

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICO PARA
OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN
EN LA FÁBRICA DE PRODUCTOS DE CONCRETO ‘TITÁN’ EN LURÍN -
2018”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

YLACHOQUE GUZMÁN, PEDRO MARTÍN

**Villa El Salvador
2018**

DEDICATORIA:

A mis padres por ese inmenso apoyo y constante esfuerzo que hicieron durante todo este proceso, por estar en los buenos y malos momentos de nuestras vidas y por ayudarnos a formar como profesionales excelentes.

AGRADECIMIENTO:

A Dios por permitirnos hacer parte de este gran mundo, por hacernos personas de bien con motivación a salir adelante y darnos el don de la vida. Le agradecemos por su infinito amor y tolerancia, por regalarnos esos valores forjados junto a nuestras familias.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	viii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1.- Descripción de la Realidad Problemática.....	1
1.2.- Justificación del Problema.....	2
1.3.- Delimitación del Proyecto.....	5
1.3.1.- Teórica	
1.3.2.- Temporal	
1.3.3.- Espacial	
1.4.- Formulación del Problema.....	6
1.4.1.- Problema General	
1.4.2.- Problemas Específicos	
1.5.- Objetivos.....	6
1.5.1.- Objetivo General	
1.5.2.- Objetivos Específicos	
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1.- Antecedentes.....	8
2.2.- Bases Teóricas.....	10
2.3.- Definición de Términos Básicos.....	10
CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	
3.1.- Modelo de Solución Propuesto.....	85
3.2.- Resultados.....	100
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	108

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Tipo Barra (S.P.T.).....	24
Figura 2. Tipo Placa Enrejado (S.P.T.).....	25
Figura 3. Tipo Placa Sólido (S.P.T.).....	25
Figura 4. Electrodo Horizontal (S.P.T.).....	26
Figura 5. Contacto Eléctrico en B.T.....	29
Figura 6. Circulación de Elevadas Corrientes.....	30
Figura 7. Corriente de Falla que Circula por Otro Conductor.....	31
Figura 8. Fallas Francas.....	32
Figura 9. Fallas Continuas.....	32
Figura 10. Fallas Impedantes.....	33
Figura 11. Fallas Resistivas.....	33
Figura 12. Fallas Intermitentes.....	34
Figura 13. Esquema de Conexión del Régimen de Neutro Fase-Tierra.....	41
Figura 14. Esquemas de Conexión del Régimen de Neutro Normal y C.C.....	42
Figura 15. Protección Secundaria en Esquema TT.....	47
Figura 16. Protección Secundaria en Esquema TN – S.....	48
Figura 17. Protección Secundaria en Esquema TN – C – S.....	49
Figura 18. Protección Secundaria en Esquema IT.....	51
Figura 19. Defecto en el Esquema IT.....	52
Figura 20. Control Permanente de Aislamiento.....	55
Figura 21. Resistencia de Frenado.....	56
Figura 22. Partes de un Sistema de Pararrayos.....	57

Figura 23. Modelo Electro Geométrico.....	67
Figura 24. Esfera Imaginaria.....	67
Figura 25. Ángulo de Protección Dependiendo de la Altura Relativa.....	69
Figura 26. Corrientes de Sobrecarga y Cortocircuito.....	82
Figura 27. Cálculos de Impedancias.....	83
Figura 28. Diagrama Unifilar de la Red de Alimentación.....	84
Figura 29. Diagrama Unifilar del Banco de Condensadores.....	96
Figura 30. Contactores de Protección del Banco de Condensadores.....	97
Figura 31. Gabinete de Protección.....	97
Figura 32. Diagrama Unifilar de Puntos Críticos.....	98
Figura 33. Esquema de un Tablero de Protección Eléctrico.....	99
Figura 34. Tablero de Protección Eléctrico.....	106

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro Estadístico de Accidentes Eléctricos.....	4
Tabla 2. Códigos de Conexiones a Tierra.....	40
Tabla 3. Esquema TT.....	52
Tabla 4. Esquema IT.....	53
Tabla 5. Esquema TN.....	53
Tabla 6. Naturaleza y Características de las Instalaciones.....	54
Tabla 7. Naturaleza y Características de los Receptores.....	54
Tabla 8. Requerimiento para las Bajantes.....	61
Tabla 9. Distancia de Separación Promedio para las Bajantes.....	62
Tabla 10. Valores Máximos del Radio de la Esfera Rodante.....	68
Tabla 11. Dimensiones del Enmallado para los Niveles de Protección.....	70

INTRODUCCIÓN

Los motores eléctricos de inducción de corriente alterna, son los dispositivos más usados cotidianamente para la ejecución de trabajos mecánicos. Los encontramos en todo tipo de aplicación: ventilación, refrigeración, aire acondicionado, bombeo, molinos, medios transportadores, etc. Las principales causas por las que estos dispositivos sufren daños irreparables, se deben a las alteraciones del suministro eléctrico, exceso de trabajo mecánico asociado y problemas en la instalación eléctrica que alimenta al motor. En segundo lugar se encuentran los problemas asociados al deterioro de las partes que componen el motor. Tanto los motores monofásicos como los trifásicos son susceptibles a desperfectos debido a estas causas.

La seguridad de personas y viviendas frente al riesgo de contacto y cortos circuitos eléctricos es más importante en las condiciones de desarrollo actuales con mayor utilización en la electricidad.

En la última década la generación de energía eléctrica para consumidores regulados creció en más 8%.

Empleo de más aparatos electrodomésticos y equipos electrónicos, requiere de nuevas demandas y calidad de servicio en las viviendas.

Según estadísticas del cuerpo general de bomberos voluntarios del Perú, el 2.86% de las emergencia en los últimos 5 años son debidas a cortocircuitos eléctricos el 11.82% a incendios alguno delos cuales son productos de cortocircuito.

El motivo del presente diseño es mejorar el sistema de protección eléctrica de la fábrica de productos de concreto 'Titán' para evitar pérdidas económicas debido a la paralización de sus máquinas eléctricas por factores propios de la red y accidentes e incidentes eléctricos que ocurren en el menester diario de una planta industrial.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el rubro de la industria de concreto preformado existen diferentes y variadas empresas en distintas zonas geográficas del país dedicadas a la fabricación de productos de concreto preformados, entre las que se encuentra la fábrica de productos de concreto preformados 'Titán' que cuenta con sistemas de protección eléctrica para sus motores de fuerza, sistemas de aires terciarios para sus oficinas, sistemas de enfriadores y demás componentes industriales que son propios de una fábrica de productos de concreto preformados, en donde se requiere realizar un mantenimiento óptimo y eficaz de los principales elementos constituyentes de los sistemas expuestos a altas temperaturas, esfuerzos térmicos, entre otros, en especial a los sistemas de protección eléctricos, usados para proteger las máquinas y sistemas antes mencionados y que están sometidos a esfuerzos térmicos y eléctricos prolongados.

Actualmente, la fábrica 'Titán' tiene problemas en sus sistemas de protección eléctricos debido a la mala calidad del fluido eléctrico en la zona, tales como sobretensiones, caídas de tensión, paralizaciones del servicio eléctrico por maniobras programadas, así también como el uso de relevadores convencionales antiguos para la protección de sus máquinas en sus instalaciones.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El continuo crecimiento económico de nuestro país, sobre todo en la zona central del país, en las áreas de la minería y construcción, ha hecho que se incremente la demanda de productos de concreto preformados de distintos modelos, tipos y capacidades, esto incentiva a ampliar los conocimientos de diseño, fabricación y montaje de sus sistemas de protección eléctrica.

La fábrica de productos de concreto 'Titán' cubre este mercado y se ve afectado por las paralizaciones debido a la calidad del fluido eléctrico (caídas de tensión, sobretensiones, inestabilidad de la frecuencia eléctrica, etc.)

Las mezcladoras eléctricas de eje vertical tienen una demanda por cuanto es posible acceder a una fabricación en serie, y su elevado costo justifica un buen sistema de protección eléctrica si en caso se requiere realizar la fabricación de estos productos, ya que comprenden de componentes que están sometidos a altos niveles de voltaje y temperatura. Se pueden encontrar en el mercado especializado.

Su diseño y protección eléctrica permite el fácil manejo de estas mezcladoras, contribuyendo con ello a la satisfacción del operador.

Por esto, la empresa 'Titán' se ve en la necesidad de contar con sistemas o aparatos de protección eléctrica que permitan realizar una continuidad homogénea

para el aprovechamiento máximo de sus máquinas a altas temperaturas y rigor eléctrico. También ubicarlos en una zona que permita el acceso y fácil transporte de los mantenedores y equipos de prueba evitando las zonas de difícil acceso, con esto permitiremos un buen diseño ergonómico para el operador y un sistema eficaz de respuesta en casos de fallas o de un mantenimiento preventivo de dichos sistemas.

CUADRO ESTADÍSTICO DE ACCIDENTES ELÉCTRICOS

OCURRIDA EN LA FÁBRICA 'TITÁN' – AÑO 2017

ACCIDENTE	ENE	MAR	MAY	JUL	SET	NOV	TOTAL	TOTAL	%
	FEB	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC	LEVES	GRAVES	
Descarga Eléctrica			1					1	5.2
Cortocircuito	3						2	1	15.7
Fugas a Tierra				2			2		10.5
Pararrayos					1		1		5.2
Caída de Tensión		1				1	2		10.5
Sobre voltaje			2				2		10.5
Sobre corriente				3			2	1	15.7
Maniobras		2			1		3		15.7
Puesta a Tierra						1	1		5.2
Desfasaje			1				1		5.2
TOTAL:	3	3	4	5	2	2	16	3	100

Tabla 1. Cuadro Estadístico de Accidentes Eléctricos

1.3.- DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1.- TEÓRICA

Este trabajo se enmarca en el área de distribución eléctrica, específicamente en los sistemas de protección y utilización eléctrica, a tensiones de distribución primaria y secundaria, aplicando conceptos para el cálculo de corrientes de sobrecarga y cortocircuito en el circuito de fuerza, cálculo de impedancias de la red de alimentación, uso de diagramas unifilares de la red de alimentación de la planta y de los puntos críticos en su sistema eléctrico, así como el esquema de un tablero de protección eléctrico para motores de inducción.

1.3.2.- TEMPORAL

El período que comprende este trabajo, fue llevado a cabo, entre los meses de Abril del 2018 a Julio del 2018.

Los datos estadísticos de incidentes y accidentes de origen eléctrico para la realización del siguiente trabajo fueron los ocurridos en el año 2017.

1.3.3.- ESPACIAL

El estudio y desarrollo del presente trabajo está localizado en la planta de producción de la fábrica de productos de concreto preformado 'Titán', la cual está ubicada en la República del Perú, Departamento de Lima, Provincia de Lima, Distrito de Lurín, Urbanización Industrial Las Praderas de Lurín, Manzana O.

1.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1.- PROBLEMA GENERAL

- ¿Mediante el estudio e implementación de un sistema de protección eléctrico se podrá optimizar el funcionamiento de los motores de inducción ten una planta de fabricación de productos de concreto en Lurín?

1.4.2.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Es posible que con el estudio e implementación del aislamiento de fallas eléctricas se puede optimizar el funcionamiento de los motores de inducción en una planta de fabricación de productos de concreto en Lurín?

- ¿Es posible que con el estudio e implementación de la estabilización de la red eléctrica se puede optimizar el funcionamiento de los motores de inducción en una planta de fabricación de productos de concreto en Lurín?

1.5.- OBJETIVOS

1.5.1.- OBJETIVO GENERAL

- Determinar el estudio de un sistema de protección eléctrico para optimizar el funcionamiento de los motores de inducción en una planta de fabricación de productos de concreto en Lurín.

1.5.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estudio del aislamiento de fallas eléctricas para optimizar el funcionamiento de los motores de inducción en una planta de fabricación de productos de concreto en Lurín.

- Establecer el estudio de la estabilización de la red eléctrica para optimizar el funcionamiento de los motores de inducción en una planta de fabricación de productos de concreto en Lurín.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES

- Buitrago, John. (2012). TESIS TITULADO: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICO PARA UNA POTENCIA DE 5 MW”.

Trabajo de grado para optar el Título de Ingeniero Mecánico. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

En sus conclusiones manifiesta que: La industria eléctrica tiene un campo amplio en aplicaciones de hornos de fabricación, ya sea en las refinerías, industria química, metalúrgica, industrias de vidrio y cerámica. En el área de la construcción se puede encontrar varios ejemplos de sistemas de protección eléctrica.

Se ha considerado en este trabajo de grado al uso de relevadores de potencia, un equipo que requiere de un proceso de operación manual o mecánico e

independientemente del método de protección, este implicará costos de mano de obra. Para minimizarlos existen en el mercado variedad de equipos automatizados a precios y capacidades diferentes. Estos equipos protegerán a maquinas hormigoneras, mezcladoras de cemento, de concreto o de hormigón, indiferentemente del tipo de cemento que trabaje, sea cemento tipo Portland o un cemento especial.

• **Godoy, Pablo. (2013). TESIS TITULADO: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ELÉCTRICA PARA LA FABRICACIÓN DE PRE-FABRICADOS DE CONCRETO”, Trabajo de grado para optar el Título de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.**

En sus conclusiones manifiesta que: El avance de la ciencia y la tecnología han obligado a que las industrias de prefabricados de hormigón se hayan visto en la necesidad de que las máquinas que estaban basadas en mecanismos rígidos sean re emplazados a sistemas de potencia hidráulica y comandos eléctricos automatizando los procesos de fabricación. Como se ha podido observar el desgaste de las partes en los mecanismos rígidos conllevan a un desajuste y pérdida de tiempo en los procesos, lo que no sucede en los sistemas hidráulicos, los cuales necesitan de menos mantenimiento y son de rápida reposición. El presente proyecto permitirá reducir la mano de obra, el tiempo de producción y mejorar la calidad del producto respecto al que se lo obtiene manualmente.

2.2.- BASES TEÓRICAS

- Código Nacional de Electricidad del Perú.
- Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores.
- Diseño de Elementos de Máquinas.

2.3.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1.- Alteraciones del Suministro Eléctrico

El desbalance de voltaje, la pérdida de una fase, la inversión de secuencia, el bajo voltaje y alto voltaje son alteraciones del suministro eléctrico que causan daños irreversibles a los motores eléctricos. Estas alteraciones dañan los motores y reducen su tiempo de vida. Incluso, pueden ocasionar accidentes que involucren al personal humano que interactúen con ellos. **(Enríquez, G. (1995). “Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores”).**

2.3.2.- Suministro Eléctrico

La distribución de energía eléctrica consiste en el suministro de energía, mediante tres ondas de tensión sinusoidales desfasadas una de la otra en 120 grados. Una manera de representar estas formas de onda es la gráfica de voltaje en función del

tiempo. **(Enríquez, G. (1995). “Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores”)**.

2.3.3.- Desbalance de Voltaje

El desbalance de voltaje es la alteración del suministro eléctrico más dañina a la que puede estar sometido un motor eléctrico. Aparece con la incorporación desbalanceada de cargas monofásicas a las líneas, provocando que unas tengan más o menos carga que otras. Esta incorporación asimétrica de cargas monofásicas, provocará valores de voltaje distintos entre las fases. **(Enríquez, G. (1995). “Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores”)**.

2.3.4.- Pérdida de una Fase

La pérdida de una fase se considera como el caso extremo de un desbalance de voltaje. Un motor trifásico en marcha que pierda una fase, continuara girando obteniendo la energía que requiere de las dos fases restantes, esto se traduce en un aumento significativo de las corrientes en las fases restantes y en consecuencia de la temperatura de los arrollados del motor. En muchos casos, dependiendo de la carga asociada, el motor es capaz de regenerar la fase perdida. La frecuencia fundamental de la onda regenerada es la misma, pero la amplitud y la fase varían. Para reconocer una onda regenerada se hace necesario detectar la desviación del ángulo de fase de dicha onda y la variación del desbalance del sistema. **(Enríquez, G. (1995). “Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores”)**.

2.3.5.- Inversión de Secuencia

La inversión de dos de las tres fases, puede causar daños a maquinas o producir accidentes personales al hacer girar los motores en sentido inverso. Una inversión en la secuencia de las fases, suele ocurrir cuando se modifican las instalaciones eléctricas y durante las labores de mantenimiento del cableado. Para verificar la correcta secuencia de fases de un sistema eléctrico se debe emplear un secuencímetro calibrado. **(Enríquez, G. (1995). “Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores”)**.

2.3.6.- Bajo Voltaje y Sobre voltaje

Las condiciones de bajo voltaje (UV) y sobre voltaje (OV) se deben principalmente a sobrecarga de los circuitos y/o regulación defectuosa. Un motor eléctrico que opere en presencia de bajo voltaje (UV), aumentará las corrientes de trabajo y en consecuencia se sobrecalentarán sus arrollados. Una combinación de voltaje bajo (UV) y desbalance de voltaje (VUB) producirá un mayor sobrecalentamiento del que producen estas alteraciones por separado. **(Enríquez, G. (1995). “Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores”)**.

2.3.7.- Fusibles

El dispositivo más simple de protección del motor contra sobre intensidades es el fusible. Los fusibles están divididos en dos grandes grupos: fusibles de baja tensión

(600 V o menos) y fusibles de alta tensión (más de 600 V). El tipo de cartucho o contacto de casquillo, es útil para las tensiones nominales entre 250 y 600 V en los de tipo fijo y recambiable. El tipo fijo mostrado contiene polvo aislante (talco o un adecuado aislante orgánico) redondeando el elemento fusible. En caso de cortocircuito, el polvo tiene como misión: (1) enfriar el metal vaporizado, (2) absorber el vapor metálico condensado, y (3) extinguir el arco que pueda mantenerse en el vapor metálico conductor. La presencia de este polvo es la que confiere al fusible su alto poder de ruptura en el caso de cortocircuitos bruscos. El tipo tapón fusible funciona a la tensión nominal de 125 V, estando disponible en el comercio para bajas corrientes nominales de hasta 30 A. Estos fusibles poseen una base roscada y están proyectados para ser utilizados en arrancadores reducidos o en cajas de interruptores de seguridad a 125 V, en motores de pequeña corriente. Por regla general, los fusibles protegen contra los cortocircuitos más bien que contra las sobrecargas. Se han efectuado ensayos para mejorar las características del fusible en las aplicaciones a los motores de forma que, con valores nominales inferiores, permitan protecciones contra sobrecargas y de cortocircuitos. Un tipo de fusible llamado fusible temporizado, que existe en los tipos de cuchillas, cartucho y tapón, proporciona un gran retardo en el caso de sobrecargas momentáneas o sostenidas antes de desconectar el circuito. Estos fusibles contienen dos elementos en serie (o paralelo): (1) un elemento fusible estándar para la protección de cortocircuitos (25 a 50 veces la corriente normal) y (2) una disposición contra sobrecarga, o interruptor térmico de hasta cinco veces la corriente nominal que proporciona una característica de retardo de tiempo inverso. La cualidad de tiempo inverso significa que, por ejemplo, el circuito será conectado por este último elemento en unos 3 minutos (a 5 veces la corriente nominal), hasta aproximadamente 10 segundos (a unas 20 veces la corriente nominal), ya que el

efecto térmico varia con el cuadrado de corriente. Por tanto, un fusible de valor nominal relativamente pequeño puede ser empleado para procurar la protección contra sobrecargas y sin llegar a desconectar el circuito durante los periodos de elevación transitoria de la corriente en el arranque o en el frenado. En el caso de cortocircuito, el elemento fusible estándar de acción instantánea interrumpe inmediatamente el circuito para evitar desperfectos. Otro tipo aparte de fusible que ha sido fabricado, intenta mejorar la capacidad delimitación de corriente de estos dispositivos antes de que la corriente de cortocircuito alcance su máximo o un valor de régimen permanente. Los fusibles de cartucho comunes poseen cierta capacidad de limitación de la corriente ya que interrumpen el circuito casi instantáneamente antes de que el cortocircuito tenga la oportunidad de existir y fundir o unir los contactos de los disyuntores o relés de máxima. El fusible de potencia limitador de la corriente contiene elementos fusibles de aleación de plata rodeados por cuarzo en polvo. Por encima de 600V se emplean fusibles especiales de alta tensión que incluyen varios órganos para extinguir el arco que se podría mantener, particularmente a alta tensión, cuando el elemento fusible se vaporiza a causa de la corriente excesiva. Los tipos de fusibles de alta tensión más comunes son:

- El Fusible de Des Ionización con Ácido Bórico Líquido.
- El Fusible de Expulsión, y
- El Fusible de Material Sólido.

