



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 443419

Visto el Informe N° 249-2024-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 233-2024

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN OBRAS ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN

Presentado por:

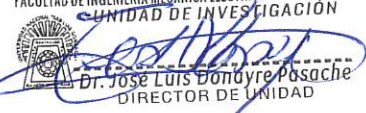
HUARCAYA PEÑA, WILMER ALDAIR

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de CINCO POR CIENTO (5%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 24 de Octubre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Donayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



TESIS

“Gestión de la seguridad y salud en obras eléctricas en baja tensión”.

INFORME FINAL DE TESIS

Línea de investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado por:

WILMER ALDAIR HUARCAYA PEÑA

**Ica, Perú
2024**

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional durante mi formación académica, y el haberme inculcado buenos valores hacia el prójimo; A mi hermano, quien fomento en mi, el interés y el motivo de construir una profesión. A mis abuelos quienes siempre me acompañaron en todas las etapas y los momentos mas significantes de mi vida.

Wilmer Huarcaya

AGRADECIMIENTO

A Dios quien fue mi fortaleza en los malos momentos; A mi familia que me brindaron un espacio en su morada a en los años de mi carrera universitaria; A mis docentes y colegas que me apoyaron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

Portada.	i
Dedicatoria.	ii
Agradecimientos	iii
Índice.	iv
- Índice de contenidos.	v
- Índice de tablas.	vi
- Índice de figuras.	vii
Resumen	viii
Abstract.	ix
I.- INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Planteamiento del Problema.....	11
1.2. Antecedentes de la Investigación	11
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	11
1.2.2. Antecedentes Nacionales	13
1.2.3. Antecedentes Locales.....	15
1.1 Teoría Relacionada al Tema.....	15
1.4 Formulación del problema	18
1.4.1. Problema general:.....	18
1.4.2. Problemas Específicos	18
1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	18
1.5.1 Justificación	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 Hipótesis y variables de la investigación	20
1.4.1 Hipótesis.....	20
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA.	21

2.1. Diseño de la investigación.	21
2.1.1. Tipo de investigación	21
2.1.2. Nivel de investigación.....	21
2.2. Variables, Operacionalización.	22
2.2.1. Del Problema General	22
2.3. Población y muestra	24
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	26
2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
III RESULTADOS	28
3.1 Aspectos Generales	28
3.2. Sistemas eléctricos en relación a la puesta a tierra y protección contra los contactos directos e indirectos	39
IV. DISCUSIÓN.	86
V. CONCLUSIÓN.	87
VI. RECOMENDACION.	88
BIBLIOGRAFIA	89
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Operacionalización variable independiente.....	23
Tabla II: Operacionalización variable dependiente	25
Tabla III: Factor de recorrido corriente por el cuerpo humano.....	36
Tabla IV: Resistencia de pavimentos.....	41
Tabla V: Tiempos máximos soportables a la tensión de contacto en vacío.....	48
Tabla VI: Riesgo de intervención para interruptores diferenciales de i_{an}	55
Tabla VII: Valores de r_t que satisfacen la condición en relación al valor de i_{an}	57
Tabla VIII: Tiempos máximos de intervención de los interruptores diferenciales de alta sensibilidad.....	78
Tabla IX: Protecciones contra los contactos directos o indirectos en los sistemas eléctricos.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Célula en estado de reposo.....	30
Figura 2: Esquema eléctrico equivalente a una célula	31
Figura 3: Variación de potencial, durante la excitación de la célula	31
Figura 4: Curva de excitabilidad.....	32
Figura 5: Efecto sobre el musculo de los estímulos eléctricos aplicados sobre el nervio.....	34
Figura 6: Limite de la peligrosidad de la corriente eléctrica.....	37
Figura 7: Contacto de una persona entre una parte en tensión y el terreno	40
Figura 8: La grúa ante una falla de aislamiento asume el potencial U_t	41
Figura 9: persona toca la grúa en un punto del terreno a potencial distinto de cero y solo una parte de U_t	43
Figura 10: persona que toca simultáneamente el gancho de la grúa a la tensión U_t	44
Figura 11: Contacto directo e indirecto.....	46
Figura 12: Curva de seguridad. Línea continua según la IEC	47
Figura 13: Sistema TT. El neutro está conectado rectamente a tierra	48
Figura 14: Circuito de una falla a tierra en un sistema TT.....	49
Figura 15: Corriente falla I_g es interrumpida, según el dispositivo de protección en el tiempo t	51
Figura 16: Características de intervención de un fusible	52
Figura 17: Características de intervención de un interruptor automático.....	53
Figura 18: Esquematación de dispositivo diferencial	54
Figura 19: Sistema trifásico sin neutro en ausencia de una falla a tierra.....	54
Figura 20: suma de las cuatro corrientes es constante e igual a cero	55
Figura 21: ventaja conseguida con el interruptor diferencial	56
Figura 22: Los diferentes tipos de sistemas TN	59
Figura 23: circuito en un tiempo tal que la tensión sobre las masas sea soportable para el cuerpo humano.....	59
Figura 24: circuito típico de falla sobre la masa en un sistema TN.....	61
Figura 25: La conexión equipotencial local P A disminuye aún más la tensión de contacto....	61
Figura 26: sistema TN no es necesario conectar las masas a tierra. Sin embargo una eventual conexión a tierra mejora las condiciones de seguridad.....	63
Figura 27: Tensiones que originan sobre el conductor neutro.....	65
Figura 28: Tensiones peligrosas que se originan sobre la instalación de tierra del neutro y sobre las masas según su tipo de conexión.....	65
Figura 29: Un sistema TT puede coexistir con un sistema TN, solo si está protegido con interruptores diferenciales.....	66

Figura 30: El interruptor diferencial, de alta sensibilidad no protege a la persona contra un contacto con la masa en tensión al presentarse condiciones anómalas sobre el neutro.....	69
Figura 31: Sistema IT, el neutro está aislado a través de una impedancia las masas van conectadas a una instalación de tierra local.....	70
Figura 32: Sistemas eléctricos con neutro aislado una falla franca a tierra da lugar a una corriente de falla predominantemente capacitiva del pequeño valor.....	70
Figura 33: Al permanecer una pequeña falla a tierra el sistema deja de ser IT	72
Figura 34: Dispositivo de control de aislamiento.....	72
Figura 35: Características de intervención de los interruptores diferenciales en comparación con la curva de seguridad, tiempo-corriente.....	78
Figura 36: Contacto bipolar fase-neutro en un sistema eléctrico con neutro a tierra.....	79
Figura 37: Interruptor diferencial trifásico de alta sensibilidad.....	80
Figura 38: Las corrientes de dispersión sobre las fases	81
Figura 39: Corto circuito arrollamiento del neutro.....	82
Figura 40: Característica de interacción de dos interruptores diferenciales comerciales , al permanecer corrientes continuas hacia tierra variables de 30 a 1000 mA.....	84
Figura 41: Falla a tierra en circuitos de rectificación formas de ondas de la corriente de falla.....	85

RESUMEN

En la gestión de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión, la situación problemática radica en los riesgos significativos asociados con el contacto directo con partes activas, que pueden causar graves daños como fulguración y quemaduras. A pesar de la existencia de normativas como la Ley N° 29783 y el Decreto Supremo N° 003-2013-TR en Perú, la implementación efectiva de estas normativas sigue siendo un desafío, especialmente en contextos donde los trabajadores no están adecuadamente capacitados.

La estrategia metodológica adoptada incluye técnicas mixtas de recolección de datos: encuestas a trabajadores y supervisores, entrevistas semiestructuradas, observación directa de prácticas de trabajo y revisión documental de registros de incidentes y programas de capacitación. La muestra se seleccionó mediante un muestreo estratificado, asegurando la representatividad de diferentes subgrupos como el tamaño de la empresa y la región geográfica.

Los resultados indican que, aunque se cumplen las normativas en gran medida, existen áreas críticas que necesitan mejoras, especialmente en la capacitación continua y el uso adecuado de Equipos de Protección Personal (EPP). Además, se observó que los interruptores diferenciales de alta sensibilidad, aunque efectivos, no son suficientes por sí solos para garantizar la protección contra contactos directos en todas las circunstancias.

En conclusión, la gestión efectiva de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión requiere una combinación de medidas técnicas y educativas. Se recomienda implementar sistemas de supervisión y monitoreo rigurosos, junto con programas de capacitación y sensibilización continua para los trabajadores. La adherencia estricta a las normativas y la formación especializada son esenciales para minimizar los riesgos y proteger la vida y la salud de los trabajadores en el sector eléctrico.

Palabras clave: Seguridad, baja, tensión, diferencial.

ABSTRACT

In the management of safety and health in low voltage electrical works, the problematic situation lies in the significant risks associated with direct contact with live parts, which can cause serious injuries such as fulguration and burns. Despite the existence of regulations such as Law No. 29783 and Supreme Decree No. 003-2013-TR in Peru, the effective implementation of these regulations remains a challenge, especially in contexts where workers are not adequately trained.

The methodological strategy adopted includes mixed data collection techniques: surveys of workers and supervisors, semi-structured interviews, direct observation of work practices and documentary review of incident records and training programs. The sample was selected by stratified sampling, ensuring the representativeness of different subgroups such as company size and geographic region.

The results indicate that, although regulations are largely complied with, there are critical areas in need of improvement, especially in ongoing training and the proper use of Personal Protective Equipment (PPE). In addition, it was observed that high-sensitivity residual current circuit breakers, although effective, are not sufficient on their own to ensure protection against direct contact in all circumstances.

In conclusion, effective health and safety management in low voltage electrical works requires a combination of technical and educational measures. It is recommended that rigorous supervision and monitoring systems be implemented, along with continuous training and awareness programs for workers. Strict adherence to regulations and specialized training are essential to minimize risks and protect the life and health of workers in the electrical sector.

Key words: Safety, low, voltage, differential.

I.- INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El principio de la seguridad eléctrica en baja tensión es muy importante para Ingenieros y Técnicos que tienen relación con el diseño, selección, mantenimiento y operación de las mismas. En el estudio solo se requiere de conceptos elementales de matemáticas de nivel medio, electromagnetismo, electrotecnia (circuitos de corriente continua y corriente alterna), teniendo un enfoque que trata de hacer un planeamiento claro de conceptos dando solución a problemas reales y haciendo un análisis de las múltiples aplicaciones. En la mayoría de argumentos a tratarse pueden ser aplicados para afrontar los diversos temas de seguridad eléctrica para esto es necesario, antes de realizar un estudio específico contar con toda la información básica, en otras palabras, discutir la metodología para conseguir el máximo nivel de seguridad aceptable para los diversos proyectos a ejecutarse. Lo primordial es conocer los principios básicos de Seguridad eléctrica en Baja Tensión, incidiendo esencialmente en la protección de los Equipos y del personal que está laborando de posibles daños. En conclusión, este tema presenta un aporte importante al desarrollo; De la Seguridad Eléctrica, sabiendo qué seguridad deseamos, cuál sería la que podría obtener, para esto será necesario contar con herramientas básicas y netamente teóricas sabiendo los principios de la seguridad eléctrica en baja tensión.

1.2. Antecedentes de la Investigación

La presente investigación tiene como base científica y teórica los siguientes trabajos previos internacionales, nacionales y locales; dichas investigaciones han sido realizadas anteriormente y tienen relación con la problemática planteada en este estudio.

1.2.1. Antecedentes Internacionales

En el 2022, Lozada & Mosquera; Plantean “Esta investigación analizó las condiciones de seguridad para las instalaciones de redes eléctricas de media tensión en una empresa de servicios de obras civiles y eléctricas de la ciudad de Cali. Metodología: Estudio descriptivo, (variables cuantitativas y cualitativas); de corte transversal, se incluyó como población y muestra de estudio a 33 trabajadores operativos expuestos a riesgo eléctrico en sus actividades laborales. A los cuales se le aplicó, la matriz de diagnóstico de cumplimiento de los requisitos Retie; adicionalmente un instrumento de verificación de cumplimiento basado en la resolución 5018 del 2019. Resultados: Respecto a la confirmación del cumplimiento de la empresa en términos normativos, el diagnostico Retie, mostro calificación general de la evaluación de 93%, y como aspectos críticos, el

cumplimiento en los requisitos para el proceso de distribución y los requisitos para instalaciones de uso final, calificados con 78% y 55% respectivamente. Del diagnóstico basado en la resolución 5018 del 2019, se obtuvo un resultado promedio de 78%, identificando como puntos críticos las generalidades de los trabajos en líneas de transmisión, calificado con 63%; los relacionados con la construcción de líneas, calificados con 50%, los relacionados con trabajos con tensión, calificados con 76%; los relacionados con el manejo de cargas en alturas y otras condiciones especiales calificados con 79%, entre otros. En términos de análisis, se vinculó a estos dos instrumentos, una encuesta de caracterización sociodemográfica, de la cual se obtuvo información referente al nivel académico, del estrato socioeconómico, del estado civil, de las personas a cargo y del número de hijos de los participantes en el estudio. Conclusión: Se proponen líneas de mejora orientadas a la documentación del SG-SST, a la capacitación, formación y entrenamiento en los cargos existentes; a la gestión y seguimiento de hallazgos; y finalmente a la certificación del personal” [1].

