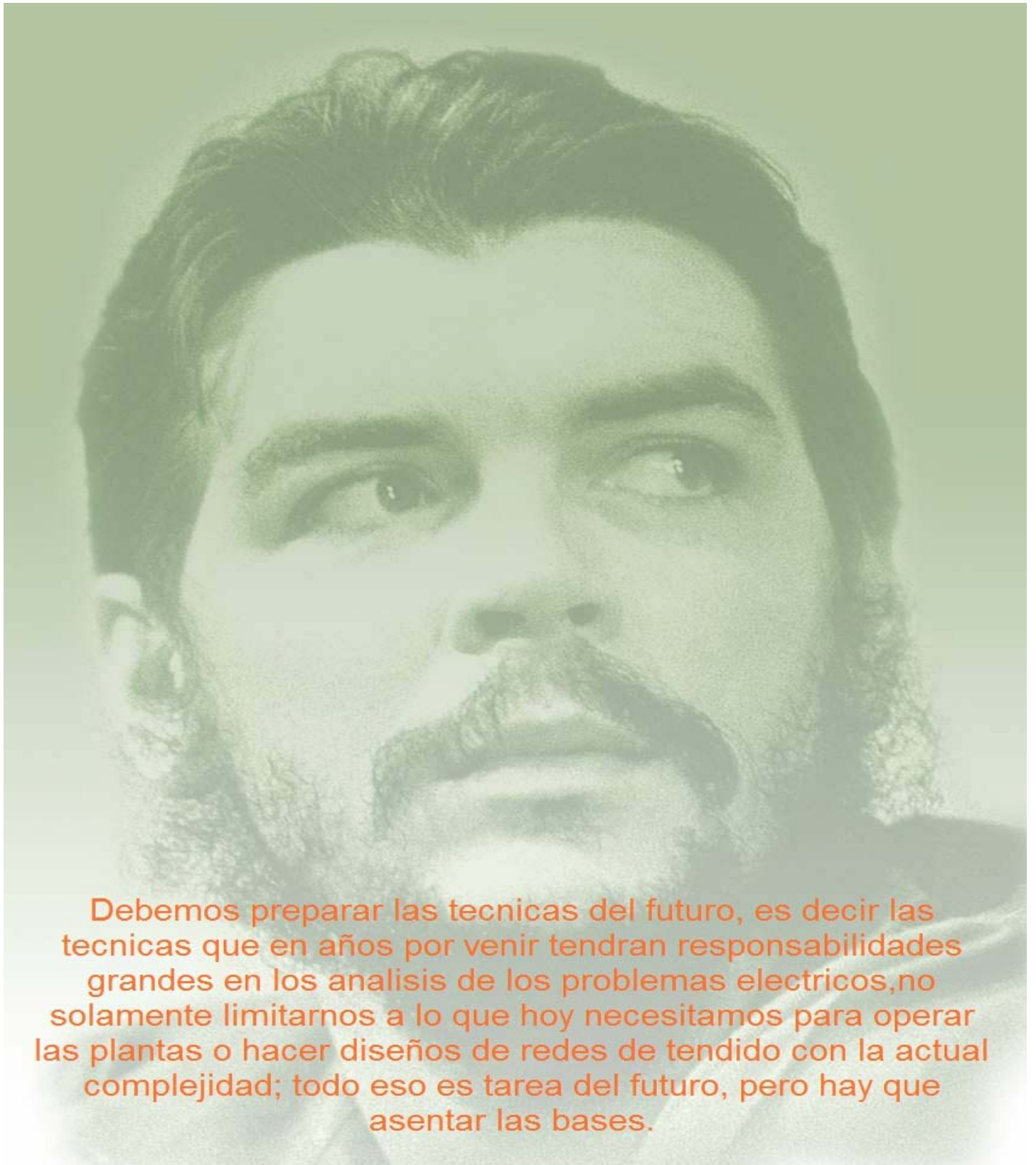
Agradezco a todos mis compañeros de trabajo por su ayuda incondicional en estos seis años de estudios en especial a Deysis Cisneros, Annabellis Remedios, Miriam Rodríguez, Evangelia García y también a aquellos compañeros que hicieron posible la realización de este trabajo Nersy Fonseca, Abdiel Robles, Rubén Rosell y mis tutor Leonardo Rosell y Juana Ibis Cala Álvarez.

Hago extensivo este agradecimiento a mis compañeros de estudio en especial a Rodolfo Cruz que en todo momento estuvo ahí para tenderme la mano, a todos los profesores que en cada encuentro daban lo mejor de sí para que nosotros pudiéramos graduarnos como buenos profesionales.

## **Dedicatoria.**

Dedico este trabajo a mis padres, los cuales en todo momento me han tendido la mano, me han ayudado a levantarme y brindado todo su apoyo para hacer realidad el sueño de ser ingeniero. También a mi familia, mis amigos y compañeros de trabajo por su ayuda, a todos muchas gracias.

## Pensamiento.



Debemos preparar las técnicas del futuro, es decir las técnicas que en años por venir tendrán responsabilidades grandes en los análisis de los problemas eléctricos, no solamente limitarnos a lo que hoy necesitamos para operar las plantas o hacer diseños de redes de tendido con la actual complejidad; todo eso es tarea del futuro, pero hay que asentar las bases.

## **Resumen**

La empresa Ernesto Che Guevara, posee un sistema eléctrico bastante complejo debido a su topología, tipos de cargas y sistemas de aterramientos. Esta empresa que ya tiene 24 años en explotación, se encuentra inmersa en un proceso de modernización de su sistema eléctrico, dentro del cual se incluye el recambio y actualización de los sistemas de protección.

La inserción de nuevas tecnologías de protección, requiere de un estudio detallado de los sistemas en los cuales se implementan, primeramente para garantizar la tecnología adecuada y el correcto ajuste de las mismas, garantizando una solución adecuada y económicamente factible. Las protecciones de tierra que se han ido montando en los últimos años han presentado algunas deficiencias como disparos indeseados (no selectivos), que han afectado la operación de las plantas de procesos. En el presente trabajo se estudiará las particularidades de los sistemas de aterramiento, para escoger la tecnología adecuada y determinar el correcto ajuste de las mismas.

## **Summary.**

Ernesto Che Guevara company has a very complex electrical system due to its topography, types of charges and earthing system. With 24 years of exploitation, this company is now involved in the modernization process of its electrical system, this includes the protection system replacement and updating. In order to guarantee the adequate technology and its appropriate adjustment it is required to make a detailed study of the systems when new protection technologies are introduced. So, this way an adequate and economically feasible solution will be guaranteed.

The earthing protections that have been installed in the last few years have showed some deficiencies such as unwanted trips (not selected) which have affected the process plants operation. This paper analyses the features of the earthing systems in order to choose the adequate technology and to determine its appropriate adjustment.

## **ÍNDICE**

PROBLEMA.....	IX
HIPÓTESIS.....	X
OBJETIVO.....	XI
TAREAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	XII
RESULTADOS ESPERADOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
GENERALIDADES.....	1
CAPITULO 1: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA GENERAL PARA LA PROTECCIÓN DE FALLAS A TIERRA EN REDES INDUSTRIALES....	6
1.1 Estudio de trabajos precedentes.....	6
1.1.1 Objetivo de las protecciones.....	6
1.1.2 Importancia de las protecciones.....	7
1.1.3 Misión de las Protecciones Eléctricas.....	7
1.2 Estudio de normas internacionales para la protección de cortocircuito a tierra en sistemas aterrados.....	11
1.2.1 Tipos de electrodos.....	13
1.2.2 Características que deben tener los terrenos para una buena puesta a tierra.....	14
1.3 Metodología de los sistemas de puesta a tierra.....	17
1.3.1 Cálculo de la corriente de cortocircuito.....	19
1.4 Conclusiones parciales.....	22
CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA Y DETERMINACIÓN DE AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE FALLAS A TIERRA.....	23
2.1 Caracterización del sistema de distribución eléctrico de bajo voltaje (0.48Kv) de la ECG. .....	23
2.1.1 Interconexiones del sistema de puesta a tierra.....	27
2.3 Determinación de las protecciones a instalar y sus ajustes. Coordinación con las existentes.....	30
2.4 Simulación de fallas a tierra.....	32
2.5 Conclusiones Parciales.....	33
CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A EMPLEAR.....	34
3.1 Selección de los órganos de medición.....	34
3.1.1 Interruptor automático NSX de SCHNEIDER ELECTRIC.....	34
3.2 Selección de los interruptores.....	37
3.2.1 Interruptor de potencia MASTERPACT DE MERLIN GERIN.....	37
3.2.2 Interruptor NS.....	42
3.2.3 Interruptores de la gama simocode.....	43
3.2.4 Interruptores con Detección de Falla a Tierra.....	45
3.2.5 Principio de funcionamiento del relé SR-750.....	47
3.3 Conclusiones Parciales.....	48

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. ....	49
4.1 Evaluación del costo de averías ocurridas. ....	49
4.2 Evaluación del costo de la solución. ....	53
4.3 Análisis de factibilidad. ....	53
4.4 Conclusiones parciales. ....	53
CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES .....	54
BIBLIOGRAFÍA .....	55



## **PROBLEMA.**

El sistema eléctrico de baja tensión de la ECG por ser sólidamente aterrado incluye protecciones contra cortocircuito a tierra. Es frecuente en dicho sistema la incorrecta operación de las mismas ocasionado por la falta de coordinación de estas. Actualmente en la empresa, la selección y coordinación de dichas protecciones, no están basadas en un estudio que muestre de manera única las exigencias y requisitos en cuanto al ajuste y coordinación de las mismas, lo que ha traído como consecuencia frecuentes disparos incorrectos del equipamiento tecnológico con paros indebidos y las consiguientes pérdidas económicas.

## **HIPÓTESIS.**

Si en la ECG se realiza un estudio del sistema de aterramiento existente en las instalaciones eléctricas de baja tensión, podría definirse el sistema de protección más adecuado a emplear contra cortocircuitos a tierra, obteniendo los criterios de ajuste y coordinación de las mismas.

## **OBJETIVO.**

Definir el sistema de protección contra cortocircuito a tierra a utilizar en los circuitos de baja tensión de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa Ernesto Che Guevara.

## **TAREAS DE LA INVESTIGACIÓN.**

- Analizar el sistema de aterramiento empleado en las redes de 0.48 kV de la ECG.
- Estudiar los esquemas de interconexión de los equipos eléctricos en estas redes.
- Analizar los tipos de protecciones empleadas en 0.48kV contra c.c. a tierra, criterios de ajustes y coordinación.
- Simular diferentes tipos de fallas empleando actuales.
- Revisar las normas internacionales relacionadas con el empleo de protecciones contra fallas a tierra en sistemas aterrados.
- Calcular los valores de corriente de cortocircuito en baja tensión en la Planta de lixiviación y lavado.
- Proponer la protección contra falla a tierra a emplear en el sistema de baja tensión de la ECG.
- Elaborar los criterios de ajuste y coordinación de las protecciones propuestas.

### **RESULTADOS ESPERADOS.**

Con la realización del presente trabajo se dispondrá en la empresa ECG de un criterio técnico para la selección, ajuste y coordinación de las protecciones eléctricas en el sistema de baja tensión, lo que contribuirá a la disminución de las pérdidas económicas de la empresa.

## **INTRODUCCIÓN**

El siguiente trabajo trata de lograr un mejoramiento en el sistema de protección de falla a tierra instalado en baja tensión (0.48kV) en la pizarra general de distribución (a partir de ahora PGD) 1TP-2-2 de la planta de Lixiviación y Lavado de la fábrica Ernesto Che Guevara (ECG). Lograr una buena instalación, ajuste y coordinación de las nuevas protecciones.

## **GENERALIDADES**

Descripción del proceso tecnológico de la fábrica de níquel Ernesto Che Guevara.

El área de la construcción de la fábrica se encuentra al norte del yacimiento de mineral de Punta Gorda, provincia de Holguín, en la costa norte del océano Atlántico entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km. de la ciudad de Moa.

El esquema tecnológico de la fábrica de Níquel está basado en el Proceso de lixiviación carbonato – amoniacal del mineral reducido o proceso Caron, similar al proceso de la fábrica René Ramos Latour de Nicaro. Esta tecnología reporta ventajas como son: proceso que se realiza en condiciones de presión atmosférica. El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los aparatos conocidos (hornos de soleras múltiples, espesadores, columnas de destilación, etc.).

El esquema amoniacal permite la elaboración de las mezclas de los minerales lateríticos y serpentinitos. Otro factor ventajoso es la experiencia acumulada durante la explotación de la fábrica de Nicaro. Una de las deficiencias de este proceso es el bajo por ciento de extracción: (75 a 76) % de Ni y (25 a 30) % de Co. El complejo minero–metalúrgico de la empresa comprende las siguientes actividades:

UBP mina: Suministra el mineral a la fábrica; está situada a 1 ó 1.5 Km., al suroeste del área industrial. El mineral de la capa superior está compuesto de Limonita y el cuerpo de Laterita y Serpentina (blanda). Los componentes fundamentales del mineral son el Níquel, el Cobalto y como acompañante en cantidades considerables el Hierro. La transportación se realiza directamente desde las excavaciones hasta el área de recepción por camiones volquetas.

UBP Planta de Preparación de Mineral: El mineral procedente de la sección de recepción del mineral puede ser suministrado a la planta de secaderos por dos vías:

- A través de Grúas Gantry.

- Directamente por el transportador de enlace.

En la actualidad por la baja eficiencia operativa de las grúas y por la demanda de mineral que existe, no se realiza el proceso de homogenización en el depósito, y el mineral es enviado directamente a los secaderos mediante un transportador de enlace. En esta planta el mineral se somete a un proceso de secado y molienda y se suministra a los silos de almacenaje, de donde se bombea a los hornos de reducción.

UBP Planta de Hornos de Reducción: En esta planta ocurre el proceso de reducción del Ni contenido en el mineral. Está constituida por 24 hornos de soleras múltiples los cuales descargan el mineral a los enfriadores (12), de donde pasa a la planta de lixiviación y lavado.

UBP Planta de Lixiviación y Lavado: La pulpa de mineral reducido pasa por 3 sistemas paralelos de tres etapas de Lixiviación a contracorriente. El proceso se realiza con el licor carbonato – amoniacal en los espesadores por medio de la aireación de la pulpa con aire (en los turboareadores). Luego de la Lixiviación la pulpa se envía al sistema de lavado (dos en paralelo). El Licor enriquecido en Ni y Co es enviado a la planta de Separación de Cobalto, la pulpa de desecho es enviada a la planta de recuperación de amoniac.

UBP Recuperación y Separación de Cobalto: El Licor enriquecido en Ni y Co se somete a una inyección de Hidrosulfuro de Amonio o Sulfhidrato de Sodio para precipitar el Co en forma de sulfuro, este producto se envasa en Big–Bag y se comercializa. El Licor descobaltizado se envía a la planta de recuperación de amoniac. El licor carbonato amoniacal enriquecido en Ni recibe un tratamiento con vapor en las torres de destilación obteniéndose el carbonato básico de Níquel. La pulpa de desecho de la última etapa de lavado se envía a las torres de destilación de Colas donde recibe tratamiento con vapor para la recuperación del licor amoniacal contenido en esa pulpa. El producto de desecho (cola) es enviado a la presa de Cola. La pulpa de Carbonato de Ni se envía a la planta de Calcinación y Sinter.