La selectividad o filiación entre fusibles es importante tenerla en cuenta, ya que de ello dependerá el buen funcionamiento de los circuitos. Idéntico problema se nos presentara con la selectividad de los interruptores automáticos. Entre la fuente de

energía y el lugar de defecto suele haber varios aparatos de protección contra cortocircuitos. Para desconectar la zona afectada, es necesario que los fusibles reaccionen de forma selectiva, es decir, debe desconectar primero el fusible más próximo al lugar de defecto. Si por alguna causa este fusible no responde correctamente, debe actuar el siguiente, y así sucesivamente. La selectividad entre dos fusibles se determina gráficamente mediante la comparación de ambas características de disparo; para ello, las curvas, a la misma escala, no deben cortarse ni ser tangentes. Esto es cierto en el caso de sobrecargas y pequeñas intensidades de cortocircuito, pero no lo es en el caso de intensidades muy grandes de cortocircuito, ya que aquí los tiempos de fusión son extremadamente cortos y solamente es posible la selectividad en fusibles con una notable diferencia de valor nominal de la intensidad.

2.3.8.- Interruptores Magnéticos

Son interruptores automáticos que reaccionan ante sobre intensidades de alto valor, cortándolas en tiempos lo suficientemente cortos como para no perjudicar ni a la red ni a los aparatos asociados a ella. Para iniciar la desconexión se sirven del movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula. La curva característica de un disparo magnético es la representada en la figura siguiente. El dispositivo permite trabajar en la zona A, pero no en la B. La desconexión se efectúa cuando las condiciones del circuito llegan a la zona rayada de separación entre ambas. Así pues, para la curva ejemplo de la figura, cualquier intensidad menor de 4,25 A, no provocaría la desconexión, por más tiempo que estuviera circulando. En cambio, para cualquier intensidad mayor de 4,75

A, provocaría la desconexión inmediata. El límite inferior de la curva, unos 4 milisegundos, viene determinado por el tiempo que transcurre desde el instante de establecimiento de la intensidad, hasta la extinción del arco. Este tiempo marca la inercia mecánica y eléctrica propia de estos aparatos.

2.3.9.- Relevadores de Sobrecarga Térmicos Bimetálicos

Las ventajas de la utilización de un calefactor separado (indicado en la sección precedente) para accionar los contactos de máxima corriente normalmente cerrados, animó al desarrollo de otros dispositivos más sencillos y menos caros tales como el relé térmico bimetálico mostrado en la figura. Una tira rectangular bimetálica, formados por la soldadura al vacío de dos láminas de materiales de muy diferente coeficiente de dilatación, generalmente ínvar y ferro níquel, que se curvará al calentarse debido a la diferente dilatación de los dos metales. Este tipo de desviación es lento, por lo que podría quemar los contactos al interrumpir una corriente elevada del circuito muy inducido de un motor. El dispositivo mostrado en la figura emplea un arco de disco bimetálico cuya cara superior tiene un elevado coeficiente de dilatación. A causa del calor, las fuerzas desarrolladas en el disco, debidas a la distinta, son tales que el disco debe invertir su convexidad con rapidez en vez de gradualmente. El disparo de acción rápida que aparece en el instante de la inversión tiene fuerza suficiente para abrir los contactos fijos a y b. El tiempo de desplazamiento del relé térmico bimetálico de máxima es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente de sobrecarga sostenida. De la misma forma que los relés de fusión térmica y acción retardada, permite sobrecargas de breve duración sin desconectar el motor de la línea. Para provocar la desconexión, aprovechan la deformación de una lámina

bimetálica, que se curva en función del calor producido por la corriente al pasar a través de ella. La curva característica de un disparo térmico es la representada en la figura. El dispositivo térmico permite trabajar en la zona A, pero no llegar a la zona B. La interrupción del circuito se efectúa siempre cuando las condiciones de trabajo llegan a la zona rayada que marca la separación entre ambas. Esta zona rayada marca las tolerancias lógicas que tendrá la fabricación de este tipo de aparatos. Así, pues, en la curva de la figura, circulando una intensidad de 3A., el interruptor no desconectaría nunca. Con 10 A. se iniciaría la desconexión a los 35 segundos, y con 30 A. la desconexión se iniciará a los 15 segundos.

Sistema Monofásico: $P = V \times I \times \cos\theta$

Sistema Trifásico: $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\theta$

La unidad es el WATT (W)

$$P = (F \times V \times 0,736) / 75$$

P= Potencia Activa en KW

F= Fuerza Tangencial en Kg

V= Velocidad Periférica en m/s

$$P = (F \times \pi \times 2 \times r \times n \times 0,736) / (75 \times 60)$$

P= Potencia Activa en KW

F= Fuerza Tangencial en Kg

r= Radio del eje de rotación o de la polea en m

n= N° de revoluciones por minuto

$$P = (HP \times 0,746) / (\eta)$$

P= Potencia Activa en KW

HP= Potencia Mecánica en HP

η = Eficiencia de la Máquina

2.3.10.- Relevadores de Sobrecarga Térmico Inductivo de Aleación Fusible

Uno de los inconvenientes de los Relevadores de Máxima de Aleación Fusible y térmicos bimetálicos, es que el uso de un calefactor separado sólo puede permitir ajustes de sobrecarga en incrementos discretos, según los calibres disponibles de calefactores de corrientes. Por estar algunas veces, al alcance los calefactores de repuesto, ya que las piezas de recambio se suministran normalmente con el arrancador, es costumbre tener a mano un surtido de calefactores de valores

superiores e inferiores al valor de ajuste de la corriente de sobrecarga a la que el calefactor está calibrado. Para un servicio determinado del motor a veces se desea ajustar un poco más elevado el valor nominal de la sobrecarga durante una marcha determinada o un funcionamiento particular. Un dispositivo que lo permite es el Relevador de Sobrecarga Inductivo de Aleación Fusible, el tipo llamado Inductivo-Térmico. Este relevador se acciona según el principio de la inducción de corrientes de Foucault en un cilindro de aleación de cobre y en la aleación fusible a baja temperatura que está en el interior del mismo. El relevador solo funciona en corriente continua y se utiliza exclusivamente para la protección de sobre cargas en motores de corriente alterna, transformadores de varias tomas de corrientes, el mismo Relevador de Máxima puede ser utilizado para una amplia diversidad de motores de corriente alterna, de superior o inferior valor nominal de la corriente de sobrecargas, con las mismas ventajas de ajuste indicadas anteriormente.

2.3.11.- Combinación del Fusible y del Relevador de Sobrecarga

Aunque los propios fusibles presentan, naturalmente, la protección de cortocircuitos o de la corriente de máxima ruptura, su protección contra sobrecargas está algo limitada por las razones anteriormente citadas. Los Relevadores de Máxima están proyectados para funcionar desde el 110 al 250 por ciento de sobrecarga con corrientes máximas de ruptura de hasta 10 veces la corriente nominal. Así muestran el conjunto combinado de fusible y Relevador de Máxima que comprende los sistemas de protección de sobrecargas y cortocircuito. El tiempo de operación del Relevador de Máxima varía inversamente con la corriente de sobre carga.

2.3.12.- Elementos del Sistema de Potencia

Los Elementos de un Sistema De Potencia son:

- Las Centrales Generadoras.
- Las Sub estaciones Elevadoras.
- Las Sub estaciones Reductoras.
- Las Líneas de Transmisión.
- Las Sub estaciones de Distribución.
- Los Equipos de Compensación Reactiva.
- Los Estaciones de Protección y Maniobras.
- Los Sistemas de Aterramiento y Pararrayos.
- Las Redes de Distribución Primaria.

2.3.13.- Generadores

Los generadores eléctricos son elementos necesarios para la obtención de recursos energéticos. Un generador es una máquina implementada para transformar energía mecánica en energía eléctrica de corriente alterna.

El generador cuenta con dos partes estructurales que permiten la inducción y generación de energía:

Por un lado, se encuentra el rotor, que se compone básicamente de un núcleo ferromagnético y un devanado ubicado de tal manera que pueda inducir campos electromagnéticos capaces de generar una corriente eléctrica. Dicho devanado se le conoce comúnmente como Devanado del Rotor o Devanado de Campo.

Por otro lado, se cuenta con un estator o armadura que se compone por un material ferromagnético y un devanado ubicado por capas en las ranuras existentes en la armadura. Esto se convierte en otro electroimán. A dicho devanado se le conoce como Devanado Estatórico o Devanado de Armadura.

Para lograr generar corriente eléctrica alterna, se aplica una corriente directa en el devanado del rotor para producir un campo magnético, esto suele llevarse a cabo para excitar a la máquina. Luego de esto el rotor gira con la ayuda de un motor externo, generalmente es una turbina impulsada a su vez por algún método de generación de energía eléctrica. Este campo rotacional electromagnético induce un grupo trifásico de corrientes en el devanado del estator.

La corriente inducida en el estator se encuentra con una diferencia de potencial en media tensión, para el caso de generadores en centrales de generación, que es utilizada para iniciar el proceso de transmisión de la energía.

Como todo elemento de una red eléctrica, posee un símbolo para representar su función. En un software de simulación tal como NEPLAN se pueden obtener diferentes símbolos para un generador. Existen distintos símbolos para representar un generador.

2.3.14.- Puesta a Tierra

La puesta a tierra también llamada régimen de neutro, es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte, del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma a tierra con un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo.

2.3.15.- Uniones

Básicamente conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas del terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosos y que, al mismo tiempo permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico.

En definitiva, la puesta a tierra se establece principalmente con un triple objetivo:

- Limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas de la instalación protegiendo consecuentemente al usuario de una tensión de contacto que sea peligrosa para él o el entorno.
- Asegurar la actuación de las protecciones proyectadas, especialmente dispositivos diferenciales residuales o equivalentes.
- Eliminar o mitigar el riesgo que supone una avería en los componentes eléctricos de la instalación eléctrica.

Es decir, el gran propósito de la puesta a tierra de partes metálicas (no activas) accesibles y conductoras, es la de limitar su accidental puesta a en tensión con respecto a tierra por fallo de los aislamientos.

Con esta puesta a tierra, la tensión de defecto generara una corriente de defecto que deberá hacer dispara los sistemas de protección cuando la tensión de defecto pueda llegar a ser peligrosa.

Esta medida de protección va encaminada a limitar la tensión máxima de contacto a la que, a través de contactos indirectos, pudieran someterse las personas, así como la máxima intensidad de contacto. Los límites deberán ser inferiores a los básicos que sigan las normas de aplicación.

2.3.16.- Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra (S.P.T.)

Los tipos de sistemas de puesta a tierra pueden definirse de acuerdo a las diversas formas que el electrodo puede tomar. Pueden ser:

- Puesta a Tierra Tipo Vertical o Convencional.
- Puesta a Tierra Tipo Horizontal o Alternativo.

2.3.17.- Barras

Esta es la forma más común de electrodos, porque su costo de instalación es relativamente barato y pueden usarse para alcanzar en profundidad, suelo de baja resistividad, sólo con excavación limitada y relleno. Están disponibles en diversos tamaños, longitudes, diámetros y materiales. La barra es de cobre puro o de acero recubierto de cobre. El tipo recubierto se usa cuando la barra se entierra por medios

mecánicos (impacto) ya que el acero usado tiene alta resistencia mecánica. La capa de cobre debe ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente. Este último asegura que el cobre no se deslice al enterrar la barra. En condiciones de suelo más agresivo, por ejemplo, cuando hay alto contenido de sal, se usan barras de cobre sólido. Las barras de acero inoxidable son más anódicas que el cobre y se usan ante riesgo de corrosión galvánica. Sin embargo, debe considerarse el hecho que el acero inoxidable tiene baja capacidad de transporte de corriente en comparación con el cobre.



Fig. 1. Tipo Barra (S.P.T.)

2.3.18.- Placas

Se usa varios tipos de placas para propósitos de puesta a tierra, pero el único tipo que se considera generalmente como electrodo debe ser sólido y de tamaño sustancial. Las placas tipo enrejado, se usan para graduar potenciales y no se espera que permitan el paso de niveles de corriente de falla significativos. Se hacen normalmente de una malla de cobre o de acero.

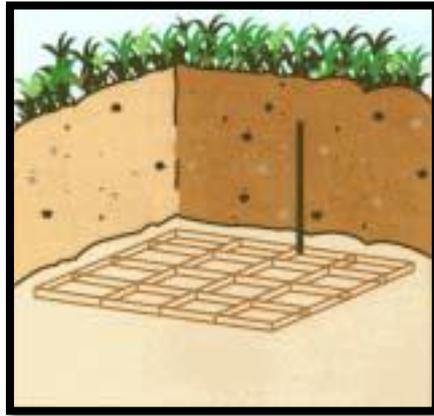


Fig. 2. Tipo Placa Enrejado (S.P.T.)

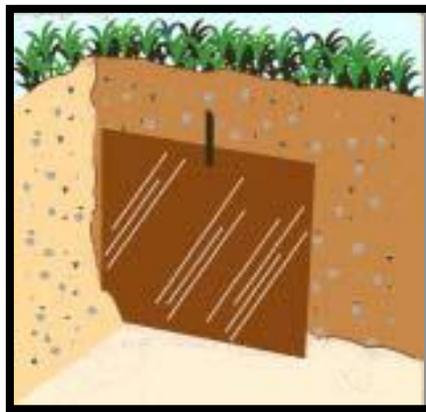


Fig. 3. Tipo Placa Sólido (S.P.T.)

2.3.19.- Electrodo Horizontal

Están hechos de cintas de cobre de alta conductividad o conductores retorcidos (cables). La cinta es el material más conveniente pues para una sección dada de material presenta una mayor superficie y se considera que tiene un comportamiento mejor a alta frecuencia, debido a la capacitancia levemente mayor a tierra. Puede ser

más difícil de conectar (por ejemplo, las barras verticales), de modo que puede significar un costo de instalación levemente mayor.

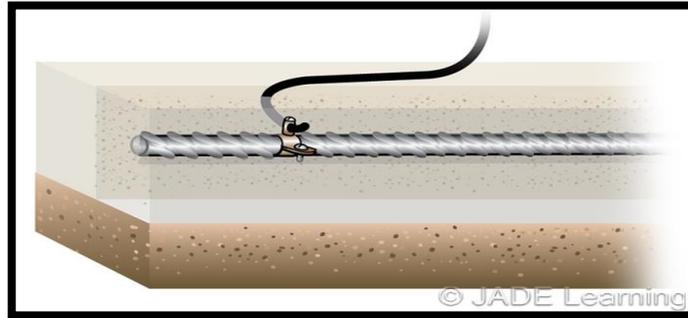


Fig. 4. Electrodo Horizontal (S.P.T.)

Cuando se instalan electrodos de tierra, se deben satisfacer tres condiciones:

- El trabajo debe ser realizado eficientemente para minimizar costos de instalación.
- El terreno o material de relleno usado no debe tener un índice de acidez pH que cause corrosión al electrodo.
- Todas las uniones o conexiones bajo tierra deben ser construidas de modo que no se presente corrosión en la unión o conexión.

Las barras generalmente ofrecen la forma más conveniente y económica de instalar un electrodo. A menudo se requiere modificar poca superficie (tal como romper superficies de concreto), pero por supuesto es necesario inspeccionar para asegurarse que no hay equipo o instalaciones enterradas -tales como tuberías de agua o gas- que puedan ser dañadas al enterrar las barras. Los métodos de instalación incluyen accionamiento manual, accionamiento mecánico y perforadora. Las barras cortas (típicamente hasta 3 metros de largo) se instalan a menudo empleando un martillo pesado (combo) operado manualmente. Los golpes

relativamente cortos y frecuentes son más efectivos normalmente. Las barras están acondicionadas con una cabeza endurecida y una punta de acero para asegurar que la barra misma no se dañe durante el proceso.

2.3.20.- Los Riesgos Eléctricos en las Instalaciones

Los riesgos eléctricos provienen del contacto que en forma accidental pueda tener una persona entre una de sus extremidades y una parte activa o electrizada de una instalación, hallándose separadamente en contacto con el suelo otra de sus extremidades o parte del cuerpo, este tipo de contingencias es muy frecuente y su duración depende del tipo de accidente.

2.3.21.- Los Contactos Directos

Ocurren cuando se toca involuntariamente un conductor de fase o el conductor neutro, o partes conductoras electrizadas, a pesar de existir una protección básica que consiste en el uso de aislamientos y barreras que en el caso dado no cumplen su función.

Para evitar los peligros inherentes, lo más recomendable sería utilizar tensiones de servicio iguales o menores que las de seguridad (50 V) o alternativamente Interruptores Diferenciales Residuales de alta sensibilidad (< 30 mA) especialmente en los circuitos de tomacorrientes y en toda instalación provisional o temporal.

2.3-22.- Los Contactos Indirectos

Ocurren cuando se toca una masa metálica accidentalmente electrizada por falla del aislamiento, en este caso la tensión a tierra puede ser superior a la máxima tensión de contacto admisible (50 V).

2.3.23.- Consecuencias del Contacto Eléctrico en BT

Los contactos directos pueden ser muy peligrosos dependiendo de su duración, la persona experimenta una brusca distensión seguida de contracción muscular que puede ya sea apartarlo del contacto o fijarlo definitivamente al contacto; en el primer caso las consecuencias son mayormente producto del desequilibrio físico creado, en el segundo caso, en ausencia de la protección que interrumpa la falla, la consecuencia puede ser progresivamente la fibrilación ventricular, el paro cardíaco y la muerte por electrocución; de continuar el contacto sigue la carbonización parcial o total en un lapso de pocos minutos.

Los contactos indirectos pueden tener idénticos riesgos, cuando las masas involucradas en la falla no están puestas a tierra.

2.3.24.- Los Riesgos de Descarga Eléctrica en MT

Solo ocurren muy esporádicamente por excesiva aproximación de la persona que se halla en contacto con la tierra, toda vez que ha traspasado las distancias de guarda, las barreras de protección o los aislamientos del conductor en forma accidental.

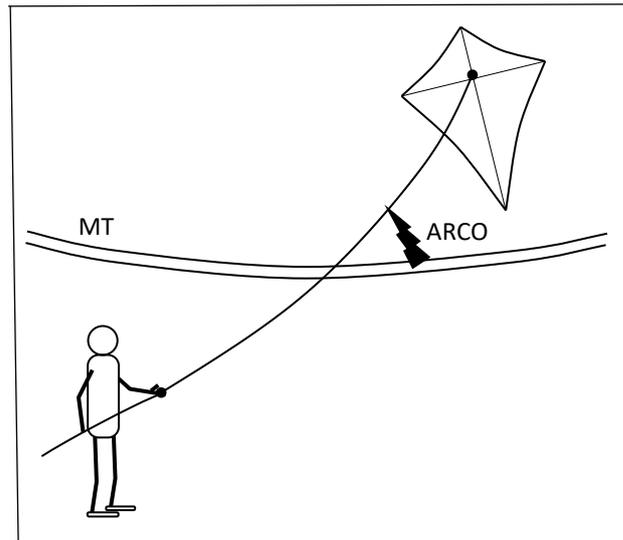


Fig. 5. Contacto Eléctrico en BT.

2.3.25.- Consecuencias de las Descargas Eléctricas en MT

Las descargas eléctricas en MT, debido a la intensidad del campo eléctrico, se acompañan de un arco eléctrico extremadamente lacerante, cuya corriente atraviesa violentamente el cuerpo de la persona por la trayectoria más corta, en el caso de surgir desde conductores energizados su duración obedece al tiempo de aclaramiento de la falla por parte de la protección, es muy destructiva; mientras que cuando surgen desde conductores fuera de servicio, su duración es solo de unos milisegundos y consecuentemente menos destructiva.