También en el 2022, lozano & Montenegro; Establecen “Dado los niveles de alta tensión para el funcionamiento de vehículos eléctricos e híbridos y la peligrosidad en las intervenciones en instalaciones eléctricas, junto con los riesgos para la vida de las personas, la presente monografía tiene como fin en primer lugar, realizar una evaluación y análisis de los riesgos que se puedan presentar en el taller de mantenimiento automotriz Eléctricos e híbridos ZE, donde se evidencia una falta de conocimiento frente a los factores de riesgo que puedan causar los vehículos y las áreas de trabajo, al igual una falta de conocimiento en medidas de seguridad e implementación de sistemas de gestión y seguridad en el trabajo” [2].

Velásquez en el 2020; “El trabajo de grado, desarrollado en la empresa Fertecnica G SAS, especializada en el transporte de energía eléctrica para líneas de alta tensión, tiene como objetivo que la empresa cuente con un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, de tal manera que se minimicen los riesgos, la accidentalidad y el ausentismo y se beneficie con la mejora de la productividad y la salud de los trabajadores. En el proyecto, el método de investigación utilizado es inductivo, ya que parte de la observación en los lugares y centros de trabajo, para tomar los registros respectivos, clasificar y analizar la información, y finalmente concluir. Fertecnica G SAS, implementando un plan de mejoramiento en los estándares mínimos del sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST, con base en la resolución 0312 de 2019, cumple con los requisitos legales y documentando el SG-SST, bajo la norma ISO 45001: 2018 fortalece su sistema de gestión. Los aportes del proyecto de grado documental a conocer. Matriz de partes interesadas, instrucciones para la gestión de riesgos, matriz de identificación y análisis de riesgos, procedimiento de gestión del cambio, procedimiento de auditoría interna,

contribuyen al sistema de gestión, seguridad y salud en el trabajo. El trabajo de grado es importante, ya que describe el estado del SG-SST, identifica los requisitos reglamentarios aplicables a la empresa, define un plan anual y proporciona la gestión de Fertecnica G SAS, considerando tomar la decisión para la certificación en la norma ISO 45001: 2018” [3].

1.2.2. Antecedentes Nacionales

En el 2021, Reyna Basilio; “El siguiente trabajo de investigación se basará en la propuesta de aplicación de sistemas integrados de gestión en los campos de la calidad, seguridad y salud ocupacional y medio ambiente con la finalidad de disminuir los costos operativos de las empresas especializadas en servicios eléctricos mediante la aplicación de la experiencia y diversas técnicas en la especialidad de ingeniería industrial, lo que permitirá la adopción e implementación de metas y objetivos fáciles de medir, implementar sistemas de control apropiados sobre la base de estrategias e indicadores medibles. Esta investigación se puede realizar en tiempo real y en el espacio, por lo que se considera un proyecto factible. Para seleccionar la información y los datos a utilizar y procesar en esta aplicación, se evaluarán y analizarán las diferentes operaciones realizadas en el proceso y diagrama de flujo de la empresa a la que se hace referencia. Además, se analizará el estatus quo de la empresa, de modo que sea posible explicar en detalle el diagnóstico de ella, durante la investigación, evaluar los costos de pérdida que soporta la empresa; luego hacer recomendaciones y desarrollar y realizar mejoras. Por tanto, se han identificado tres de los distintos campos propiedad de la empresa, que son los elementos básicos del sistema de gestión integrado, objeto de este estudio de aplicación. Estas áreas son la calidad, el medio ambiente y la seguridad y salud ocupacional. La compañía en la que se enfocará este trabajo informativo es una que se inclina a proporcionar servicios eléctricos de baja tensión. Además, se encarga a desarrollar proyectos de comunicaciones, obras y arquitectura para organizaciones del ámbito público y privado. Luego de haber realizado los cálculos correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados financieros que corresponden a un VAN de S/1,604.85 soles, una Tasa Interna de Retorno (TIR) DE 25.03%, B/C de 1.7 que corresponde a cada sol invertido; 1.7 soles ganados y un PRI de 10 años” [4].

Ticse Sotomayor en el 2023; Plantean “La investigación "Implementación de Guía de Buenas Prácticas para Gestionar la Seguridad y Salud en Servicios Generales F&D S.A.C. - 2023" se centra en el desarrollo y aplicación de una guía específica destinada a mejorar la gestión de la seguridad y salud ocupacional en la empresa mencionada durante el año 2023. El estudio reconoce la importancia de establecer prácticas efectivas para abordar los riesgos laborales asociados con las actividades de Servicios Generales F&D S.A.C.

El proceso de implementación se basa en la creación de protocolos y procedimientos específicos diseñados para abordar los riesgos identificados en el entorno laboral. Para ello, se llevó a cabo un análisis detallado del puesto de trabajo del "electricista", comenzando con la identificación de riesgos y seguido por una evaluación priorizada utilizando el método de Evaluación General de Riesgos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Además, se aplicó la metodología de Evaluación Matemática para el Control de Riesgos de William Fine para respaldar las medidas de control tanto para riesgos inaceptables como aceptables. Los resultados del análisis identificaron 24 riesgos, entre los cuales el riesgo eléctrico se consideró inaceptable debido a factores como contacto directo, contacto indirecto, sobrecarga y cortocircuito. Otros riesgos significativos incluyeron caídas desde diferentes alturas, el uso de herramientas, superficies calientes y la manipulación de sustancias químicas. Estos hallazgos sirvieron como base para la elaboración de la Guía de Buenas Prácticas en Seguridad y Salud Ocupacional. La guía abarca procedimientos específicos relacionados con riesgos eléctricos, trabajos en altura, actuación en caso de incendio y actuación en caso de derrames. Su creación tiene como objetivo cumplir con los requisitos técnicos y legales en el ámbito de la seguridad y salud ocupacional, proporcionando medios de verificación que contribuirán a la gestión efectiva de la salud y seguridad en el contexto de los Programas de Reforzamiento de Redes Eléctricas de Servicios Generales F&D S.A.C. durante el año 2023” [5].

Rios Sanchez en el 2022; “La presente investigación tiene como objetivo diseñar un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo para minimizar riesgos de la empresa Hallpa Perú Minería y Construcción, se utilizó la metodología de los artículos 32° y 33° de la Ley 29783/ RM -050-2013 TR., a partir de los documentos y formatos obligatorios para el diseño del SGSST; realizándose en 3 fases, primero el diagnóstico de cumplimiento de SGSST en base a la ley 29783, junto a ello se identificaron los riesgos laborales de la empresa en cada una de las áreas de estudio y fueron plasmadas en una matriz IPERC, segundo se realizó el diseño del Sistema según como lo requiere la ley considerando las características y necesidades de la empresa, tercero a partir de este diseño se analizó después la variación de los riesgos laborales según diagnóstico inicial, y finalmente se realizó el beneficio costo. Se obtuvo una proyección de mejora, con un cumplimiento inicial de 9% pasando a 98%, lográndose disminuir los riesgos laborales. En el costo beneficio se obtuvo un resultado de 1.47, por ende, el proyecto de implementar el Diseño de Gestión de SST es viable ya que genera mayor beneficio a la empresa” [6].

1.2.3. Antecedentes Locales

Avalos Pariona en el 2023 “La presente investigación analiza la Influencia del sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional en la calidad de vida laboral; es tratar de realizar las acciones adecuadas para que el trabajador pueda desenvolverse libremente sin ningún riesgo a su integridad física, psicológica y a su estado de salud. Se describe brevemente la problemática de la empresa, las intendencias del estado que lo fiscalizan, se establecen los problemas de la investigación, se plantean los objetivos a alcanzar y se establece la justificación teórica, practica de cómo influye el sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional en la calidad de vida laboral en la Empresa. Se establece las Bases Teóricas que respalda a la investigación, en el cual se analiza investigaciones precedentes, se define términos elementales para la investigación” [7].

1.1 Teoría Relacionada al Tema

Seguridad eléctrica

Se considera una población de N objetos (aparatos, instalaciones, etc.) nominalmente idénticos, funcionando en condiciones preestablecidas por el tiempo t , y en un daño que pueda originar un evento desfavorable para la persona; se define como seguridad $S(t)$ de uno cualquiera de los N objetos, referido al tiempo t , a la relación entre el numero $n(t)$ de los objetos no afectados de aquel daño después del tiempo t , y el número total de los N objetos:

$$S(t) = \frac{n(t)}{N}$$

La seguridad esta expresada por un número comprendido entre 0 y 1. La seguridad contra un evento desfavorable constituye la probabilidad de que, en condiciones preestablecidas y en un determinado tiempo, no se verifique aquel evento. El tiempo es acumulativo, es decir un tiempo durante el cual los objetos han desarrollado la función requerida, denominado tiempo de exposición al riesgo.

La tasa de daño” (porcentaje), es definida como la relación entre el número de objetos dañados en la unidad de tiempo y el número de aquellos no afectados. Si se supone la tasa de daño constante en el tiempo, y se le indica con que se puede entonces escribir:

$$S(t) = \frac{n(t)}{N} e^{-\lambda t}$$

La seguridad disminuye al aumentar el tiempo de exposición al riesgo. Si el producto λt tiende ω (infinito) de modo que se verifica que $S = 0$, lo que quiere decir que habrá necesariamente una falla, en cambio si el producto $\lambda.t$ tiende a 0 (cero), entonces t , tiende a 0, verificándose de este modo $S = 1$, lo que indica que estamos ante una seguridad absoluta de que no habrá falla alguna.

La cantidad $1 - S(t)$ representa la probabilidad de daño, la cual recibe el nombre de inseguridad o peligro.

La seguridad va referida siempre a un evento desfavorable; si dicho evento no existe, como por ejemplo el caso de aparato alimentado por una batería, el concepto de seguridad, tal como se ha definido pierde su significado.

Riesgo eléctrico:

Luego de verificarse un evento desfavorable no sigue necesariamente un daño. Para un determinado desperfecto, si indicamos con $S(t)$ la seguridad de que esto no suceda en el tiempo especificado t , con “ d ” el valor del daño asociado λ con “ K ” la probabilidad de que el daño se verifique en presencia del desperfecto; por riesgo se entiende lo siguiente:

$$R(t) = < 1 - S(t) > kd$$

Al producto kd se le denomina daño probable.

Es importante poner en evidencia que a igualdad de seguridad, el riesgo asume valores muy diversos dependientemente del daño probable, así un daño mayor no necesariamente le corresponde un riesgo mayor.

En literatura técnica, el termino riesgo se utiliza también para indicar la situación condición o causa que pueda causar un evento desfavorable; por ejemplo, una línea eléctrica aérea, una carga colgante, etc. Por análisis de riesgo se entiende entonces la identificación de las posibles causas de un evento desfavorable.

Introducción a la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)

La Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) es una disciplina fundamental para proteger la integridad física y mental de los trabajadores mediante la identificación, evaluación y control de riesgos laborales. En el contexto de las obras eléctricas en baja tensión, la SST se centra en prevenir accidentes y enfermedades profesionales derivados de la manipulación de instalaciones eléctricas.

Marco Normativo en Perú

En Perú, la gestión de la seguridad y salud en el trabajo está regulada por una serie de normativas que establecen las obligaciones y responsabilidades de empleadores y trabajadores. Las principales normativas aplicables a las obras eléctricas de baja tensión incluyen:

Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo: Esta ley establece las disposiciones para promover una cultura de prevención de riesgos laborales y garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables.

Decreto Supremo N° 024-2016-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería: Aunque orientado al sector minero, este reglamento establece principios y prácticas que pueden aplicarse en el contexto de obras eléctricas en términos de seguridad y salud.

Norma Técnica Peruana (NTP) 370.255-1:2009: Requisitos para instalaciones eléctricas en baja tensión, que establece las condiciones técnicas de seguridad para el diseño, montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

Decreto Supremo N° 003-2013-TR, Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo: Complementa la Ley N° 29783, detallando los derechos y obligaciones de los empleadores y trabajadores en materia de seguridad y salud laboral.

Identificación y Evaluación de Riesgos en Obras Eléctricas de Baja Tensión

La identificación y evaluación de riesgos en obras eléctricas de baja tensión es un proceso continuo y sistemático que incluye:

Riesgos Eléctricos: Contacto directo e indirecto con partes activas, riesgo de arco eléctrico, cortocircuitos y sobrecargas

Riesgos Mecánicos: Caídas de altura, golpes y atrapamientos por herramientas y equipos.

Riesgos Ergonómicos: Posturas forzadas, movimientos repetitivos y manipulación de cargas pesadas.

Riesgos Ambientales: Exposición a condiciones climáticas adversas, ruido y vibraciones.

Medidas de Control y Prevención de Riesgos

Para minimizar los riesgos identificados, se deben implementar medidas de control y prevención que incluyan:

- Instalación de dispositivos de protección como interruptores diferenciales y fusibles.
- Uso de equipos de protección personal (EPP) adecuados, como guantes dieléctricos, cascos y gafas de seguridad.
- Herramientas y equipos aislados.
- Desarrollo e implementación de procedimientos de trabajo seguros.
- Señalización adecuada de áreas de trabajo y equipos eléctricos.
- Programas de formación y capacitación continua para los trabajadores.
- Supervisión constante del cumplimiento de las normas de seguridad.
- Elaboración y difusión de planes de emergencia y contingencia.
- Registro y análisis de incidentes y accidentes para la mejora continua de las prácticas de seguridad.

Importancia de la Formación y Capacitación

La formación y capacitación de los trabajadores es esencial para garantizar la seguridad en las obras eléctricas de baja tensión. Los programas de formación deben abordar:

Conocimientos Técnicos: Fundamentos de la electricidad, identificación de componentes eléctricos y manejo seguro de instalaciones eléctricas.