UBP Planta de Calcinación y Sinter: Luego de filtrado el carbonato básico de Ni es alimentado a los hornos de calcinación para la obtención del óxido de Ni, que es utilizado en el proceso de sinterización en las máquinas destinadas para este fin obteniéndose el óxido Sinter que





## Elementos principales del sistema eléctrico de la ECG

- 2 turbogeneradores de 15 MVA a  $U_n=10.5$  kV.
- 2 transformadores de tipo TP h-40 000/10/YH/d.d- 1-11-3T de 110/10.5 kV.
- 2 reactancias de puesta a tierra.
- 211 interruptores de polo colgante y de aceite tipo BMn -17 de  $U_n=10$  kV.
- 36 transformadores de potencial tipo HOM y HTMN de 10 kV a 100 V.
- 10 interruptores de aceite checo de  $U_n=10$  kV.
- interruptores de aceite búlgaro de  $U_n=6$  kV.
- 14 transformadores de potencial checo.
- transformadores de potencial búlgaro.
- Más de 500 interruptores automáticos tipo electrón.
- transformadores de alto voltaje (AV) rellenos de aceite tipo TM de hasta 6300 KVA (1600 KVA, 1000 KVA, 630 KVA esencialmente).
- 44 subestaciones transformadoras.
- 17 reactancia tipo PGM-10 y  $U_n=10$  kV.
- 176 líneas de cables de  $U_n=10.5$  kV y 6.3 kV.
- 1 línea aérea de 6.3 kV.

## Sistema de suministro eléctrico.

El suministro eléctrico de la fábrica se realiza por las líneas áreas de transmisión con voltaje de 110 kV desde la subestación 220/110 kV de Punta Gorda que alimentan dos transformadores del tipo TRDN con capacidad cada uno de 40 MVA y voltaje de  $115 \pm 9 * 1.78\%/10.5$  kV, los cuales van a las secciones de barras II y IV a 10 kV del Dispositivo de Distribución Principal (DDP). A las secciones de las barras I y III del DDP están conectados los generadores de producción Checoslovaca y potencia de 12 MW cada uno.

Las cuatro secciones de barra del DDP están seccionalizadas con interruptores de aceites para la desconexión de barras y reactores en serie destinados a limitar las corrientes de cortocircuitos. Para la alimentación del Dispositivo Principal de Servicio de Planta (DPSP), se instalaron cuatro transformadores de 10/6 kV y potencia 2500 kVA cada uno. Además, para la alimentación del DPSP y para el tratamiento de agua se instalaron cinco transformadores de 10/0.44 kV y potencia de 100 kVA.

Sección I: 10.5 kV por el TG-1 a través del interruptor de aceite, alimenta a:

- Sección I de subestación distribuidora 1RP.
- Subestación transformadora TP- 7 y TP-20
- Transformador 1T de sección I de la subestación distribuidora 2RP.
- Transformador de necesidades propias de la planta 21T

Sección II: 10.5 kV por el transformador de enlace 1T de 40 MVA, alimenta a:

- Sección II de la subestación 1RP
- Subestación transformadora TP-6 Y TP-7
- Sección I de la subestación 5RP
- Transformador 2 T de la sección II de la subestación 2RP

Sección III: 10.5 kV por el TG-2 de 15 Mw, alimenta a:

- Sección III de la subestación distribuidora 1RP
- Subestación transformadora TP- 12 Y TP14
- Sección II de la subestación distribuidora 5RP

Sección IV: Alimentado por el transformador 2 T de 40 MVA, alimenta a:

- Sección IV de la subestación distribuidora 1RP
- Subestación transformadora TP- 12 Y TP14
- Transformador 3T de la Sección III de la subestación distribuidora 2RP.

El DDP a 10 kV de la CTE y los puntos de distribución a 10 y 6 kV (1RP- 5 RP) representa el Conjunto de Dispositivo de Distribución (CDD) destinado al recibo y distribución de la energía eléctrica trifásica para todas las instalaciones de la planta.

Desde los puntos de distribución 1RP y 5RP reciben alimentación todos los consumidores de alto voltaje con potencia mayor de 250 kW y todas las subestaciones con voltaje de 10/6, 0.48, 0.4, 0.27 kV los cuales a su vez alimentan a todos los consumidores eléctricos de los talleres y plantas, así como los accionamientos de los mecanismos. Los motores eléctricos con potencia hasta 250 kW se alimentan con voltaje de 440 V y representan una considerable carga.

## **CAPITULO 1: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA GENERAL PARA LA PROTECCIÓN DE FALLAS A TIERRA EN REDES INDUSTRIALES.**

### **1.1 Estudio de trabajos precedentes**

Las averías en los Sistemas Eléctricos de Potencia son inevitables. Estas averías pueden no solo ocurrir por el desgaste natural del aislamiento del elemento que está funcionando, sino incluso por la manipulación o instalación inadecuada de los operadores. Un cortocircuito puede no solo destruir el elemento donde haya ocurrido, sino producir la pérdida de estabilidad de las máquinas generadoras e incluso la destrucción de otros elementos del sistema, de ahí que se necesita de otro sistema que trabaje al unísono con el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) y que desconecte rápidamente el elemento que está averiado. Este sistema es conocido como “Protecciones Eléctricas” y debe accionar solo cuando ocurre una avería y al mismo tiempo no debe influir en la operación normal del SEP. Se le llama protección a la unión de todos los elementos que participan en ella, desde el transformador de corriente hasta el interruptor que es el desconectivo. En este sentido se le denominan a las partes de una protección dispositivos de Protección. La acción de las protecciones nunca es instantánea. Aunque se han logrado tiempos muy pequeños, siempre hay un retraso entre la ocurrencia del fallo y la desconexión del mismo, en esto influyen los retardos de tiempo de cada uno de los dispositivos de protección.

El campo de las protecciones tiene una antigüedad del orden de unos 70 años y a lo largo de este periodo ha habido grandes evoluciones con la utilización de distintas tecnologías. Los fenómenos de la red siguen siendo prácticamente los mismos y las faltas de las que proteger también, pero las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías deben de hacernos replantear todos los fenómenos derivados de las perturbaciones en el sistema eléctrico, para hacer el mejor uso y aplicar nuevas técnicas en la selección y detección de las faltas.

#### **1.1.1 Objetivo de las protecciones.**

El objetivo fundamental de la protección es proteger eficazmente al personal operativo y los elementos fundamentales del Sistema Eléctrico de Potencia contra los defectos y averías que en ellos puedan presentarse.

El problema fundamental que se presenta a la hora de proteger eficazmente un SEP es lograr la diferenciación adecuadamente entre un régimen de avería intolerable y un régimen transitorio permisible por muy severo que este sea. Durante el régimen de avería, la protección debe actuar y desconectar la energía del elemento averiado, pero nunca desconectar la energía durante un régimen transitorio permisible.

### **1.1.2 Importancia de las protecciones**

La principal importancia de las protecciones es evitar daños mayores en el elemento averiado y la propagación de estos daños a otros elementos del sistema eléctrico de potencia. Los sistemas eléctricos no están exentos de la ocurrencia de averías. Por mucho que se mejoren los aisladores y los materiales aislantes con que se fabriquen los elementos del sistema, el riesgo de la avería siempre está presente y por tanto las protecciones deben estar listas para la desconexión de la zona o parte del sistema averiada en cualquier momento.

La misión anteriormente expuesta es la que por años se ha mantenido, pero en la actualidad se está comenzando a madurar la idea de que las protecciones determinen de forma “predictiva”, cuando ocurrirá el fallo y por tanto, actuar antes que este ocurra. El diagnóstico on-line de los elementos del sistema no está muy difundido, pero con la utilización de las actuales protecciones basadas en microprocesadores, ya se están logrando que las protecciones calculen de manera aproximada el tiempo de vida útil de los equipos y por tanto así enfatizar en su cuidado. La ciencia de las probabilidades y las estadísticas juegan un papel importante en todo este nuevo concepto.

### **1.1.3 Misión de las Protecciones Eléctricas.**

La misión de las protecciones es desconectar tan rápido como sea posible y necesario la parte del sistema eléctrico que esté averiada. Siguiendo la primera de las dos misiones de las protecciones, cuando ocurre un cortocircuito son conocidos los elevados niveles que alcanzan las corrientes durante su ocurrencia y por tanto, su permanencia, no solo sería fatal para el elemento averiado, sino también para otros elementos que no participan directamente en el fenómeno transitorio y puede repercutir en peligros para el personal operativo.

Las altas corrientes generan grandes temperaturas en el punto de descarga o de cortocircuito y si estos no son desconectados con extrema rapidez, el elemento averiado quedaría destruido completamente y no podrá ser siquiera reparado. La carcasa de las máquinas se funden en conjunto con sus devanados, explosiones peligrosas para la seguridad del personal operativo,

entre otras, son algunas de las consecuencias que traen consigo las averías, y para evitar estos desastres, se deben instalar protecciones y que su acción sea eficaz. Los niveles de las corrientes de cortocircuitos trifásicos pueden superar en 10 veces las corrientes nominales del equipo averiado y solo bastará que este permanezca unas centésimas de segundo y el equipo puede quedar inutilizable.

En caso de cortocircuitos los tiempos de actuación de las protecciones deben ser menores que 0.5 segundos; por tanto, los SEP necesitan elementos que actúen con gran velocidad. Evidentemente estos no pueden ser logrados con la acción física del hombre y se necesitan elementos autónomos para actuar contra los fallos en los sistemas eléctricos y estos son llamados “Dispositivos de Protecciones Eléctricas”.

Los sistemas de protecciones deben de tener:

- |                 |                  |                            |
|-----------------|------------------|----------------------------|
| 1. Selectividad | 5. Obediencia    | 9. Estabilidad             |
| 2. Sensibilidad | 6. Fiabilidad    | 10. Simplicidad            |
| 3. Coordinación | 7. Rapidez       | 11. Mantenimiento reducido |
| 4. Seguridad    | 8. Automaticidad | 12. Modularidad            |

Al sistema de protección, se le exigen cuatro requisitos fundamentales para que realice su función correctamente, esto no quiere decir que los demás no son importantes. Estos requisitos son:

- Sensibilidad
- Selectividad
- Rapidez
- Fiabilidad

Las protecciones tienen una propiedad o misión fundamental, que como se dijo es la desconexión del elemento averiado, pero solo de este elemento sin necesidad de desconectar a otro elemento adyacente (selectividad absoluta). En ocasiones, pero solo como respaldo, se necesita que las protecciones desconecten o garanticen la alimentación de ciertas zonas de sistemas adyacentes a ellas, en el caso de que sus protecciones no actúen (selectividad relativa).

La coordinación es un término que aparece en aquellas protecciones con selectividad relativa y que garantiza que para el caso de las protecciones de respaldo, operarán desplazadas en tiempo con respecto a las protecciones principales del elemento en cuestión. Las protecciones de respaldo por lo general poseen demoras de tiempo.

La sensibilidad no es más que la capacidad de la protección de accionar ante el fallo por muy pequeño que este sea y se verifica a través de una constante o coeficiente que relaciona el fallo mínimo que pueda ocurrir en ese elemento y el ajuste que tenga la protección.

El término estabilidad usualmente está asociado con los esquemas de protección unitarios y se refiere a la habilidad del sistema de protección de no ser afectado por condiciones externas a la zona protegida.

En el caso de las simples Protecciones de Sobrecorriente el coeficiente de sensibilidad se calcula de la siguiente forma:

$$K_s = \frac{I_{cc\ MIN}}{I_{ajuste}}$$

Donde:

$K_s$ : Coeficiente de sensibilidad

$I_{cc\ MIN}$ : Corriente mínima de cortocircuito en el elemento protegido

$I_{ajuste}$ : Valor de ajuste de la protección (corriente de operación)

La confiabilidad del sistema de protección incluye el uso de más de un sistema de protección operando en paralelo. En el evento de una falla o no disponibilidad de la protección principal se debe asegurar que la falla sea aislada por otros medios. Estos sistemas secundarios son conocidos como protección de respaldo.

Este coeficiente será mayor que la unidad solo cuando la protección sea sensible, dado que el menor valor de la corriente de fallo supera al ajuste en ella establecido. Muchas veces se desconoce el valor mínimo del fallo y se utilizan normas para este coeficiente a partir de otros fallos conocidos ( $1.5 \div 2$ ).

No solo es importante desconectar el elemento averiado (selectividad), incluso contra aquellos fallos de pequeña magnitud (sensibilidad), es muy importante desconectarlo rápidamente.

La rapidez o velocidad de respuesta debe ser variable, un cortocircuito debe ser desconectado rápidamente mientras que una sobrecarga debe ser desconectada, según su magnitud, en un tiempo mayor. Una sobrecarga de elevada magnitud debe ser desconectada más rápido que una de menor magnitud.

Las protecciones se caracterizan por ser Primarias o Secundarias. Es decir, si los dispositivos de protección se conectan directamente de la línea (dispositivos primarios) o a través de un elemento de medición como los transformadores de corriente y de potencial (dispositivos secundarios).

Muchas veces algunos autores caracterizan a las protecciones como principales o auxiliares. La protección que actuará contra los defectos más graves que ocurran en el elemento y que por tanto no actuarán contra los fallos externos a éste, son las llamadas principales. El resto son conocidas como protecciones auxiliares.

En ocasiones los dispositivos de protección presentan una demora de tiempo que no tiene relación alguna con el valor o nivel del fenómeno transitorio (Temporización Independiente) y en otros casos sí (Temporización Dependiente). Esta característica es tratada por algunos autores como dispositivos de tiempo definido y dispositivos de tiempo inverso respectivamente, pero en los segundos el tiempo tiene relación inversa al nivel del parámetro que se mide.

La localización de las protecciones es variable, pero por lo general está situada en el lugar donde se enlaza el elemento con la alimentación. Algunas veces la protección se instala a ambos lados del elemento protegido pero esos casos son mínimos.

Algunas protecciones son compactas, es decir, no están divididas en partes. El mismo equipo mide las corrientes, compara y acciona o desconecta al elemento averiado, en este caso tenemos a los fusibles, interruptores automáticos, algunos relés térmicos, entre otros. En ocasiones estos dispositivos son diseñados de tal forma que se comportan siguiendo una única característica, es decir, no puede ser cambiada su característica de operación. Esta peculiaridad caracteriza a las Protecciones en ajustables o no ajustables. Las protecciones no ajustables únicamente hay que seleccionarlas adecuadamente.