2.3.26.- Las Fallas Eléctricas MT y BT

El funcionamiento de los sistemas eléctricos en condiciones de falla, mantiene el principio de circulación de la corriente entre la fuente y el punto de falla y la fuente, dicha corriente cambia bruscamente su magnitud en función de la Impedancia de la

falla, fenómeno que debe permitir detectar la avería y despejarla con la ayuda de dispositivos de protección; no obstante, no solo se asocia a la falla la necesidad de interrumpirla para corregir la anomalía, sino también de en lo posible hacerla segura para las personas, los circuitos y los equipos.

2.3.27.- Circulación de Elevadas Corrientes por el Suelo

Va a verse limitada por la Resistividad variable según la trayectoria, asimismo va a originar potenciales de Paso y de Toque en los puntos de dispersión y concentración, en otras palabras, crea situaciones peligrosas que exigen complicadas y costosas iniciativas de seguridad.

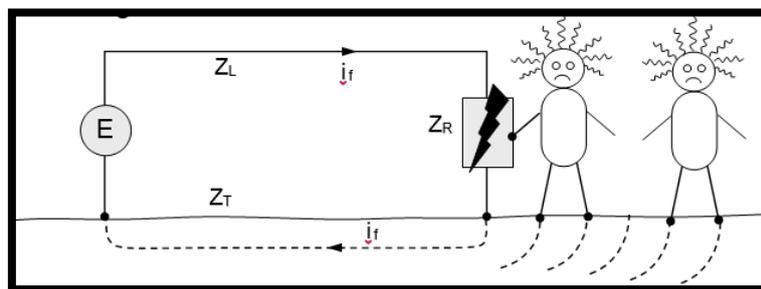


Fig. 6. Circulación de Elevadas Corrientes

2.3.28.- La Corriente de Falla Circula por Otro Conductor

Se propicia no solamente la mínima Impedancia del circuito para la máxima corriente de falla, sino también, se evitan los inconvenientes peligrosos de la conducción por el suelo, encerrando los efectos secundarios que son destructivos en el propio circuito al que se le puede dotar de elementos de protección.

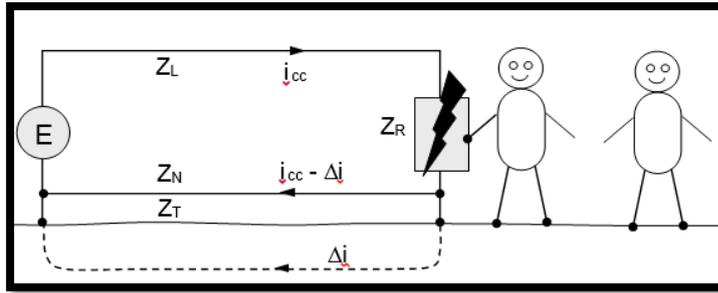


Fig. 7. Corriente de Falla que Circula por Otro Conductor.

2.3.29.- Fallas Francas o Continuas

Son aquellas que permiten la libre circulación de las corrientes, al disponer de un circuito conductor de retorno diferente del suelo; tratándose de fallas del aislamiento entre Fases o Fase Neutro, los mismos conductores de fase oficiarán para tal fin; mientras que, tratándose de fallas desde fase a masa, se deberá disponer de un conductor adicional que debe asimismo formar parte del sistema eléctrico, siendo fácil identificarlo con un punto de Potencial fijo como el Neutro.

El criterio de seguridad será cumplido toda vez que tanto en el lado de la fuente como en el punto de falla dicho conductor sea tomado sin dificultad por la corriente de falla; de ese modo:

La Tensión en el punto de falla, que es pequeña, del mismo modo que la Tensión que se proyecta hacia las masas, no serán peligrosos ni crearán gradientes anormales.

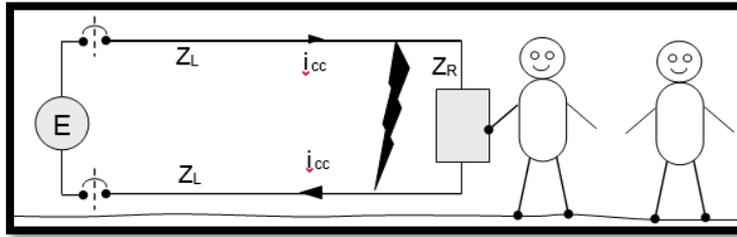


Fig. 8. Fallas Francas

La Corriente de falla se encerrará en el circuito conductor, propiciando el funcionamiento de los dispositivos de protección limitando la duración de los fenómenos de inducción.

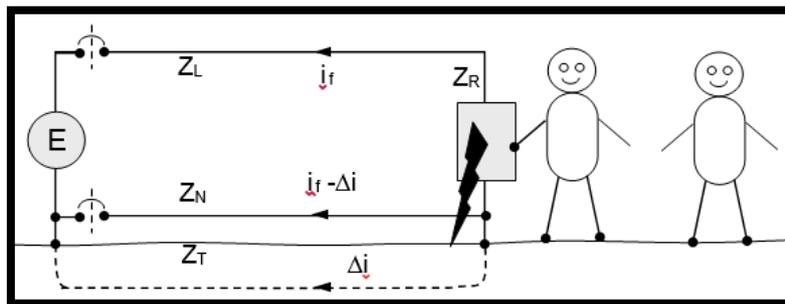


Fig. 9. Fallas Continuas

2.3.30.- Fallas Impedantes o Resistivas

Esta definición se limita a aquellas en las que falla el aislamiento de una fase hacia Masa o Tierras, no existiendo para la corriente de falla, conductor de retorno directo hacia la fuente, por lo que ésta debe cerrarse por el suelo, que para tal fin se denomina Tierra, exigiendo también en el lado de la fuente, el acceso al punto Neutro de retorno al sistema, que puede estar aislado de Tierra o bien conectado a ella a través de una Impedancia o una Resistencia pura.

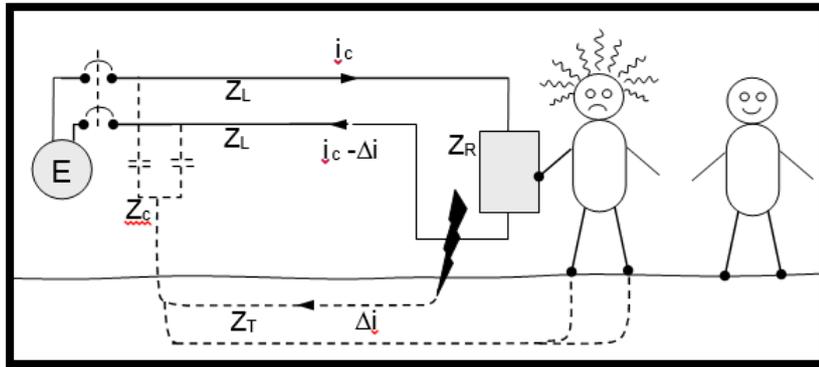


Fig. 10. Fallas Impedantes

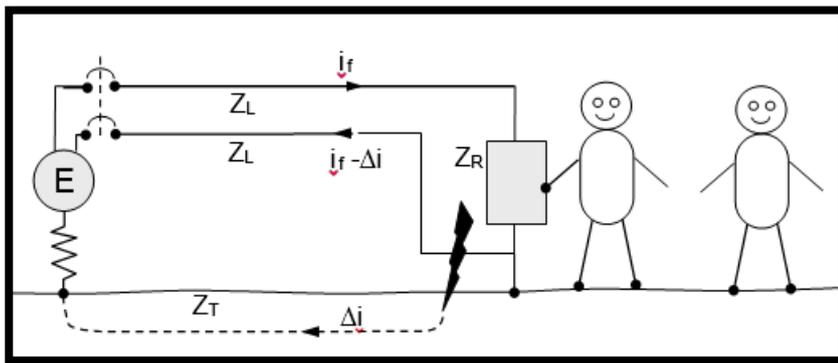


Fig. 11. Fallas Resistivas

En este caso, el criterio de seguridad podrá ser cumplido cualesquiera que fuese la condición de conexión del punto Neutro de la Fuente a Tierra, si es que las masas en el lado de la utilización se conectan sólida y eficazmente a Tierra.

- La Tensión en el punto de falla se transfiere desde la fase afectada a la masa, es decir se ubica entre ésta última y Tierra, estableciendo la condición de peligro, que puede ser minimizada a niveles seguros mediante la Puesta a Tierra de las Masas.

- La corriente en el punto de falla, fluirá hacia Tierra con una intensidad dependiente de la impedancia del circuito de retorno, será alta cuando el Neutro de la fuente este sólidamente conectado a Tierra y de solo unos Amperios cuando el Neutro está aislado; en tal caso, los potenciales de dispersión en el lado de la falla deben minimizarse con bajas Resistencias de Puesta a Tierra para asegurar la seguridad.

2.3.31.- Fallas Intermitentes o Discontinuas

Están involucradas las formas de falla Fase-Fase, Fase-Neutro y/o Fase-Tierra, se trata de fallas incompletas del aislamiento a través de alta Resistencia, que generalmente obedecen al envejecimiento o daños localizados de los cables subterráneos o a los procesos de humedecimiento de la contaminación superficial en los aislamientos externos; dichas descargas disruptivas de baja energía, se localizan en puntos de elevado gradiente de potencial, desarrollándose en forma de trenes de impulsos oscilatorios amortiguados de Corriente.

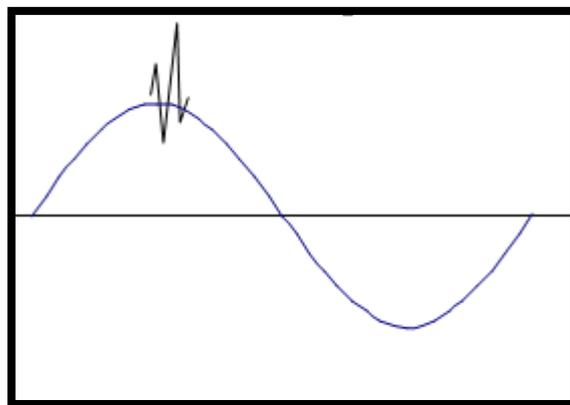


Fig. 12. Fallas Intermitentes

2.3.32.- Causas y Apreciaciones de las Fallas

Las fallas en los circuitos eléctricos que operan con tensiones superiores a 50 V, tal es el caso de la Baja Tensión de usuario final, involucran elevadas energías que la fuente de alimentación inmediata siempre podrá suministrar con el respaldo del sistema aguas arriba, de modo que al haberse establecido a falta de un dispositivo que pueda interrumpirla (fusible, interruptor), inicia el escalamiento de un proceso destructivo con permanencia de su peligrosidad respecto de la vida y la salud de las personas.

2.3.33.- Las Causas que Conducen u Ocasionan Fallas

Están asociadas fundamentalmente a los esfuerzos de tensión aplicados al aislamiento, (sobretensiones internas o externas), a los desperfectos propios del aislamiento o a su declive temporal o permanente (reducción del sostenimiento), o también debido a las demás sollicitaciones del servicio; aparte ello asimismo se cuentan las causas excepcionales, por colapso, por errores de operación y por accidentes.

2.3.34.- La Apreciación de las Fallas

Las fallas en MT y BT oportunamente interrumpidas, solo muestran evidencias externas mínimas, como un ligero movimiento de conductores, su continuación puede ocasionar el incendio de los aislamientos y de la fuente.

El estudio de las corrientes de falla se hace asumiendo una falla trifásica en forma “franca” (sin resistencia intermedia), con la finalidad de determinar el poder de corte de los interruptores y la elección y selección de los dispositivos de protección.

La protección de las personas no se relaciona a los parámetros de falla obedece a esquemas de instalación referidos a tierra y preconcebidos para la seguridad, lo cual respalda el correcto funcionamiento de los dispositivos de los subsistemas en muy baja tensión, y también facilita la compatibilidad electromagnética de la operación global.

2.3.35.- Consecuencias de las Fallas en MT y BT

Las consecuencias más importantes que se asocian a las fallas, son mayormente inmediatas con redundancias mediatas; pueden ser graves y traducirse de un lado en pérdida de vida o daños a la salud de las personas, y de otro lado en pérdidas económicas directas e indirectas, por la discontinuidad del servicio, todo lo cual puede evolucionar hacia situaciones menos alarmantes dependiendo de los diversos grados de exposición.

- Al peligro de la vida y la salud de las personas.

- Al riesgo de fallas en cascada en otros puntos periféricos.
- Al riesgo de funcionamiento anómalo o no programado de aparatos.
- Al riesgo de interrupción no controlada del servicio.
- Al riesgo de destrucción de aparatos e instalaciones.
- Al riesgo económicos derivado de los riesgos incurridos.

Por tales razones, en general los sistemas eléctricos de Distribución en MT y BT, deben cumplir estrictamente con las exigencias de seguridad, protección e instalación del Reglamento Vigente (Código Nacional de Electricidad), y con las recomendaciones de las Normas Nacionales (INDECOPI) e Internacionales adoptadas (IEC, IEEE, ANSI, etc.), en todo lo que estas prevean para dichos fines.

2.3.36.- Consecuencias de las Fallas entre Conductores

La concepción poco peligrosa atribuida a las fallas entre conductores de los sistemas Estrella o Delta, por seguir la corriente de retorno, un recorrido de mínima impedancia, con derivación casi nula a tierra en el punto de falla, cualquiera que fuere el régimen del Neutro en la fuente y en las masas, no es necesariamente correcta, dado que, estando una persona en contacto con la masa, y por separado también con tierra, puede ocurrir que el proceso se inicie en una de dos formas.

- Con una falla Fase-Tierra, que para no ser peligrosa requiere contar con la conexión de seguridad a Tierra.

- Con una falla-Fase-Fase, que progresa hacia la masa, situación peligrosa por involucrar arco eléctrico abierto.

2.3.37.- Consecuencias de las Fallas Conductor – Tierra

Se les reconoce alta peligrosidad en ambos sistemas de suministro, Estrella con neutro flotante o Delta, dado que las corrientes tienden a retornar a la fuente, con una intensidad que depende del régimen del Neutro en la propia fuente y de la conexión de las masas a Tierra en el punto de falla; siendo de necesidad mortal cuando recorren el cuerpo de las personas que están en contacto a la vez con la masa no conectada a tierra y por separado con tierra, según lo cual se pueden presentar dos tipos de situaciones peligrosas.

La falla con retorno de elevadas Corrientes, ocurre a través de la baja Impedancia que propicia el Neutro de la fuente conectada a tierra.

La falla con retorno de bajas Corrientes, ocurre a través de la alta Impedancia por no existir conexión sólida entre el Neutro de la fuente y Tierra.

2.3.38.- Esquemas de Conexión del Régimen de Neutro

Se determinan mediante la combinación de las opciones permitidas, que están asociadas a dos letras alfabéticas básicas que pueden ser complementadas por una tercera según el caso, en la siguiente forma:

- a. La primera letra indica la situación de Conexión del Neutro de la fuente con respecto a Tierra (Puesta a Tierra).

T: Neutro conectado directamente a Tierra.

I: Neutro aislado de Tierra.

- b. La segunda letra indica la situación de conexión de las masas sea a Tierra o bien al Neutro.

T: Masas Conectadas directamente a Tierra.

N: Masas Conectadas al Neutro Corrido desde el Origen.

- c. La combinación de estas alternativas con Neutro Corrido da tres esquemas seguros que pueden coexistir en una instalación.

Esquema TT: Neutro del Transformador, (T), con masas (T)

Esquema TN: Neutro del Transformador, (T), con masas (N)

Esquema IT: Neutro del Transformador (I), con masas (T)

- d. El Esquema (TN) se puede expandir en varios sub esquemas lo cual se indica agregando letras separadas por un guion:

Sub esquema TN-C: Tienen el Conductor Neutro (N) y el Conductor de Protección a Tierra (CP) coincidentes (CPN).

Sub esquema TN-S: Tienen el Conductor Neutro (N) y el Conductor de Protección a Tierra (CP) separados. Es obligatorio en Redes con Conductores < 10 mm² de Cobre.

Sub esquema TN-C-S: La Utilización del Sub esquema (TN-S) se hace siempre aguas abajo del Sub esquema (TN-C)

Código de Conexión	Conexión Neutro Transformador de Tierra	Conexión Neutro y de Protección	Conexión Masas de la Utilización		Observaciones Conexión Coexistencia
			AI Neutro	A Tierra	
TT	SI	Sólo Neutro	NO	SI	Coexistente
TN-C TN-S	SI	Coincidentes	SI	NO	Coexistente y TN-S sólo A, debajo de TN-C
	SI	Separados	SI	NO	
IT	NO	No Existe	NO	SI	Coexistente