Procedimientos de Seguridad: Normas y prácticas seguras de trabajo, uso correcto de EPP, y actuación en situaciones de emergencia.

Sensibilización y Cultura Preventiva: Promoción de una cultura de seguridad y salud en el trabajo, destacando la importancia de la prevención de riesgos y la responsabilidad compartida entre empleadores y trabajadores.

La gestión de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión requiere un enfoque integral que combine el cumplimiento de la normativa vigente en Perú, la identificación y evaluación de riesgos, la implementación de medidas de control y prevención, y la formación continua de los trabajadores. Este enfoque no solo garantiza la protección de los trabajadores, sino que también contribuye a la eficiencia y calidad de las obras eléctricas.

1.4 Formulación del problema

1.4.1. Problema general:

PG1: ¿Cómo Gestionar los procedimientos para la Seguridad y Control de Riesgos Eléctricos en Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, que permitan a los encargados de la seguridad controlar, identificar y evaluar los riesgos presentes en las áreas de trabajo aplicando las normas de seguridad?

1.4.2. Problemas Específicos

PE1.- ¿cómo entender sistemas eléctricos en relación a la puesta a tierra y protección contra los contactos directos e indirectos?

PE2.- ¿Cómo describir los sistemas eléctricos en relación la puesta a tierra?

1.5 Justificación e importancia de la investigación

1.5.1 Justificación

En la actualidad la competitividad empresarial eleva los estándares de eficiencia lo que permite un mejor control y prevención en los procedimientos que forman parte de las labores de la industria, razón por la cual se utiliza Normas y estándares como herramientas para lograr mejor el control y monitoreo de las labores con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo seguro y libre de cualquier situación de riesgo.

La tesis titulada “Gestión de la Seguridad y Salud en Obras Eléctricas en Baja Tensión” aborda un tema de crucial importancia en el ámbito laboral y social, especialmente en el contexto peruano. La justificación de este trabajo se fundamenta en varios aspectos clave que resaltan su relevancia y la necesidad de un estudio exhaustivo en esta área.

La seguridad y salud en el trabajo (SST) son componentes esenciales para garantizar condiciones laborales dignas y seguras. En el sector de las obras eléctricas de baja tensión, los trabajadores están expuestos a múltiples riesgos que pueden tener consecuencias graves, incluyendo lesiones, enfermedades profesionales e incluso la muerte. Este trabajo busca identificar y mitigar estos riesgos, promoviendo prácticas seguras y saludables que protejan a los trabajadores y mejoren su calidad de vida.

Perú ha avanzado significativamente en la regulación de la SST a través de leyes y normas específicas. La Ley N° 29783 y su reglamento, el Decreto Supremo N° 003-2013-TR, establecen un marco normativo robusto para la protección de los trabajadores. Sin embargo, la implementación efectiva de estas normativas en el sector de las obras eléctricas de baja tensión presenta desafíos que deben ser abordados para garantizar su cumplimiento. Esta tesis contribuirá a cerrar la brecha entre la normativa y su aplicación práctica.

El sector eléctrico es vital para el desarrollo económico y social del país. Las obras eléctricas de baja tensión son comunes en diversos proyectos de infraestructura y vivienda. Sin embargo, la falta de una gestión adecuada de la seguridad y salud puede resultar en accidentes costosos y perjudiciales. Este estudio pretende proporcionar directrices y recomendaciones específicas que mejoren la gestión de la SST en este sector, promoviendo así un entorno laboral más seguro y eficiente.

La implementación de prácticas de seguridad y salud efectivas no solo protege a los trabajadores, sino que también tiene beneficios económicos significativos. Reducción de costos por accidentes laborales, disminución de interrupciones en los proyectos y aumento de la productividad son algunos de los beneficios directos. Además, un enfoque proactivo en la SST fortalece la reputación de las empresas y fomenta una cultura de seguridad que puede ser replicada en otros sectores.

Este trabajo contribuirá al cuerpo de conocimiento existente en el campo de la seguridad y salud ocupacional, proporcionando un análisis detallado y actualizado sobre la gestión de la SST en obras eléctricas de baja tensión en Perú. Además, servirá como una guía práctica para profesionales del sector, facilitando la implementación de mejores prácticas y fomentando la formación continua en SST.

La realización de esta tesis es justificada por la necesidad de mejorar las condiciones de trabajo en el sector eléctrico, garantizar el cumplimiento de la normativa peruana y promover una cultura de prevención de riesgos laborales. Los beneficios esperados no solo impactarán positivamente en la seguridad y bienestar de los trabajadores, sino que también contribuirán al desarrollo sostenible y competitivo del sector eléctrico en Perú.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Aplicar los procedimientos de seguridad para el control de riesgos en las instalaciones eléctricas de baja tensión, lo cual facilitará analizar e identificar riesgos en el área y corregirlos, lo que darán como resultado la erradicación de riesgos

1.3.2 Objetivos específicos

OE1: entender sistemas eléctricos en relación a la puesta a tierra y protección contra los contactos directos e indirectos

OE2: describir los sistemas eléctricos en relación la puesta a tierra.

1.4 Hipótesis y variables de la investigación

1.4.1 Hipótesis

Hipótesis general:

Cuando se aplica la Gestión de Desarrollo y seguridad se minimizan los riesgos en obras eléctricas de Baja Tensión

Hipótesis específicas:

HE1: Entender la protección contra los contactos directos e indirectos se minimizan los riesgos relacionados a los sistemas eléctricos en baja tensión.

HE2: describir los sistemas eléctricos en relación la puesta a tierra se minimizan los riesgos relacionados a los sistemas eléctricos en baja tensión.

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA.

2.1. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación será no experimental y transversal.

No experimental: La investigación no manipulará variables de forma deliberada, sino que observará y analizará las condiciones existentes en las obras eléctricas de baja tensión y cómo se gestionan los riesgos de seguridad y salud. Dado que el objetivo es analizar la situación actual y proponer mejoras basadas en la normativa y en las prácticas observadas, un diseño no experimental es adecuado.

Transversal: La investigación recopilará datos en un solo momento del tiempo, proporcionando una instantánea de las condiciones de seguridad y salud en las obras eléctricas de baja tensión. Un diseño transversal es apropiado para obtener una visión general y actualizada de la gestión de la seguridad y salud en el sector, permitiendo identificar áreas de mejora y desarrollar intervenciones pertinentes.

2.1.1. Tipo de investigación

La investigación a realizar se enmarca dentro del tipo de investigación aplicada. Este tipo de investigación se caracteriza por su orientación hacia la solución de problemas específicos y prácticos, utilizando conocimientos y teorías existentes para desarrollar soluciones concretas que pueden ser implementadas en el campo de estudio.

La investigación aplicada es adecuada para esta tesis ya que su objetivo principal es desarrollar un plan de gestión de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión, basado en la normativa peruana, con el fin de minimizar riesgos laborales y mejorar las condiciones de trabajo.

2.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación será descriptivo-explicativo.

Descriptivo: Este nivel se centrará en la descripción detallada de las condiciones actuales de seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión, incluyendo la identificación de riesgos y la evaluación de prácticas y procedimientos existentes. Es necesario proporcionar una visión detallada del estado actual de la gestión de la seguridad y salud en el contexto específico de las obras eléctricas en baja tensión en Perú, identificando los principales riesgos y prácticas.

Explicativo: Este nivel buscará explicar las relaciones causales entre las prácticas actuales de gestión de seguridad y salud y los incidentes o accidentes laborales observados. Además, se explicará cómo la implementación de un plan de gestión específico puede influir en la mejora de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo. Es fundamental entender no solo qué riesgos y problemas existen, sino también por qué ocurren y cómo pueden ser mitigados a través de intervenciones específicas. Esto permitirá desarrollar recomendaciones basadas en evidencia para la mejora continua de la gestión de la seguridad y salud.

2.2. Variables, Operacionalización.

2.2.1. Del Problema General

Variable Independiente: Gestión de la seguridad y salud

Tabla I
OPERACIONALIZACION VARIABLE INDEPENDIENTE

Variable Independiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de Medición
Gestión de la Seguridad y Salud	Conjunto de acciones y estrategias destinadas a garantizar la seguridad y salud de los trabajadores en obras eléctricas de baja tensión.	-	-	-
Normativa de Seguridad y Salud	Conjunto de leyes y regulaciones aplicables a la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión en Perú (por ejemplo, Ley N° 29783, Decreto Supremo N° 003-2013-TR, NTP 370.255-1:2009).	Cumplimiento normativo	Grado de cumplimiento de las normas peruanas	Listas de chequeo, revisión documental
Prácticas de Trabajo	Procedimientos y métodos utilizados por los trabajadores y supervisores en la ejecución de obras eléctricas de baja tensión.	Procedimientos operativos	Existencia y aplicación de procedimientos estandarizados	Observación directa, entrevistas, encuestas
			Registro de incidentes y accidentes	Revisión de registros
Equipos de Protección Personal (EPP)	Uso y disponibilidad de equipos de protección individual como guantes dieléctricos, cascos, gafas de seguridad, etc.	Disponibilidad y uso de EPP	Número de EPP disponibles	Inventario de EPP, observación directa
			Frecuencia de uso de EPP	Observación directa, encuestas
Programas de Capacitación	Frecuencia, contenido y calidad de los programas de formación y capacitación en seguridad y salud ocupacional dirigidos a los trabajadores y supervisores.	Frecuencia y contenido	Número de capacitaciones realizadas	Revisión de registros, entrevistas
			Satisfacción de los participantes	Encuestas de satisfacción, entrevistas
Supervisión y Monitoreo	Sistemas y procedimientos de supervisión y monitoreo de las prácticas de seguridad y salud en el trabajo.	Frecuencia de supervisión	Número de supervisiones realizadas	Revisión de registros, entrevistas
		Métodos de monitoreo	Herramientas y técnicas utilizadas para el monitoreo	Observación directa, revisión documental

Normativa de Seguridad y Salud: Conjunto de leyes y regulaciones aplicables a la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión en Perú (por ejemplo, Ley N° 29783, Decreto Supremo N° 003-2013-TR, NTP 370.255-1:2009).

Prácticas de Trabajo: Procedimientos y métodos utilizados por los trabajadores y supervisores en la ejecución de obras eléctricas de baja tensión.

Equipos de Protección Personal (EPP): Uso y disponibilidad de equipos de protección individual como guantes dieléctricos, cascos, gafas de seguridad, etc.

Programas de Capacitación: Frecuencia, contenido y calidad de los programas de formación y capacitación en seguridad y salud ocupacional dirigidos a los trabajadores y supervisores.

Supervisión y Monitoreo: Sistemas y procedimientos de supervisión y monitoreo de las prácticas de seguridad y salud en el trabajo.

Variable Dependiente: Obras eléctricas en baja tensión

Las obras eléctricas en baja tensión se refieren a todas aquellas actividades y proyectos que involucran la instalación, mantenimiento y reparación de sistemas eléctricos con un voltaje de hasta 1.000 volts en corriente alterna (CA) o 1.500 volts en corriente continua (CC). Este tipo de obras incluye la infraestructura eléctrica residencial, comercial e industrial a pequeña escala, y es fundamental garantizar su seguridad y eficiencia operativa.

Tabla II
OPERACIONALIZACION VARIABLE DEPENDIENTE

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de Medición
Obras Eléctricas en Baja Tensión	Actividades relacionadas con la instalación, mantenimiento y reparación de sistemas eléctricos de baja tensión ($\leq 1.000V$ CA / $\leq 1.500V$ CC).	Seguridad	Incidencia de accidentes laborales	Revisión de registros, análisis estadístico
			Incidencia de enfermedades ocupacionales	Revisión de registros, análisis estadístico
			Nivel de cumplimiento normativo	Listas de chequeo, auditorías
		Eficiencia	Productividad del trabajo	Revisión de registros, análisis de tiempos
			Costos operativos	Revisión de registros financieros, análisis
		Percepción de Seguridad	Percepción de los trabajadores sobre su seguridad	Encuestas, entrevistas
			Satisfacción laboral	Encuestas, entrevistas

2.3. Población y muestra

Población

La población objetivo para esta investigación comprende a todos los trabajadores y supervisores que participan en obras eléctricas de baja tensión en Perú. Esto incluye tanto a empleados de empresas grandes como a aquellos que trabajan en pequeñas y medianas empresas del sector eléctrico.

Población Total: Trabajadores y supervisores involucrados en obras eléctricas de baja tensión en Perú.

Muestra

Para obtener una muestra representativa de la población, se utilizará un muestreo estratificado, asegurando que diferentes subgrupos dentro de la población estén adecuadamente representados. Los estratos se pueden basar en el tamaño de la empresa (pequeña, mediana, grande) y la región geográfica (costa, sierra, selva).

Criterios de Inclusión:

Trabajadores y supervisores directamente involucrados en la ejecución de obras eléctricas de baja tensión.

Empresas que operan en diferentes regiones de Perú.

Empresas de distintos tamaños (pequeñas, medianas y grandes).

Criterios de Exclusión:

Trabajadores y supervisores que no participen en actividades relacionadas con la baja tensión.

Empresas que operen exclusivamente fuera del ámbito de las obras eléctricas.

Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra se determinará utilizando fórmulas estadísticas para el cálculo de muestras en estudios descriptivos y explicativos. Una fórmula comúnmente utilizada es la siguiente:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{E^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población.