Un aspecto importante es el proceso de Calibración, este concepto un poco antiguo y que apareció con los elementos electromagnéticos y mixtos (electrónicos y electromagnéticos), y está relacionado con el mantenimiento del dispositivo. Cuando los dispositivos de protección llevan un tiempo de operación hay que verificar si aún se están comportando correctamente, nótese que puede haber estado instalada y como no ocurrió ningún fallo, no ha actuado nunca, ni bien ni mal. Para hacer estas verificaciones, el fabricante brinda algunos procedimientos y siguiendo adecuadamente estos procedimientos se podrá llevar al dispositivo a su estado inicial, es decir, a su funcionamiento óptimo.

Las protecciones son útiles, eso ya se vio en el análisis de su importancia, pero a la vez pueden causar problemas al SEP. Una protección mal ajustada, calibrada o seleccionada puede desconectar parte del sistema eléctrico de forma errónea, sin que haya ocurrido ningún fallo y a estos problemas se les denominan Falsas Operaciones de las Protecciones o Operaciones Incorrectas. Muchas veces, debido al temor de la ocurrencia de falsas operaciones, muchos elementos dejan de ser protegidos contra un determinado tipo de defecto que no es muy frecuente en ellos.

## **1.2 Estudio de normas internacionales para la protección de cortocircuito a tierra en sistemas aterrados.**

Se define como "Puesta a Tierra", a la unión directa de determinadas partes de una instalación eléctrica con la toma de tierra, permitiendo el paso a tierra de las corrientes de falla o las descargas atmosféricas. Asegurando la actuación de los elementos de protección y evitando tensiones de contacto peligrosas para las personas. La instalación de la puesta a tierra se logra, entre otras alternativas, mediante el empleo de electrodos enterrados cuyas características dependen de aspectos como la calidad del suelo, parámetros eléctricos del sistema y la superficie de terreno disponible.

Por otra parte, llamaremos "Toma de Tierra" a la unión eléctrica de un conductor con la masa terrestre. Esta unión se lleva a cabo mediante electrodos enterrados, obteniendo con ello una toma de tierra cuya resistencia de "empalme" depende de varios factores tales como: superficie de los electrodos enterrados, profundidad de enterramiento, clase de terreno, humedad y temperatura del terreno, etc.

Según la norma 039 MIBT correspondiente a puestas de tierra, se establecen la toma de tierra con el objetivo de:

- Limitar la tensión que con respecto a tierra puedan presentar las masas metálicas en un momento dado.
- Asegurar la actuación de las protecciones.
- Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

La puesta a tierra como protección va siempre asociada a un dispositivo de corte automático,



sensible a la intensidad de defecto, que origina la desconexión del circuito.

Así, la corriente a tierra producida por un defecto franco (resistencia de fuga nula,  $R_f = 0$ ), debe hacer actuar el interruptor automático magnetotérmico en un tiempo lo más reducido posible. Tal y como podemos apreciar en la figura, la intensidad de fuga será igual a:

$$I_f = \frac{U}{R_t + R_f} = \frac{U}{R_t}$$

Si  $R_t$  es pequeña, la intensidad de fuga resultará ser grande, provocando el disparo del magnetotérmico (ICP).

Un ligero defecto de aislamiento provoca una resistencia de fuga relativamente grande, y en consecuencia una intensidad de fuga pequeña, por lo que el magnetotérmico no podrá actuar. No obstante la parte exterior del aparato receptor se encontrará a una tensión, con respecto a tierra, de:

$$U_t = I_f R_t$$

tensión que puede ser peligrosa para la persona que toque la envoltura metálica del receptor en cuestión.

Si en estos casos queremos tener protección deberemos disponer de un interruptor automático diferencial capaz de cortar el circuito con la intensidad de fuga que determinemos.

Según el Reglamento de Baja Tensión, una masa cualquiera no debe estar a una tensión eficaz superior, con respecto a tierra, de:

a) 24 V. en locales o emplazamientos húmedos.

b) 50 V. en locales o emplazamientos secos.

Por lo tanto, la sensibilidad de los diferenciales deberá ser, en cada caso, de:

$$I_f = \frac{24}{R_t} \quad ; \quad I_f = \frac{50}{R_t}$$

Así, por ejemplo, a los diferenciales de 300 mA les corresponderá una resistencia de tierra máxima, de:

$$R_t = \frac{24}{0,300} = 80\Omega \quad ; \quad R_t = \frac{50}{0,300} = 166\Omega$$

Estos valores son en teoría, ya que en la práctica para las tomas de tierra se exige que tengan una resistencia notablemente inferior.

Los electrodos utilizados para obtener una toma de tierra para aplicaciones de baja tensión suelen tener formas muy variadas, aunque los más comúnmente utilizados tienen forma de barra o de placa.

### 1.2.1 Tipos de electrodos.

a) Placas enterradas: Las placas de cobre tendrán un espesor mínimo de 2 mm y las de hierro galvanizado de 2,5 mm. En ningún caso la superficie útil de la placa será inferior a 0,5 m<sup>2</sup>. Se colocarán en el terreno en posición vertical y en el caso en que sea necesaria la colocación de varias placas se separará a unos 3 metros unas de otras.

Las más utilizadas son las de 0,5 m x 1 m y las de 1 m x 1 m. Para la puesta a tierra de apoyos de líneas aéreas y columnas de alumbrado público, cuando lo necesiten, será suficiente electrodos que tengan en conjunto una superficie de contacto con el terreno de 0.25 m<sup>2</sup>, con lo que se pueden utilizar de 0,5 m - 0,5 m.

b) Picas verticales.

Las picas verticales podrán estar constituidas por:

- Tubos de acero galvanizado de 25 mm de diámetro exterior como mínimo.
- Perfiles de acero dulce galvanizado de 60 mm de largo como mínimo.

- Barras de cobre o de acero de 14 mm de diámetro como mínimo; las barras de acero tienen que estar recubiertas de una capa protectora exterior de cobre de espesor apropiado Cables de acero galvanizado de 95 mm<sup>2</sup> de sección como mínimo.
- El empleo de cables formado por alambres menores de 2.5 mm de diámetro está prohibido.
- Alambres de acero como mínimo de 20 mm<sup>2</sup> de sección, cubiertos con una capa de cobre de 6 mm<sup>2</sup> como mínimo.

### 1.2.2 Características que deben tener los terrenos para una buena puesta a tierra

- a) Resistividad: La composición química del terreno y el tamaño de las partículas que lo forman serán dos factores decisivos sobre el valor de la resistividad.

Tabla 1: Resistencias de fallas en función del terreno

Tipo de suelo en punto de falla	Intervalo de tiempo (ms)	Resistencia de falla (ohmios)
Jardín con césped	0 - 280	91.6
	290	137
Tierra seca y pocas piedras	85 - 125	233
	125 - 440	58.8
Tierra seca de cultivo	0 - 220	62.9
	220 - 700	42
Tierra húmeda con hierba	0 - 50	17.6
	50 - 260	13.3
	260 - 700	9.6
Tierra de cultivo	0 - 110	43.3
	200 - 400	15
Pedregoso con residuos de construcción	0 - 300	253
	310	289
	550 - 1050	98.6
Terreno arenoso con piedras	0 - 150	7619
	150 - 215	1515
	215 - 285	920

	285 - 415 415 - 915	553 395
Asfalto	0 - 105 105 - 400	141 203
Vereda húmeda	0 - 450 450 - 800	38.1 31.2
Arena seca	0 - 300	659
Cequia con poca agua	0 - 65 65 - 175 175 - 895	47 27 23

b) Humedad: El estado hidrométrico del terreno influye de forma muy apreciable sobre la resistividad al aumentar la humedad disminuye la resistividad y viceversa. Por tal motivo, y con el fin de obtener valores estables de resistencia de la toma de tierra, se aconseja profundizar lo más posible, para obtener terrenos con un grado de humedad lo más constante posible.

c) Temperatura: Las variaciones de temperatura también afectan al valor de la resistencia de la toma de tierra.

d) Salinidad del terreno: Como es lógico, al aumentar la salinidad de un terreno, la resistividad disminuye. Por este motivo no es aconsejable regar con exceso los terrenos donde hay una toma de tierra, ya que las sales serán arrastradas por el agua a zonas más profundas, disminuyendo su efecto.

El método de medición más comúnmente utilizado en Cuba es el de caída de potencial. Este método tiene varios inconvenientes, uno de los cuales está bien explicado en la patente inglesa GB2006969, en la cual se señala textualmente lo siguiente:

Una desventaja de los métodos convencionales de medición es que la diferencia de potenciales medida entre un par particular de posiciones de los electrodos de potencial puede ser afectado por una variación local de resistividad que surja por la presencia en vecindad de la posición de los electrodos de una masa subsuperficial de un material que tenga propiedades eléctricas diferentes de las que posee el estrato que contiene la referida masa.

En el método propuesto en esta invención se elimina totalmente el efecto de la heterogeneidad del terreno. Esto se debe a que cuando se provoca intencionalmente un cortocircuito monofásico de fase a tierra, mediante la conexión sólida (metálica) de un cable de cobre entre una cualquiera de las fases de una red aislada (trifilar) y el sistema de aterramiento, circula a tierra una pequeña corriente capacitiva de 10-15A. Cuando se dice que esta corriente circula a tierra, lo hace a través de todas las trayectorias posibles que le brinda el sistema de puesta a tierra en su conjunto. Por consiguiente, la corriente de cortocircuito agota inmediatamente el 100% de todas las trayectorias posibles hasta alcanzar un punto en el cual el potencial sea igual a cero y a ese punto se le designa como el potencial de la tierra. Por cuanto el neutro de todas las capacitancias distribuidas a lo largo de cada fase está al potencial igual a cero de la tierra, es que entonces la corriente de cortocircuito regresa a la red desde este propio punto, después de haber pasado por el 100% de todas las trayectorias posibles que le brindó el sistema de puesta a tierra en su conjunto. Por tanto, la resistencia óhmica al paso de la corriente desde la fase hasta el potencial igual a cero de la tierra, será la verdadera resistencia equivalente, del sistema de puesta a tierra, en su conjunto. Por otra parte, en el método tradicional de medición (caída de potencial), la contribución principal a la resistencia del medio proviene de las secciones que limitan directamente con los electrodos; desde el punto de vista físico esto se explica por el hecho de que al aumentar la distancia entre los electrodos crece respectivamente el área eficaz del medio por el que circula la corriente.

El aumento de la distancia entre los electrodos aumenta la resistencia mientras que el aumento del área la disminuye estos factores se compensan prácticamente y la resistencia resulta ser independiente de la distancia, por consiguiente, es muy importante asegurarles una buena conductividad a los electrodos para lo cual se usan electrodos que posean un área grande de superficie y además se entierran a una profundidad bastante grande, donde la presencia de las aguas subterráneas garantiza una buena conductividad del suelo. Como en el método de caída de potencial se necesitan dos electrodos auxiliares; uno de corriente y otro de potencial a los cuales hay que asegurarles una buena conductividad, estos electrodos se convierten en una fuente de inexactitudes y errores para dicho método tradicional. Otra desventaja de los métodos tradicionales de medición es la necesidad de ubicar el electrodo auxiliar de corriente a una distancia igual a 6,5 veces, la longitud de la diagonal equivalente del sistema de puesta a tierra, mientras que el electrodo de potencial se coloca aproximadamente en el centro de la distancia mencionada, en terrenos cuya estructura sea prácticamente homogénea. Sin embargo, si se trata de un terreno de estructura heterogénea,

entonces la distancia hasta el electrodo auxiliar de corriente puede alcanzar valores de hasta 50 veces la longitud de la diagonal equivalente del sistema de puesta a tierra, a pesar de lo cual solo se alcanzaría una precisión del 98,5% en la medición. La desventaja principal de los métodos tradicionales de medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra, es la necesidad de desenergizar la central eléctrica (subestación o industria) durante la medición, debido a la posibilidad de un alto voltaje de toque, en el sistema de puesta a tierra provocado por la conducción o por la inducción de voltajes y corrientes en dicho sistema de puesta a tierra. Esa indispensable medida de seguridad ocasiona muchas dificultades y muchos gastos por la energía dejada de producir.

### 1.3 Metodología de los sistemas de puesta a tierra.

El principal equipo de protección para las fallas a tierra es el interruptor automático de caja moldeada, estas pueden accionar ante corrientes de sobre carga y cortocircuito a una muy alta velocidad de operación y sensibilidad.

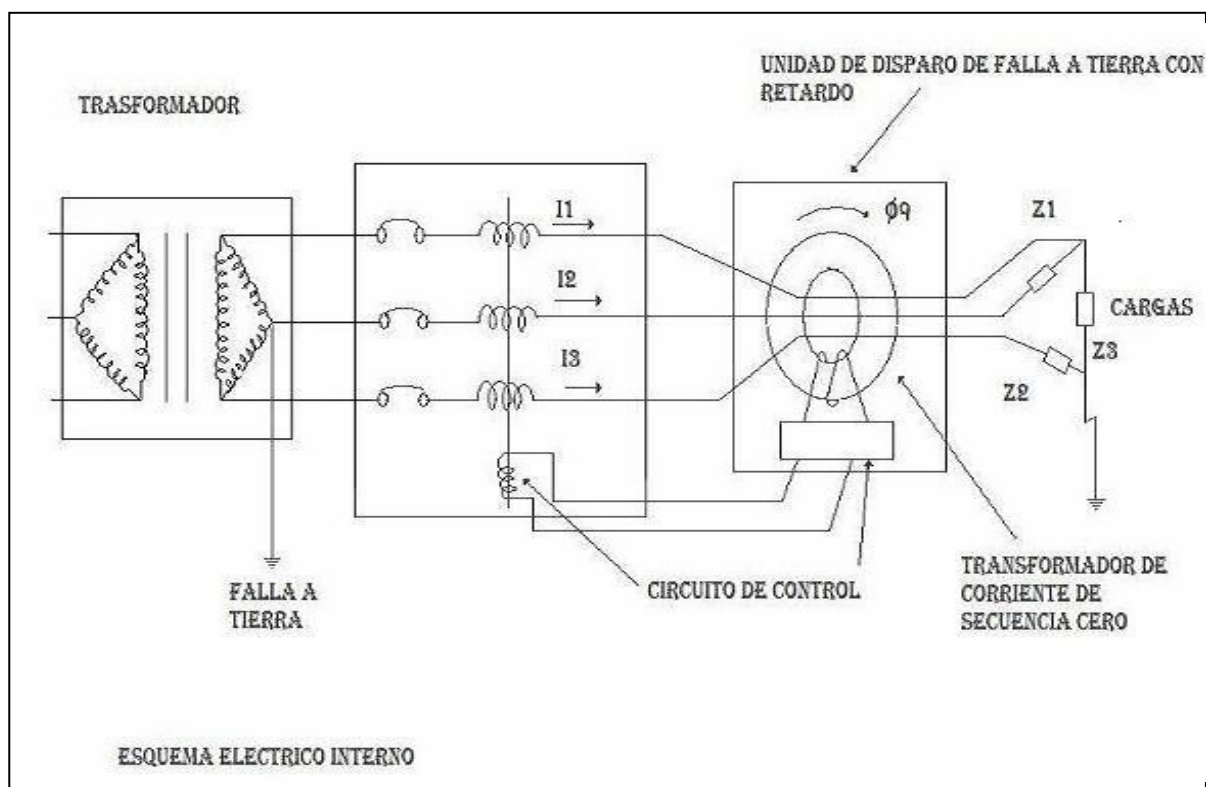


Figura 2: Esquema de un interruptor automático de caja moldeada.