Tabla 2. Códigos de Conexiones a Tierra

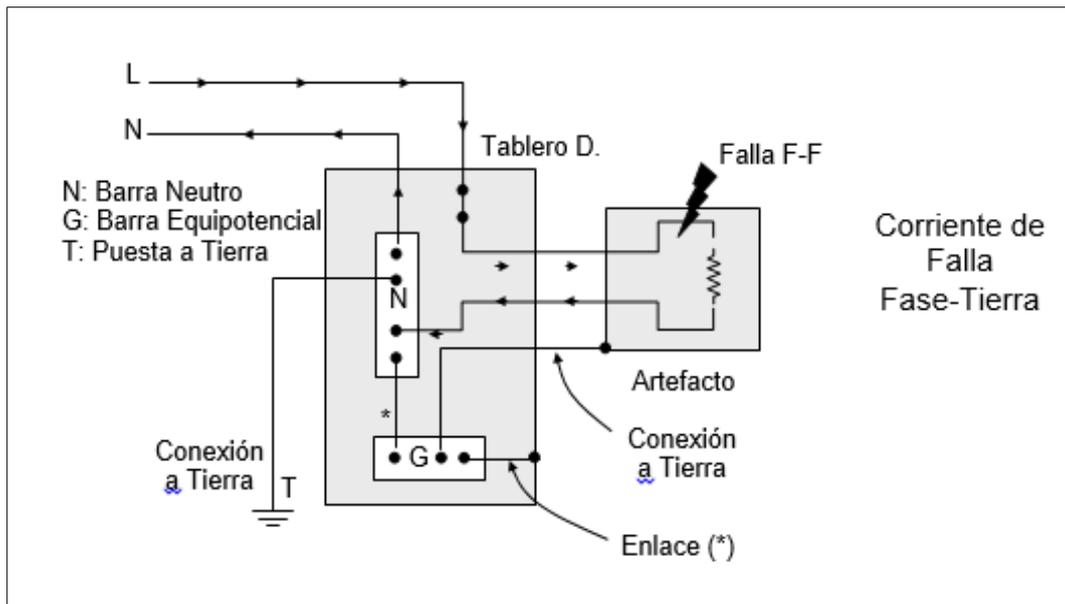


Fig. 13. Esquema de Conexión del Régimen de Neutro Fase-Tierra

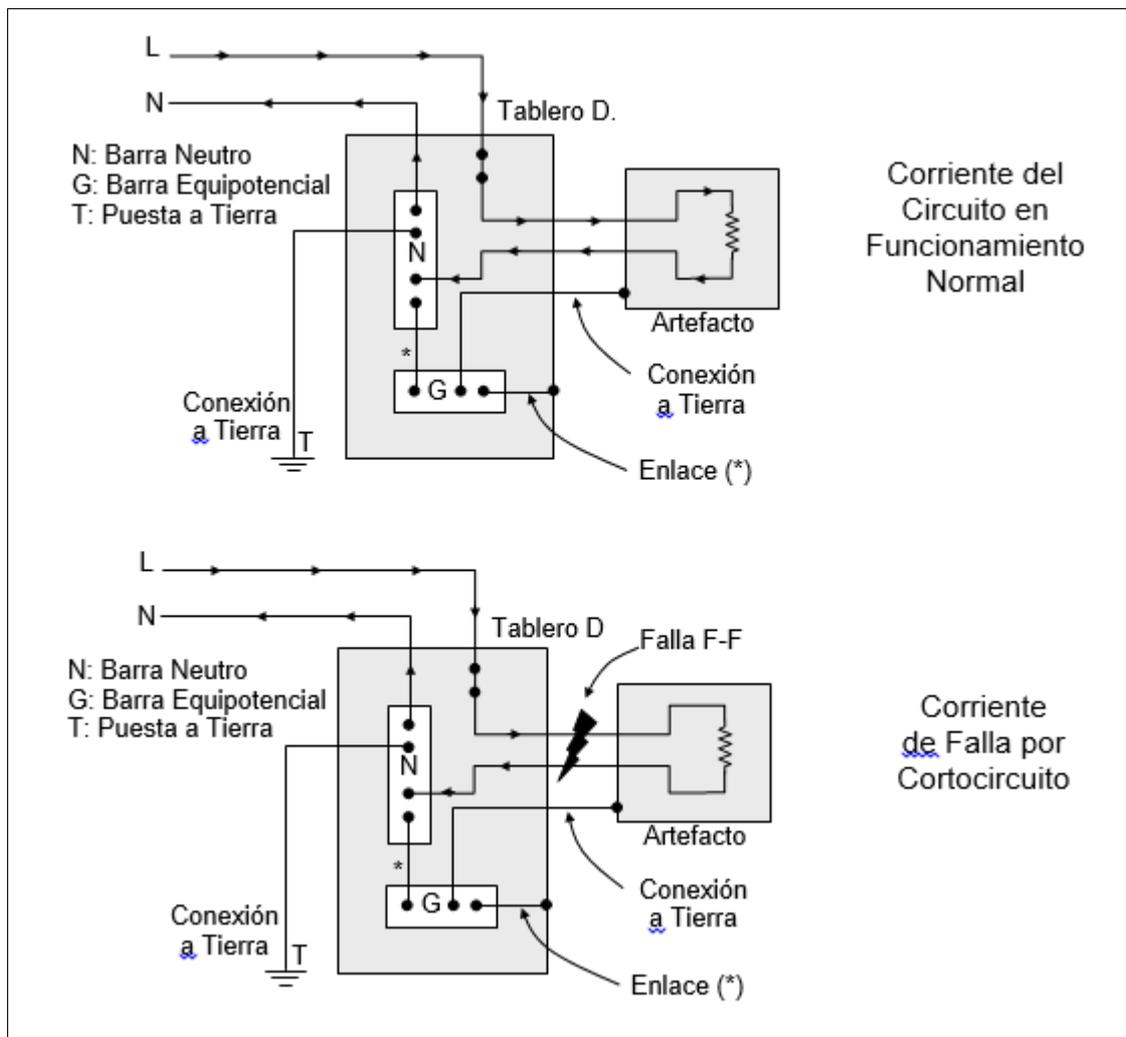


Fig. 14. Esquemas de Conexión del Régimen de Neutro Normal y Cortocircuito

2.3.39.- Características de los Esquemas de Conexión

Cada uno de los Esquemas de Conexión a Tierra, puede aplicarse a toda una instalación eléctrica en Baja Tensión; no obstante, aguas abajo pueden utilizarse también otros esquemas en forma complementaria.

2.3.40.- Esquema TN: Puesta a Neutro de las Masas

Al ocurrir una falla del aislamiento, la corriente de falla sólo es limitada por la Impedancia de los conductores que forman el lazo de la falla.

Si se admite que la Impedancia aguas arriba de la falla provoca una caída de Tensión próxima al 20% de la Tensión Fase-Tierra nominal, entonces la d.d.p. en el punto de falla respecto de Tierra será peligrosa, del orden del 50% del valor nominal, cuando las resistencias de los conductores de protección y de fase son iguales.

Según lo cual, se debe asegurar la desconexión inmediata de la sección afectada, por medio de un Interruptor de Potencia, dado que la falla equivale a un cortocircuito Fase-Neutro.

2.3.41.- Esquema TT: Puesta a Tierra del Neutro

Al ocurrir una falla del aislamiento, la corriente de falla es limitada por las Resistencias del Circuito hacia tierra; asumiendo que dicha Resistencia representativa es cero, la corriente de falla solo dependerá de las Resistencias de Puesta a Tierra de la Fuente y de la Protección de las masas, produciendo una Tensión proporcional a la Resistencia de Puesta a Tierra de Protección ($<10 \text{ Ohm}$),

con una magnitud del orden del 50% de la Tensión nominal Fase-Tierra que será peligrosa.

Según lo cual se debe asegurar una desconexión automática de la sección afectada de la instalación, mediante un Interruptor Diferencial Residual, dado que la corriente de falla es inferior a la de ajuste de un Interruptor de Potencia; asimismo, aguas abajo también podrán utilizarse Interruptores Diferenciales Residuales.

2.3.42.- Esquema IT: Neutro Aislado o Impedante

Normalmente el Neutro Aislado significa que la red está en conexión flotante a través de la Impedancia de fuga; en la práctica, para fijar el potencial respecto de Tierra, es necesario insertar una Impedancia entre el Neutro del Transformador de Potencia y Tierra (Neutro Impedante).

Las fallas estando el Neutro aislado, dan bajas corrientes de falla dependientes de la Resistencia de contacto, originando también bajas Tensiones de Falla que pueden variar según que el Neutro sea distribuido o no; en ambos casos no resultan peligrosas.

Las fallas a través del Neutro Impedante se calculan con Impedancias 50% por debajo de la Impedancia de Fuga (con Neutro Aislado), lo cual permite obtener Tensiones de Falla débiles y por lo tanto no peligrosas.

Según lo cual, la instalación puede mantenerse en servicio, aún con una falla Fase-Tierra, debiendo estar advertidos de ello por un Controlador Permanente de

Aislamiento, de modo que pueda eliminársela antes que ocurra una segunda falla desde una fase sana, que puede conducir a:

- Corto Circuito Fase – Fase a través del Conductor de Protección hacia Tierra, qué al estar todas las masas interconectadas, se debe interrumpir con Interruptores de Potencia Temporizados.
- Corto Circuito Fase – Fase existiendo Masas no Interconectadas; en este caso los circuitos con las masas Puestas a Tierra se protegerán con un Interruptor Diferencial Residual (Individualmente o en grupo) pudiendo selectivizarse.

2.3.43.- Los Esquemas de Conexión a Tierra con Protección

Los componentes electrónicos e informáticos tienen una rigidez dieléctrica no siempre igual al exigido (1500 V), con el agravante que muchas veces deben ser utilizados en **zonas calificadas con categorías III o IV**, por lo que es necesario protegerlos de la incursión de sobretensiones en la cabecera de instalación.

Los esquemas de conexión a Tierra que contemplan las normas, no han sido diseñados específicamente para el propósito de la proyección contra sobretensiones

impulsionales, por lo que es necesario contar con recomendaciones adicionales en función de las características restringidas del sitio y de:

- La densidad cero única
- La susceptibilidad de los componentes
- Los esquemas de conexión a Tierra

2.3.44.- Protección Secundaria en Esquema TT

El punto neutro de la fuente de alimentación está puesto a tierra en el sitio, mientras que para el resto de la instalación existe un circuito de protección con una Puesta a Tierra de seguridad separada, con un electrodo independiente no enlazado a la conexión del neutro en la fuente.

Los dispositivos de instalación se instalan en el Tablero de Distribución, aguas arriba de los Interruptores Diferenciales, entre Fases y Tierra (Barra) y adicionalmente entre el Neutro y Tierra (Barra), para proteger contra las Sobretensiones que ocurren en la Puesta a Tierra y amenazan con Disrupción Inversa.

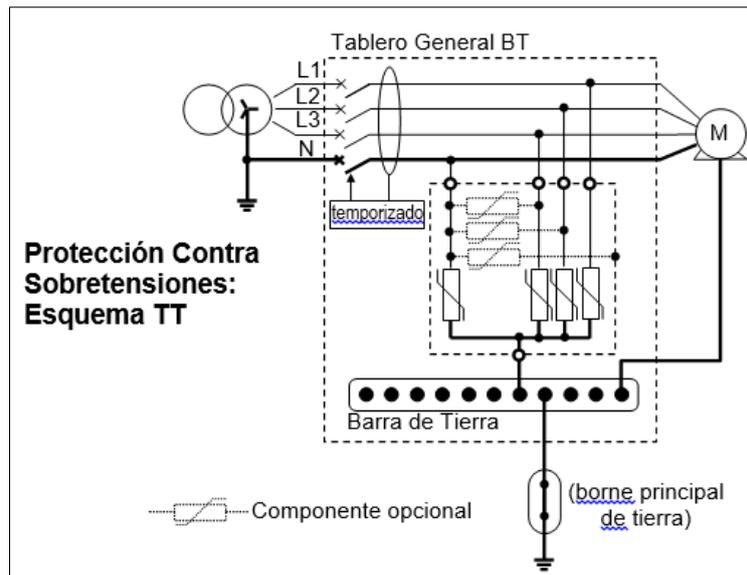


Fig. 15. Protección Secundaria en Esquema TT

También se puede incluir unidades cruzadas entre fases y neutro, y protección adicional para contrarrestar las sobretensiones en modo diferencial, debido a la disimetría producida por el Aterramiento del Neutro en la fuente.

2.3.45.- Protección Secundaria en Esquema TN – S

El punto neutro de la fuente de alimentación (no dispone de puesta a tierra propia) y la masa de la carga, están conectados a Tierra (en la utilización) a través del Circuito de Protección que corre independientemente del circuito del neutro en toda la instalación, lo cual es difícil de lograr dado que la distancia al neutro de la fuente se incrementa con el alejamiento de los puestos de utilización, mientras que del mismo modo crece la impedancia del Circuito de Protección.

El objetivo de proveer un circuito equipotencial de protección es difícil de lograr dado que las corrientes de falla pueden ocasionar una d.d.p. desde el Circuito de Protección propio hasta otro Circuito de Protección de la instalación.

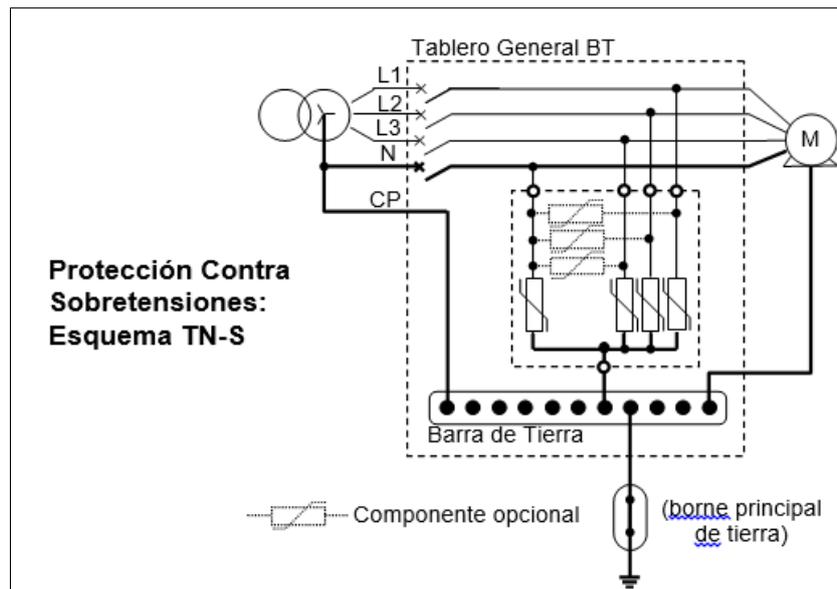


Fig. 16. Protección Secundaria en Esquema TN - S

Los dispositivos de protección se instalan en el Tablero de Distribución, aguas arriba de los Interruptores Diferenciales, entre Fases y Tierra (Barra), y adicionalmente entre el Neutro y la Tierra (Barra), para proteger contra las Sobretensiones que ocurren en la Puesta a Tierra.

También se puede incluir unidades cruzadas entre fases y neutro, y protección suplementaria, para contrarrestar las sobretensiones en modo diferencial.

2.3.46.- Protección Secundaria en Esquema TN-C-S

El circuito del Neutro y el Circuito de Protección están solidarios, conformando un conductor único, para obtener una Impedancia mucho más pequeña hacia la Puesta a Tierra local en la utilización, en lugar de la que podría resultar hacia el Neutro de la fuente, también tiene la ventaja de economizar un conductor.

En la práctica estos objetivos sólo se logran en parte de la instalación, por lo que aguas abajo ambos circuitos deberán diferenciarse, lo cual no cambia que en el Tablero de Distribución el Neutro sea enlazado a la Puesta a Tierra local formando el circuito de conexión a Tierra.

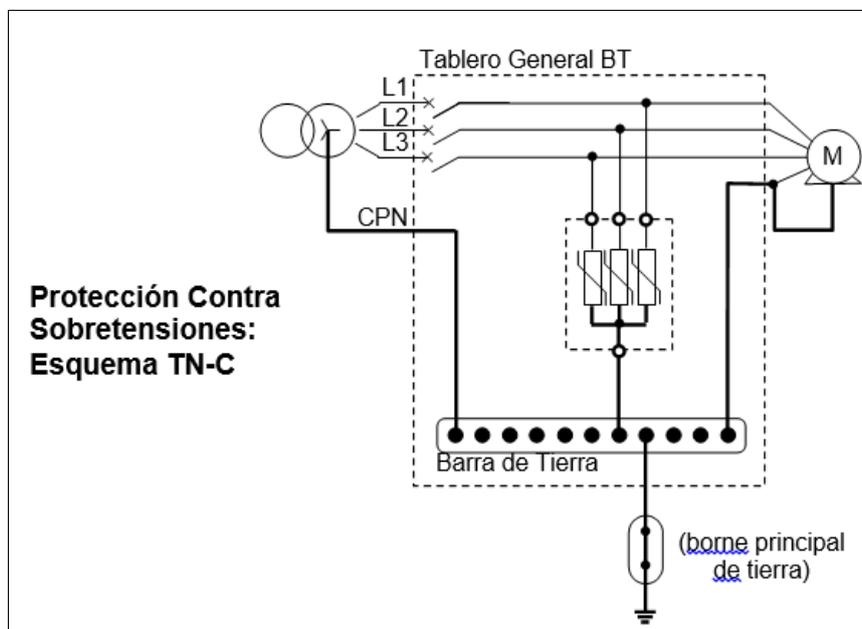


Fig. 17. Protección Secundaria en Esquema TN-C-S

Los dispositivos de protección se instalan en el Tablero de Distribución, aguas arriba de los Interruptores Diferenciales, entre Fases y Tierra (Barra); el Esquema TN-C puro no requiere de unidades cruzadas ni de protección Neutro – Tierra porque en principio la equipotencialidad se cumple.

2.3.47.- Protección Secundaria en Esquema IT

El punto Neutro del transformador está aislado de Tierra, en la práctica la unión a Tierra ocurre a través de las capacitancias parásitas de los conductores y equipos, a los cuales se agrega la impedancia del suelo, mientras que, en el lado de la utilización, las masas están conectadas a Tierra a través del Circuito de Protección.

Dicho esquema se utiliza en instalaciones en las que la Puesta a Tierra es lejana y no puede ser conectada por propiciar una impedancia grande y para evitar mayores peligros en caso de interrupción de dicha conexión; por lo que se prefiere dotar a la carga de una Puesta a Tierra próxima.

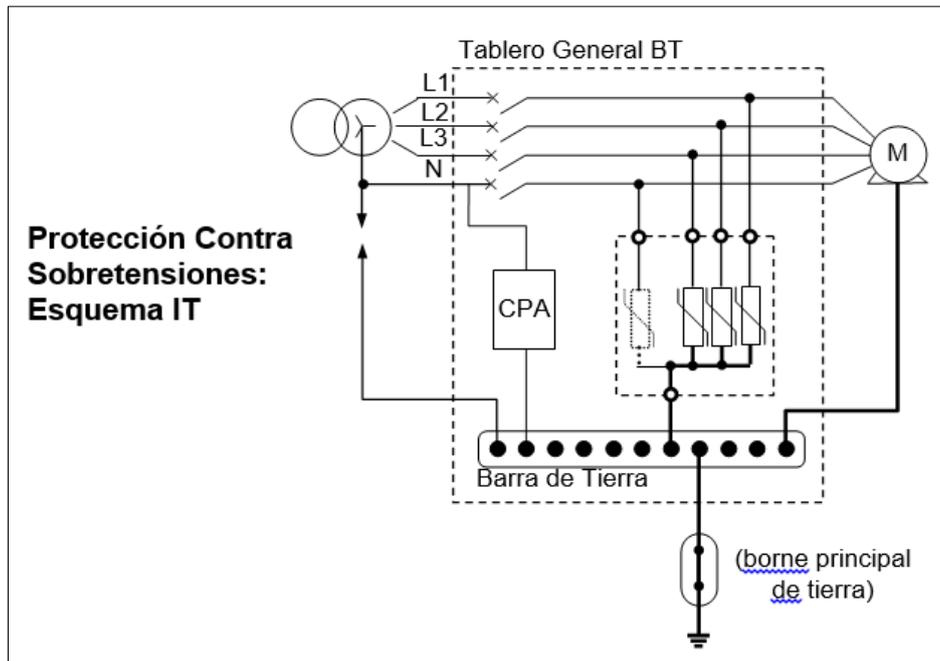


Fig. 18. Protección Secundaria en Esquema IT

2.3.48.- Defecto en el Esquema IT

Observamos que en el esquema de conexión IT hay unos elementos nuevos de protección a la tierra y son el CPA y la impedancia Z o resistencia de frenado (POWEROHM)

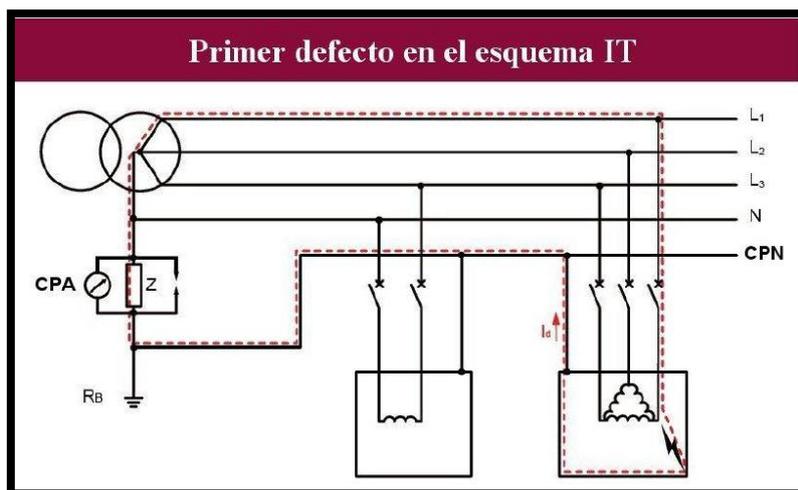


Fig. 19. Defecto en el Esquema IT

2.3.49.- Mapas Conceptuales de los Pro y Contras de cada Sistema

ESQUEMA TT			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
<p>Detección de una corriente de defecto con paso por tierra y corte de la alimentación mediante dispositivo de corriente diferencial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sencillez (pocos cálculos para la instalación) Ampliación sin cálculo de longitudes Corrientes de defecto débiles (seguridad contra incendio) Escaso mantenimiento (salvo pruebas periódicas de los diferenciales) Seguridad de las personas en caso de alimentación de aparatos portátiles o de conexión a tierra deficiente (con diferenciales de 30 mA) Funcionamiento con fuente de Icc presuntamente reducida (grupo electrógeno) 	<ul style="list-style-type: none"> No existe selectividad en caso de automático único en cabeza de la instalación Necesidad de diferenciales en cada salida para poder obtener la selectividad horizontal (costo) Riesgo de activaciones repentinas (sobretensiones) Interconexiones de las masas a una sola toma de tierra (instalaciones extensas), o necesidad de diferencial por grupo de masas Nivel de seguridad dependiente del valor de las tomas de tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> Debe preverse un pararrayos si la distribución va a ser aérea Posibilidad de conectar la toma de tierra de la alimentación y la de las masas si hay un transformador AT/BT privado (comprobar poder de corte de los diferenciales) Necesidad de gestionar equipos con corrientes de fuga elevadas (separación, islotes) Importancia de la instalación y de la duración de las tomas de tierra (seguridad de las personas) Prever comprobaciones periódicas de los valores de las tierras y de los umbrales de activación de los diferenciales.