Z = Valor Z correspondiente al nivel de confianza (por ejemplo, 1.96 para un nivel de confianza del 95%).

p = Proporción esperada (se asume 0.5 si no hay información previa).

q = 1 - p.

E = Margen de error tolerable (por ejemplo, 0.05 para un 5%).

Asumiendo una población grande y con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, el tamaño de la muestra puede estimarse inicialmente para ajustar según los datos específicos de la población.

Supongamos que la población total N es de 10,000 trabajadores y supervisores.

$$\begin{aligned} n &= \frac{10,000 \cdot (1.96^2) \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.05^2 \cdot (10,000 - 1) + (1.96^2) \cdot 0.5 \cdot 0.5} \\ n &= \frac{10,000 \cdot 3.8416 \cdot 0.25}{0.0025 \cdot 9,999 + 3.8416 \cdot 0.25} \\ n &= \frac{9,604}{25 + 0.9604} \\ n &\approx 385 \end{aligned}$$

Por lo tanto, se necesita una muestra de aproximadamente 385 participantes.

La muestra se dividirá en estratos para asegurar la representatividad de cada subgrupo. Por ejemplo, si se decide estratificar por tamaño de empresa y región geográfica, se podría tener la siguiente distribución:

Tamaño de Empresa:

- Pequeñas empresas: 33% de la muestra.
- Medianas empresas: 33% de la muestra.
- Grandes empresas: 34% de la muestra.

Región Geográfica:

- Costa: 40% de la muestra.
- Sierra: 30% de la muestra.
- Selva: 30% de la muestra.

Dentro de cada estrato, se seleccionarán los participantes de manera aleatoria para asegurar que la muestra sea representativa y reducir el sesgo.

La población objetivo incluye a todos los trabajadores y supervisores involucrados en obras eléctricas de baja tensión en Perú. La muestra se determinará mediante muestreo estratificado para asegurar la representatividad de diferentes subgrupos dentro de la población, considerando factores como el tamaño de la empresa y la región geográfica. Un cálculo inicial sugiere que se necesitará una muestra de aproximadamente 385 participantes para obtener resultados representativos con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

De acuerdo a la metodología adoptada para el trabajo de investigación, utilizaremos la encuesta, entrevistas, observación directa y revisión documental.

Encuestas: Se utilizarán cuestionarios estructurados para recolectar datos cuantitativos y cualitativos sobre las prácticas de seguridad y salud, percepción de seguridad, uso de EPP, y participación en programas de capacitación. Serán administradas a los trabajadores y supervisores de las obras eléctricas de baja tensión en las empresas seleccionadas.

Entrevistas: Entrevistas semiestructuradas para profundizar en la percepción de seguridad y salud, las prácticas laborales y los desafíos en la implementación de las normativas. Se realizarán con un grupo seleccionado de trabajadores, supervisores y expertos en seguridad y salud ocupacional.

Observación directa: Observación sistemática de las prácticas de trabajo y las condiciones de seguridad en las obras eléctricas de baja tensión. Los investigadores visitarán los sitios de trabajo para observar y registrar las prácticas de seguridad y el uso de EPP.

Revisión documental: Análisis de registros y documentos relacionados con incidentes y accidentes laborales, programas de capacitación, y auditorías de cumplimiento normativo. Se revisarán los registros proporcionados por las empresas participantes.

El uso de técnicas mixtas de recolección de datos (encuestas, entrevistas, observación directa y revisión documental) y la implementación de estrategias para asegurar la validez y confiabilidad de los instrumentos garantizan una recolección de datos robusta y precisa. Esto permitirá obtener una comprensión integral de la gestión de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión en Perú, asegurando la relevancia y precisión de los hallazgos.

III RESULTADOS

3.1 Aspectos Generales

3.1.1 Sistemas de normas técnicas en seguridad.

Las normas técnicas tienen como objetivo el establecer prescripciones para la seguridad de las personas y de las propiedades, frente al peligro derivado del uso de la electricidad. Ninguna norma por más que un estudio profundo y completo de la seguridad, podrá garantizar en modo absoluto la inmunidad de las personas, de los animales y de los artefactos, frente a los peligros del empleo de la energía eléctrica.

Según la tendencia de la normativa internacional (IEC) la aplicación estricta de las normas es condición suficiente, pero no necesaria para que una instalación o un artefacto se pueda considerar seguro. Esto nace de la necesidad de permitir un desarrollo de la técnica hacia un mayor nivel de seguridad, cosa que indudablemente no se podría lograr si, a nivel legislativo fuera obligatorio observar estrictamente lo que establecen las normas.

Por consiguiente, se puede decir que las normas constituyen el conjunto de prescripciones adecuadas para conseguir un nivel de seguridad razonable, son que éstas puedan ser de ninguna manera obstáculo para el empleo de medidas que permitan alcanzar una mejor seguridad.

3.1.2 Corriente eléctrica y el cuerpo humano.

El cuerpo humano puede ser definido, a efectos del paso de corriente eléctrica, como un saco de agua lleno de iones; tales son en efecto las células y el líquido intersticial que los separa.

Los iones (k^+ , Na^+ , Cl^-) se mueven según el gradiente de concentración, es decir, tienden a difundirse hacia la zona de menor concentración (difusión). Cada uno de estos está sujeto al campo eléctrico generado por el conjunto de los otros iones.

Los iones no se difunden igualmente dentro y fuera de la célula, porque la membrana celular presenta una permeabilidad a los iones de tipo selectivo; ésta es además muy permeable a los iones k^+ y no a los iones Na^+ .

El conjunto de fenómenos descritos hace que la célula presente un potencial negativo interno respecto al exterior, lo cual se conoce como potencial de reposo. En las células del sistema nervioso de los mamíferos, el potencial de reposo asume indicativamente el valor de -70 mv., una diferencia de potencial más que respetable para una partícula de dimensiones despreciables.

En otras palabras, la membrana celular separa cargas eléctricas y desarrolla por tanto la función de condensador. En la fig. 1.1. se indica el esquema eléctrico equivalente de una célula; la resistencia indica que la membrana no es perfectamente aislante, la pila corresponde al potencial de reposo. La membrana es variablemente permeable a los iones k^+ , Na^+ , Cl^- , y se comporta como una capacidad de 1 a $10 \mu F/cm^2$.

3.1.3 Potencial de acción.

Si a una célula excitable, como por ejemplo del sistema nervioso o del tejido muscular, se le aplica un impulso de corriente de polaridad inversa a la de la célula (impulso despolarizante), de duración y amplitud adecuadas; el potencial de la célula pasa de un valor negativo a otro positivo para luego retomar el valor primitivo, según la curva típica de la fig. 1.2, dicha curva recibe el nombre de potencia de acción.

El estímulo excita la célula solo si hay una intensidad suficiente en relación al tiempo por el que éste permanece. La intensidad mínima I del impulso de duración t , capaz de producir la excitación viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{I_0}{1 - e^{-t/H}}$$

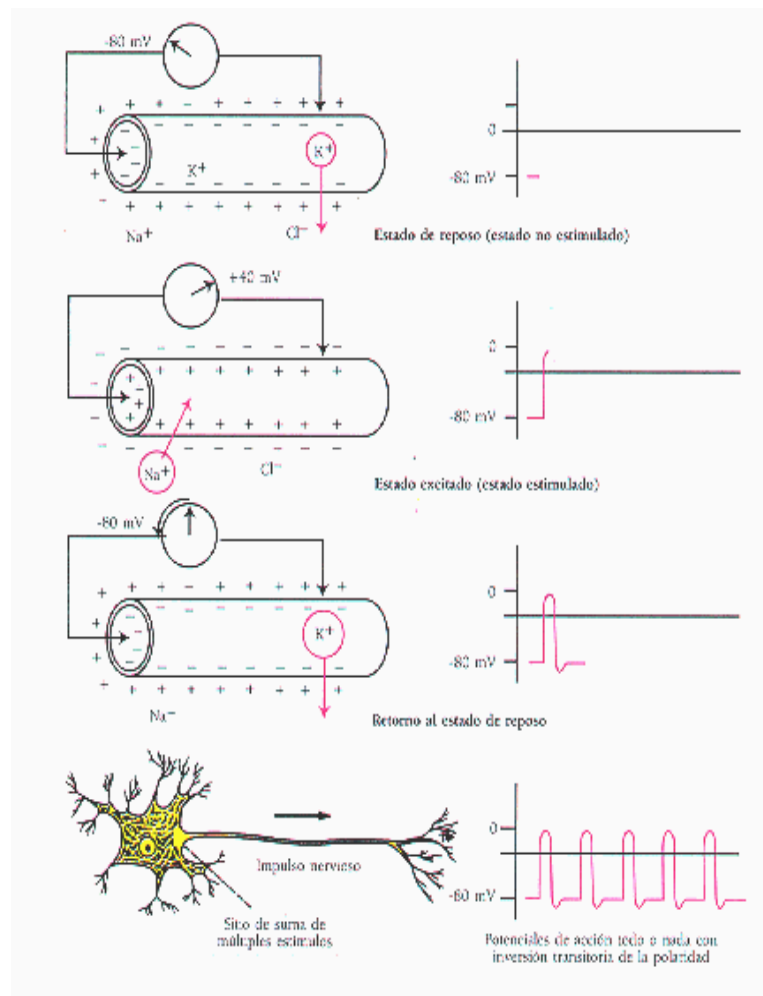


Fig. 1 Célula en estado de reposo

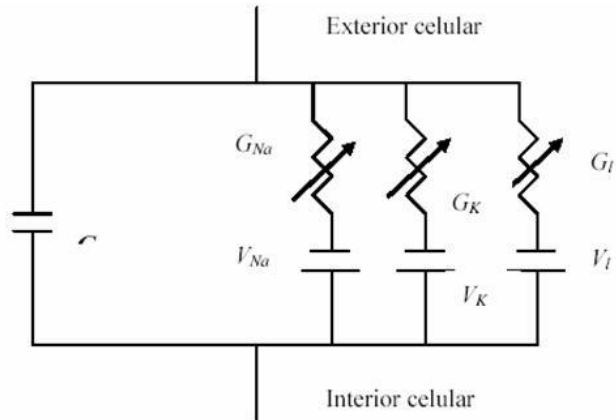


Fig. 2 Esquema eléctrico equivalente a una célula

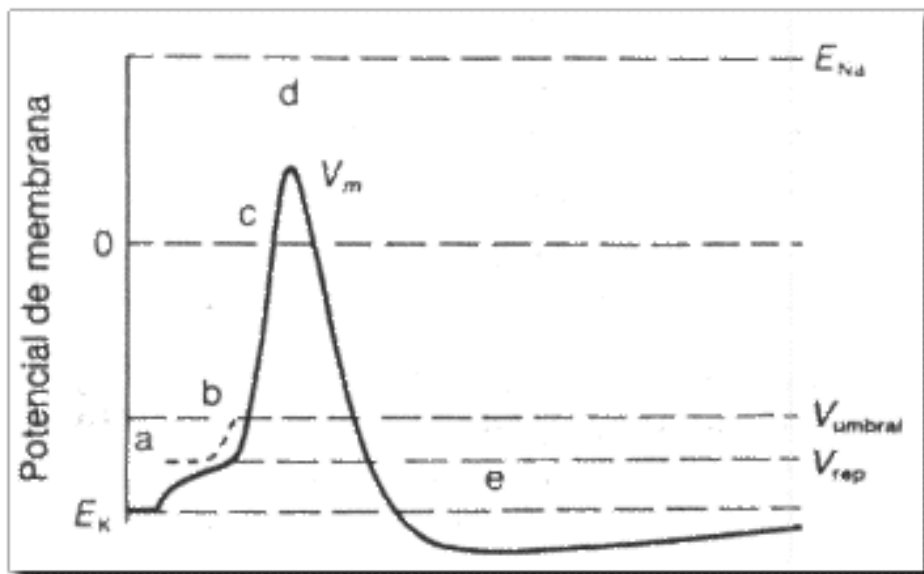


Fig. 3 Variación de potencial, durante la excitación de la célula
(Potencial de acción)

Donde I_0 , que representa la mínima intensidad de estímulo y H son constantes típicas de la célula. La curva de excitabilidad de la célula $I = I(t)$ está representada en la fig. 1.3, para individuar la curva, además del valor de H , se hace referencia al tiempo mínimo, para la cual debe ser aplicada un estímulo de amplitud $2I_0$ para producir la excitación (cronaxia). I_0 recibe el nombre de reobase.

La curva de excitabilidad se refiere a estímulos suficientemente distanciados entre ellos; si el intervalo entre los estímulos es muy corto, la célula no responde a todos o responde solo parcialmente. Se define como periodo de refractariedad absoluta, al intervalo de tiempo

siguiente al inicio de la excitación celular, durante el cual un estímulo sucesivo no provoca la excitación cualquiera que sea la intensidad. Se define análogamente, periodo de refractariedad relativa el tiempo en que la célula una vez excitada no responde más por cierto tiempo a ningún estímulo correspondiente a la curva de excitabilidad, sino a estímulos más intensos.

Si el estímulo dura ininterrumpidamente un tiempo más largo que el periodo refractario, se verifica un fenómeno conocido como acostumbramiento del celular, que justifica que la corriente continua sea menos peligrosa que la alterna. El estímulo produce excitamiento al inicio, pero terminado el periodo refractario no produce un nuevo excitamiento, la célula se adapta a la nueva situación, verificándose un aumento de la zona de excitabilidad. Solo un estímulo de fuerte excitabilidad, aplicado durante un tiempo largo provoca excitamientos sucesivos.