La figura 2 representa un modelo básico de una protección de falla a tierra, consta de un transformador de secuencia cero unido a un relevador a circuito integrado.

Antes de aplicar una metodología primero expondremos algunas referencias de las protecciones de los motores que son los más usados en este caso. En general nos vamos a referir a motores eléctricos de potencias significativas y conectadas a redes trifásicas de energía eléctrica a través de sendos interruptores automáticos de capacidad de ruptura adecuados. Haremos mención a las protecciones comunes para los asíncronos y síncronos, señalando si existe alguna peculiaridad que pueda diferenciar unos de otros.

Trataremos de justificar las funciones de protección más adecuada que garanticen un funcionamiento continuado de los motores y en el caso de que se produzcan faltas o anomalías en el funcionamiento, sean rápidamente identificadas por las protecciones y desconectados los motores de las fuentes de alimentación, antes de que se produzcan grandes daños con los elevados costos correspondientes.

Los problemas fundamentales que afectan a la elección de las protecciones de los motores son afortunadamente, independientes del tipo de motor y del tipo de la carga a la que va conectada. Las condiciones por las que se debe requerir la actuación de las protecciones de los motores, las podemos agrupar en dos grandes categorías, por un lado las impuestas por las faltas internas y por otro lado, las impuestas por condiciones externas.

Las faltas a tierra son las más frecuentes en los devanados del estator de los motores, provocadas por deterioro de los aislamientos, generalmente por el envejecimiento de estos debido principalmente a la fatiga térmica. Estas faltas se detectan con bastante facilidad a través de una función de sobreintensidad instantánea, ajustada para un valor del orden del 20% de la intensidad de plena carga del motor y conectada en el secundario de un transformador toroidal o en el circuito residual de tres transformadores de intensidad. En este último caso, para evitar que opere por las corrientes residuales que puedan existir en los picos de intensidad en los primeros instantes de los arranques por diferencias en las curvas de saturación de los transformadores de intensidad, es una práctica muy utilizada, insertar una resistencia estabilizadora en serie con la bobina de operación del relé.

Para la metodología de protección de falla a tierra a instalar en la PGD 1TP-2-2 tuvimos que tener en cuenta una serie de parámetros que analizaremos a medida que desarrollemos el trabajo, entre ellos tenemos:

- Cálculo de la resistencia de falla en función del terreno.
- Corrientes de cortocircuito del equipo a proteger y su comportamiento ante este.

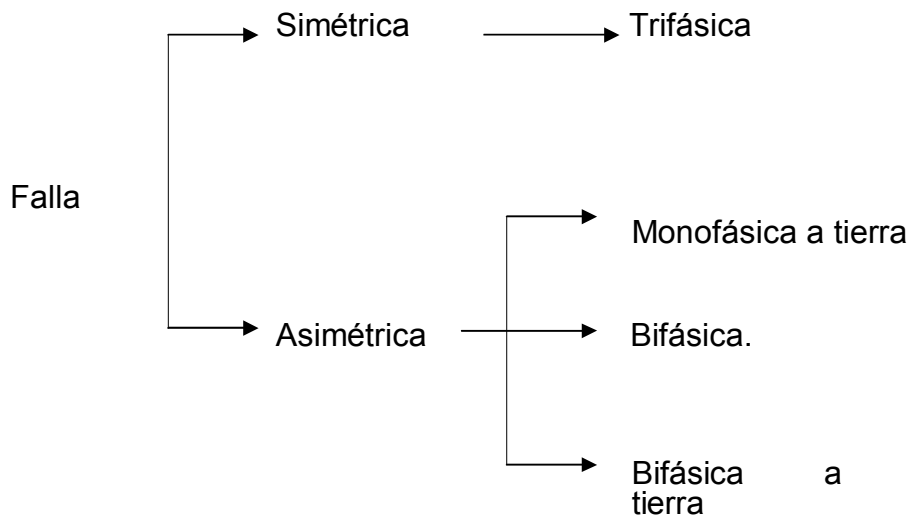
- Resistencia de fase de la línea.
- Corrientes de fases y secundarias.
- Límite de tensión transitoria.
- Comportamiento ante descargas atmosféricas.
- Instalación y ajuste de la protección.
- Coordinación con otras protecciones.

### 1.3.1 Cálculo de la corriente de cortocircuito.

Unos de los principales pasos que tenemos que tener en cuenta para seleccionar una protección es calcular la corriente de cortocircuito, pero primero analizaremos que es un cortocircuito. Desde el punto de vista eléctrico, un cortocircuito es la conexión accidental intencionada mediante una resistencia o impedancia relativamente baja, de dos o más puntos de un circuito que está operando en condiciones normales a voltajes iguales o diferentes. Un cortocircuito origina aumentos bruscos en las corrientes que circulan por el sistema, ocasionando daños al equipamiento existente.

Tipos de cortocircuitos.

Un cortocircuito se presenta ante la disminución repentina de la impedancia de un circuito determinado, lo que produce un aumento de la corriente. En sistemas eléctricos se pueden producir distintos tipos de fallas, las cuales son:





### Figura 3: Tipos de Fallas

Cada una de estas fallas genera una corriente de amplitud definida y características específicas. La razón de llamarse fallas asimétricas es debido a que las corrientes post-falla son diferentes en magnitudes y no están desfasadas en 120 grados. En el estudio de estas corrientes, se utiliza generalmente el método de componentes simétricas, el cual constituye una importante herramienta para analizar sistemas desequilibrados o desbalanceados.

El análisis de cortocircuito se fundamenta en el cálculo o determinación de las magnitudes de las corrientes de falla y los aportes de cada uno de los elementos a esta falla, características que permiten el diseño de interruptores, calibración y ajuste de los mecanismos de protección.

La corriente de cortocircuito del sistema permite establecer las características de los elementos de protección que deberán soportar o cortar la corriente de falla, por lo que es necesario realizar el cálculo para cada uno de los niveles de tensión del sistema. Estas corrientes pueden producir daños térmicos o mecánico por lo que es necesario aislar lo más pronto posible la falla mediante la apertura de los interruptores correspondientes.

Los valores de corriente de cortocircuito a considerar son:

La corriente máxima de cortocircuito (La corriente máxima de cortocircuito se obtiene cuando en el sistema se tiene el mayor número de fuentes de generación operando) que determinan:

- El dimensionamiento del equipo de protección.
- El cálculo de ajuste de protecciones.
- El dimensionamiento de puestas a tierra.

La corriente mínima de cortocircuito (se utiliza para realizar verificaciones del ajuste de protecciones y se obtiene cuando en el sistema se encuentra operando el menor número de fuentes de generación).

Los resultados obtenidos del cálculo de cortocircuito son:

- La corriente de las diferentes componentes de falla.
- Los voltajes después de la falla en todas las barras del sistema eléctrico.

Para el cálculo de cortocircuito es conveniente efectuar las siguientes aproximaciones:

- El generador se modela como una fuente de tensión de valor 1.0 p.u en serie con su impedancia.
- Todos los cálculos se deben realizar por unidad.
- Las cargas se representan por su impedancia equivalente, independiente del nivel de voltaje.
- Todas las barras del sistema tienen un voltaje nominal de 1.0 p.u. respecto a tierra, de forma que no fluyen corrientes de prefalla en la red, pero respecto a la red nodal es cero.
- El sistema eléctrico se analiza como si estuviera en régimen estable.
- Se pueden desprestigiar todas las conexiones en paralelo desde las barras del sistema al nodo de referencia (neutro) en los circuitos equivalentes que representan a las líneas de transmisión y a los transformadores.

Dentro de los resultados de cortocircuito que se obtienen del programa NEPLAN se considera a la potencia de cortocircuito como un dato básico para la caracterización de la red debido a que se relaciona directamente con su comportamiento ante maniobras de equipos y estabilidad del sistema; su valor viene dado por la ubicación de las plantas generadoras de manera que un valor elevado de potencia de cortocircuito en un nodo representa de alguna forma la proximidad eléctrica de un grupo de generación considerable.

Por estas razones, resulta necesario conocer los valores de corrientes de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) y las potencias de cortocircuito ( $S_{cc}$ ) en las barras de la red. Dichos valores son la base del diseño de las características de los elementos de protección.

Al producirse un cortocircuito:

- Los voltajes caen. Los generadores se aceleran porque dejan de transmitir potencia activa y existe elevación del flujo de potencia.
- La corriente que fluye inmediatamente ocurrida la falla en un sistema eléctrico de potencia se determina mediante las impedancias de los elementos de la red y de las máquinas sincrónicas.

Debido a la asimetría existente en la corriente de cortocircuito, y al hecho de que la contribución de los motores depende del tiempo transcurrido desde el instante en que se produce la falla, se diferencian las siguientes corrientes de cortocircuito:

- Corrientes momentáneas.
- Corrientes de interrupción.
- Corrientes permanentes.

Corriente momentánea.

La corriente momentánea corresponde al valor efectivo de la corriente de cortocircuito generada en el primer ciclo después que ocurrió la falla.

Corriente de interrupción.

La corriente de interrupción, corresponde al valor efectivo de la corriente de cortocircuito en el intervalo comprendido entre los 1,5 y los 8 ciclos, después de ocurrida la falla.

Corriente permanente.

La amplitud de la corriente de cortocircuito permanente  $I_k$ , depende del estado de saturación del circuito magnético de los generadores.

#### **1.4 Conclusiones parciales.**

En el capítulo se ha querido dar a conocer las características fundamentales de las protecciones eléctricas, refiriéndose principalmente a la importancia, objetivo y misión de las mismas y así tener un criterio de cómo trabajan para sus próxima instalación en los diferentes locales, subestaciones o donde sea necesario su requerimiento. Se hace énfasis en la confección de la metodología a utilizar para la selección de las protecciones a instalar en el sistema de puesta a tierra de la PGD 1TP-2-2 de la planta de lixiviación y lavado de la ECG. El estudio de las diferentes normas a utilizar en las conexiones de los sistemas aterrados también ayudaran en la confección del sistema, tanto como las características fundamentales de los terrenos y valoran de los electrodos a utilizar en las interconexiones de la puesta a tierra.

# CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA Y DETERMINACIÓN DE AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE FALLAS A TIERRA.

## 2.1 Caracterización del sistema de distribución eléctrico de bajo voltaje (0.48Kv) de la ECG.

La Subestación 1TP2-2 de Lixiviación está formada por 2 transformadores de 1600 kVA, con sistema de enfriamiento por aceite y llenado integral, con una tensión nominal por alta de 10.5 kV y por baja de 0.48 kV, una tensión de trabajo de los equipos de fuerza de 440 V. Los transformadores poseen el enrollado primario en delta y el secundario en estrella sólidamente aterrado, sistema TN-C. Cada uno de los transformadores que compone la Subestación se alimenta de una sección diferente del centro de distribución 1RP (1TP2-2 desde los armarios 45 y 66 respectivamente).

Estos transformadores poseen un enlace secundario (secundario selectivo). Todo esto proporciona una alta seguridad y flexibilidad en el suministro de energía a los equipos de fuerza estando garantizada la energía para los más importantes, aún en el caso de avería en uno de los transformadores, el otro debe asumir toda la carga de la instalación.

A continuación el monolinial de la 1TP-2-2 de la planta de lixiviación

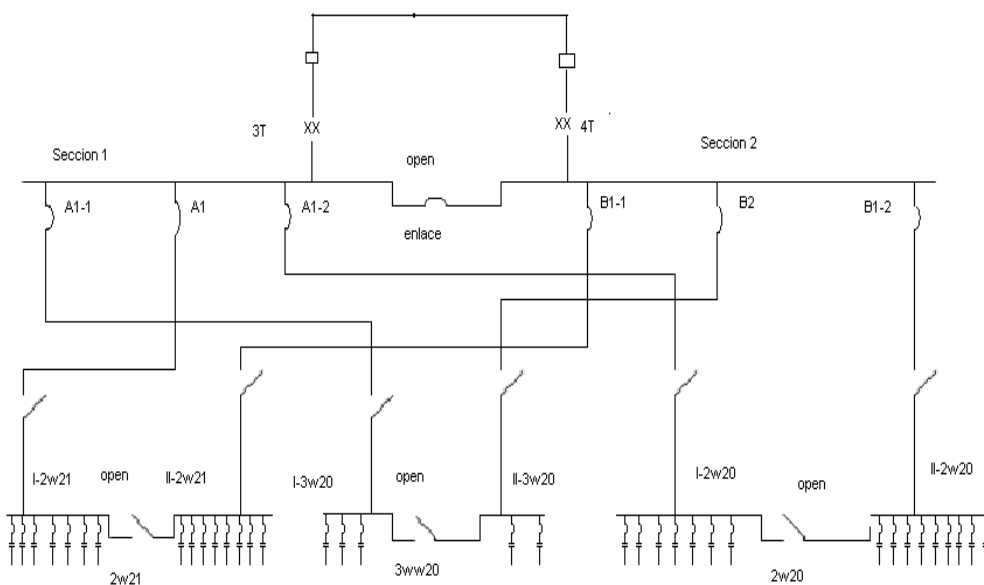


Figura 4: Sistema de distribución eléctrico de la subestación 1TP-2-2 de la planta de lixiviación y lavado (monolinial).

La distribución de baja tensión (BT) se realiza mediante dos PGD ubicada en la Subestación y las mismas están dotadas de dos semiembarrados, cada uno de ellos alimentado desde uno de los transformadores. Esta PGD está dotada de enlace de barras con sistema de transferencia automática y salida a los CCMs donde se encuentran ubicados los arrancadores de los motores de las diferentes áreas de la planta de la sección de lixiviación. Los CCMs están dotados de doble alimentación (desde cada semibarra de la PGD) y enlace sin transferencia automática.

Las PGD constan de 6 salidas de 1000 A para alimentar a los CCMs y las mismas están distribuidas de la siguiente manera:

Subestación 1TP-2-2:

- A2: alimentará la primera sección de la 2W21.
- A1-1: alimenta la primera sección de la 3W-20.
- A1-2: alimenta a la primera sección 2W20.
- B1-1: alimenta a la segunda sección 2W21.
- B1-2: alimentará la segunda sección de la 2W-20.
- B2: alimenta a la segunda sección de la 3W20.

En la tabla que a continuación les mostramos representamos los equipos que integran el monolinial de la PGD 1 TP-2-2 con sus características, protecciones, interruptores y ajustes de estos.