Tabla 3. Esquema TT

ESQUEMA IT			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
<p>La limitación de la corriente de 1º defecto a un valor muy bajo, disminuye el incremento de potencial de las masas. Por lo tanto, no hay necesidad de corte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Continuidad del servicio (sin cortes en la 1º defecto) Corrientes de 1º defecto muy bajas (protección contra incendio) Corriente de defecto poco perturbadora Funcionamiento con fuentes de lcc presuntamente reducida (grupo electrógeno) Alimentación de receptores sensibles a corrientes de defecto (motores). 	<ul style="list-style-type: none"> Costo de la instalación (neutro protegido, CPA, protección sobretensiones) Costo de explotación (personal competente, localización de defectos) Sensibilidad a las perturbaciones (mala equipotencialidad con tierra) Riesgos en el 2º defecto: <ul style="list-style-type: none"> sobreintensidades de cortocircuito perturbaciones (incremento del potencial de tierra) aparición de una tensión compuesta (si el neutro está distribuido) 	<ul style="list-style-type: none"> La señalización del 1º defecto es obligatoria y debe buscarse inmediatamente Teniendo en cuenta sus riesgos, debe evitarse la situación de 2º defecto Protección con pararrayos indispensable (riesgo de incremento del potencial de tierra) Es aconsejable limitar la extensión de las instalaciones IT a lo estrictamente necesario.

Tabla 4. Esquema IT

ESQUEMA TN			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
<p>La corriente de defecto se transforma en corriente de cortocircuito interrumpida por los dispositivos de protección contra sobreintensidades. Las masas se mantienen al potencial de tierra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Costo reducido (las protecciones se utilizan para las corrientes de defecto y las de sobreintensidades) La toma de tierra no influye en la seguridad de las personas Baja susceptibilidad a las perturbaciones (buena equipotencialidad, neutro conectado a tierra) Poco sensible a corrientes de fuga elevadas (aparatos de calefacción, de vapor, informáticos). 	<ul style="list-style-type: none"> Corrientes de defecto elevadas (generación de perturbaciones y riesgos de incendio, especialmente en TN-C) Necesidad de cálculos de línea precisos Riesgos en caso de ampliaciones, renovaciones o utilizaciones no controladas (personal competente). 	<ul style="list-style-type: none"> La comprobación de las condiciones de protección debe efectuarse: <ul style="list-style-type: none"> en el diseño (cálculo) a la puesta en marcha periódicamente en caso de modificación de la instalación La comprobación práctica requiere un material de ensayo específico (medición de la lcc en extremo de línea) El uso de diferenciales permite limitar las corrientes de defecto (comprobar el poder de corte) y disminuir los riesgos no previstos por los cálculos (rotura de conductores de protección, longitudes de línea con cargas móviles...).

Tabla 5. Esquema TN

2.3.50.- Naturaleza y Características de las Instalaciones y Receptores

Según naturaleza y características de la instalación	Esquema aconsejado
<ul style="list-style-type: none"> • Red de distribución pública • Red extensa con tomas de tierra mediocres • Alimentación con transformadores de baja lcc • Grupo electrógeno (instalación temporal) • Red por líneas aéreas 	TT
<ul style="list-style-type: none"> • Red perturbada (zona con rayos) • Red con corrientes de fuga importantes 	TN
<ul style="list-style-type: none"> • Grupo electrógeno (alimentación de seguridad) • Grupo electrógeno (alimentación temporal) TN-S 	IT

Tabla 6. Naturaleza y Características de las Instalaciones

Según naturaleza y características de los receptores	Esquema aconsejado
<ul style="list-style-type: none"> • Numerosos aparatos móviles o portátiles • Instalaciones con frecuentes modificaciones • Instalaciones de faena • Instalaciones antiguas • Locales con riesgo de incendio 	TT
<ul style="list-style-type: none"> • Equipos electrónicos informáticos • Equipos con auxiliares (máquinas-herramienta) • Equipos de mantenimiento (puentes-grúa, grúas...) • Aparatos con débil aislamiento (aparatos de cocción, de vapor...) 	TN-S
<ul style="list-style-type: none"> • Locales con riesgo de incendio • Instalaciones de control de mando con numerosos sensores • Instalaciones con requisitos de continuidad (médicas, bombas, ventilación...) • Aparatos sensibles a las corrientes de fuga (riesgo de destrucción de bobinados) 	IT

Tabla 7. Naturaleza y Características de los Receptores

2.3.51.- El Control Permanente de Aislamiento (C.P.A.)

El Control Permanente de Aislamiento cuyo principio básico es aplicar una fuente de tensión alterna de baja frecuencia entre uno de los polos de los circuitos c.c. y tierra; la aparición de un defecto de aislamiento en los circuitos c.c. hace circular una corriente que es detectada por los circuitos de medida avisando mediante alarmas o luces al personal calificado para que busque la falla.

Estos controladores, que tanto vigilan las redes de corriente alterna, mixta y continua, permitan también la búsqueda de defectos de aislamiento.

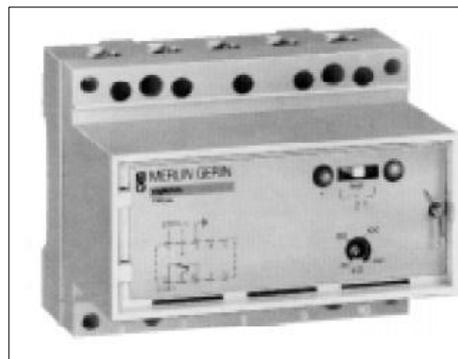


Fig. 20. Control Permanente de Aislamiento

2.3.52.- La Impedancia Z o Resistencia de Frenado (POWEROHM)

Es una resistencia que recibirá la primera elevación de tensión es decir soportara la I_d corriente de defecto protegiendo a nuestra puesta a tierra choques eléctricos bruscos.



Fig. 21. Resistencia de Frenado

2.3.53.- Sistema de Pararrayos

El sistema de protección contra rayos se considera la medida más efectiva para proteger las estructuras contra los daños físicos causado por las descargas eléctricas atmosféricas.

La Norma Técnica NTC 4552 la cual establece el desarrollo de un SIPRA, para garantizar una protección eficaz y minimizar los efectos directos e indirectos causados a seres vivos y a estructuras, por impactos de rayos.

2.3.54.- Funcionamiento de los Pararrayos

En las instalaciones de pararrayos consiste en un mástil metálico (acero inoxidable, aluminio, cobre o acero) con un cabezal captador. E, cabezal tiene muchas

formas en función de su primer funcionamiento: puede ser en puntas multipuntos, semiesférico o esférico y debe sobresalir por encima de las partes más altas del edificio. El cabezal está unido a una toma a tierra por medio de unos conductores denominado bajante. La toma a tierra se construye mediante picas de metal que hacen funciones de electrodos en el terreno o mediante placas de metal conductoras también enterradas.

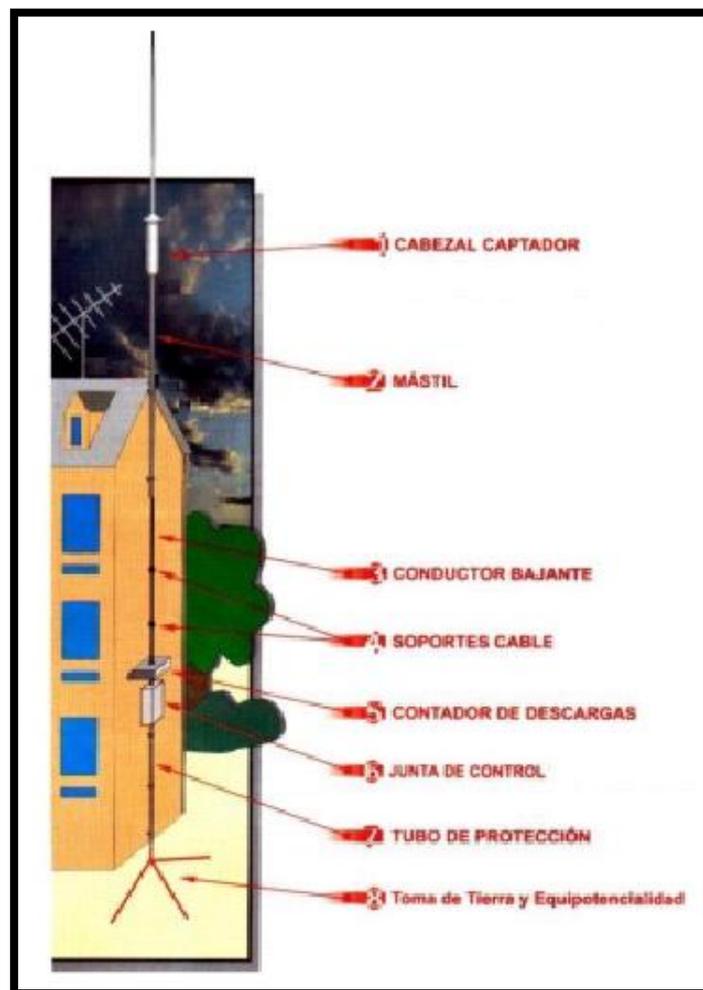


Fig. 22. Partes de un Sistema de Pararrayos

2.3.55.- Estructura del Sistema de Pararrayos

El Sistema de Pararrayos está compuesta de:

- Sistema de Captación.
- Varillas Tipo Franklin.
- Cables Colgantes.
- Malla de Conductores.
- Sistema de Bajantes.
- Sistema de Puesta a Tierra de Protección Contra Rayos.

2.3.56.- Sistema de Captación

El sistema de captación como parte del sistema de protección externo es el encargado de interceptar los rayos que vayan a impactar directamente sobre la estructura para luego derivar la corriente de forma segura al subsuelo. Este sistema funciona como un circuito de poca resistencia permitiendo establecer el último segmento del camino de la descarga del rayo.

Los dispositivos de captación pueden resultar producto de la combinación de los siguientes elementos:

- Varillas tipo Franklin o bayonetas.

- Cables colgantes.
- Malla de conductores.

2.3.57.- Varillas Tipo Franklin o Bayonetas

Su misión es provocar la excitación atmosférica por encima de cualquier otro punto de la estructura a proteger, para aumentar la probabilidad de que la descarga incida en su zona de influencia, y derivar a tierra la corriente del rayo. En cuanto a su material las varillas o bayonetas deben ser de cobre sólido o tubular, de aluminio, aleación de aluminio acero entre otros, eliminando completamente cualquier tipo de material radioactivo. La altura debe ser por encima de las partes más altas de la estructura no menor a 0.25 m para intervalos máximos de 6 m entre puntas y no menor a 0.6 m para intervalos máximos de 8 m. en caso de que un terminal exceda los 0.6 m por encima de las partes altas de la estructura se debe sujetar a un punto no menor a la mitad de su altura. Las varillas sólidas deben tener un diámetro mínimo de 16 mm y las tubulares un diámetro mínimo de 19 mm y 0.8 mm de espesor de las paredes, para estructuras cuya altura no exceda los 25 m.

2.3.58.- Cables Colgantes

Consiste en uno o varios cables que se sitúan sobre la estructura; en sus extremos estos cables están puestos a tierra lo que permite derivar la corriente del rayo de forma segura.

2.3.59.- Malla de Conductores

Este sistema consiste en una serie de varillas o puntas captadoras conectadas entre sí por medio de un cable conductor formando un enmallado; dicho enmallado, permite dividir la corriente del rayo mitigando perturbaciones y posibles daños a la estructura.

2.3.60.- Sistema de Bajantes

El objeto de las bajantes es derivar la corriente del rayo que incide sobre la estructura e impacta en los terminales de captación. El cálculo de los bajantes refleja el compromiso de una protección técnicamente adecuada y económica, puesto que, mediante el incremento del número de bajantes, se logra una reducción de la magnitud de la corriente que circula por cada bajante y su ruta de ascenso; así mismo se reduce la magnitud de las inducciones magnéticas en los lazos metálicos de la instalación y las diferencias de potencial a tierra.

Por razones eléctricas, mecánicas y térmicas los conductores de las bajantes del sistema equipotencial y derivaciones deben estar de acuerdo con la siguiente Tabla.

Según el Ministerio de Energía y Minas, en el Perú se usará norma técnica referencial IEC 62305, NFPA 780, NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4552 para protección contra rayos, edificaciones y estructuras.

Altura de la estructura	Número mínimo de bajantes	Calibre mínimo del conductor de acuerdo con el material de este	
		Cobre	Aluminio
Menor que 25 m	2	2 AWG	1/0 AWG
Mayor que 25 m	4	1/0 AWG	2/0 AWG

Tabla 8. Requerimientos para las Bajantes

Cada una de las bajantes debe terminar en un electrodo de puesta a tierra y deben estar separadas a una distancia mínima de 10 m, buscando siempre que se localicen en las partes externas de la edificación.

Es necesario que los bajantes sean ubicados, de tal manera que a partir del punto de impacto del rayo hasta la tierra cumpla con los siguientes requerimientos:

- Existencia de varios caminos paralelos para la corriente.
- La longitud de los caminos de corriente debe ser mínima.
- Equi potencialización a partes conductoras de la estructura.
- Ubicación a una distancia considerable de circuitos internos y partes metálicas.

2.3.61.- Tipos de sistema de bajantes

Se consideran dos tipos de sistemas de bajantes, uno es aquel que está aislado eléctricamente de la estructura y el otro es el que está unido directamente a la estructura.

2.3.62.- Sistema Aislado Eléctricamente de la Estructura.

Este tipo de sistemas se usa para estructuras con paredes combustibles y en áreas con peligro de explosión como tanques de almacenamiento de combustible o en estructuras con consideraciones arquitectónicas en donde los bajantes no se ubican directamente sobre la fachada sino en las hendiduras del ladrillo.

2.3.63.- Sistema No Aislado o Unido Eléctricamente a la Estructura.

Para este tipo de sistemas se tiene en cuenta la distribución simétrica de los bajantes, por lo que se establecen distancias de separación que pueden verse afectadas por objetos que interfieren en el recorrido de los conductores bajantes como son: ventanas, techos, voladizos, entre otros.

NIVEL DE PROTECCIÓN	DISTANCIA TIPICA PROMEDIO [m]
NIVEL I	10
NIVEL II	10
NIVEL III	15
NIVEL IV	20

Tabla 9. Distancia de Separación Promedio para las Bajantes

2.3.64.- Sistema de Puesta a Tierra de Protección Contra Rayos (S.P.T.)

El SPT es una parte fundamental del sistema de protección contra rayos que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal y de los equipos en caso de la incidencia de un rayo; puesto que provee una equipotencialidad a los equipos y estructuras y ofrece una trayectoria de baja resistencia a la corriente del rayo, permitiendo su dispersión y disipación en el terreno sin causar daño.

Para el diseño de la puesta a tierra de protección contra rayos se debe tener en cuenta:

- La resistividad del suelo.
- La acidez del suelo (pH).
- La estructura física del suelo (rocas, arenas, arcillas).
- La forma de interconexión con las otras puestas a tierra y los sistemas de protección contra corrosión.
- Los efectos adicionales en otros sistemas eléctricos y de comunicaciones.

2.3.65.- Puesta a Tierra (PT) en conexiones con Pararrayos.

Es la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación. La finalidad principal de una puesta a tierra es limitar la tensión que con respecto a

tierra puedan presentar las partes metálicas y asegurar la actuación de las protecciones.

Elementos que conforman el sistema de puesta a tierra.

- Electrodo: conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con el suelo, inalterable a la humedad y a la acción química del terreno, pueden ser verticales, horizontales o se puede utilizar la cimentación de acero reforzado de la estructura, en este último caso se conocen como electrodos de puesta a tierra de cimentación.
- Anillos: electrodos a tierra que forman un lazo cerrado alrededor de la estructura, interconectan las bajantes para distribuir las corrientes de rayo entre ellos.
- Enmallados: interconexión de las puestas a tierra de varias estructuras.
- Punto de puesta a tierra: punto situado dentro de una cámara, que sirve de unión entre el anillo de enlace y las líneas principales de tierra.
- Líneas principales de tierra: conductores que unen el sistema de captación con los puntos de puesta a tierra. Es necesario conectar a los puntos de toma de tierra todas las tuberías metálicas de agua y gas, así como canalones y cubiertas metálicas que pudieran ser alcanzadas por un rayo.

2.3.66.- Métodos de Protección Aérea para Descargas Eléctricas Atmosféricas

El método de protección aérea contra descargas eléctricas atmosféricas busca minimizar los daños y efectos ocasionados por dichas descargas a estructuras.

El método de protección aérea consta del método Electro geométrico (MEG) que a su vez se divide en tres métodos de captación aérea cimentados en la aplicación del apantallamiento de la estructura mediante puntas de captación y conductores conectados a tierra. Todo esto con el fin de garantizar que cada una de las zonas expuestas de la estructura esté totalmente protegida.

2.3.67.- Método Electro Geométrico

El método electro geométrico, es un sistema analítico cuya finalidad es la de probar que tan efectivo resulta un apantallamiento, previniendo o evitando totalmente el impacto del rayo en un área o zona determinada, el método electro geométrico provee varillas verticales y conductores horizontales a estructuras y líneas de transmisión, respectivamente. La principal hipótesis en que se basa el método es que la carga espacial contenida en el líder escalonado, previo a la descarga de retorno, está relacionada con la magnitud de la corriente de la descarga.

Este método fue desarrollado para diseño de apantallamientos en líneas de transmisión de energía eléctrica, sin embargo, sus fundamentos tienen aplicación en cualquier tipo de estructura que se desee proteger contra rayos. En él se busca que los objetos a ser protegidos, por ejemplo, una estructura como un edificio o una torre de comunicaciones, sean menos atractivos a los rayos que los elementos de protección externa, como es el caso de las varillas tipo Franklin.

Los métodos desarrollados a partir del MEG que permiten implementar de forma independiente o combinada cada uno de los sistemas de captación son:

- Método de la esfera rodante (MER).
- Método del ángulo de protección (MAP).
- Método del enmallado (ME).

2.3.68.- Método de la Esfera Rodante (MER)

El método de la esfera rodante se utiliza para establecer el área de protección de las puntas Faraday. Este consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo. La esfera imaginaria debe rodarse desde el nivel de la tierra hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el punto de contacto con la estructura.

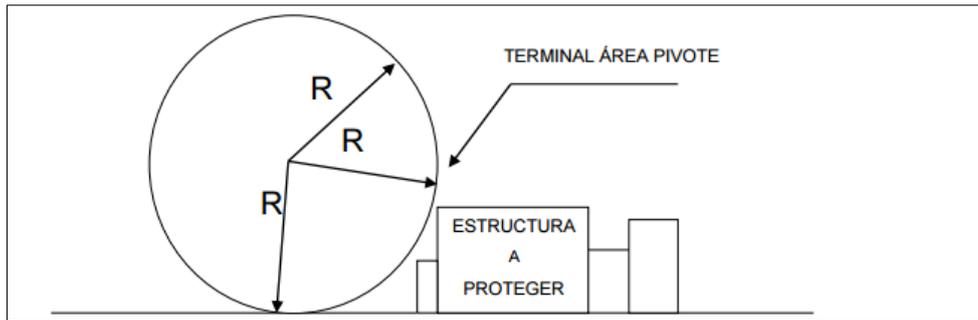


Fig. 23. Modelo Electro Geométrico

Esta primera terminal se conoce como pivote, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando esta se apoye sobre tierra y sobre la punta de la terminal aérea pivote. Una vez especificado el primer punto de sacrificio para la corriente de rayo, debe rodarse la esfera por encima de la terminal aérea y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea de intercepción en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque la estructura o edificio a proteger. Este proceso debe mantenerse hasta cubrir la totalidad del edificio o estructura a proteger.