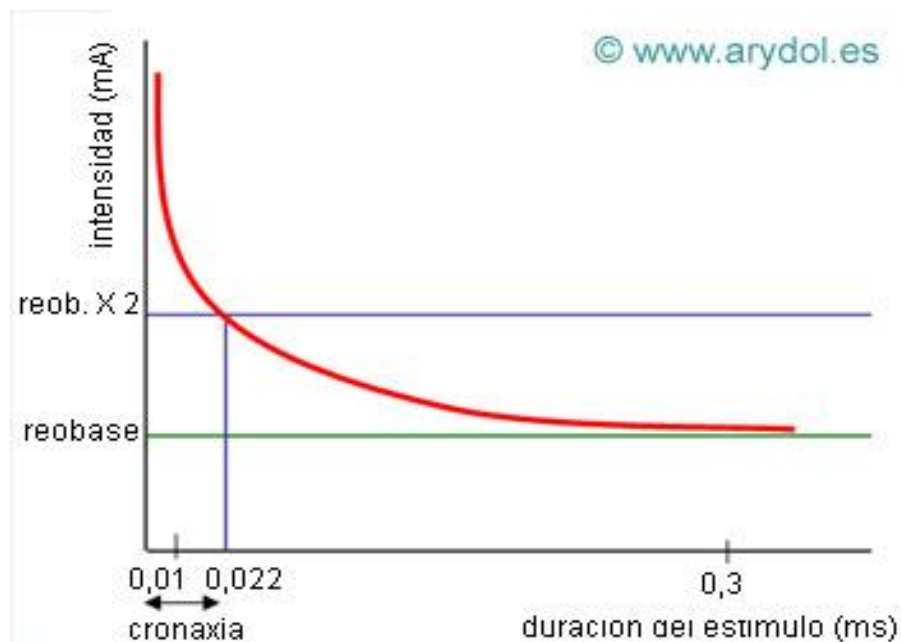


Fig. 4 Curva de excitabilidad

3.1.4 Zona de sensibilidad

La actividad biológica está acompañada de una actividad eléctrica. Nada extraño sería, por consiguiente, que la corriente externa sumándose a las pequeñas corrientes fisiológicas internas, pueda alterar la función vital del organismo, hasta provocar un efecto letal.

Observando la curva de excitabilidad, se puede comprobar que una corriente de alta frecuencia es menos peligrosa que la de baja frecuencia, ya que al aumentar la frecuencia aumenta también la intensidad del estímulo necesario para producir el excitamiento.

El complejo equilibrio electrofisiológico explica también la elevada sensibilidad del cuerpo humano a la corriente eléctrica. El mínimo valor de corriente que produce una sensación es alrededor de 45 μA (electrodo apoyado sobre la lengua, órgano sensible a la corriente eléctrica)

3.1.4 Efecto de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

El paso de una corriente eléctrica que atraviesa el cuerpo humano puede determinar numerosas lesiones o alteraciones temporales o permanentes. La corriente eléctrica produce una acción directa sobre los vasos sanguíneos, la sangre, el celular nerviosas (estado de shock), y puede determinar a su vez, una alteración permanente en el sistema cardiaco, en la actividad cerebral, en el sistema nervioso central, en el aparato auditivo, etc.

Los efectos más comunes e importantes que la corriente eléctrica produce sobre el cuerpo humano, y los fenómenos principales que contribuyen a definir sus límites de peligrosidad son cuatro: tetanización, paro respiratorio, fibrilación ventricular y quemaduras.

Tetanización

En la fig. 1.4 el estímulo eléctrico está aplicado a una fibra nerviosa; si el estímulo lleva la intensidad y la duración apropiada, produce un potencial de acción que se propaga a lo largo de la fibra nerviosa hasta el músculo. Bajo la acción del estímulo el músculo se contrae, para luego retornar al estado de reposo. Fig. 1.4. a, si a un primer estímulo le sigue un segundo después de un periodo refractario, pero antes que el músculo retome a su estado de reposo, el doble efecto puede sumarse, tal como se muestra en la fig. 1.4.b. las sucesiones de estímulos oportunamente distanciados se contraen repetidamente el músculo de un modo progresivo (contracción tetánica) fig. 1.4.c.

Si la frecuencia de los estímulos sobrepasa un cierto límite, los efectos se funden y el músculo es llevado a la contracción completa, y en esta posición permanece hasta que no dejen de cesar los estímulos, después de los cuales, retorna al estado de reposo, fig. 1.4.d.

De igual modo, aunque algo más complejo sucede al ser atravesado el cuerpo humano por una corriente alterna. La persona puede quedar pegada a la zona en tensión, y puede producirle desmayo, asfixia, colapso o estado de inconciencia.

El valor más elevado de corriente a la cual un sujeto es aun capaz de soltar la parte en tensión, recibe el nombre de corriente de soltura; dicho valor varía de persona a persona. Para una corriente alterna a una frecuencia de 50 a 100 Hz. Dicha corriente puede ser de 10mA para mujeres y niños, y de 15 mA para hombres; para una corriente continua el límite es más elevado e impreciso, de 100 a 300 mA.

De estos datos se puede apreciar que la corriente alterna es más peligrosa que la corriente continua; esta última produce solo una sensación de calor al pasar sobre el sujeto, advirtiendo un calambre y malestar al cierre e inicio del circuito.

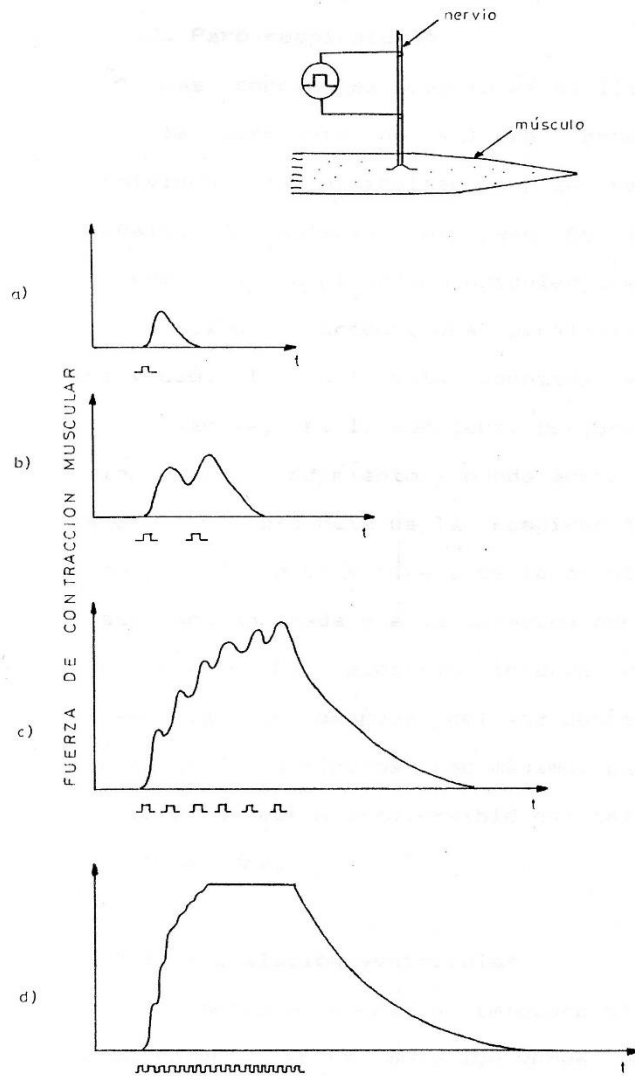


Fig. 5 Efecto sobre el músculo de los estímulos eléctricos aplicados sobre el nervio.

Paro respiratorio

Las corrientes superiores al límite indicado por la corriente de soldura, producen en el individuo una dificultad en la respiración y señales de asfixia, el paro de la corriente determina una contracción muscular que dificulta la respiración o produce una parálisis del centro nervioso, la cual está sometida a la función respiratoria; si la corriente perdura, la persona pierde el conocimiento y puede morir sofocada. De aquí la importancia de la respiración artificial (respiración boca a boca), de la prontitud con que esta sea aplicada y a la duración por la cual es practicada. Es necesario intervenir sobre todo inmediatamente después del accidente, entre los primeros 3 a 4 minutos como máximo, para evitar la asfixia o lesión irreversible del tejido cerebral de la persona.

Fibrilación ventricular

El musculo cardiaco (miocardio) se contrae rítmicamente entre 60 y 100 veces por minuto y activa, al igual que una bomba, la circulación sanguínea de los vasos. La contracción de la fibra muscular es producida por el impulso eléctrico proveniente del nódulo sinusal. Este es un verdadero generador biológico de impulsos eléctricos que comanda el corazón.

Si el generador biológico de impulsos, por cualquier alteración patológica, fallara en su funcionamiento podría ser reemplazado por un generador artificial de impulsos, como por ejemplo un marcapasos.

Si a la normal corriente eléctrica fisiológica se superpone una corriente eléctrica de origen externa mucho mayor, es fácil imaginar el desorden que esta acción originará sobre el equilibrio eléctrico del cuerpo. Cuando la fibra muscular del ventrículo sufre una acción perturbadora externa, recibe una excesiva e irregular señal eléctrica, iniciándose una contracción desordenada del corazón, hasta que no realiza más su función.

A efectos prácticos, este fenómeno de la fibrilación ventricular se considera como irreversible, ya que el tiempo de auxilio ha de estar dentro de los tres primeros minutos de interrumpida la actividad cardiaca. Se puede prolongar el intervalo de tiempo útil mediante masajes cardiacos y respiración boca a boca, pero la oportuna intervención médica, mediante un aparato desfibrilador, es determinante para el éxito de la operación de socorro.

La corriente que atraviesa el corazón a causa directa de la fibrilación, lo cual es tan solo una fracción de la corriente total que fluye a través del cuerpo humano. La relación entre ambas corrientes no es constante, varía de individuo a individuo, y para una misma persona depende del recorrido de la corriente.

En corriente alterna, para estimar la influencia del recorrido de la corriente sobre la probabilidad de originar la fibrilación ventricular, se define el factor de recorrido F. se toma como referencia el recorrido mano izquierda-pies. En la siguiente tabla se indican algunos factores de recorrido típicos de la corriente. El recorrido más peligroso en relación con la fibrilación ventricular es la de mano izquierda-tórax.

Tabla III
FACTOR DE RECORRIDO CORRIENTE POR EL CUERPO HUMANO

RECORRIDO	F
Mano izquierda - pies	1
Mano izquierda – mano derecha	0.4
Mano izquierda – dorso	0.2
Mano izquierda – tórax	1.5
Mano derecha – pies	0.8
Mano derecha – dorso	0.3
Mano derecha – tórax	1.3

Existe un breve intervalo de tiempo del ciclo cardiaco en el cual un ventrículo es eléctricamente inestable. Si los estímulos son aplicados en esta fase particular del ciclo cardiaco la probabilidad de que se produzca la fibrilación ventricular aumenta notablemente, dejando de ser gobernada la fibrila por el estímulo natural, volviéndose más sensible a los estímulos externos. Las corrientes de mayor duración a la del ciclo cardiaco (0.5 – 1 seg.) son mucho más peligrosas que la de menor duración.

Quemaduras

El paso de la corriente eléctrica sobre una resistencia, está acompañada por la disipación de calor por el efecto Joule, y el cuerpo humano no hace excepción a esta regla general.

Si consideramos un volumen de tejido biológico homogéneo de sección constante S, longitud l y resistividad r, atravesado por una corriente I durante un tiempo t; suponiendo el fenómeno adiabático, despreciable la pérdida dieléctrica y la variación de resistividad con la temperatura, el balance térmico será:

$$c S l \Delta\theta = \rho \frac{1}{S} I^2 \Delta T \quad \Delta\theta = \frac{\rho}{C} \left(\frac{I}{S} \right)^2 \Delta t$$

Donde C es el calor específico medio por unidad de volumen y Δt el aumento de temperatura esta variación depende del cuadrado de la densidad de corriente y del tiempo durante el cual fluye la corriente a través del cuerpo humano.

Es fácil concluir que la peor quemadura se dará sobre la piel, puesto que esta representa una resistividad más elevada que la del tejido interno; además la densidad de corriente es mayor en correspondencia del punto de entrada que al de salida de la corriente eléctrica. Densidades de corrientes de algunos miliamperios por milímetro cuadrado, que perduren por un tiempo del orden

del segundo, pueden determinar la quemadura; densidad de corriente aproximadamente 50 m/mm², provoca la carbonización de la piel en pocos segundos.

A tensiones elevadas los efectos térmicos de corriente son predominantes sobre otros efectos nocivos, el aumento del calor provoca extensa destrucción del tejido superficial, y origina ruptura de arterias con consiguiente hemorragia, la destrucción de centros nerviosos, etc.

3.1.5 Limite de la peligrosidad de la corriente eléctrica

En la figura se indican cuatro zonas, las que representan los efectos principales producidos por corriente alterna en función del tiempo, la cual fluye a través del cuerpo humano.

La zona 1, se encuentra por debajo de la zona de percepción, en la zona 2, no se verifican generalmente efectos fisiológicos peligrosos.