Pn - Potencia nominal del equipo

In - corriente nominal del equipo

Iarr – Corriente de arranque del equipo

Icc 3 Ø y Icc 1 Ø - Corriente de cortocircuito trifásico y monofásico

Ir y Im – Corrientes de ajustes de las protecciones

Tabla 2: Equipamiento instalado en la PGD 1TP-2-2

	Equipos	Pn	In	Iarr	Icc 3Ø	Icc 1Ø	Breaker CM	Ajuste	Ajuste	Térmico	Ajuste	Tierra	Ret
I 2W - 21	BO-03A	121	194	1358	5336.3	2880.0	NS-250	Ir = 250 A	Im = 2250 A	Fanox G17	8.1 A	Fanox ELR-3C	Si
	TA-105B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Fanox C9	4.6 A		
	TA-106B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-160	Ir = 128 A	Im = 1250 A	Fanox C9	9.0 A		
	TA-107 B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Fanox C9	4.6 A		
	TA-108B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Fanox C9	4.6 A		
	TA-118B	55	86	602	1690.8	856.4	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Simocode	86 A		Si
	BO-110B	110	173	1211	3976.3	2059.8	NS-250	Ir = 250 A	Im = 1250 A	Fanox C9	4.6 A		
II 2W - 21	BO-110A	110	173	1211	1861.1	947.8	NS-250	Ir = 250 A	Im = 2250 A	Fanox C9	3.6 A		Si
	TA-101B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-250	Ir = 200 A	Im = 1000 A	Simocode	86 A		Si
	TA-102B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-160	Ir = 128 A	Im = 1250 A	Telemecanique	90 A		Si
	TA-103B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-250	Ir = A	Im = A	Fanox G17	A		
	TA-104B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-160	Ir = 160A	Im = 1250 A	Fanox G17	10.6 A		Si
	BO-110C	110	173	1211	3978.2	2060.1	NS-250	Ir = 200 A	Im = 1400 A	Fanox C9	7.8 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-01B	121	194	1358	4837.1	2567.3	NS-250	Ir = 250 A	Im = 1250 A	3UX-1423	A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-013	55	86	602	1565.2	790.6	NS-100	Ir = A	Im = A	Simocode	86 A		
I 3W - 20	BO-401	55	86	602	1565.0	790.6	NS-160	Ir = 128 A	Im = 1250 A	Fanox C9	5.8 A		
	BO-402	55	86	602	944.0	475.2	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Fanox C9	3.0 A		
	BO-403	55	86	602	1210.1	611.2	NS-100	Ir = 100 A	Im = 800 A	Fanox C9	3.4 A		
II 3W - 20	BO-404	55	86	602	1210.2	611.2	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Fanox C9	8.9 A		
	BO-405	55	86	602	1210.2	611.2	NS-160	Ir = 128 A	Im = 1250 A	Fanox C9	5.8 A		
I 2W - 20	BO-03 B	121	194	1358	5336.3	2880.0	C.M.R			Ter. Ruso		Fanox ELR-3C	Si
	BO-132A	110	173	1211	3692.6	1906.9	NS-250	Ir = 180 A	Im = 1400 A	Simocode	173 A	Fanox ELR-3C	Si
	TA-117 B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Simocode	86 A		Si
	BO-118B	55	86	602	2106.9	1071.0							
	TA-119B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-250	Ir = 200 A	Im = 1000 A	Fanox C9	3.4 A		Si
	BO-121B	55	86	602	3132.7	1608.3	NS-250	Ir = 200 A	Im = 2000 A	Fanox G17	11.4 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-01C	55	86	602	3692.6	1906.9	C.M.R			Ter. Ruso		Fanox ELR-3C	Si
II 2W - 20	TA-116B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Simocode	86 A		Si
	TA-114B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Simocode	86 A		Si

BO 122 B	55	86	602	1385.8	702.2							
TA-115B	55	86	602	1861.1	947.8	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Simocode	86 A		Si
BO-121 C	55	86	602	3133.8	1608.4	C.M.R	Ir = 250 A	Im = 2250 A	Ter. Ruso		Fanox ELR-3C	Si
TA-113B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-160	Ir = 160 A	Im = 1250 A	Simocode	86 A		Si
BO-04A	55	86	602	3694.2	1907.1	NS-250	Ir = 200 A	Im = 1800 A	Telemecanique	100 A		Si
BO-02B	55	86	602	3694.2	1907.1	C.M.R	Ir = 250 A	Im = 2500 A	Ter. Ruso		Fanox ELR-3C	Si
TINA O2-B	55	86	602	2954.3	1513.6							

Tabla 3 Ajuste del multilín de entrada de la PGD 1TP- 2-2

<b>AJUSTES</b>				
Multilín	I residual instantánea a 1 (A)	T (s)	I residual instantánea 2 (A)	T (s)
SR-750 1	600	2	9000	0
SR-750 2	600	2	9000	0

Tabla 4 Ajuste de los Masterpact de salidas de Feeder

<b>AJUSTES</b>							
Masperact	Ir (A)	Tr (s)	Isd (A)	Tsd (s)	Ii (A)	Ig (A)	Tg (s)
A1-1	1000	0.5	6000	0.3	OFF	1000	0.4
A2	1000	0.5	6000	0.3	OFF	1000	0.4
A1-2	1000	0.5	6000	0.3	OFF	1000	0.4
B1-1	1000	0.5	6000	0.3	OFF	1000	0.4
B2	1000	0.5	6000	0.3	OFF	1000	0.4
B1-2	820	0.5	6560	0.3	OFF	1000	0.4

Estos son ajustes que presentan los dispositivos hasta tanto se instalen las protecciones necesarias para la PGD 1TP 2-2 y se culmine con el estudio del criterio de ajuste a implementar de manera definitiva.

Para el diseño de la Instalación hay que tener en cuenta:

- Los fines para los cuales se pretende utilizar.
- El sistema electroenergético que lo alimenta.
- La funcionalidad deseada.
- La protección para la seguridad que se requiere

Se necesita saber:

- Características del Suministro.

- Naturaleza de la Demanda.
- Requerimientos de Emergencia.
- Condiciones ambientales.

### **2.1.1 Interconexiones del sistema de puesta a tierra.**

Las conexiones a tierra son muy importantes para que exista una buena protección del sistema para cumplir con todos estos objetivos, las interconexiones del sistema a tierra deben mantener una baja resistencia de contacto a menudo bajo condiciones adversas, durante el tiempo de vida deseado de la puesta a tierra. Las conexiones en una red a tierra están sujetas a una severa corrosión, elevados esfuerzos mecánicos debido a las fuerzas electromagnéticas y un rápido calentamiento térmico debido a elevados valores de corrientes durante las condiciones de falla.

Corrosión.

Las conexiones a tierra tienen aplicaciones por encima y por debajo del nivel de corrosión y como tales, están sujetos a diversos tipos de corrosión.

Por encima del grado de corrosión ocurren principalmente a través de la acción galvánica cuando se exponen a una fuente electrolítica. Este tipo de corrosión es más pronunciada cuando el material del conector difiere significativamente del material del conductor en su nobleza (referido a los metales nobles). Con el tiempo, la pérdida de iones del material anódico (sea de la conexión o del conductor) ocasionará una reducción de la eficiencia promedio de la conexión y eventualmente puede ocasionar una falla.



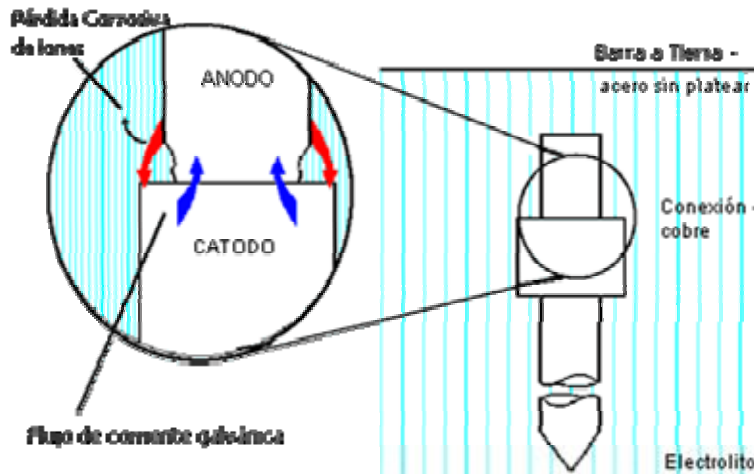


Figura 5: Corrosión galvánica entre la barra de acero a tierra y la conexión de cobre.

Corriente de falla en las conexiones.

La primera tarea de un sistema de puesta a tierra es conducir de forma segura las corrientes de falla a tierra, es también una fuente de esfuerzo en las conexiones de puesta a tierra. Las fuerzas electromagnéticas se desarrollan rápidamente y ejercen un esfuerzo mecánico a todos los puntos de conexión. La magnitud y dirección de la fuerza mecánica se relaciona al camino de conducción, a la proximidad del conductor y a la magnitud de la corriente de falla.

Además de la tensión física, las conexiones a tierra también deben soportar un elevado choque térmico debido al paso de la corriente de falla. Dependiendo de cómo los electrodos del sistema de puesta a tierra son dimensionados, las temperaturas en el conductor pueden alcanzar de 250°C (para el cobre en aplicaciones de tensiones) hasta encima de los 600°C. El conector debe ser capaz de manejar estas temperaturas extremas sin pérdida de integridad.

Para proteger al personal de potenciales tensiones peligrosas, se debe unir el sistema de puesta a tierra a estructuras conductivas sin circuito. Estas estructuras a menudo requieren consideraciones especiales para su conexión debido a sus materiales y a su configuración geométrica.

Las conexiones en postes requieren de conectores adecuados a una geometría tipo tubo. Las conexiones a puertas requieren flexibilidad para resistir la ruptura debido a los ciclos repetidos de apertura y de cierre.

Las conexiones a tuberías (incluyendo postes, tuberías de agua, conductos, etc.) están sujetas a la corrosión galvánica, especialmente cuando las tuberías son de derivados de hierro. La mayoría de los conectores de tuberías son mecánicos y están hechos de cobre o de aleaciones basadas en cobre para asegurar una conexión más duradera al terminal a tierra. Los conectores mecánicos permiten la conexión directamente a la circunferencia de la tubería, aunque para aplicaciones de baja corriente también son adecuados los del tipo de brida de la tubería.

En algunos casos, las conexiones a la tubería están hechas de soldaduras. Sin embargo, antes de soldar a una tubería es necesario entender completamente su uso. La pared o brida de la tubería se debilitará estructuralmente por el calor intenso del proceso de soldado y puede eventualmente ocasionar una falla operacional. Cuando se encuentre en duda de la extensión del daño que puede ocasionar una soldadura, es mejor usar medios alternativos de conexión.

El conductor de cobre es la primera elección para construir sistemas de puesta a tierra. El cobre tiene una excelente conductividad eléctrica, disipa rápidamente la energía térmica y tiene buena resistencia a la corrosión. Los conectores a tierra deberían tener similares propiedades para asegurar un similar rendimiento. El cobre y las aleaciones con alto contenido de cobre se usan para minimizar la corrosión galvánica con los conductores a tierra de cobre, para aumentar la longevidad en aplicaciones con bajo nivel de corrosión y para soportar los rigores de repetidas corrientes de falla.

Un requerimiento mínimo para los conectores a tierra debería ser la capacidad de cumplir la Norma 467 de UL para Puestas a Tierra y Conexión Equipotencial. Al cumplir los requerimientos en esta norma, el usuario puede confiar que el conector tiene más de un 80% de cobre (si se marca para "enterramiento directo") y que ha pasado la prueba de corriente de falla. Los conectores que cumplen la norma 837 de la IEEE son adecuados

para todas las aplicaciones de puesta a tierra y no requieren de consideraciones especiales, tales como el derrateo por temperatura.

Tipos de conectores:

- Conectores Automáticos.
- Conectores de Perforación de Aislamiento (IPC).
- Conectores de Compresión.
- Conexiones Soldadas.
- Conexiones Exotérmicas.
- Mangas de Soldadura Partidas.
- Conectores Mecánicos.
- Cuña.

### 2.3 Determinación de las protecciones a instalar y sus ajustes. Coordinación con las existentes.

Tabla 5: Equipamiento propuesto en la PGD 1 TP-2-2.

	Equipos	Pn	In	Iarr	Icc 3Ø	Icc 1Ø	Breaker CM	Ajuste	Ajuste	Térmico	Ajuste	Tierra	Ret
I 2W - 21	BO-03A	121	194	1358	5336.3	2880.0	NS-250	I <sub>r</sub> = 180 A	I <sub>m</sub> = 1800 A	Simocode	180 A	Fanox ELR-3C	Si
	TA-105B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		
	TA-106B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		
	TA-107 B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		
	TA-108B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		
	TA-118B	55	86	602	1690.8	856.4	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-110B	110	173	1211	3976.3	2059.8	NS-250	I <sub>r</sub> = 180 A	I <sub>m</sub> = 1600 A	Simocode	170 A		
II 2W - 21	BO-110A	110	173	1211	1861.1	947.8	NS-250	I <sub>r</sub> = 180 A	I <sub>m</sub> = 1600 A	Simocode	170 A	Fanox ELR-3C	Si
	TA-101B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		Si
	TA-102B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		Si
	TA-103B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		
	TA-104B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	I <sub>r</sub> = 80 A	I <sub>m</sub> = 640 A	Simocode	70 A		Si
	BO-110C	110	173	1211	3978.2	2060.1	NS-250	I <sub>r</sub> = 180 A	I <sub>m</sub> = 1600 A	Simocode	170 A	Fanox ELR-3C	Si

	BO-01B	121	194	1358	4837.1	2567.3	NS-250	Ir = 180 A	Im = 1800 A	Simocode	180 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-013	55	86	602	1565.2	790.6	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	86 A	Fanox ELR-3C	
I 3W - 20	BO-401	55	86	602	1565.0	790.6	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	86 A	Fanox ELR-3C	
	BO-402	55	86	602	944.0	475.2	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	86 A	Fanox ELR-3C	
	BO-403	55	86	602	1210.1	611.2	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	86 A	Fanox ELR-3C	
II 3W - 20	BO-404	55	86	602	1210.2	611.2	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	86 A	Fanox ELR-3C	
	BO-405	55	86	602	1210.2	611.2	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	86 A	Fanox ELR-3C	
I 2W - 20	BO-03 B	121	194	1358	5336.3	2880.0	NS-250	Ir = 180 A	Im = 1800 A	Simocode	180 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-132A	110	173	1211	3692.6	1906.9	NS-250	Ir = 180 A	Im = 1600 A	Simocode	170 A	Fanox ELR-3C	Si
	TA-117 B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		Si
	BO-118B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		
	TA-119B	55	86	602	2106.9	1071.0	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		Si
	BO-121B	55	86	602	3132.7	1608.3	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-01C	55	86	602	3692.6	1906.9	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	Si
II 2W - 20	TA-116B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		Si
	TA-114B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		Si
	BO 122 B	55	86	602	1385.8	702.2	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	
	TA-115B	55	86	602	1861.1	947.8	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	Si
	BO-121 C	55	86	602	3133.8	1608.4	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	Si
	TA-113B	55	86	602	2107.3	1071.1	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		Si
	BO-04A	55	86	602	3694.2	1907.1	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		Si
	BO-02B	55	86	602	3694.2	1907.1	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A	Fanox ELR-3C	Si
	TINA O2-B	55	86	602	2954.3	1513.6	NS-100	Ir = 80 A	Im = 640 A	Simocode	70 A		

En la tabla anterior expusimos las características de los motores con sus protecciones e interruptores y sus ajustes a instalar en la PGD después de haber hecho el estudio de estas.