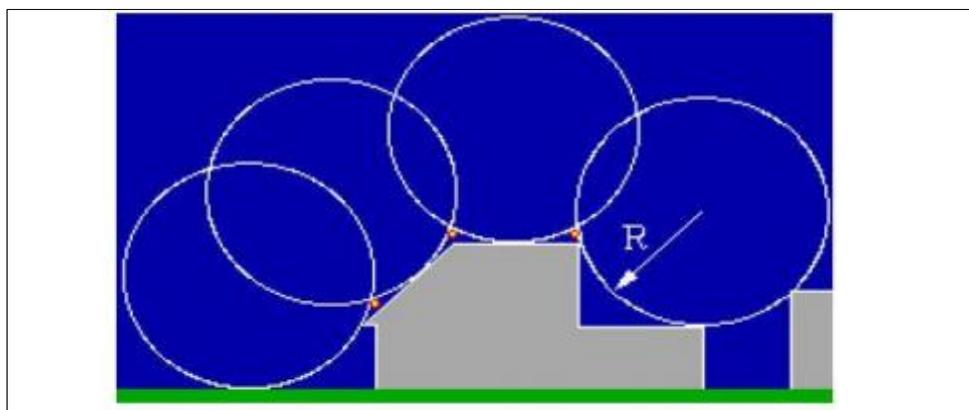


Fig. 24. Esfera Imaginaria

Dependiendo del nivel de protección el radio de la esfera rodante se puede escoger a partir de la Tabla 10.

NIVEL DE PROTECCIÓN	DISTANCIA TIPICA PROMEDIO [m]
NIVEL I	10
NIVEL II	10
NIVEL III	15
NIVEL IV	20

Tabla 10. Valores Máximos del Radio de la Esfera Rodante

2.3.69.- Método del Ángulo de Protección (MAP)

El método del ángulo de protección es una simplificación del método de la esfera rodante, en donde para una altura relativa dada, existe un ángulo de protección de la terminal de captación la cual puede determinarse mediante la siguiente figura.

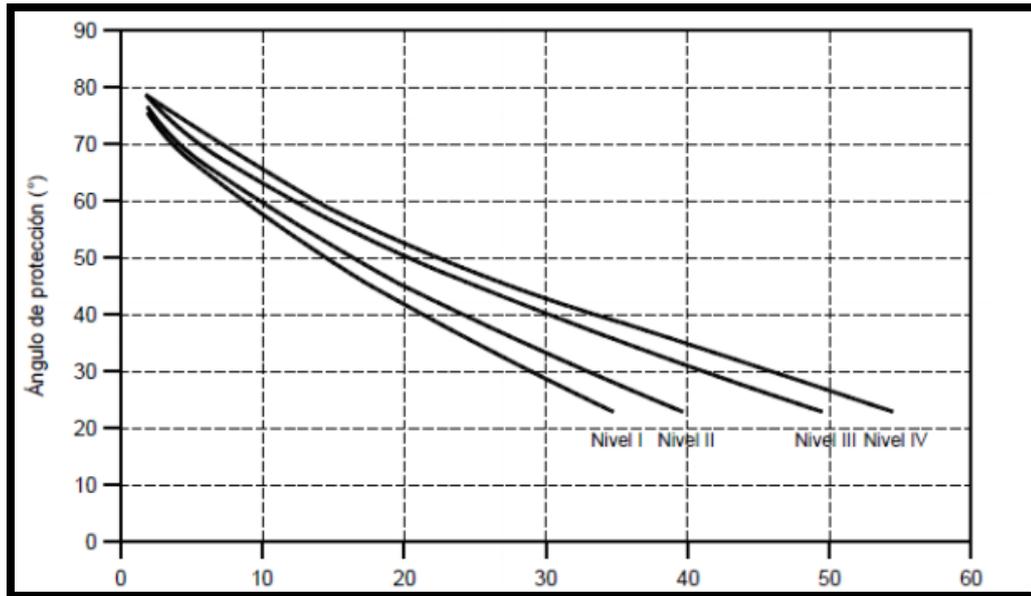


Fig. 25. Ángulo de Protección Dependiendo de la Altura Relativa

2.3.70.- Método del Enmallado

Este método es utilizado principalmente cuando es necesario proteger superficies planas, en donde una malla conductora puede ser considerada para obtener la protección contra impactos directos de toda la estructura. Para este caso los conductores externos son colocados sobre bordes de techos, terrazas y voladizos. La red enmallada debe ser diseñada de tal manera que la corriente de rayo siempre encuentre al menos 2 vías de evacuación de la corriente. De acuerdo a la norma NTC 4552-3 para cada nivel existe unas dimensiones de enmallado. Para mayor entendimiento se adjunta la siguiente tabla.

Nivel de protección	Malla [m]
Nivel I	5x5
Nivel II	10x10
Nivel III	15x15
Nivel IV	20x20

Tabla 11. Dimensiones del Enmallado para los Niveles de Protección

2.3.71.- Condiciones de la Instalación Eléctrica

La degradación de los dispositivos de control, el sub dimensionamiento del cableado que energiza el motor y la incorporación de nuevas cargas al suministro eléctrico, son los principales problemas inherentes a la instalación eléctrica que atentan contra la vida útil del motor.

2.3.72.- Degradación de los Dispositivos de Control

Un motor trifásico generalmente es energizado y des energizado por un relevador contactor. Dichos relés realizan una maniobra cada vez que energizan o des energizan un motor. Todos los relés contactores tienen un tiempo de vida útil que se mide por número de maniobras. Este número de maniobras, puede ser mayor o menor dependiendo de la cantidad de corriente que maneje el contactor. Los fabricantes de contactores siempre ofrecen información del tiempo de vida útil del contactor según la corriente que circule a través de ellos, el tipo de carga eléctrica que manejarán y el régimen de trabajo de dicha carga. Una vez degradado un contactor es muy común que uno de los contactos se destruya completamente antes que los otros dos, quedando el motor operando exclusivamente con dos fases (CSP). También al estar

dañado algún dispositivo de control del tipo presostato, termostato, sensores de nivel, relés térmicos de sobrecarga, etc., pueden ocasionarse múltiples arranques y paradas del motor en breves intervalos de tiempo. De sostenerse en el tiempo esta condición, se dañarán los contactos del relé contactor y también el motor asociado a dicho dispositivo.

2.3.73.- Sub dimensionamiento del Cableado que Energiza al Motor

Un cableado con una capacidad conductiva igual o menor a la corriente nominal del motor, provocara situaciones de bajo voltaje justo en los segundos iniciales, entre el arranque del motor y el momento en que este alcance su velocidad nominal de trabajo (RPM). También ocurrirá lo mismo si con dicho cableado el motor opera con una corriente igual a la del factor de servicio. La magnitud de la caída de voltaje dependerá de la capacidad conductiva del cable, la longitud del cableado y del valor de la corriente de trabajo del motor. En esta condición de sub dimensionamiento del cableado, si el motor arrancase con carga, consumirá corrientes mayores a la del factor de servicio y estará en presencia de una sobrecarga (OC). Si el motor nunca llegase a alcanzar su velocidad nominal de trabajo, en pocos segundos se sobrecalentará hasta su temperatura máxima de operación.

2.3.74.- Incorporación de Nuevas Cargas al Suministro Eléctrico

De no planificar correctamente la incorporación de nuevas cargas a la red, se ocasionarán situaciones de bajo voltaje y desbalance de voltaje. En estas condiciones el motor sufrirá recalentamientos innecesarios que podrían dañarlo irreversiblemente.

2.3.75.- Problemas Inherentes a la Construcción del Motor

Los motores eléctricos de inducción son máquinas sencillas en su construcción, partes propias pueden afectar su desempeño y su vida útil. Los puntos más sensibles del motor a sufrir deterioros con el uso son los conectores (bornes), la ventilación y los rodamientos.

2.3.76.- Problemas en los Conectores

Los puntos de conexión del motor (bornes), se dañarán si este es sometido a múltiples arranques en breves intervalos tiempo. Existen varias conexiones por las que fluye corriente cuando energizamos un motor. Las de la bornera con los conductores que lo energizan y las de la bornera con los arrollados del motor. A estas conexiones, se les conoce con el nombre de puntos calientes. La bornera es una parte del motor llena de puntos calientes. Cuando arrancamos un motor a carga nominal, la corriente, por muy poco tiempo, será más alta que la corriente nominal (I_n o RLA). Una vez que el motor alcance su velocidad de trabajo (RPM), la corriente será igual a la nominal (I_n o RLA). Durante el arranque la bornera se calentará intensamente, una vez el motor alcance su velocidad nominal de trabajo, la temperatura de la bornera se estabilizará a un valor o igual o superior a la de los arrollados, sin que ello ocasione daño alguno en los bornes. Un motor sometido a múltiples arranques en breves intervalos de tiempo, nunca podrá estabilizar la temperatura de su bornera a niveles seguros, pudiendo destruirse así los conectores. De dañarse un borne el motor se lesionará irreversiblemente, ya que operará tan solo con dos fases (CSP).

Con dos o tres bornes destruidos, el motor se detendrá y tendrá que reconstruirse la bornera.

2.3.77.- Falta de Ventilación

Los motores eléctricos, requieren liberar el calor que provoca el trabajo que desempeñan. La gran mayoría posee ventilación forzada que la genera un ventilador asociado al eje del motor. En algunas construcciones de motores, la liberación de calor es realizada por métodos distintos a los del uso de aire impulsado por el ventilador. La falta de ventilación provocara el aumento de la temperatura de los arrollados del motor, degradándose el aislamiento de los mismos y destruyéndose irremediablemente. La ausencia de ventilación puede ser provocada por obstrucción de la entrada y salida de aire o por la inoperancia del ventilador que posee el motor.

2.3.78.- Degradación de los Rodamientos

Un motor eléctrico, por lo general, posee dos rodamientos que soportan el eje del rotor. Los rodamientos tienen un tiempo vida útil y su degradación siempre terminará trancando el rotor del motor. Un rodamiento degradado pasara por un lapso, de duración variable e incierta, con alto roce haciendo que el motor gire con sobre esfuerzo, para posteriormente atascarse definitivamente y dejar el motor a rotor trancado. Tanto en la etapa donde el motor gira con sobre esfuerzo, debido al alto roce en el rodamiento y luego ya con este último atascado, el motor estará en presencia de una sobrecarga (OC). Primero, con una corriente superior a la del factor

deservicio y luego, con una corriente seis veces mayor a la nominal (corriente a rotor trancado LRA). Bajo estas condiciones el motor se dañará irremediablemente.

2.3.79.- Protección de Motores Trifásicos

Proteger los motores trifásicos, se ha vuelto una necesidad imperativa para los usuarios y/o propietarios de los mismos. Ello debido a las pérdidas económicas que implican la reparación o reposición del motor dañado y las asociadas al servicio que dejaron de prestar estando fuera de operación. La protección de un motor trifásico debe de contemplar problemas asociados a voltajes y al consumo de corriente. Para ello, se requieren de dispositivos que estén en capacidad de supervisar los valores de voltaje y de las corrientes, con que opera el motor. Muchos dispositivos en el mercado ofrecen protección de motores trifásicos, la oferta es amplia y contempla desde los clásicos Relevadores Térmicos de Sobrecarga, los supervisores electrónicos de voltaje, los Relevadores Electrónicos de Sobrecarga, hasta las últimas tecnologías de protecciones integrales y las protecciones totales para motores trifásicos. Las dos últimas ofrecen protección al motor procesando digitalmente los valores de las corrientes, de los voltajes y de la temperatura del motor simultáneamente.

2.3.80.- Relevadores Térmicos de Sobrecarga

Generalmente la protección más utilizada en las aplicaciones de motores trifásicos es el Relevador Térmico de Sobrecarga. A través de él fluyen las corrientes que consume el motor, calentándose y enfriándose de igual manera que este. Para ello,

hacen uso de unas resistencias calentadoras por las que fluyen las corrientes del motor. Si el calor acumulado en las resistencias es mayor o igual al máximo permitido, un contacto asociado a estas, se dilatará por efecto del calor y desenergizará al motor.

En ese momento, el Relevador Térmico de Protección Eléctrica comenzará a enfriarse y cuando el calor remanente llegue a un nivel seguro, energizará nuevamente al motor. Por lo general los Relevadores Térmicos de Sobrecarga poseen un selector, que permite programar su rearme de manera manual o automática. Proteger un motor trifásico exclusivamente con un Relevador Térmico de Sobrecarga, es un error en el que incurren muchos profesionales electromecánicos con consecuencias desastrosas. Estos relevadores, tan solo actúan en función del calor acumulado producto de las corrientes que fluyen por ellos, siendo incapaces de tomar en cuenta el sobrecalentamiento que provoca al motor el desbalance de voltaje. Adicionalmente en condiciones de fallas de voltaje sostenidas en el tiempo, del tipo bajo voltaje, sobre voltaje o pérdida de una fase, los Relevadores Térmicos de Sobrecarga, estando programados para el rearme automático, presentarán un desempeño poco satisfactorio. En estas condiciones, desconectarán el motor cuando el calor acumulado innecesariamente supere o iguale al máximo permitido. Una vez que el motor este frío, el relé térmico de sobrecarga se rearmará automáticamente y energizará al motor. Al ser la falla de voltaje sostenida en el tiempo, el relé térmico nuevamente se calentará hasta desconectar al motor, para posteriormente enfriarse y volver a energizarlo. Así este dispositivo de protección, entrara en un ciclo indefinido de maniobras de parada y arranque que dañara al motor de manera irreversible. De igual manera que en el caso anteriormente descrito, de presentarse una sobrecarga

mecánica sostenida en el tiempo, los relés térmicos de sobrecarga entraran en ciclo indefinido de paradas y arranques, dañándose el motor supuestamente protegido. Estando un relé térmico de sobrecarga sometido a un ciclo continuo de calentamiento y enfriamiento, producto de una falla sostenida en el tiempo, en muy poco tiempo estará descalibrado y su capacidad de protección se verá severamente afectada.

2.3.81.- Protecciones por Fallas de Voltaje

Actualmente, la totalidad de la oferta de protecciones de voltaje para motores trifásicos existentes en el mercado opera electrónicamente. Estas, procesan los valores de voltaje de manera analógica o digital, dependiendo de la tecnología con que estén construidas. De presentarse la falla de voltaje, desenergizarán al motor y tan solo lo reconectarán una vez desaparecida la falla. La oferta de protecciones de voltaje para motores trifásicos es muy amplia. La diferenciación entre marcas y modelos está comprendida por funciones de protección, temporización, ajustes, modos de rearme, visualización de las fallas, capacidad de comunicación, formato de la carcasa, etc. El uso de una protección de voltaje para proteger un motor trifásico en ningún momento descarta el uso de un relé térmico de sobrecarga. Ambas protecciones son complementarias, aunque no abarquen todos los escenarios en que el motor deba ser protegido. Lo más importante a la hora de seleccionar una protección por fallas de voltaje es que incluya, inexcusablemente, la protección por desbalance. Luego, dependiendo de la calidad del suministro eléctrico con que opera el motor, deberá considerarse si la protección debe incluir, adicionalmente, las fallas de bajo voltaje o sobre voltaje. La pérdida de una fase es un desbalance extremo. Proteger por secuencia invertida o inversión de fases, se requerirá dependiendo del

tipo de aplicación que desempeñe el motor. Es necesario tener en cuenta que, para obtener el desbalance de voltaje, la protección debe de supervisar las tres fases y procesar sus valores de voltaje. De allí que la diferencia en costos con una protección que incluya todas las fallas de voltaje no es significativa para la cantidad de funciones que realizará. Seleccionar y utilizar una protección de voltaje para un motor trifásico, no es algo sencillo. Primero que todo, se deben descartar aquellos modelos que no incluyan protección por desbalance de voltaje. Luego, se partirá de la premisa que el motor estará sobredimensionado de tal manera, que un desbalance hasta el 8% no lo sobrecalentará a niveles peligrosos, aun en presencia de un sobreesfuerzo mecánico. La mayoría de las protecciones por desbalance poseen un valor fijo del máximo permitido del 8%. Si la premisa anterior es inadmisibles, se deberá utilizar una protección que permita ajustar el valor máximo de desbalance permitido. Es importante recordar que un desbalance de voltaje del 5% provocará un aumento de la temperatura del 50% en los arrollados del motor. Las otras funciones de protección como bajo voltaje y sobre voltaje, deberán de tener valores permitidos similares a los que especifica el fabricante del motor. La protección por pérdida de una fase estará implícita en la de desbalance. Los dispositivos digitales reportan por separado las fallas de desbalance de voltaje y pérdida de una fase, al igual que el resto de las fallas.

2.3.82.- Relevadores Electrónicos de Sobrecarga

Estos dispositivos calculan con tecnología electrónica el calentamiento del motor en función de las corrientes que consume. Cuando el calor llegue al máximo permitido, desenergizarán al motor y lo energizarán nuevamente una vez que se haya

enfriado. Algunos están en capacidad de reportar inversión en la secuencia de las fases, pero lo hacen con el motor en marcha lo que es particularmente peligroso, sobre todo en aquellos procesos con personal asociado al desempeño del motor. En ausencia de una fase solo actuarán si el motor está en marcha, al igual que los Relevadores Térmicos de Sobrecarga, calentándose el motor innecesariamente antes de ser desconectado. Estos dispositivos, son incapaces de actuar inmediatamente ante fallas de voltaje asociadas a la red y mucho menos calcular el calor provocado por el desbalance de voltaje, todo ello debido a que toman solo dos señales de voltaje exclusivamente para energizarse. También es importante destacar, que la mayoría de estos dispositivos no poseen memoria térmica y de presentarse una falla completa del suministro eléctrico, mientras el relevador este enfriando al motor, la información del calor remanente en el motor se perderá y una vez desaparecida la falla de voltaje el motor arrancará con una temperatura interna elevada.

2.3.83.- Relevadores Integrales de Protección de Motores Eléctricos

Estos avanzados dispositivos integran la protección contra sobrecarga y fallas de voltaje en un solo elemento. Están contruidos sobre la base de microcontroladores y supervisan constantemente los valores de las tres corrientes del motor y de los tres voltajes de red. Al ocurrir una sobrecarga, des energizarán al motor y la reconectarán una vez se haya enfriado. Para el cálculo real del calentamiento del motor, utilizan los valores de las tres corrientes y del desbalance de voltaje. De esta manera, obtienen el calor en exceso que adiciona la presencia del desbalance de voltaje y protegerán de manera precisa al motor. Su alta capacidad de procesamiento, les permite distinguir si un contacto del contactor o alguna parte del conexionado que energiza al

motor, presentan alguna alteración que deje al motor operando con dos fases y de ser así lo desconectarán inmediatamente, evitando el sobrecalentamiento innecesario del mismo. Ante fallas de voltaje, desconectarán al motor y no permitirán su arranque hasta que las condiciones en la red sean las adecuadas. Adicionalmente, estos dispositivos ofrecen la función de parada definitiva por fallas sucesivas, prestación que evita que el motor este constantemente arrancando y parándose de manera indefinida ante una sobrecarga sostenida. A diferencia de los Relés Electrónicos de Sobrecarga, los Relés Integrales de Protección si poseen memoria térmica. Esta característica, les permite mantenerla información del calor remanente en el motor de encontrarse la protección bajo una ausencia total de energía. En esta condición, estos avanzados dispositivos, descontarán el calor remanente en el motor, de igual manera que ocurra el enfriamiento del motor producto de encontrarse este en reposo.

2.3.84.- Relevadores de Protección Total de Motores Eléctricos

Al igual que los Relevadores Integrales de Protección, están contruidos sobre la base de microcontroladores y supervisan constantemente los valores de las tres corrientes del motor y de los tres voltajes de red. Realizan de igual manera las mismas protecciones y otras funciones especiales de protección, tales como detección de sub carga, arranque con alta carga y detección rápida de rotor trancado. Permiten también, a través de una sonda de medición, obtener la lectura de la temperatura real interna del motor, con lo cual corrigen las desviaciones que puedan existir, debido a la temperatura ambiental, en el cálculo del calor en función de las corrientes de trabajo del motor y del desbalance de voltaje. La gran capacidad de procesamiento de estos dispositivos, permite obtener información tal como el consumo de energía (Kw/h),

potencia activa (Kw), potencia reactiva (KVA), factor de potencia (FP), horas de operación del motor, etc. La mayoría de los productos de este tipo que se ofrecen en el mercado, permiten el ajuste de todos los parámetros de los parámetros de protección y tiempos de actuación, lo que hacen a los dispositivos de protección más completos y confiables que existen en el mercado.