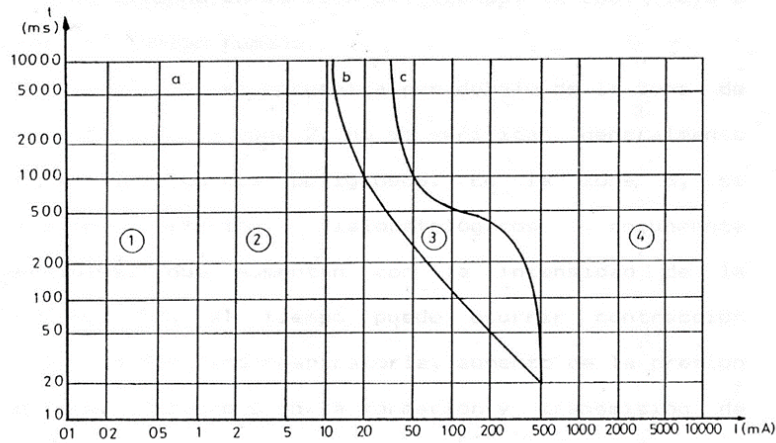


Fig. 1.5 Zona de peligrosidad de la corriente alterna.

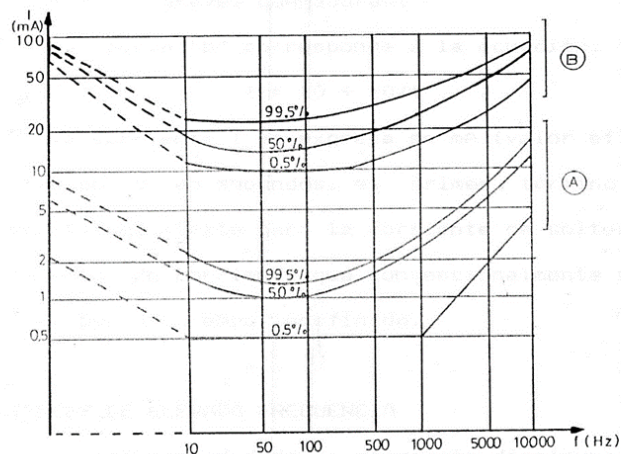


Fig. 1.6 Curvas estadísticas en función del % de sujetos afectados. A.- Zona de percepción. B.- De la zona de tetanización.

Fig. 6 Limite de la peligrosidad de la corriente eléctrica.

En la zona 3, se verifican efectos fisiopatológicos comúnmente reversibles que aumentan con la intensidad de la corriente. Con el tiempo puede ocurrir contracción muscular, dificultad respiratoria, aumento de la presión sanguínea, disturbio en la formación y transmisión de los impulsos eléctricos cardiacos, paro temporal del corazón, pero sin fibrilación ventricular, etc. En la zona 4, siempre se verificará el paro cardiaco, paro respiratorio y graves quemaduras,

La curva “b” corresponde a la ecuación

$$I = 10 + 10/t$$

Donde la corriente I se expresa en mA (valor eficaz) y el tiempo t en segundos, el primer término 10 mA representa el límite para la corriente de soldadura y el máximo valor de corriente que convencionalmente se puede soportar por un tiempo indefinido.

3.1.6 Corrientes de elevada frecuencia

La peligrosidad de la corriente disminuye con el aumento de la frecuencia. La excitación de la célula se produce al comienzo del estímulo, el cual debe ser tanto más grave cuanto más breve es la duración. En una corriente de alta frecuencia la duración del estímulo es muy breve en comparación a la constante de tiempo de la membrana celular, por lo que la corriente se influye prácticamente sobre el estado de la célula. La tendencia de la corriente a elevada frecuencia al pasar el exterior del cuerpo (efecto piel), afectando solo la piel y no órganos vitales, contribuye además a la menor peligrosidad de la elevada frecuencia.

En la fig. 1.6 se indica como varia la zona de percepción (A) y de tetanización (B) en función de la frecuencia, según probabilidad de que se produzcan dichos fenómenos, según la probabilidad de que produzcan fenómenos sobre 0.5%, 50% y 99.5% de las personas no afectadas.

Se nota que la curva no crece rápidamente ante el aumento de la frecuencia. Presenta un mínimo comprendido entre 10 y 100 Hz., esto significa que la frecuencia de 60Hz. De uso común está entre las más peligrosas.

3.1.7 Resistencia eléctrica del cuerpo humano

El cuerpo humano corresponde, en términos generales, a una impedancia capacitiva. La capacidad C_p depende principalmente de la piel, que se interpone como aislante entre el electrodo y el tejido conductor que está por debajo. En paralelo a la capacidad se tiene una resistencia R_p , debida sobre todo a los poros de la piel; en serie, habría la resistencia interna del cuerpo humano (fig. 1.7).

A la frecuencia de 60Hz es lícito desprestigiar la pequeña capacidad de la piel y se habla comúnmente de resistencia de cuerpo R_c . La resistencia del cuerpo humano es extremadamente variable con las condiciones ambientales, en una misma persona la resistencia eléctrica cambia también con las condiciones fisiológicas.

Variabilidad de la resistencia del cuerpo humano

La resistencia del cuerpo humano R_i , depende sobre todo del recorrido de la corriente y en menor medida de la superficie de contacto de los electrodos. Tomando como referencia la resistencia de las dos manos, los valores porcentuales correspondientes al recorrido entre la mano y cualquier otra parte del cuerpo, están indicadas en la fig. 1.8.

La resistencia del cuerpo humano depende principalmente de los siguientes factores:

Estado de la piel: La humedad disminuye la resistencia de la piel. El sudor, que es una solución conductora de cloruro de sodio y de otras sales, empeora aun la situación disminuyendo la resistencia en comparación con la correspondiente en condiciones secas.

Superficie de contacto: Al aumentar la superficie de contacto disminuye la resistencia de la piel.

Presión de contacto: A una mayor presión de contacto le corresponde una menor resistencia, para el caso de un operador de equipos portátiles, los músculos de la mano se contraen y están más expuestos al peligro de la tetanización.

Duración de la corriente: La prolongación del contacto disminuye la resistencia de la piel; pero si la cantidad de calor desarrollado es suficiente para carbonizar la piel, la resistencia puede alcanzar también valores elevados.

Frecuencia de la corriente: A una elevada frecuencia, la resistencia del cuerpo humano se reduce sensiblemente a la sola resistencia R_i , debido a que la resistencia de la piel es cortocircuitada por la capacidad C_p .

Tensión de contacto: La resistencia de la piel disminuye al aumentar la tensión aplicada. Para tensiones superiores a 100V, la resistencia de la piel se hace despreciable, por lo que la resistencia del cuerpo humano se puede confundir con R_i . Para el mismo valor la tensión, aplicada en puntos distintos del cuerpo, corresponde corrientes distintas, esto debido a que cada recorrido le compete un valor distinto de resistencia del cuerpo humano.

3.2. Sistemas eléctricos en relación a la puesta a tierra y protección contra los contactos directos e indirectos

Nociones previas

Previo al estudio propio de los sistemas eléctricos en relación a la puesta a tierra, se presentan a continuación algunas definiciones, según las normas técnicas de la Internacional Electrotechnical Commission (IEC), importantes a tener en cuenta para la mejor comprensión del presente capítulo.

3.2.1 Resistencia tierra de una persona

En un contacto mano-pie la corriente fluye a través del cuerpo hacia el terreno, en tal caso el pie apoyado sobre el terreno hace las veces de dispersor.

Cada pie puede ser considerado como una placa circular apoyada sobre el terreno; por lo que la resistencia a tierra de este dispersor valdrá aproximadamente:

$$R_t = \frac{2 \rho}{5r_p}$$

Donde es la resistencia del terreno y r_p el radio de la placa. Si se considera el equivalente a una placa de radio $r_p = 1/10\text{m}$, se obtiene una resistencia $R_t = 4\rho$. La resistividad ρ . La resistividad ρ , se expresa en Ω/m . los pies pueden ser considerados como dos dispersores en paralelo (el error que se comete es compatible con a aproximación hecha), la resistencia a tierra de la persona R_{tc} , expresada en ohmios, es ahora numéricamente igual al doble de la resistividad del terreno ($R_{tc} = 2 \rho$).

Si se indica con R_c la resistencia del cuerpo humano en un contacto mano-pie, la resistencia $R_c + R_{tc}$, representa la resistencia de la persona y del terreno hasta un punto infinito (fig. 2.1.).

A menudo la resistencia del cuerpo humano se pone en serie a la del pavimento; en la siguiente tabla se indica las resistencias de algunos tipos de pavimentos, medida entre un electrodo de 400 cm^2 presionado con una fuerza de 500N y un punto al infinito.

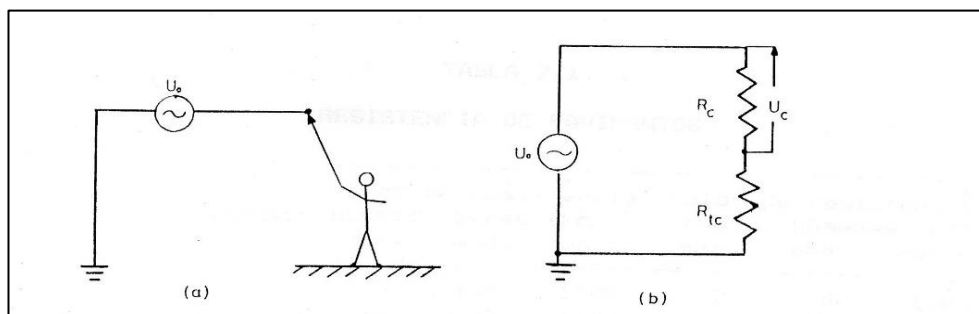


Fig. 7 Contacto de una persona entre una parte en tensión y el terreno

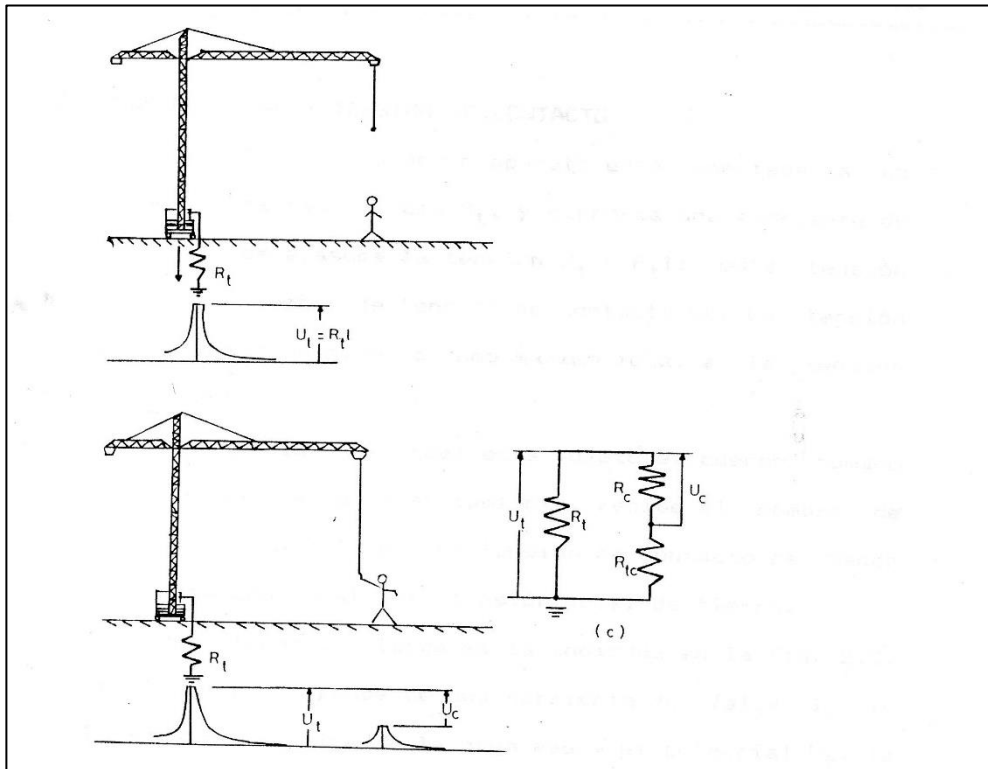


Fig. 8 La grúa ante una falla de aislamiento asume el potencial U_t .

Tabla IV
RESISTENCIA DE PAVIMENTOS

TIPO DE PAVIMENTO	VALOR DE RESISTENCIA			VALOR DE RESISTENCIA		
	Cond. Min.	Secas Med.	(k Ω) MAX.	Cond. Min.	Húmedas Med.	(k Ω) MAX.
Cerámica	3	400	1500	2	60	600
Mármol	46	600	1500	1	300	1250
Madera	670	1400	1900	160	1000	1600
Cemento	3	200	400	0.5	2	4
Loseta	2	320	750	0.5	100	400

3.2.2 Tensión total y tensión de contacto

Si la carcasa de un aparato está conectada a un dispensor de resistencia R_t , y dispersa una corriente de falla I , esta asume la tensión $U_t = R_t I$; esta tensión recibe el nombre de tensión de contacto U_c . La tensión de contacto es menor o como máximo igual a la tensión total de tierra.

La tensión a la cual está sujeto el cuerpo humano durante una falla de aislamiento, recibe el nombre de tensión de contacto U_c . La tensión de contacto es menor o como máximo igual a la tensión total de tierra.