A continuación los siguientes datos de la tabla.

Pn - Potencia nominal del equipo

In - corriente nominal del equipo

Iarr – Corriente de arranque del equipo

Icc 3 Ø y Icc 1 Ø - Corriente de cortocircuito trifásico y monofásico

Ir y Im – Corrientes de ajustes de las protecciones

## 2.4 Simulación de fallas a tierra.

Este es un ejemplo de la simulación de una falla a tierra en el programa Software Easy Power V 3.2. Para esto escogimos 2 de los principales equipos de la planta una bomba (BO) y un turbo (TA).

Tabla 6: Falla a Tierra en BO-132A ½ Ciclo con Interruptor de enlace 2W20 abierto

S L-GND Fault		Total Fault Duties				Equipment Duties	
Bus Name	Bus kV	Symmetrical Amps	X/R	Mult Factor	Asymmetrical Amps	Equip Type	Duty Amps
BUS BO-132A	0.480	1989.3	0.4	1.00	1989.3	LVPCB	1989.3

Vpu = 1.00

Tabla 7: Falla a Tierra en BO-132A ½ Ciclo con Interruptor de enlace 2W20 cerrado

S L-GND Fault		Total Fault Duties				Equipment Duties	
Bus Name	Bus kV	Symmetrical Amps	X/R	Mult Factor	Asymmetrical Amps	Equip Type	Duty Amps
BUS BO-132A	0.480	2043.0	0.3	1.00	2043.0	LVPCB	2043.0

Vpu = 1.00

Tabla 8: Falla a Tierra en TA-116B ½ Ciclo con Interruptor de enlace 2W20 abierto

S L-GND Fault		Total Fault Duties				Equipment Duties	
Bus Name	Bus kV	Symmetrical Amps	X/R	Mult Factor	Asymmetrical Amps	Equip Type	Duty Amps
BUS-TA-116B	0.480	1926.6	0.3	1.00	1926.6	LVPCB	1926.6

Vpu = 1.00

Tabla 9: Falla a Tierra en BO-132A ½ Ciclo con Interruptor de enlace 2W20 cerrado

S L-GND Fault		Total Fault Duties				Equipment Duties	
Bus Name	Bus kV	Symmetrical Amps	X/R	Mult Factor	Asymmetrical Amps	Equip Type	Duty Amps
BUS-TA-116B	0.480	1986.6	0.3	1.00	1986.6	LVPCB	1986.6

Vpu = 1.00

## 2.5 Conclusiones Parciales.

En este capítulo se realiza una caracterización del sistema de distribución de la subestación PGD 1TP-2-2 de la planta de Lixiviación y Lavado de la fábrica de níquel Cdte. Ernesto Che Guevara describiendo la misma en su totalidad.

Se realizan las simulaciones de fallas de algunos de los elementos de la subestación haciendo un análisis minucioso, el cual nos brinda una referencia de la aplicación de la metodología del cálculo de las fallas a tierra para las instalaciones de las protecciones a

utilizar en dicha subestación. Además se da una explicación de cómo hacer las conexiones de los aterramientos de las diferentes cargas instaladas en la misma.

## **CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A EMPLEAR.**

### **3.1 Selección de los órganos de medición.**

Los interruptores con que contamos en los motores de baja tensión; en muchos de los casos son obsoletos con más de 20 años de explotación y de dudosa confiabilidad. Esto ha traído como consecuencia disparos intempestivos en los interruptores de salida de las PGD y su correspondiente afectación a la producción.

Con el comienzo de la modernización de las PGD de baja tensión se introdujo un nuevo tipo de protección en el esquema: Protección contra fallas a tierra.

Esta protección es muy importante en los sistemas aterrados como el nuestro ya que limita los daños que pueden causar las corrientes de arco debido a la alta sensibilidad y velocidad de respuesta.

Respecto a la protección de falla a tierra, el NEC (National Electrical Code) estipula lo siguiente: El máximo valor de ajuste de un dispositivo de protección de falla a tierra será de 1200 A; y en adición limita a 1s el máximo tiempo de espera para corrientes iguales o mayores a 3000 A.

Esto puede dar una idea de la sensibilidad y velocidad que se estipula debe poseer este tipo de protección.

#### **3.1.1 Interruptor automático NSX de SCHNEIDER ELECTRIC.**

Adquirir nuevos interruptores para la distribución terminal a motores con mayor grado de confiabilidad. En este sentido se propone la adquisición del tipo NSX de SCHNEIDER ELECTRIC. Particularmente los siguientes modelos:

- Interruptor automático tripolar caja moldeada Compact NSX100F fijo. Tomas traseras. 50 kA, Ue=500 V, 100 A.

- Interruptor automático tripolar caja moldeada Compact NSX160F fijo. Tomas traseras. 50 kA, Ue=500V, 160 A.

Equipados con unidades electrónicas de disparo. Modelo: Micrologic 6.2A-M. Fabricante: SCHNEIDER ELECTRIC. Estas cuentan con las siguientes variables de protección:

- Sobrecorriente con tiempo inverso.
- Cortocircuito con respuesta instantánea.
- Cortocircuito con tiempo independiente.
- Cortocircuito a tierra.

Equipados con unidades electrónicas de disparo. Modelo: Micrologic 2.3-M. Fabricante: SCHNEIDER ELECTRIC. Estas cuentan con las siguientes variables de protección:

- Sobrecorriente con tiempo inverso
- Cortocircuito con corto retardo (en temporización fija, 20 ms)
- Cortocircuito con disparo instantáneo.

La selección de este modelo se realizó bajo el criterio que establece la norma IEC y representan las prácticas seguidas en muchos países:

Un elemento de protección (interruptor automático o fusible) funciona adecuadamente si:

Su corriente nominal o de ajuste ( $I_n$ ) es superior a la corriente de carga máxima ( $I_b$ ) pero inferior a la corriente máxima permitida ( $I_z$ ) para el circuito:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

El poder de corte último (pdC) del interruptor debe ser mayor que el máximo valor de la  $I_{cc}$  esperada en el lugar de la instalación. Generalmente, la  $I_{cc}$  trifásica.

$$pdC \geq I_{cc}3\Phi$$

También se tuvo en cuenta lo establecido por el NEC al respecto:

La selección o ajuste del dispositivo de protección de los motores contra los cortocircuitos debe realizarse tan baja como sea posible para brindar una máxima protección.

Cuando un motor sea alimentado por un circuito terminal, la corriente nominal o de ajuste del dispositivo de protección del circuito debe ser igual o inferior a los valores obtenidos de multiplicar la corriente a plena carga por los valores indicados en la tabla siguiente en dependencia del tipo de arranque.

Para la selección del modelo necesario para evitar estos disparos se tuvo en cuenta los requerimientos del NEC (National Electrical Code) que establece lo siguiente:



Un circuito ramal alimentando un motor debe ser protegido por un dispositivo de sobrecorriente de corriente nominal que no exceda el valor mostrado en la tabla siguiente usando la corriente nominal del motor.

Tabla 10: Factor a aplicar a la corriente a plena carga los motores.

**Factor a aplicar a la corriente a plena carga de motores, para obtener la corriente nominal o de ajuste máxima de los dispositivos de protección de los circuitos terminales**

Tipo de motor	Tipo de dispositivo de protección	Factor			
		Dispositivo fusible sin retardo	Dispositivo fusible retardado	Disyuntor de apertura instantánea (magnético)	Disyuntor de tiempo inverso (térmico)
Monofásico sin letra de código		3.00	1.75	7.00	2.50
Monofásico o polifásico, jaula de ardilla o sincrónico, con partida a plena tensión, por medio de resistor o reactor					
- Sin letra código		3.00	1.75	7.00	2.50
- Letra código F hasta V		3.00	1.75	7.00	2.50
- Letra código B hasta E		2.50	1.75	7.00	2.50
- Letra código A		1.50	1.75	7.00	1.00
Sincrónico o jaula de ardilla con partida por medio de un autotransformador.					
- Sin letra código y corriente nominal igual o inferior a 20 A.		2.50	1.75	7.00	2.00
- Sin letra código y corriente nominal superior a 30 A.		2.00	1.75	7.00	2.00
- Letra código F hasta V		2.50	1.75	7.00	2.00
- Letra código B hasta E		2.00	1.75	7.00	2.00
- Letra código A		1.50	1.75	7.00	1.50
Jaula de ardilla con alta reactancia (sin letra código)					
- Corriente nominal inferior a 30 A		2.50	1.75	7.00	2.50
- Corriente nominal superior a 30 A		2.00	1.75	7.00	2.00
De anillos rozantes (sin letra código)		1.50	1.50	7.00	1.50
De corriente continua (sin letra código) potencia suministrada nominal igual o inferior a 35 KW (50 cv).		1.50	1.50	2.50	1.50
Potencia suministrada nominal superior a 37 KW (50 cv).		1.50	1.50	1.75	1.50

Teniendo en cuenta los criterios anteriores se demuestra que los interruptores seleccionados son válidos para ser instalados en protección de motores desde 30 kW hasta 90 kW (esto es desde 50 A hasta 150 A).

Es muy importante tener en cuenta que el poder de corte de los interruptores que se están solicitando es de 50 kA, por lo que los técnicos interesados en emplearlos deben conocer la corriente de falla máxima esperada en el lugar de la instalación.

Con la adquisición de estos interruptores lograríamos tener un dispositivo capaz de coordinar el disparo por falla a tierra con los interruptores instalados en las nuevas PGD, evitándose con esta solución los disparos indeseados.

- Mejora de la confiabilidad de la protección contra cortocircuitos en los circuitos terminales.
- Amplio rango de regulación de la protección contra cortocircuitos con tiempo independiente (Desde 1,5 hasta  $10 \times I_n$ ).
- Amplio rango de regulación de la protección contra sobrecorriente con largo retardo (Desde 0,4 hasta  $I_n$ ).
- Posibilidad de regulación y prueba de la protección en el campo.

### **3.2 Selección de los interruptores**

#### **3.2.1 Interruptor de potencia MASTERPACT DE MERLIN GERIN.**

Son interruptores destinados para la distribución de energía en edificios e instalaciones industriales utilizables para realizar las maniobras de consumidores.

Estos interruptores están dotados de un disparador de sobreintensidad (unidad de disparo) controlada por microprocesador que no depende de la alimentación eterna con transformadores de corriente.

Disponibilidad de conexión del interruptor.

El interruptor automático está listo para conectar cuando se cumplen las condiciones siguientes:

- Interruptor en estado OFF.
- Acumulador de energía tensado.

- El pulsador OFF no debe estar bloqueado en la posición OFF.
- El bloqueo mecánico de rearme debe estar desbloqueado.
- El enclavamiento mecánico no debe estar activado.
- El disparador de sobreintensidad (unidad electrónica) debe estar montado en el interruptor.

Cuando se cumplen todas estas condiciones esto se señala visualmente mediante el indicador de disponibilidad.

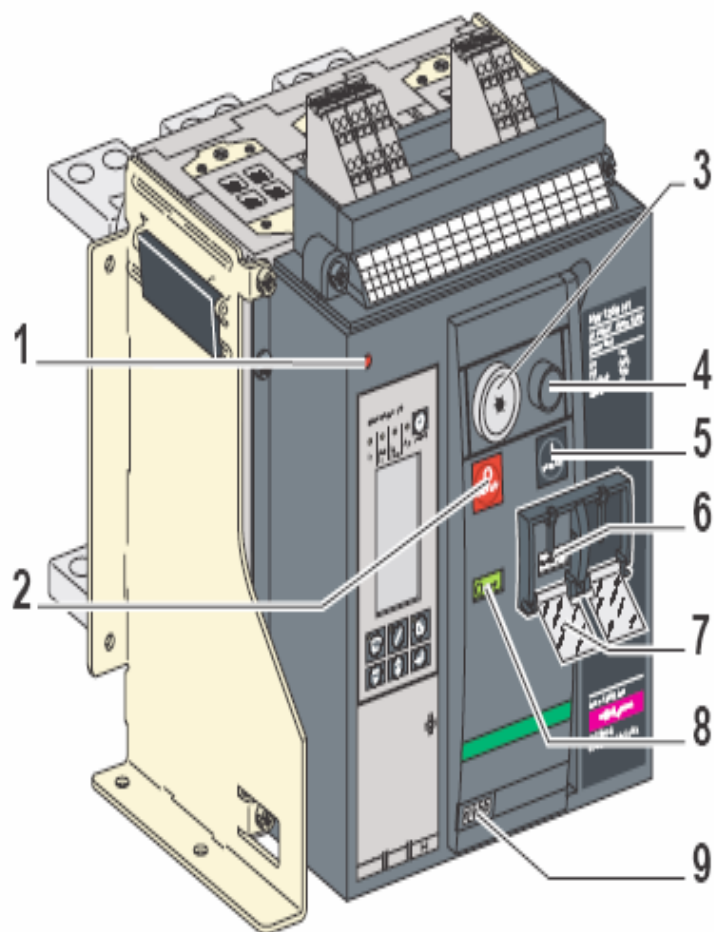
Unidad electrónica:

Todos los interruptores automáticos Compact NS630-3200, Masterpact NT y NW están equipados con una unidad de control Micrologic intercambiable in situ. Las unidades de control están diseñadas para asegurar la protección de los circuitos de potencia y de los receptores.