2.3.85.- Problemas Actuales sobre la Protección de Motores

El resultado de un estudio hecho con más de 9.000 casos de defectos de motores en Perú, indica que más de la mitad de los defectos producidos en los motores se deben a sobrecarga térmica, fallo de fase y humedad, aceite, polvo, etc. Es importante destacar que estos defectos se han producido a pesar de la presencia de un sistema de protección normal, generalmente relés térmicos bimetálicos. Por otra parte, mientras que sólo el 25% de los casos de defectos corresponde a motores de potencia superior a los 40 kW, el costo de la reparación de los mismos supone casi el 80% del total, lo que demuestra claramente que una buena protección es tanto más necesaria cuanto mayor es la potencia del motor.

Como demuestra la estadística de defectos, el arrollamiento del estator es la parte más vulnerable del motor desde el punto de vista térmico, siendo los materiales aislantes de los conductores que forman el bobinado los principales responsables. Los aislantes utilizados están previstos para unas temperaturas de funcionamiento bien definidas según la clase de aislamiento; para motores se utilizan generalmente las clases B y F, que admiten en permanencia unas temperaturas máximas de 120° C y 140° C respectivamente. Los motores se dimensionan normalmente para una vida

teórica del orden de 25.000 horas de servicio (aproximadamente 10 años) con el aislamiento sometido a una temperatura máxima admisible en permanencia (por ejemplo 120° C para clase B). Cuando se sobrepasa esta temperatura, la vida del motor se reduce según una regla generalmente aceptada, llamada Regla de Montsinger. Según esta Regla, cuando a un motor se le hace trabajar en permanencia a 10° C por encima de su temperatura límite (por ejemplo 130° C para clase B), su vida se reduce aproximadamente a la mitad, de 25.000 horas a 10.000 horas, y si se le hace trabajar a 20° C más, su vida se reduce aproximadamente a la quinta parte, es decir, a unas 4.500 horas. Esto equivale a decir que cuando se regula un relé térmico de forma incorrecta a una intensidad superior a la nominal del motor, es muy probable que éste trabaje por encima de su temperatura límite, lo que supone, como hemos visto, una reducción de la vida del mismo.

2.3.86.- Corrientes de Sobrecarga y Cortocircuito del Circuito de Fuerza

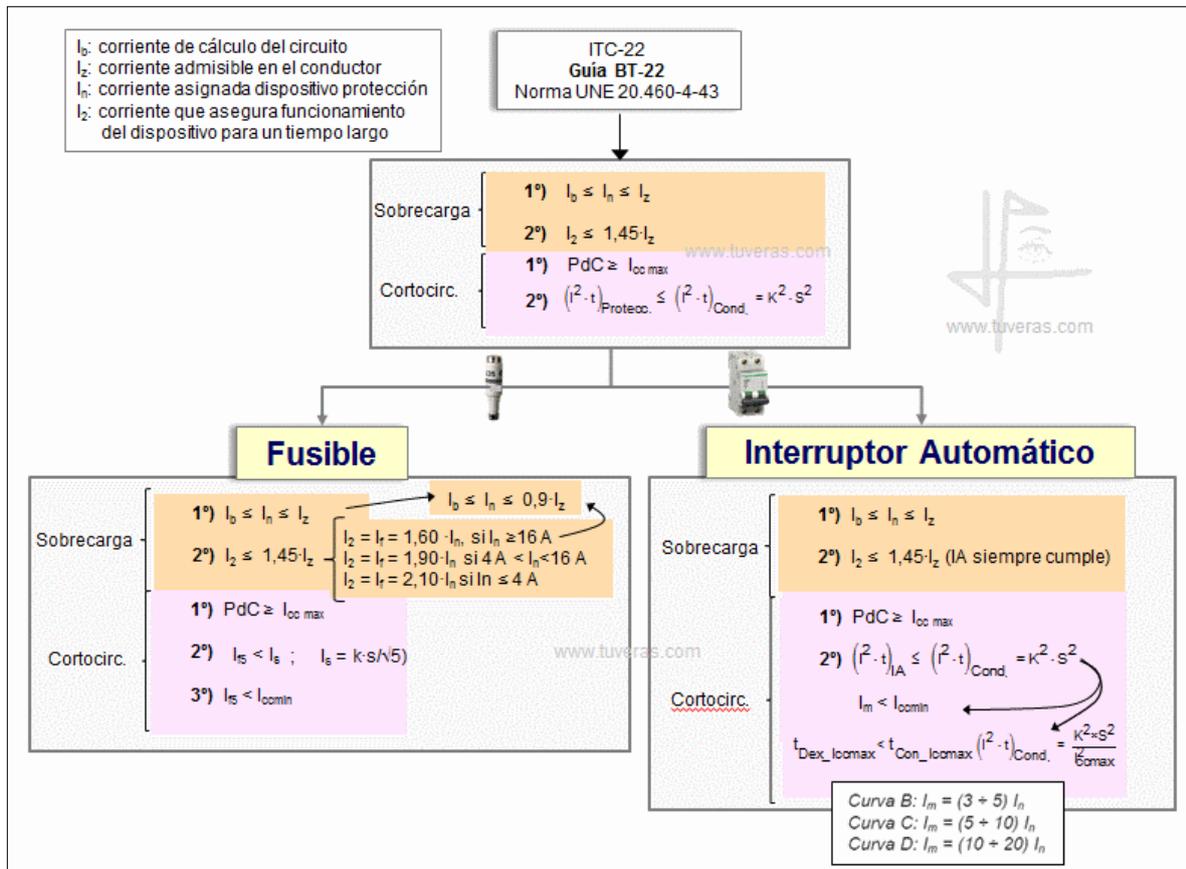


Fig. 26. Corrientes de Sobrecarga y Cortocircuito

2.3.87.- Cálculos de Impedancias de la Red de Alimentación

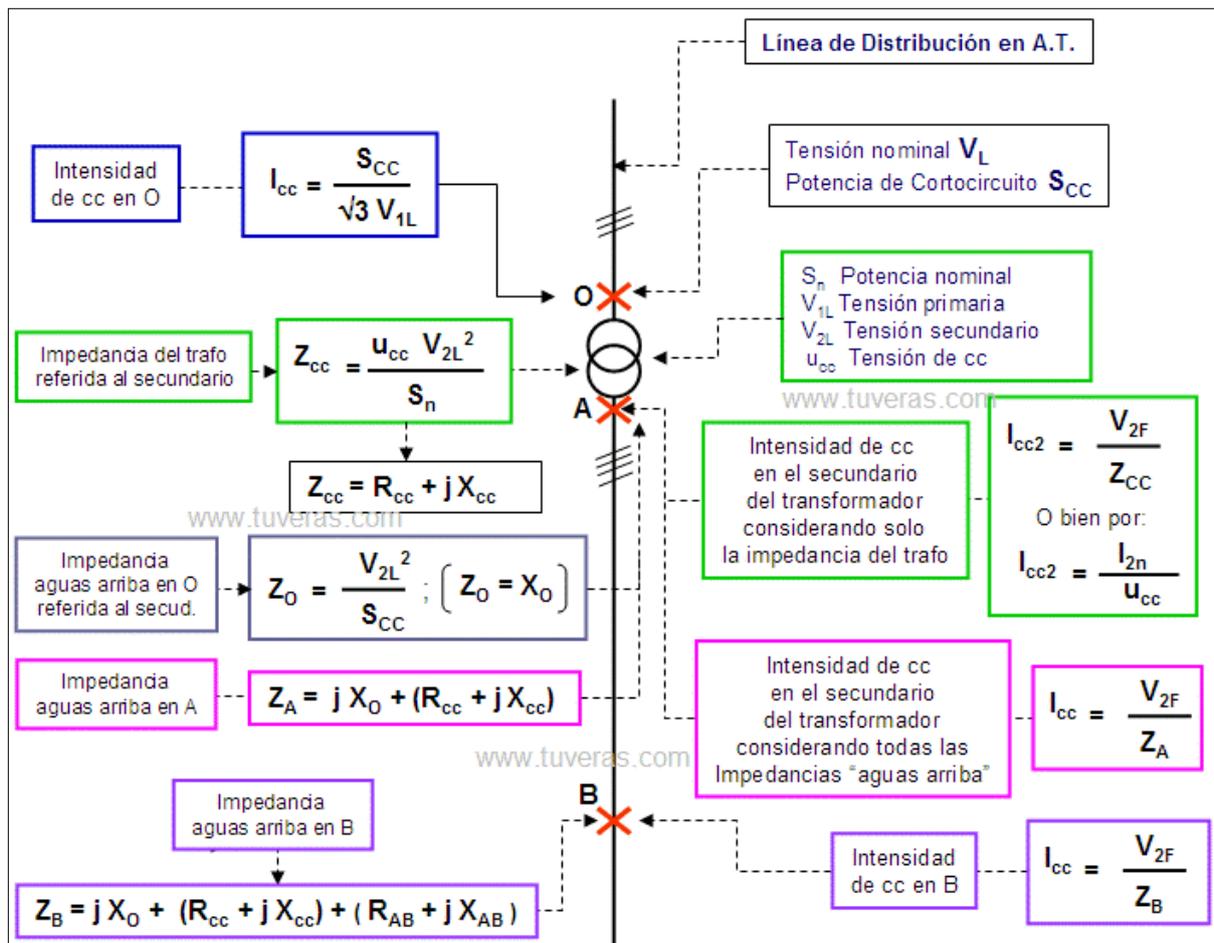


Fig. 27. Cálculos de Impedancias

2.3.88.- Diagrama Unifilar de la Red de Alimentación de la Fábrica Titán

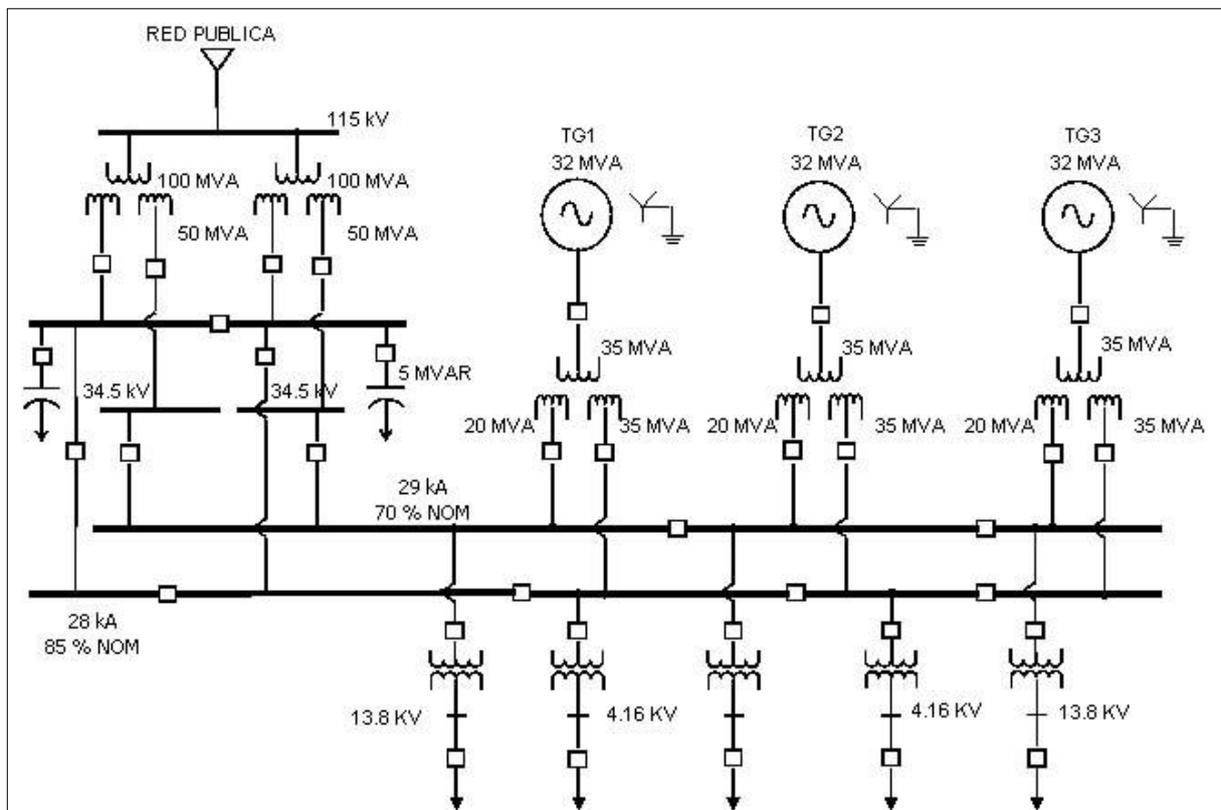


Fig. 28. Diagrama Unifilar de la Red de Alimentación

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1.- MODELO DE SOLUCIÓN PROPUESTO

El modelo de solución propuesto es la instalación de Relevadores Integrales de Protección de motores eléctricos en vez de los Relevadores Térmicos de Sobrecarga y Relevadores Protectores por Fallas de Voltaje; pues éstos integran la protección contra sobrecarga y fallas de voltaje en un solo elemento.

El trabajo mecánico asociado a un motor eléctrico posee múltiples naturalezas: compresión de gases, ventilación, bombeo de líquidos, transporte de cargas, etc. En todos estas aplicaciones, la energía consumida siempre es eléctrica y el consumo será mayor o menor dependiendo del esfuerzo al que sea sometido el motor. La energía consumida fluirá hacia el motor con las corrientes de trabajo, estas pueden variar, a mayor esfuerzo mayor corriente, a menor esfuerzo menor corriente. Todo motor, posee una corriente nominal de trabajo (I_n o RLA) inherente a su construcción

y al esfuerzo que sea capaz de desempeñar (HP). La corriente nominal (I_n o RLA), es la necesaria para que el motor realice el esfuerzo nominal (HP) especificado por el fabricante. La mayoría de los motores permiten exigirles un esfuerzo mecánico adicional sin poner en peligro su integridad física. Esa capacidad de sobre esforzarse sin peligro alguno, se llama factor de servicio. Tal sobre esfuerzo provocara que la corriente de trabajo sea mayor que la corriente nominal (I_n o RLA). Esta se conoce como corriente de factor de servicio (FLA).

Un motor que opere con una corriente superior a la corriente de factor de servicio, estará sometido a una sobrecarga (OC) e incrementara el calor de sus arrollados peligrosamente. Si dicho evento es sostenido en el tiempo, el motor se calentara por encima de su temperatura máxima permitida. Esto afectara la integridad sus arrollados de manera irreversible. El tiempo que tarda un motor, trabajando con una sobrecarga (OC), en calentarse hasta el punto en que se destruyan sus arrollados, es variable y dependerá del valor de la corriente que este consumiendo producto del sobre esfuerzo. Si la sobrecarga mecánica es lo suficiente alta como para que el motor no pueda girar (rotor trancado), este consumirá una corriente seis veces superior a la corriente nominal. Esta corriente se llama corriente a rotor trancado (LRA).

La vida útil e integridad de los arrollados del motor, depende del aislamiento que posee el alambre de cobre con que están contruidos. La temperatura es el principal enemigo del aislamiento. La vida útil del aislante se reduce a la mitad por cada 10 grados centígrados adicionales a la temperatura máxima de operación especificada por el fabricante del motor.

El aumento en los valores de la corriente del motor, también ocurre debido a situaciones en donde el motor opere con bajo voltaje o sobre voltaje. Estas situaciones indeseables, provocarán un aumento de las corrientes de trabajo del motor y de la temperatura de sus arrollados. Un motor que trabaje simultáneamente con sobrecarga y bajo voltaje o sobre voltaje, aumentará aún más sus corrientes de trabajo, en comparación con cualquiera de dichas condiciones por separado, y la temperatura interna alcanzará aceleradamente los niveles máximos permitidos. El desbalance de voltaje provocara un calentamiento extra del motor, independiente del esfuerzo mecánico que pueda estar desempeñando. Un motor operando con una corriente cercana a la de factor de servicio y que este en presencia de desbalance de voltaje, incrementará su temperatura interna aniveles peligrosos. En esta condición la temperatura sobrepasara la máxima permitida, sin que el motor este mecánicamente sobre esforzado, destruyéndose en breve tiempo sus arrollados.

3.1.1.- Deducción Matemática de las Corrientes de Falla.

El tratamiento de las fallas debe ser realizado como una función dependiente del tiempo.

$$t = 0$$

$$e(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R i(t)$$

$$i_a(t) = i_h(t) + i_p(t)$$

$i_h(t)$: solución de la ecuación homogénea correspondiente al periodo transitorio.

$i_p(t)$: solución a la ecuación particular correspondiente al periodo de estado estable.

$$i(t) = \frac{V_{maz}}{Z} \left[\sin(\omega t + \alpha + \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{L} t} \right]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

α = Ángulo de cierre que define el punto sobre la fuente senoidal de voltaje cuando ocurre la falla.

$$\varphi = \tan^{-1} \omega L / R$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_{rms}^2 + i_{DC}^2}$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_{DC}^2 + I_{AC}^2}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\left[\left(0,9\right) \sqrt{2} \frac{V}{x_d} \right]^2 + \left[\left(0,9\right) \frac{V}{x_d} \right]^2}$$

3.1.2.- Características Constructivas del Banco de Condensadores

Son modulares, auto soportados, fabricadas con estructuras de plancha de fierro LAF de hasta 3 mm, puertas, techo y tapas.

El grado de protección estándar es IP20 y se pueden fabricar hasta con un grado de protección IP55 (protegido contra el polvo y contra chorros de agua en cualquier dirección).

Todas las superficies metálicas son pintadas con dos capas de pintura de base anticorrosiva y dos capas de pintura de acabado color gris RAL7000 o el color especificado por el usuario.

Inmediatamente antes del pintado, las superficies metálicas son sometidas a un proceso de arenado comercial.

La estructura está formada por columnas y travesaños soldados entre sí (también se puede suministrar con estructuras empernadas) para proporcionar un alto grado de robustez mecánica. Las estructuras y los soportes son completamente modulares, permitiendo añadir nuevas estructuras hacia los costados para ampliación futura.

Las tapas laterales, posteriores y el piso son desmontables. El frente dispone de puerta frontal con rejillas de ventilación y/o con ventiladores; dependiendo de la cantidad de calor que es necesario disipar.

Cada puerta dispone de bisagras robustas y cerraduras tipo manija con llave que proporcionan hasta tres puntos de contacto con la estructura del Tablero.

Los Bancos de Condensadores automáticos disponen de un Regulador Automático de Potencia Reactiva que puede ser de 6 pasos o de 12 pasos. La señal de corriente necesaria para medir el factor de potencia debe provenir de un transformador de corriente instalado en el alimentador principal de la barra de distribución donde se desea compensar la energía reactiva.

Se debe analizar la red para determinar la potencia y el tipo de Banco de Condensadores que se necesita para efectuar la compensación de energía reactiva y/o para definir los filtros de armónicos que se deben instalar.

Todas las partes metálicas son conectadas a una barra de tierra firmemente empernada a la estructura de la Celda.

3.1.3.- Consideraciones Constructivas

A.- Dimensionamiento del gabinete considerando la ventilación necesaria.

B.- El banco deberá ser automático con regulador de factor de potencia de 12 pasos automático.

C.- Deberá considerarse fusibles ultra rápidos y su porta fusible dentro del tablero.

D.- Considere contactores especiales para banco de condensadores, según la potencia y la corriente de diseño.

E.- Considere también la ventilación.

3.1.4.- Diseño del Banco de Condensadores

Datos de la Red:

- **Suministro:** Trifásico.