Una situación típica es la indicada en la fig. 2.2. en la que, a causa de una corriente de falla I , la estructura metálica de la grúa asume el potencial U_t ; la persona que se encuentra en punto de terreno a potencial cero y toca la grúa, quedara sujeto a una parte de la tensión total U_t , según el partidor de la tensión R_c y R_{tc} , cabe notar que la corriente que fluye a través de la persona, eleva el potencial del terreno en correspondencia de los pies, lo que equivale a la caída de tensión sobre la resistencia R_{tc} .

Otra situación usual es la de la fig. 2.3. en la que la persona se encuentra en proximidad del dispensor, por lo tanto, en un punto del terreno a potencial distinto de cero. La resistencia a tierra de la persona ya no está en paralelo con R_t , indicándose con R_{tc} , a la resistencia del terreno entre el pie de la persona y el dispensor de la grúa. El contacto de la persona con la carcasa no cambia apreciablemente la tensión R_t , pero modifica la curva del potencial del terreno. La tensión aplicada al cuerpo humano es solo una pequeña parte de la tensión total U_t . La tensión pre-existente al contacto entre la carcasa y el punto ocupado por la persona, se denomina tensión de contacto, en vacío U_{co} .

Una típica situación particularmente peligrosa es la mostrada en la fig. 2.4. en la que la persona toca simultáneamente el gancho de la grúa y una tubería de agua. En general una tubería de agua es un buen conductor y representa un dispensor de baja resistencia R_{ta} , mucho más pequeña que la resistencia R_{tc} , hacia tierra de la persona, en consecuencia, la tensión de contacto U_c aumenta respecto al valor precedente, hasta coincidir sensiblemente con la tensión total.

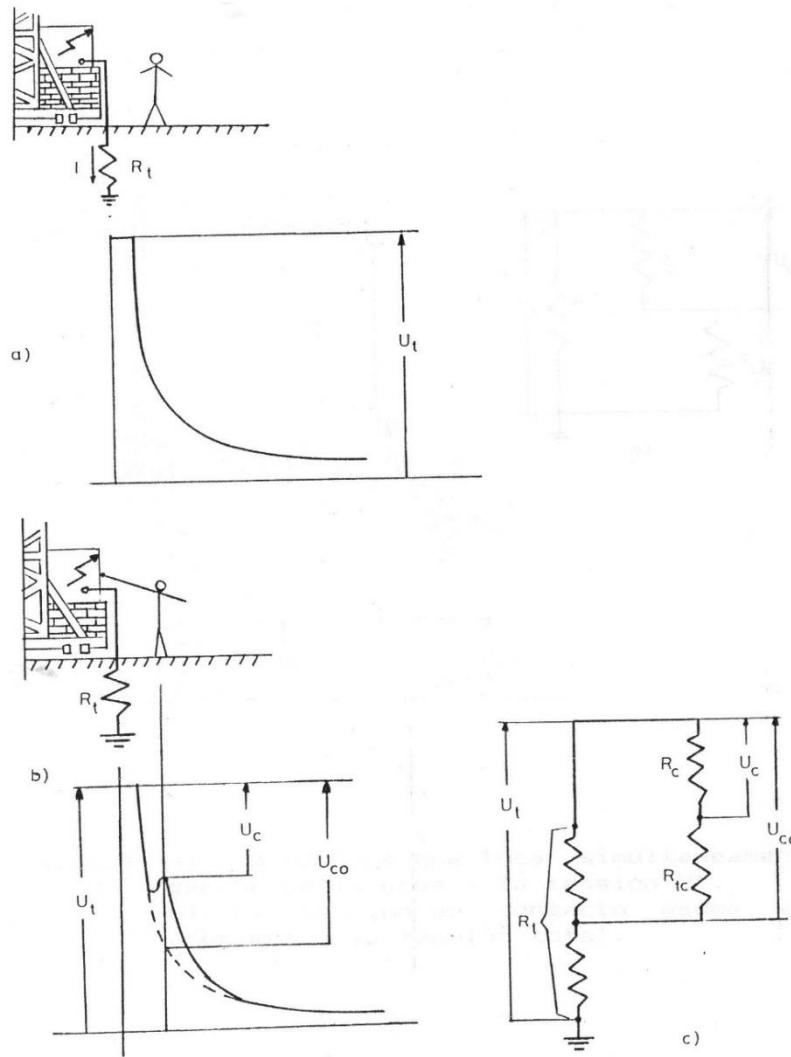


Fig. 9 persona toca la grúa en un punto del terreno a potencial distinto de cero y solo una parte de U_t

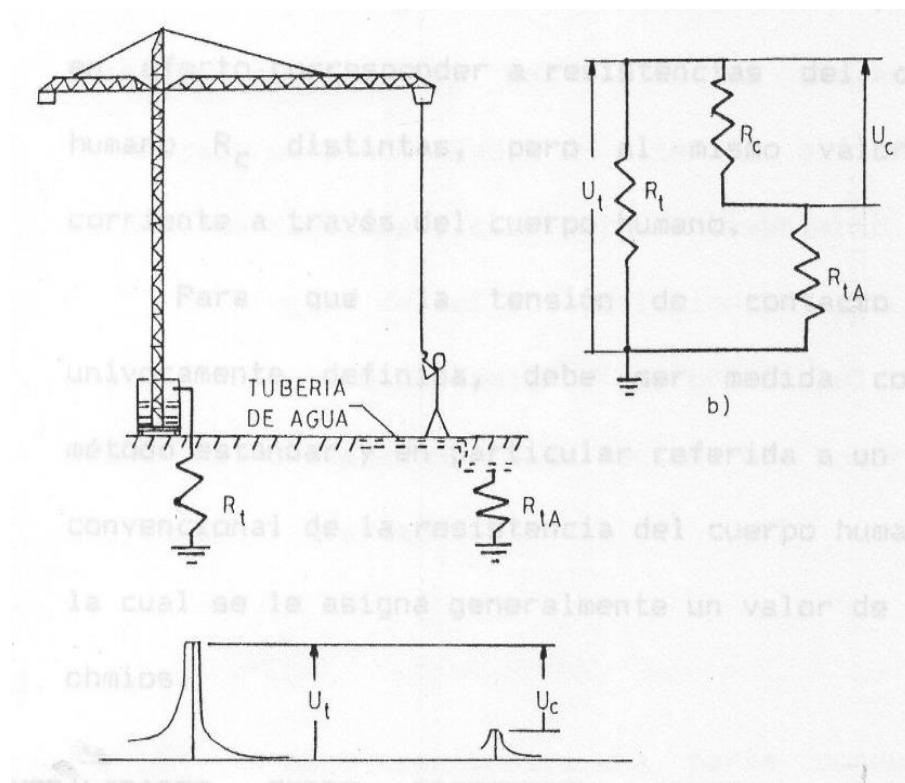


Fig. 10 persona que toca simultáneamente el gancho de la grúa a la tensión U_t .

La tensión de contacto depende de la resistencia R_c , del cuerpo humano por lo que no es indicativa de la peligrosidad de una cierta situación: tensiones de contacto distintas podrían en efecto corresponder a resistencias del cuerpo humano R_c distintas, pero al mismo valor de corriente a través del cuerpo humano. para que la tensión de contacto sea unívocamente definida, debe ser medida con un método estándar y en particular referida a un valor convencional de la resistencia del cuerpo humano, a la cual se le asigna generalmente un valor de 3,000 ohmios.

3.2.3 Generalidades sobre protección contra contactos accidentales en baja tensión

Tipo de aislamiento

Cada aparato eléctrico está dotado de un aislamiento entre las partes activas, y entre estas y la carcasa. Este aislamiento recibe el nombre de aislamiento funcional.

El aislamiento es también utilizado para la protección de la persona contra el peligro eléctrico. Se define aislamiento principal al aislamiento de la parte activa necesaria para asegurar la protección fundamental contra la fulguración; el barniz, laca y otros productos similares, no son en general protectores idóneos sobre todo debido a la fragilidad mecánica.

A fin de garantizar la seguridad de las personas en caso de que falle el aislamiento principal, se puede añadir un ulterior aislamiento el cual se denomina aislamiento suplementario.

En lugar de los dos aislamientos se puede emplear un único aislamiento que brinde el mismo grado de protección, este recibe el nombre de aislamiento reforzado.

Masa

El termino masa indica una parte conductora que forma parte de la instalación eléctrica, que puede ser tocada, que no está en tensión en condiciones normales de funcionamiento, y que puede alcanzar una tensión peligrosas en caso de que ceda el aislamiento principal.

La carcasa de un motor eléctrico y la envoltura metálica de un aparato constituyen algunos ejemplos típicos de masa. Una parte conductora separada de la parte activa por un aislamiento doblemente reforzado, no es considerada como masa, debido a que no alcanza tensión alguna en caso de presentarse una falla de aislamiento principal. Una parte conductora que pueda alcanzar una tensión durante una falla solo por estar en contacto con un artefacto no se le puede considerar como masa.

Se conoce como masa extraña a aquella parte conductora, que no es parte de las instalaciones eléctricas, susceptible de llevar la corriente a tierra. Se consideran por lo tanto masas extrañas, a los elementos metálicos que presentan una buena unión eléctrica con el terreno, es decir, que presentan una baja resistencia de tierra; pueden ser entre otros; tuberías (de agua, gas, calefacción), cisternas en contacto con el terreno, etc.

3.2.4 Contacto eléctrico directo e indirecto

Se puede entrar en contacto con una parte de la instalación que se encuentra normalmente en tensión como conductor, un fusible, etc., volviéndose casualmente accesible; se habla en tal caso de un contacto directo.

Contacto indirecto, es aquel contacto de la persona con una masa o con una parte conductora conectada con la masa, durante una falla de aislamiento.

En la fig. 2.5. se muestra la situación típica del contacto directo e indirecto. El contacto indirecto es más complicado de proteger que el contacto directo. Se puede evitar el contacto directo con un buen aislamiento; pero es imposible evitar el contacto con las partes que ordinariamente no están en tensión, puesto que el contacto con los aparatos eléctricos es frecuente e inevitable, por lo que la seguridad del operador reside en tal caso únicamente en el sistema de protección.

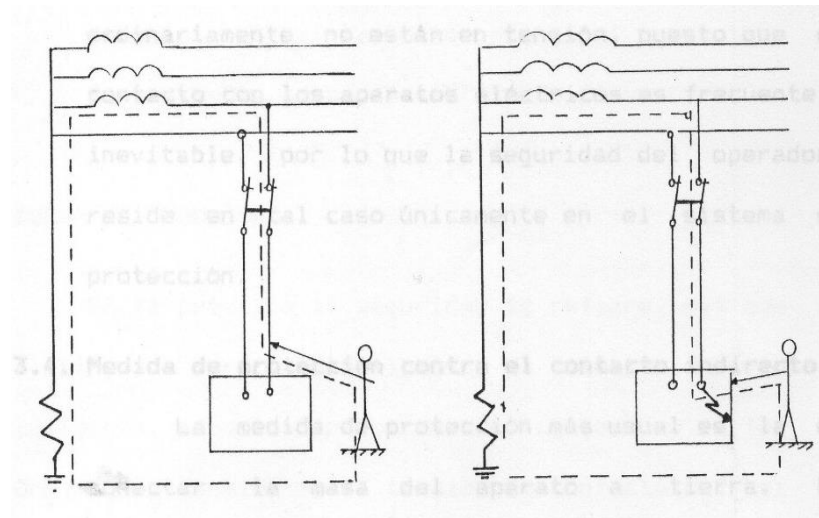


Fig. 11 Contacto directo e indirecto

Medidas de protección contra el contacto directo

La medida de protección más usual es la de conectar la masa del aparato a tierra. La protección depende del tipo de sistema eléctrico de alimentación. Se ha de emplear un interruptor automático, el cual cerrará el circuito en un tiempo tanto más breve cuanto mayor es la tensión sobre la masa, según una curva límite de tensión-tiempo compatible con la protección del cuerpo humano.

Un aparato que está destinado a ser protegido mediante interrupción automática del circuito, está dotado de aislamiento principal y la masa esta provista de un conector, donde va acoplado el conductor de protección; a estos aparatos se les llama aparatos de clase I.

A un aparato con aislamiento doble o reforzado, se le denomina aparato de clase II; al alimentado con una tensión no superior al límite de seguridad, se le denomina aparato de Clase III; al aparato con aislamiento principal conectado a tierra se le denomina aparato de Clase O.

3.2.5 Curvas de seguridad

En la práctica la seguridad se refiere, más que al límite de corriente peligrosa, al límite de tensión peligrosa, ambas están obviamente ligadas por la ley de Ohm. Esta tensión es la tensión de contacto U_c , si la corriente referencial es la que atraviesa la resistencia del cuerpo humano R_c , o la tensión de contacto en vacío U_{c0} , si la corriente referencial es la que atraviesa R_c , más que la resistencia de la persona hacia tierra R_{tc} .

Existen dos modos distintos de indicar el límite de la tensión a fines de seguridad contra el contacto indirecto:

- a) La tensión es la de contacto y el límite relativo se refiere al recorrido mano-pie. La aplicación de tal límite de tensión a todos los otros recorridos entre las extremidades será obviamente en favor de la seguridad.

b) La tensión es la de contacto en vacío, en el caso del contacto mano-pie. A la resistencia del cuerpo humano R_c , se le debe añadir la resistencia de la persona hacia tierra R_{tc} ; mientras que la masa extraña es despreciable respecto a la del cuerpo humano.