### Micrologic 6.0 A: protección selectiva + tierra y amperímetro



Figura 6: Partes de la unidad electrónica micrologic 6.0A del interruptor Masterpact



- 1 Reset de señalización mecánica de disparo
- 2 Botón de apertura
- 3 Enclavamiento posición "abierto"
- 4 Botón de cierre eléctrico
- 5 Botón de cierre
- 6 Testigo de posición de los muelles
- 7 Protección de los botones pulsadores
- 8 Testigo de posición de los contactos principales
- 9 Contador de maniobras

Figura 7: Partes principales del interruptor Masterpact

- 1 fijación superior
- 2 fijación inferior
- 3 tapa de protección de las regulaciones
- 4 apertura de la tapa de protección de las regulaciones
- 5 precinto de la tapa de protección de las regulaciones
- 6 regulador de largo retardo
- 7 tornillo de fijación del regulador de largo retardo
- 8 conexión con el interruptor automático
- 9 unión infrarrojos con interface de comunicación
- 10 bornero de conexionado exterior
- 11 ubicación de la pila
- 12 visualización alfanumérica
- 13 ampermetro y diagrama de barras trifásico

#### Selectores de regulación

- 14 umbral largo retardo Ir
- 15 temporización largo retardo tr
- 16 umbral corto retardo Isd
- 17 temporización corto retardo tsd
- 18 umbral instantáneo Isd
- 19 umbral instantáneo Ii
- 20 umbral Ig de protección tierra
- 21 temporización tg de protección tierra
- 22 umbral IΔn de protección de intensidad diferencial
- 23 temporización Δt de protección de corriente diferencial

#### Señalización

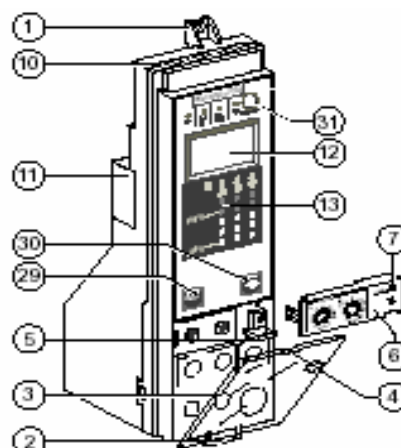
- 24 led de señalización de disparo largo retardo
- 25 led de señalización de corto retardo o instantáneo
- 26 led de señalización de disparo por defecto a tierra o diferencial
- 27 led de señalización de disparo después de una autoprotección
- 28 testigo luminoso de sobrecarga

#### Navegación

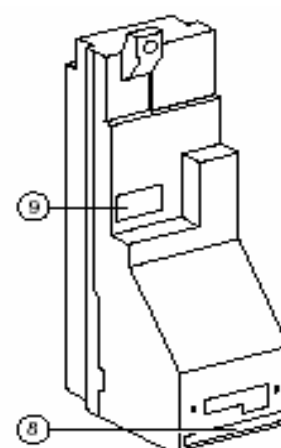
- 29 tecla de navegación de los menús
- 30 tecla de navegación de los submenús
- 31 tecla de confirmación de señalización de disparo y de control de estado de la pila

#### Test

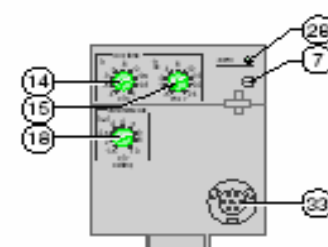
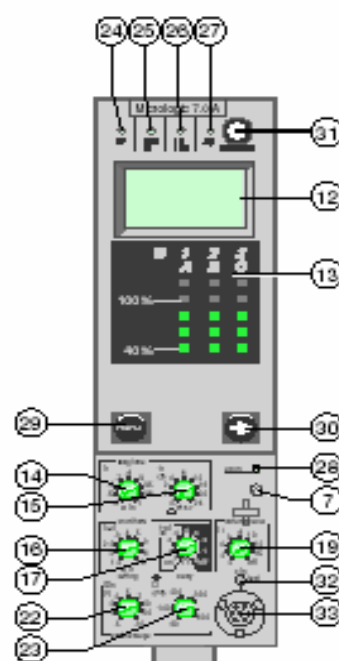
- 32 botón test de protección de intensidad diferencial o defecto a tierra
- 33 toma de test



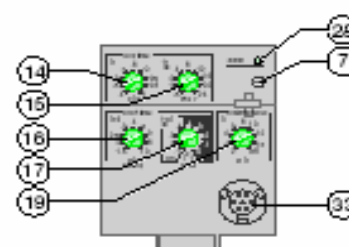
Micrologic 7.0 A



Micrologic 2.0 A



Micrologic 5.0 A



Micrologic 6.0 A

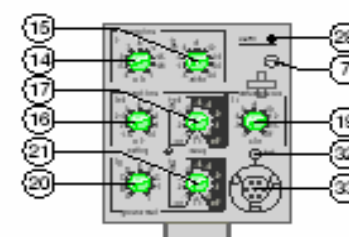
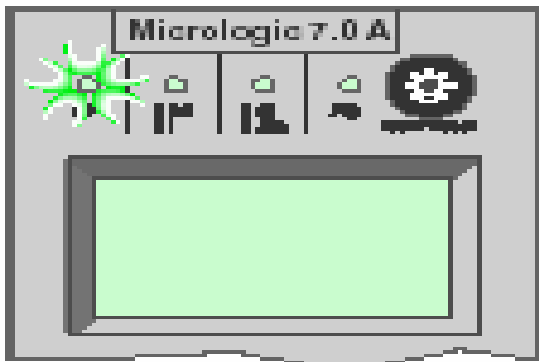
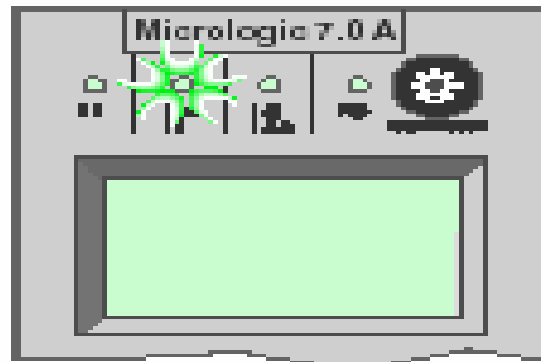


Figura 8: Partes y características de la unidad micrológica 6.0A

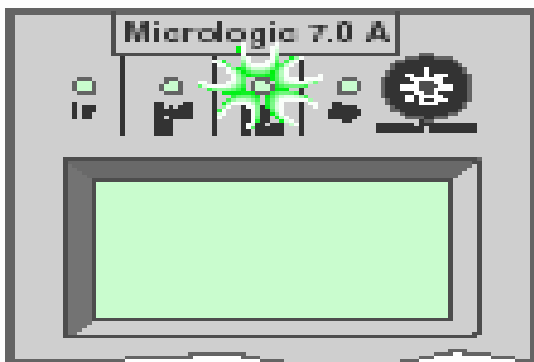
Señal de disparo después de una superación del umbral de largo retardo  $I_r$ .



Señal de disparo después de una superación del umbral de corto retardo  $I_{sd}$  o del umbral instantáneo  $I_i$  /  $I_{sd}$ .



Señal de un disparo después de la superación del umbral  $I_g$  de protección tierra o del umbral  $I_{\Delta n}$  de protección diferencial.



Señal de disparo después de una autoprotección de la unidad de control.

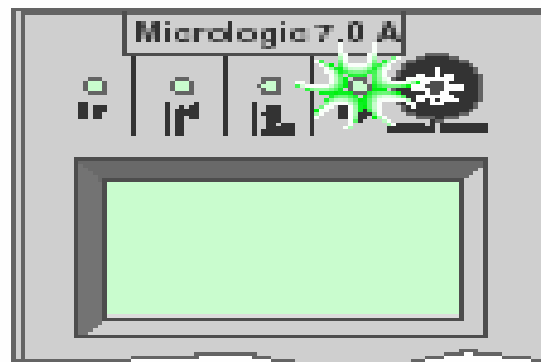


Figura 9: Señales de disparo de la unidad micrologica

### 3.2.2 Interruptor NS

Estos interruptores en caja moldeada son equipos de protección cuyas funciones básicas son por un lado, conectar y desconectar manualmente el circuito que están alimentando, y por otro, proteger el mismo circuito en forma automática.

Estos interruptores en caja moldeada pueden emplearse ya sea en forma individual, combinados o montados en grupo, ya que la posición en que se instalan no afecta su operación.

Se pueden combinar en aplicaciones con arrancadores o contactores, ya sea individualmente o en centros de control de motores. Agrupados se utilizan en tableros de pared tipo panel, tableros para servicios propios y tableros de distribución autosoportados.

Estos interruptores cuentan con:

- Mecanismo de operación de disparo libre, apertura y cierre rápido, mediante una barra común se realiza la apertura y cierre de todos los polos.
- Botón de disparo: se encuentra un botón de disparo de color rojo en la parte frontal que nos permite verificar el mecanismo del interruptor cuando se da mantenimiento.
- Indicación de disparo: la palanca tipo “toggle” cambia a la posición central. Para restablecer, se tiene que pasar la palanca a la parte inferior y volverla a subir para cerrar el circuito.
- Conexión inversa: los interruptores están aprobados para alimentarse en forma inversa en caso de requerirse. Los extremos de línea y carga no se identifican.
- Zapatas: todos los interruptores marco E, F y J están equipados con zapatas de aluminio de un sólo lado, listos para su instalación en tableros y centros de control de motores.

Estos interruptores no requieren mantenimiento.

El accionamiento es tipo “toggle” y existe la opción de convertirlo a tipo rotatorio por medio de una manija rotatoria de montaje directo.

El marco E 160A cuenta con dos ofertas, una de 1, 2 y 3 polos a 240 V c.a. y 250 V c.d. para aplicaciones comerciales y la otra para aplicaciones industriales en 1,2 y 3 polos

para 600 V c.a. y 250 V c.d. En los marcos F 250A y J 630A, la tensión de operación es de 600 V c.a.

La gama de interruptores FPower NS está construida para satisfacer ampliamente los requerimientos de las instalaciones en nuestro país, y están certificados por ANCE, de acuerdo con la norma NOM-003-SCFI-2000.

Los interruptores automáticos FPower NS ofrecen a los usuarios una alta seguridad y la mejor garantía de disponibilidad de energía, así como una facilidad de operación. Estos interruptores son 100% seccionadores, ya que se asegura que cuando el interruptor está abierto, hay una distancia real entre los contactos, para evitar algún accidente cuando se esté dando mantenimiento a los equipos que son alimentados por estos interruptores

### **3.2.3 Interruptores de la gama Simocode**

Simocode pro es un sistema de gestión de motores modular y flexible para motores con velocidades de giro constantes en la gama de baja tensión. Este sistema optimiza la conexión entre el sistema de control y la derivación de motor, aumentando a la vez la disponibilidad y proporcionando sustanciales ahorros en la construcción y en la puesta en marcha, así como durante la operación y el mantenimiento de una instalación. Montado en el cuadro/tablero de baja tensión, SIMOCODE pro constituye el nexo de unión inteligente entre el sistema de automatización supraordenado y la derivación de motor, con las siguientes

Ventajas:

- Protección electrónica integral y multifunción al del motor, independiente del sistema de automatización
- Funciones flexibles de mando del motor por software en lugar de hardware
- detallados datos de operación, mantenimiento y diagnóstico
- Comunicación abierta vía PROFIBUS DP, el sistema estándar entre los buses de campo.

El paquete de software SIMOCODE ES está destinado a la puesta en marcha y a las funciones de parametrización y diagnóstico de SIMOCODE pro. El módulo de mando está destinado al mando de la derivación de motor y permite reemplazar perfectamente todos los pulsadores y lámparas de señalización convencionales, ocupando a la vez poco espacio.



Con él es posible manejar SIMOCODE pro o la derivación directamente en el armario eléctrico y conectar externamente la interfaz de sistema para facilitar las tareas de parametrización o diagnóstico mediante un PC/PG. El módulo de mando se conecta en la interfaz posterior con un cable de conexión al aparato básico y es alimentado con energía eléctrica por este aparato. El módulo de mando dispone de 5 teclas configurables y 10 LEDs en total, de los cuales 7 LEDs son configurables sin restricciones y pueden ser asignados a cualquiera de las señales de estado. A la interfaz frontal del sistema se le puede conectar, por ejemplo, un PC / PG a través del cable del PC. El módulo de mando se instala en la puerta del armario eléctrico o en la placa frontal, por ejemplo en un módulo extraíble, y con la tapa de interfaz cumple el grado de protección IP54.

Ampliación con un módulo de vigilancia de defectos a tierra mediante un transformador de intensidad sumador externo. En lugar de la vigilancia de defectos a tierra a través de los módulos de medida de la intensidad o de la intensidad/tensión, las redes puestas a tierra a través de una alta impedancia pueden precisar la vigilancia de las bajas intensidades de defectos a tierra, utilizando un transformador de intensidad sumador. Con un módulo de defecto a tierra es posible añadir una entrada adicional al aparato básico 2 para conectar un transformador de intensidad sumador (3UL2 20.-.A). A un aparato básico 2 se le puede conectar como máximo un módulo de defecto a tierra.

Módulo de defecto a tierra 3UF7 500-1AA00-0

1 entrada para conectar un transformador de intensidad sumador

(3UL2 20.-.A)

1 LED "Ready"

2 interfaces de sistema para conectar al aparato básico 2 módulos de ampliación

- Un módulo de medida de la intensidad o de medida de la intensidad/tensión
- un módulo de mando

Con independencia de la protección de motor por termistor de los aparatos básicos, utilizando un módulo de temperatura se tiene la posibilidad de evaluar hasta 3 sensores de temperatura analógicos. Las temperaturas registradas son totalmente integrables en el proceso y supervisables, y vía Profibus están a la vez a la disposición de un sistema de

automatización supraordenado. Entre otras funcionalidades, el módulo de temperatura posibilita la vigilancia analógica de las temperaturas de los devanados del motor o de sus cojinetes, o vigilar la temperatura del refrigerante o del aceite del engranaje. El módulo soporta sensores de distintos tipos (sensores resistivos) para la aplicación en medios sólidos, líquidos o gaseosos.

- PT100/PT1000
- KTY83/KTY84
- NTC

A un aparato básico 2 se le puede conectar como máximo un módulo de temperatura. En todos los circuitos de los sensores debe usarse el mismo tipo de sensor.

Módulo de temperatura 3UF7 700-1AA00-0

3 entradas para conectar hasta 3 sensores resistivos con tecnología de dos o tres hilos

1 LED "Ready"

2 interfaces de sistema para conectar al aparato básico 2

- Módulos de ampliación
- un módulo de medida de la intensidad o de medida de la intensidad/tensión
- un módulo de mando

### **3.2.4 Interruptores con Detección de Falla a Tierra**

Los interruptores con detección de falla a tierra (GFCI, por sus siglas en inglés de Ground Fault Circuit Interrupters) son dispositivos diseñados para evitar choques eléctricos accidentales o electrocución evitando el paso de la corriente a tierra. También protegen contra incendios ocasionados por fallas eléctricas, sobrecalentamiento de herramientas o electrodomésticos y daños al aislamiento de los cables. Los códigos de la construcción exigen el uso de los GFCI en lugares "húmedos" y Cal/OSHA los exige en los sitios de construcción.

La causa más común de riesgo de choque eléctrico son las fallas a tierra, y pueden causar choques eléctricos graves o electrocución. Bajo condiciones normales, la electricidad pasa por un circuito cerrado, pasando por el conductor "vivo" y regresando por el "neutro", completando así el circuito. Una falla a tierra ocurre cuando la corriente eléctrica no completa su circuito, sino que pasa a tierra en un lugar inesperado. Las fallas a tierra

pueden ocasionar incendios y son peligrosas cuando pasan a través de una persona en su trayecto a tierra.

Los choques por falla a tierra pueden ocurrir cuando una persona entra en contacto con un conductor “vivo” teniendo las manos mojadas o estando parada en agua o sobre un piso mojado. Los GFCI protegen contra fallas a tierra midiendo la corriente en el circuito eléctrico. La corriente en el conductor “vivo” y en el “neutro” deben ser iguales o casi iguales. Si ocurre una falla a tierra, la toma de corriente con GFCI o el disyuntor de GFCI abre el circuito, deteniendo el paso de la corriente. Un GFCI no protege al trabajador contra los peligros de contacto directo con los conductores (por ejemplo, una persona que toque a la vez dos conductores “vivos”, el conductor “vivo” y el “neutro”, o que entre en contacto con una línea elevada de suministro eléctrico).