- **Nivel de Tensión:** 440 V

- **Frecuencia:** 60 Hz

- **Factor de Potencia Inicial:** 0.8

- **Ubicación de la Planta:** Lurín

- **Zona de Concesión:** Luz del Sur

- **Potencia de la Planta:** 800 kVA

3.1.5.- Potencia Trifásica del Banco de Condensadores

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$\cos \phi_2 = \phi_2 = \text{arc cos } 0,95$$

$$\phi_2 = 18^\circ$$

$$\tan \phi_2 = \frac{Q_1}{640 \text{ kW}}$$

$$Q_2 = 640x \tan 18^\circ$$

$$Q_2 = 208 \text{ kVAR}$$

$$\Rightarrow Pot_{Banco} = Q_1 - Q_2$$

$$Pot_{Banco} = (480 - 208) \text{ kVAR}$$

$$**Pot_{Banco} = 272 \text{ kVAR}**$$

3.1.6.- Capacidad en μF de cada Condensador

$$Q_{c_1} = \frac{272}{3} = 90,6 \text{ kVAR}$$

$$Q_{c_1} = \frac{V^2}{X_C}$$

$$X_C = \frac{(440 \text{ V})^2}{90600 \text{ VAR}}$$

$$X_C = 2,1 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega_C}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$I$$

$$\omega = 377$$

$$C = \frac{1}{2,1 \times 377}$$

$$C = 0,0012 \times 10^6 \mu F$$

3.1.7.- Corriente que Soporta cada Condensador

$$Q = \sqrt{3} \times I^2 \times X_C$$

$$I = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{3} \times X_C}}$$

$$I = \sqrt{\frac{208000}{\sqrt{3} \times 2,1}}$$

$$I = 239 A$$

3.1.8.- Diseño del Contactor a Emplearse

$$I_{DISEÑO} = 1,25 \times I$$

$$I_{DISEÑO} = 1,25 \times 239 A$$

$$I_{DISEÑO} = 298.75 A$$

$$I_{DISEÑO} = 299 A$$

3.1.9.- Valor Comercial del Contactador a Emplear

Contactador:

3 x 300 A – 300 kVAR

3.1.10.- Dimensionamiento del Gabinete

1,45 m x 1,2 m x 0,9 m

DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE BANCO DE CONDENSADORES

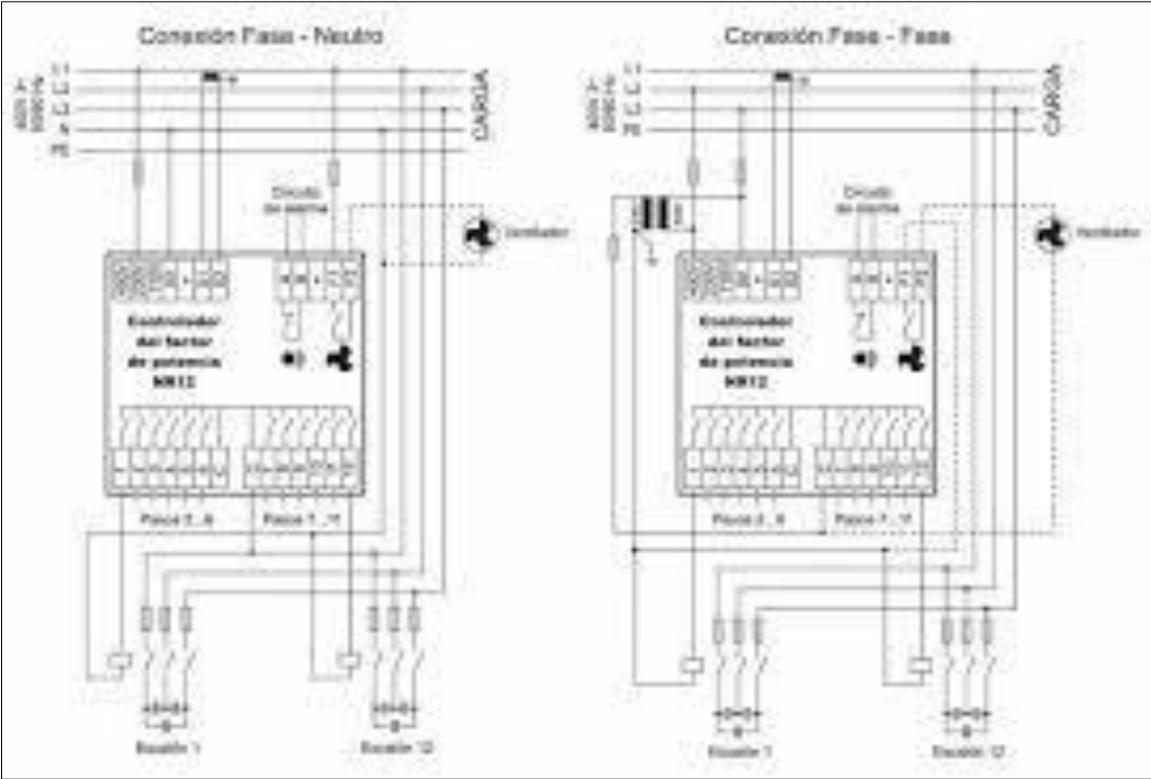


Fig. 29. Diagrama Unifilar del Banco de Condensadores

IMÁGENES DEL BANCO DE CONDENSADORES



Fig. 30. Contactores de Protección del Banco de Condensadores



Fig. 31. Gabinete de Protección

DIAGRAMA UNIFILAR DE PUNTOS CRÍTICOS

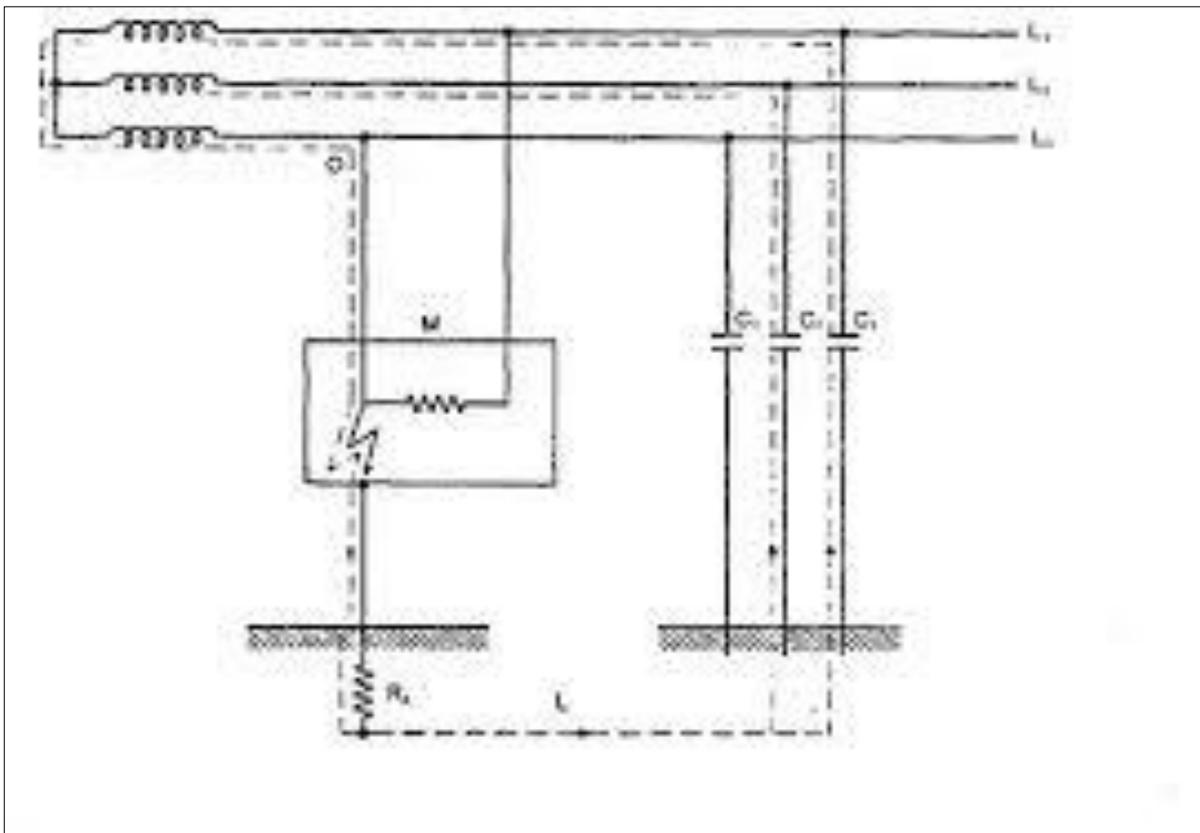


Fig. 32. Diagrama Unifilar de Puntos Críticos

ESQUEMA DE UN TABLERO DE PROTECCIÓN ELÉCTRICO

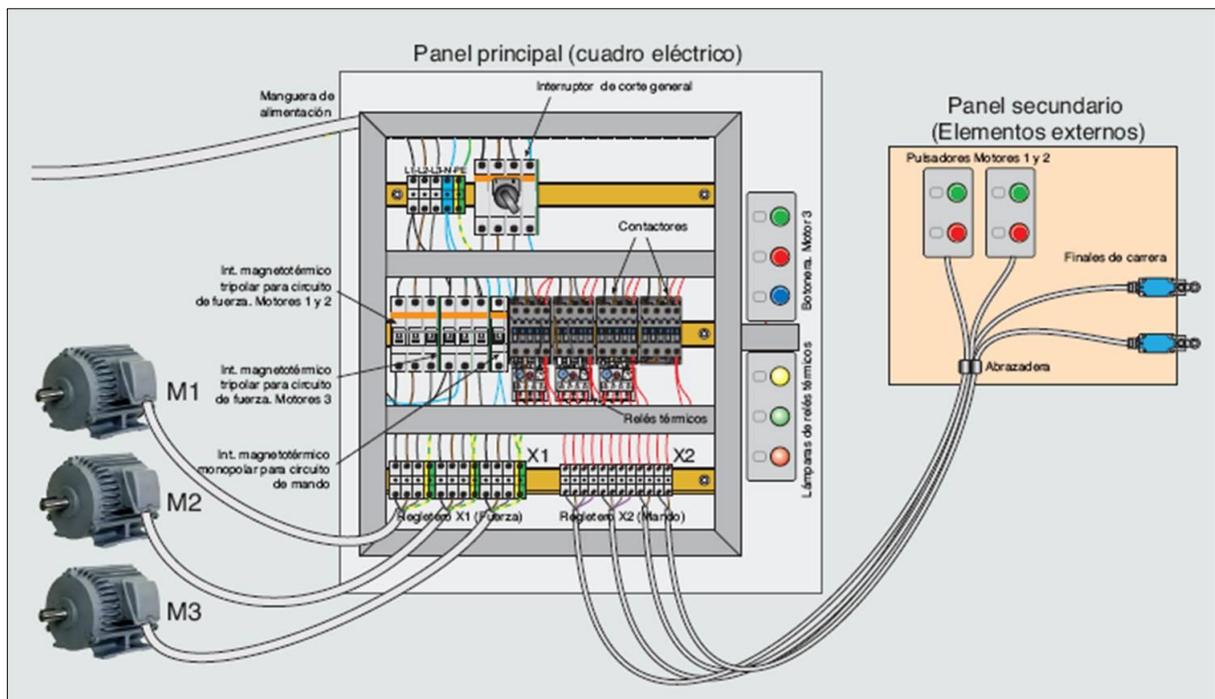


Fig. 33. Esquema de un Tablero de Protección Eléctrico

3.2.- RESULTADOS

La instalación de Relevadores Integrales de Protección de motores eléctricos en vez de los Relevadores Térmicos de Sobrecarga y Relevadores Protectores por Fallas de Voltaje; protegen mejor los motores de inducción eléctrica pues éstos integran la protección contra sobrecarga y fallas de voltaje en un solo elemento.

El Código Nacional de Electricidad, es prácticamente muy detallado respecto a la protección de los circuitos derivados del motor. El objetivo es evitar incendios de origen eléctrico en dichos circuitos y en los conductores de alimentación al motor. En dicho Código se especifica claramente los sistemas de sobrecargas y de cortocircuitos tanto para los conductores de alimentación como para los circuitos derivados, así como el calibre mínimo de los cables que debe ser utilizado para un solo motor o grupo de ellos.

En caso de cortocircuito en el interior del motor el sistema de protección contra cortocircuitos del circuito auxiliar evitara que se dañe, además del propio motor, el arrancador y el equipo de control del mismo. El sistema de protección del circuito auxiliar contra sobrecargas, determinado en parte por la corriente en el arranque y en el tipo de motor, está proyectado para proteger a los conductores de alimentación contra sobrecargas continuadas. Esta protección en la línea es, sin embargo, más elevada que la necesaria para la protección del motor contra sobrecargas constantes en funcionamiento. Por esto, es necesario, además, proteger al propio motor contra sobrecargas operativas utilizando dispositivos de máxima los cuales van incluidos en la carcasa del motor o bien el arrancador o en el regulador. Otros dispositivos

protectores que serán considerados además de máxima, incluyen protecciones contra baja tensión y sobretensión, interrupción del campo en derivación, inversión e interrupción de fases y protecciones contra temperatura y desvío de frecuencia.

CONCLUSIONES

Se concluye que la utilización de Relevadores Integrales de Protección de motores eléctricos en vez de los Relevadores Térmicos de Sobrecarga y Relevadores Protectores por Fallas de Voltaje dan una protección más integral por lo que están constituidas en un solo elemento.

Se concluye que aislando las fallas eléctricas se optimiza el funcionamiento de los motores de inducción, asimismo disponer de un buen sistema de aterramiento para evitar descargas eléctricas imprevistas para proteger los equipos, instalaciones y al personal operativo.

Se concluye que el análisis de la estabilidad de tensión de este sistema eléctrico de protección, es de mucha importancia, debido a que, mediante la aplicación de sus resultados, se puede evitar un colapso de tensión parcial o total.

Se concluye que es sumamente importante la modelación adecuada de los componentes del Sistema Eléctrico de Potencia, así como la validez de sus parámetros y el establecimiento de las condiciones operativas del mismo.

Se concluye que la aplicación de técnicas de análisis en estado estable, permiten obtener resultados confiables que pueden permitir tomar decisiones sobre la operación y planeación del Sistema Eléctrico de Potencia, así mismo nos permite entre otros, determinar la sobrecarga en líneas de transmisión y en transformadores,

determinar los márgenes de estabilidad de tensión y determinar la infraestructura del S.E.P. para satisfacer los requerimientos impuestos por el crecimiento de la demanda.

Se concluye que para la determinación de la demanda máxima que alimenta esta área de estudio, fue necesario analizar el comportamiento del Sistema Eléctrico tanto en condiciones normales y bajo la ocurrencia de contingencias.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar los Relevadores Integrales de Protección de motores eléctricos en vez de los Relevadores Térmicos de Sobrecarga y Relevadores Protectores por Fallas de Voltaje porque dan una protección más integral al estar constituidas en un solo elemento.

Se recomienda utilizar software para el diseño de un sistema de protección eléctrico. El constante desarrollo tecnológico de las aplicaciones virtuales para maniobrar simulaciones de sistemas reales permite el avance científico y anticipado de las ramas de la educación. En la Ingeniería Eléctrica se aprecia un número considerable de software dedicados de manera especializada a la investigación e implementación de diversos escenarios. Sin embargo, es pertinente que los conceptos fundamentales sean conocidos ampliamente para abordar problemáticas adecuadamente.

Se recomienda que en materia de los mercados energéticos se evalúen aspectos teóricos que son descritos en este trabajo. La empresa de energía a nivel nacional e internacional ha dividido el comercio de energía en las fases de generación, transmisión y distribución, con el propósito de permitir mayores activos en el proceso de comercialización. Cada sector necesita variables específicas para operar correctamente determinando un tipo de red en particular, el tipo de red se describe a

partir de su nivel de tensión. Actualmente los sistemas de protección cubren gran parte de los objetivos planteados por cada entidad o empresa dedicada al suministro de energía en cualquiera de sus etapas, generación, transmisión, distribución o comercialización.

Se recomienda que el buen funcionamiento de un sistema de protección depende de la selección adecuada de los dispositivos de protección durante el desarrollo del estudio mientras está en ejecución.

TABLERO DE PROTECCIÓN ELÉCTRICO



Fig.34. Tablero de Protección Eléctrico

BIBLIOGRAFÍA

- Buitrago, John. (2012). Diseño y Construcción de un Sistema de Protección Eléctrico para una Potencia de 5 MW. Tesis. Bucaramanga.
- Godoy, Pablo. (2013). Diseño y Construcción de una Máquina Eléctrica para la Fabricación de Pre-Fabricados de Concreto. Tesis. Riobamba
- Mott, Robert. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas. Ed. Pearson. 1ª Edición. Mexico.
- Guirado, Rafael. (2006). Tecnología Eléctrica. Ed. Mc Graw Hill. 4ª edición. Mexico.
- Enríquez, Gilberto. (1995). Fundamentos de Protección en Sistemas Eléctricos por Relevadores. Ed. LIMUSA. 2ª Edición. México.
- Altuve, Héctor. (1992). Protección en Sistemas Eléctricos de Potencia. Ed. CENASE CFE. 1ª Edición. México.

ANEXOS

Anexo 1. Pararrayos.....	109
--------------------------	-----

ANEXO 1. PARARAYOS

Los dispositivos de protección se instalan en el Tablero de Distribución, son de uso obligatorio y se ubican aguas arriba de los Interruptores Diferenciales; la conexión es entre Fases y Tierra (Barra), y adicionalmente entre Neutro y Tierra (Barra), para proteger contra las Sobretensiones que ocurren en la Puesta a Tierra; también se deben considerar los eventuales desbalances en las Tensiones de Fase que se presentan con las Fallas Fase – Tierra, insertando un Limitador de Sobretensión en la conexión impedante.

La Categorización de las Instalaciones

Las Normas Internacionales establecen categorías de aislamiento, al dividir las instalaciones eléctricas hacia el lado del usuario final, en secciones sobre las cuales se reconocen normalmente tres Niveles de Exposición bajo, medio y alto a disturbios externos o de la Red, que afectan la acometida y las instalaciones internas.

El Estándar CEI-664-1, define para los componentes y equipos una clasificación en cuatro categorías, asignando los respectivos Niveles Básicos de Aislamiento mediante Tensiones Impulsionales de sostenimiento; asimismo define las distancias mínimas de aislamiento en el aire.

- **Categoría IV.**- Recibe las mayores solicitaciones de sobretensión, se halla en el lado de la fuente, aguas arriba del Tablero de Distribución, está expuesto a rayos directos o indirectos.

- **Categoría III.**- Está constituida por el Propio Tablero de Distribución y los sub alimentadores troncales o principales, le favorece la Impedancia de los cableados aguas abajo.

- **Categoría II.**- La conforman los subcircuitos largos y los circuitos de Tomacorrientes en función de su distancia a las Categorías III (>10m) y IV (>20m), las sobretensiones llegan atenuadas.

- **Categoría I.**- Abarca los equipos pre protegidos, tanto eléctricos como electrónicos, conectados en los circuitos para su funcionamiento, las sobretensiones que se propagan se aplanan y alargan.

Se requiere conocer para cada zona de una instalación, el Nivel de Exposición a las Sobretensiones Impulsionales y la Categoría a la que pertenece, para elegir el nivel de Protección adecuado.

La mayoría de las instalaciones de interior o de usuario final, caen en el rango de Media o Baja Exposición, salvo que estén muy alejadas o en una zona de alta Tasa de caída de Rayos.

- **Zona de Exposición Alta.**- Las instalaciones en zonas abiertas expuestas directa o indirectamente al impacto de Rayos y/o también a severas sobretensiones de maniobra no usuales.

- **Zona de Exposición Media.**- Las instalaciones en zonas de nivel iso cerámico medio o alto (>15) y/o expuestas a frecuentes maniobras con grandes cargas capacitivas.

- **Zona de Exposición Baja.**- Las instalaciones en zonas poco expuestas a Rayos, con nivel iso cerámico bajo (<115) y/o con maniobras con pequeñas cargas.