Hay diferentes tipos de dispositivos GFCI para situaciones diferentes. Los disyuntores GFCI se instalan en el panel de distribución eléctrica y proporcionan protección a todo lo largo del circuito que alimentan. Las tomas de corriente con característica GFCI proporcionan protección en esa toma y todas las demás tomas que le siguen en ese circuito de alimentación. Las unidades portátiles con GFCI, tales como tomas de corriente, cordones de extensión y dispositivos conectados por cordones, cuentan con circuitos de GFCI. Los dispositivos portátiles son sólo para uso temporal y deben probarse antes de cada uso.

Los GFCI tienen botones para prueba y reposición por una razón: deben probarse periódicamente. Para uso general, los GFCI deben probarse e inspeccionarse mensualmente. En sitios de construcción, debe haber un plan escrito de inspección, y una persona competente debe llevar a cabo pruebas periódicas e inspecciones visuales antes de su uso cada día. Es necesario llevar registros de las pruebas.

Las inspecciones de los GFCI deben descubrir defectos externos, tales como clavijas deformadas o faltantes, daños al aislamiento o indicios de daños internos. Los equipos dañados o defectuosos no deben usarse hasta que sean reparados. Se requieren inspecciones adicionales si una toma de corriente se regresa a servicio después de ser reparada y después de cualquier incidente que razonablemente se pueda sospechar que haya causado algún daño (por ejemplo, que un vehículo pase sobre un cable).

### **3.2.5 Principio de funcionamiento del relé SR-750.**

El relé SR- 750 es un relé electrónico - digital que se usa para la protección y mando de alimentadores. También puede usarse para la dirección y protección de apoyo de barras, transformadores y líneas, el mismo tiene las siguientes aplicaciones.

Protección y Mando:

Sobrecorriente de tiempo completo.

Sobrecorriente instantáneo completo.

Protección direccional de sobrecorriente.

Bajo voltaje y sobrevoltaje.

Voltaje de secuencia negativa.

Restauración automática de bajo voltaje.

Falla del interruptor.

Transferencia de barras.

Mediciones y monitoreo:

Registra la causa de la falla, registro de los últimos 10 eventos.

Operación del interruptor y causa de la falla.

Falla de VT.

El factor de Potencia de dos fases independientes.

Estado de las entradas analógicas.

Registrador de eventos: últimos 128 eventos.

Oscillography - 128 ciclos.

Mide: V, I, Hz, var, W, VA, PF.

Demanda: IA, IB, IC, EL MW, MVAR, MVA.

Función del sistema de transferencia.

La transferencia automática prevista es la incluida en los relés de protección SR-750 de Alimentaciones y Acoplamiento; además de dicha transferencia automática se ha considerado la ejecución de una transferencia manual, a voluntad, con cero y bloqueo. La misma funciona de la siguiente manera:

Selector en la posición (1) =Bloqueo: al desconectar el interruptor de la entrada #1 ó #2 no permite la conexión del interruptor de enlace y bloquea la reconexión de los interruptores de entrada, lo mismo sucede para un fallo de tensión en una de las alimentaciones.

Selector en la posición (0) =Manual: Permite la conexión y desconexión del interruptor de enlace y los interruptores de las entradas I y II.

Selector en la posición (2) =Automático: para un fallo de tensión en la entrada I ó II, estas se desconectan y el interruptor de enlace entra automáticamente, lo mismo sucede si se produce la desconexión de una de las entradas por el operario. Cuando se restablece la alimentación en la entrada de falla no se conecta el Interruptor, por lo cual, para restablecer el sistema es necesario que el operario conecte el interruptor de la entrada en falla.

Selector en la posición (2) =Automático: si se produce un corto circuito o falla a tierra en una de las entradas, por acción de los Relés SR-750, se limpia la falla en la entrada y bloquea la conexión del interruptor de enlace. Cuando esto sucede es necesario realizar una revisión de todo el equipamiento eléctrico que se alimente de dicha sección de barras hasta encontrar el cortocircuito o la falla a tierra, luego se procede a resetear mediante el botón de RESET, ubicado en el panel frontal de los relés SR-750 y podemos restablecer la alimentación en dicha entrada.

### **3.3 Conclusiones Parciales.**

En esta parte se describen los diferentes tipos de interruptores mas asequibles en el mercado de los cuales se escogieron los posibles utilizan en dicha subestación, conjuntamente con las características de éstos, sus ajustes, como trabajan y sus

funciones con las cuales trabajan, acoplados a la unidad micrológica interna del interruptor.

Se refiere a la utilización de los órganos de medición, de cómo algunos realizan todo tipo de funciones, por ejemplo ser protección, interruptor y órgano de medición al mismo tiempo.

## **CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.**

### **4.1 Evaluación del costo de averías ocurridas.**

Para realizar una evaluación técnico - económica analizaremos todas las averías ocurridas en el año 2009 el cual se encuentran en la tabla 5. Pero para eso analizaremos una serie de datos que aparecen en la tabla 4

Tabla 11: Costo de averías de los motores.

Motor asincrónico con rotor jaula de ardilla			reparación		mantenimiento		compra
U(v)	Pn(Kw)	W(rpm)	MN	CUC	MN	CUC	CUC
440	55	1800	1013.21	1161.75	713.68	298.41	10000
440	110	1200	1506.24	1690.83	732.64	438.61	12000
440	121	1200	2226.33	2205.40	896.98	519.22	20000

Pn—potencia nominal del motor.

U----voltaje.

w----revoluciones.

MN---moneda nacional.

CUC---moneda convertible.

La distribución de los equipos de la fábrica está dada de tal forma de que cada uno tenga otro de emergencia o al menos uno de respaldo para el caso de paradas indeseables o

averías como las bombas (BO), estos equipos se encuentran en buenas condiciones y están situados bajo techo a diferencia de los turbos (TA) y los agitadores de los tanques de sedimentación que son únicos, se encuentran a la intemperie, ósea están expuestas a todo tipo de afectaciones provocadas por los agentes exteriores en caso de cualquier problema tendríamos que desarmar e instalar otro y eso traería pérdidas en el proceso por la tardanza y realización de la actividad lo cual dependeríamos de un buen sistema de protección para controlar esto, aunque como dijimos anteriormente por muy bueno que sea el sistema las fallas siempre van a ocurrir. Para un buen análisis de las averías revisaremos el año 2009 la cual resumimos en la tabla siguiente.

Comenzaremos diciendo que el costo de mantenimiento y de reparación final de los equipos es la suma de la MN+CUC, este varía en dependencia del tamaño, la potencia y las revoluciones. Sabiendo esto nos adentraremos en su estudio. Lixiviación es una planta que presenta serios problemas con las protecciones existentes por tanto se encuentran todo tipos de averías y/o mantenimientos programados que conllevan a pérdidas económicas a veces por no contar con un reemplazo en ese mismo instante. Las más costosas son las ocurridas por los cortocircuitos producto al no accionamiento o coordinación de las protecciones. La tabla anterior muestra los principales motores utilizados en los equipos de la planta y su costo en las diferentes acciones.

Tabla 12: Averías ocurridas en la PGD 1TP-2-2 de la planta de lixiviación y lavado.

<i>Equipos</i>	<i>Incidencias</i>	<i>Fecha</i>	<i>Desde</i>	<i>Hasta</i>	<i>Fecha</i>	<i>Tiempo de Afect.</i>
<b>Turbo # 108 B</b>	Se disparó esta bajo aislamiento.	13-abr	2:15	12:23	14-abr	<b>10.08</b>
<b>Turbo # 108 B</b>	Afectado por estar el motor en cortocircuito	28-abr	8:48	16:10	28-abr	<b>7.22</b>
<b>2W20-2<sup>da</sup> sección</b>	Se disparó producto a que el Turbo # 116B presentó cortocircuito interno en el motor	07-may	15:30	15:30	07-may	<b>---</b>
<b>Turbo 116 B</b>	Se disparó motor, se revisó y estaba en c.c, se realizó cambio del mismo.	14-may	9:00	18:10	14-may	<b>9.10</b>
<b>PGD-nueva</b>	Se disparo por un c.c en la caja de conexión de la bomba # 121 C cuando la fueron a conectar, luego se volvió a disparar por c.c en el turbo # 116 B. Aquí se afectaron los turbos # 101B,102 B,103B,104B, 115B,116B y Tina 02B	20-may	4:34	4:55	20-may	<b>0.21</b>
<b>Turbo # 116B</b>	Afectado por c.c en el cable de alimentación, se abrió una fase,	20-may	4:34	11:00	20-may	<b>6.26</b>
<b>Interruptor de enlace 1tp-2</b>	Se disparó, se revisó en el multilín y había una señal de tierra se meguiaron los equipos de esa sección	25-may	19:47	19:55	25-may	<b>0.08</b>
<b>Bomba # 03A de contacto</b>	el motor se quemó. Se cambió por uno de reserva.	15-jul	13:23	15:30	15-jul	<b>2.07</b>
<b>Bomba # 110-B</b>	Se disparó por el breaker de fuerza, se volvió a conectar y cuando arrancó disparó la primera entrada de la 2w -21 que alimenta los turbos de la primera mini serie B	30-jul	15:00	15:20	31-jul	<b>0.20</b>



<b>Bo. # 013 de alta presión</b>	Se disparó, se detectó que el motor presentó cortocircuito interno	07-ago	1:23	14:00	07-ago	<b>12.37</b>
<b>Bomba # 03-B</b>	Presentó c.c interno el motor y no hay reserva en la fábrica,	02-ago	20:20			
<b>1ra sección de la 2W-20</b>	Se disparó el interruptor electrón de entrada afectando los turbos 117, 118, 119B y las bombas de contacto 01C, 03A, 02 y 03B. Se detectó una explosión en la caja de conexión de la bomba 03B, se megueó y está en c.c interno el motor. Excepto la 03B todo quedó restablecido.	02-ago	20:20	20:45	02-ago	<b>0.25</b>
<b>Bomba # 03B</b>	Presentó c.c interno el motor, el día 3 se entregó la reserva, pero no se había podido cambiar por falta de grúa disponible.	02-ago	20:20	17:00	04-ago	<b>44.40</b>
<b>Turbo # 101 B</b>	Se encontraba de mantenimiento	18-ago	18:45	11:00	19-ago	<b>16.15</b>
<b>Turbo # 101B</b>	Queda pendiente el problema en el cable que esta averiado, no se revisó porque se trabajó en la conexión de los turbos 28, 29,30 de la 3ra etapa.	11-sep	16:20			
<b>Turbo # 117B</b>	cambio el motor por estar quemado	16-oct	17:02	9:30	17-oct	<b>16.28</b>

#### **4.2 Evaluación del costo de la solución.**

Con una buena selección, instalación, ajuste y coordinación de las protecciones que proponemos nos evitaríamos al menos disparos indeseados ya sea provocado por un agente externo, interno o producto de la mala manipulación del propio hombre, pérdidas de los equipos por cortocircuito u otras averías aumentando la vida útil del equipo que le ahorrarían al país miles de pesos al menos en reparación, compra de motores y otros miles en pérdidas en el proceso.

#### **4.3 Análisis de factibilidad.**

La evaluación económico-financiera de un proyecto, hecha de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea si es o no rentable y si siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio. Según lo antes expuesto este proyecto le ahorraría al país de cierta forma gran cantidad de efectivo que se podría utilizar para otros proyectos.

#### **4.4 Conclusiones parciales.**

En este capítulo se hace un análisis del costo de averías ocurridas en el 2009 productos de los disparos indeseados de las cargas por el mal funcionamiento de trabajo de las protecciones, su mal ajustes e incidencia sobre la producción y su peso sobre la economía del país.

### **CONCLUSIONES**

En este trabajo hemos tratado de idear una metodología para la confección de un sistema de puesta a tierra a instalar en la PGD 1 TP-2-2 de la planta de lixiviación y lavado de la fabrica Ernesto Che Guevara producto a las deficiencias del actual sistema existente en ella.

Para ello hemos tenido que realizar un estudio del sistema de puesta a tierra instalado en la planta con sus respectivas cargas, sus características, las principales protecciones instaladas, su criterio de ajuste y las principales causas de los disparos. El sistema de baja tensión presenta una serie de problemas que conllevan a diferentes disparos producto a la mala regulación e instalación de las mismas. A medida que se ha desarrollado la tesis hemos dado una serie de criterios que nos ayudaran en la aplicación de la metodología confeccionada. Esta metodología puede variar en dependencia del tipo de protección. También al sistema de interruptores se le realizó un riguroso estudio para la selección del mejor, la buena instalación y el ajustes para con las protecciones.

## **RECOMENDACIONES**

Hasta ahora no se conoce un sistema de protecciones que sea del todo exacto ósea que te proteja 100 por ciento, por tanto recomendamos que se siga realizando este estudio cada cierto tiempo ya sea para instalar una nueva o para ajustarlas de nuevo porque las protecciones no son eternas. Esta metodología no tiene que ser de esta forma necesariamente porque nada es eterno, a medida que nos desarrollamos aparecen nuevas tecnologías y puede ser que estas necesiten nuevas variantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo Arana, Carlos “Protecciones de fallas a tierra en sistemas de distribución”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Marzo de 1998.
- Briceño, J. H.; “Manual para la medición de la resistencia a tierra”, taller de publicaciones de la facultad de ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela 1995.
- Carrillo Caicedo, Gilberto “Protecciones Eléctricas” notas de clases. Bucaramanga, octubre 2007.
- Características generales de los módulos del relé tipo C 1SRS 750207-MUM ES.
- De la Incera N. Carlos, Padilla C. Miguel. Protección de Máquinas Eléctricas de Bajo Voltaje.\_Facultad de Ingeniería Eléctrica. ISPJAE, 1990\_104p.
- Denis, Virgilio “Sistemas de distribución y tensiones eléctricas” octubre 1996.
- DWIGHT, H.B.;:“Calculation of Resistense to Ground”,Electrical Ingeniering,vol.55,December 1936.
- FEDOSEEV, A. M. Protección por Relés de los Sistemas Eléctricos.\_Moscow. [sn], 1984\_743p.
- García Bertrand, Raquel “Tecnología eléctrica “tema 3, Protecciones de las instalaciones eléctricas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, curso 2009/2010.
- Interruptores automáticos de baja tensión, guía de aplicación de la firma Merlin Gerin.
- Interruptores de potencia de baja tensión, Merlin Gerin, Schneider Electric.
- “Manual del usuario” Masterpact 08-63, Merlin Gerin, Schneider Electric.
- Maydagán Soles, Rafael “Método de medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra”, Aplicaciones Industriales Energética vol. XXVI, No 3/2004.
- Módulo del relé no direccional de falla a tierra SPCJ1C8 1SRS 750207-MUM ES.
- Relé de falla a tierra SOAJ 110C 1MRS 750206-MUM ES.
- STEVENSON, Análisis de sistemas eléctricos de Potencia. Ed. Mc Graw Hill. 1992

Paginas de Internet

<http://www.foxitsoftware.com>

<http://www.ingenieriaRural.com>