Se trata de establecer de modo convencional valores prudenciales de R_c y de R_{tc} , para obtener el valor máximo de la tensión de contacto en vacío soportable por el cuerpo humano en función del tiempo. Esta no es tarea fácil debido a que R_c , es un valor extremadamente variable, además la condición ambiental influye tanto sobre R_c como R_{tc} .

En la siguiente tabla se indican los valores máximos de la tensión de contacto en vacío en función del tiempo, que una persona puede soportar.

En la fig. 2.6 junto a la curva de trazo continuo correspondiente al valor de tensión de corriente alterna, se indican además con trazos discontinuos otras dos curvas, las cuales podrán sustituir a las primeras. La curva "b" debería aplicarse en condiciones normales (locales secas), la curva "a" deberá aplicarse para locales húmedos o donde las condiciones ambientales reduzcan los valores de R_{tc} y R_c .

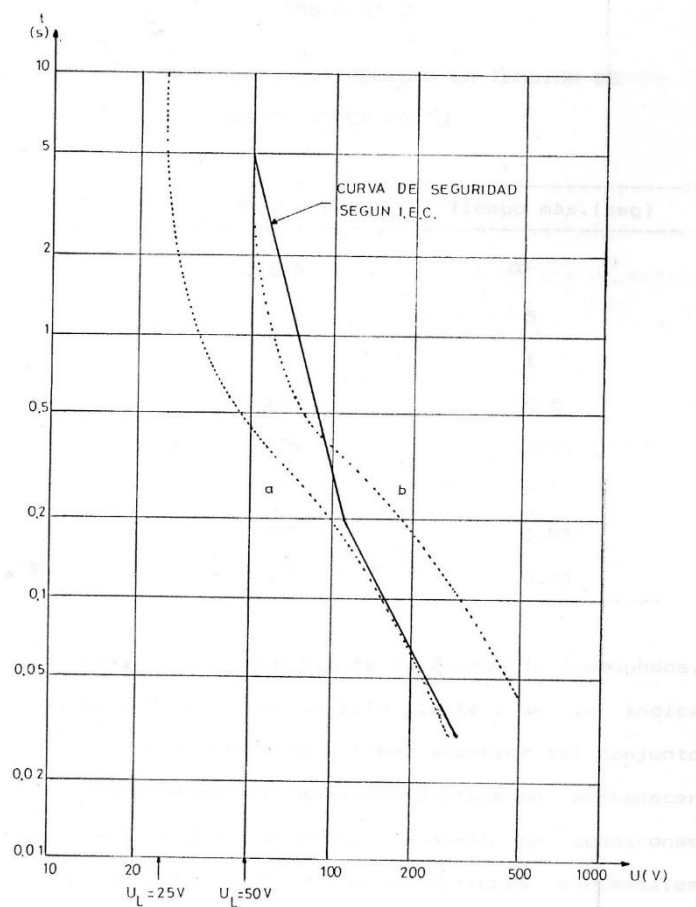


Fig. 12 Curva de seguridad. Línea continua según la IEC

Tabla V
TIEMPOS MAXIMOS SOPORTABLES A LA TENSION
DE CONTACTO EN VACIO

C.A. (V)	C.C. (V)	Tiempo Máximo . (seg)
< 50	< 120	∞
50	120	5
75	140	1
90	160	0.5
110	175	0.2
150	200	0.1
220	250	0.05
280	310	0.03

La tensión correspondiente al tiempo de 5 segundos, se denomina tensión de contacto limite y se le indica como UL. Esta representa el extremo superior del conjunto de tensiones de contacto en vacío que pueden permanecer por un tiempo indefinido sobre las masas. En condiciones normales se asume $UL = 50V$; en condiciones ambientales particulares, la tendencia normativa es la de reducir la tensión de contacto limite $UL = 25V$.

3.3. Sistemas eléctricos en relación a puesta a tierra.

En relación al estado del neutro y a la situación de la masa con respecto a tierra, los sistemas eléctricos están definidos por dos letras; la primera indica el estado del neutro:

- T = Neutro conectado directamente a tierra
- I = Neutro aislado de tierra

La segunda letra significa

- T = Masa conectada directamente a tierra
- N = Masa conectada al neutro del sistema

3.3.1 Protección contra el contacto indirecto en el sistema TT

En el sistema TT, el neutro va conectado directamente a tierra y las masas van conectadas a una instalación de tierra eléctricamente independiente de la instalación a tierra de la del neutro

Requisitos de la protección

se indica el circuito de falla a tierra en un aparato alimentado por un sistema TT. Si la persona está lo suficientemente

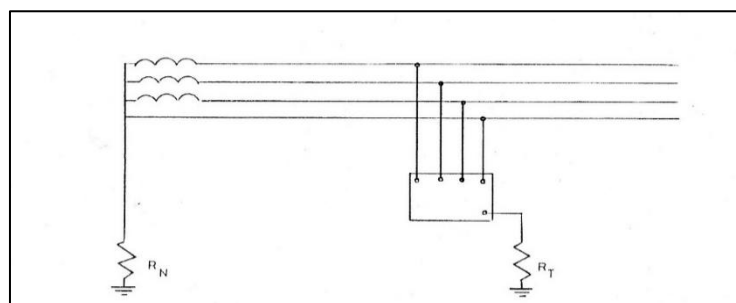


Fig. 13 Sistema TT. El neutro está conectado rectamente a tierra

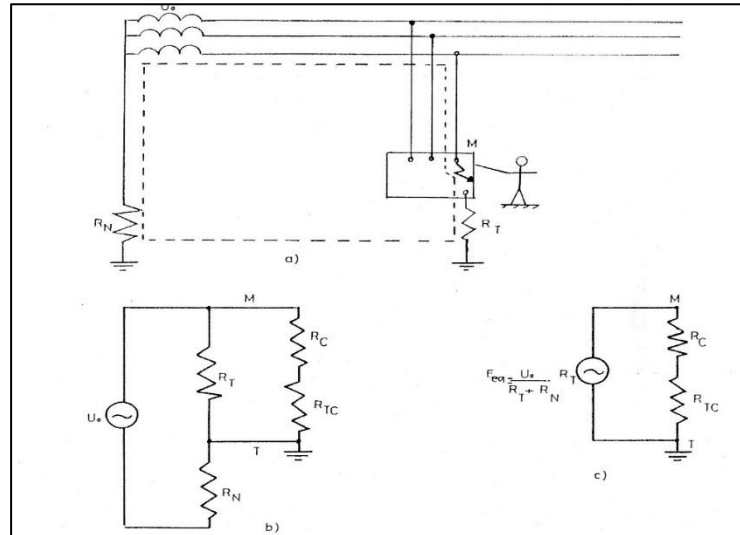


Fig. 14 Circuito de una falla a tierra en un sistema TT

alejada del dispersor como para considerar la tensión de toque en vacío igual a la tensión total ($U_{co} = U_T$), se obtendrán resultados favorables para la seguridad, ya que normalmente la persona se encuentra en un punto del terreno a potencial distinto de cero.

La impedancia del conductor de fase es del orden de algunas décimas de ohmios, por lo tanto despreciable frente a las otras resistencias del circuito de falla; lo mismo sucede con la impedancia interna del transformador (o del generador).

Se obtiene así el circuito equivalente donde U_o indica la tensión de fase aplicando el teorema de Thévenin entre los puntos M y T, se obtiene:

$$E_{eq} = \frac{U_o}{R_t + R_N} R_T \quad R_{eq} = \frac{R_T R_N}{R_T + R_N}$$

La R_{eq} , es despreciable respecto a la resistencia de carga $R_c + R_{TC}$, la primera es en efecto del orden del ohmio de la décima de ohmio; en cambio la segunda es del orden del millar de ohmios. Para que la tensión sobre la masa este dentro del límite de seguridad, debe verificarse la siguiente condición:

$$\frac{U_o}{R_t + R_N} R_T \leq U_L \quad R_T \leq \frac{U_L}{U_o - U_L} R_N$$

La resistencia a tierra del neutro, R_N , es frecuentemente inferior a 1 ohm en un sistema trifásico 380/220V y para $U_L = 50V$, la resistencia a tierra de la masa deberá ser lo tanto inferior a 0,3.

En un sistema TT no es práctico ni conveniente que la tensión sobre la masa alcance valores inferiores al límite U_L , debido a que:

- Necesitaría una resistencia de tierra muy baja del orden de las decimas de ohm, lo cual no es fácilmente obtenible en las instalaciones en BT.

- La seguridad depende de la variación de la resistencia de tierra del neutro, esta variación no es conocida por el usuario, ni debería serlo, puesto que uno de los objetivos que se desea conseguir a través del sistema TT, es el de dissociar la seguridad del usuario de las características y de las vicisitudes de la red de distribución pública en BT.
- Si se deseara introducir una impedancia sobre la conexión a tierra del neutro, se recaería en el sistema IT.

No pudiendo limitar el valor de la tensión sobre la masa, para conseguir la seguridad, se debe reducir el tiempo de duración de tal tensión. Es preciso abrir el circuito en un tiempo tanto más breve, cuanto mayor es la tensión sobre la masa, de modo que sea soportable por el cuerpo humano, es decir, debe ser satisfecho la curva de seguridad.

En favor de la seguridad se confunde la tensión de toque en vacío con la tensión total, y referir a esta última la aplicación de la curva de seguridad. De este modo se protege también la persona en contacto simultáneo con la masa y con el punto al infinito, a potencia cero.

El dispositivo de protección (fusible, interruptor automático o diferencial) abre automáticamente el circuito ante una corriente de falla I_g , según una característica corriente-tiempo, fig. 2.9. La corriente I_g , puede asumir cualquier valor dependiendo el valor de la resistencia R_W , R_T y de la resistencia R_g de falla.

Una falla franca a tierra ($R_g = 0$), corresponde a la máxima tensión sobre la masa, pero la resistencia de falla podría limitar la corriente I_g y retardar la intervención del dispositivo de protección, sin que la tensión sobre la masa se quede dentro de los límites de seguridad. De aquí resulta la falla no franca podría resultar más peligrosa que la franca; es necesario por lo tanto procurar, que para cada posible valor de I_g el tiempo t_i , empleado por el dispositivo de protección para abrir el circuito sea inferior al tiempo t_s correspondiente sobre la curva de seguridad a la tensión $U_T = R_T I_g$.

Para concluir se puede afirmar que en un sistema TT, el valor de la resistencia de tierra R_T no es de por sí indicativo de la condición de seguridad, esto debe ser tal, en relación a la característica de intervención del dispositivo de protección, que la tensión total sea eliminada en un tiempo inferior al previsto por la curva de seguridad.

Según el tipo de dispositivo a utilizar para la interrupción del circuito (fusible, interruptor automático o diferencial) cambia la característica de protección.

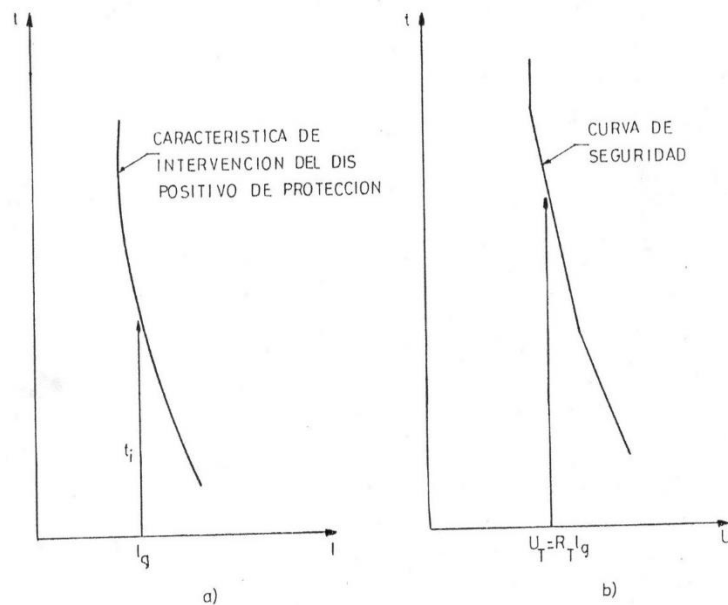


Fig. 15 Corriente falla I_g es interrumpida, según el dispositivo de protección en el tiempo t .

3.3.2 Protección mediante dispositivos de máxima corriente

se indican dos ejemplos característicos de intervención de un fusible y un interruptor automático respectivamente.

Si consideramos el punto $(U_L, 5 \text{ seg})$ sobre la curva de seguridad, la resistencia de la instalación a tierra R_T y la corriente I_{5s} corresponden a un tiempo de intervención del dispositivo de protección de 5 seg. Debiendo satisfacer la siguiente relación:

$$R_T I_{5s} \leq U_L \quad R_T = \frac{U_L}{I_{5s}} \quad (1)$$

Para corrientes superiores a I_{5s} , la característica de intervención del dispositivo de protección de máxima corriente es en general tal de satisfacer la curva de seguridad.

En definitiva, para corrientes de falla inferiores a I_{5s} , el dispositivo de protección emplea tiempos elevados en abrir el circuito o podría también no intervenir, pero si la relación antes mencionada está satisfecha, la tensión asumida por las masas será inferior a la U_L . Para corrientes de falla superiores a I_{5s} , la tensión sobre la masa supera U_L , pero el dispositivo abre el circuito en un tiempo tal que satisface la curva de seguridad.

Si luego de una tabla de aislamiento, una masa dispersa la corriente I_g , toda masa conectada a la misma instalación de tierra asume la misma tensión.

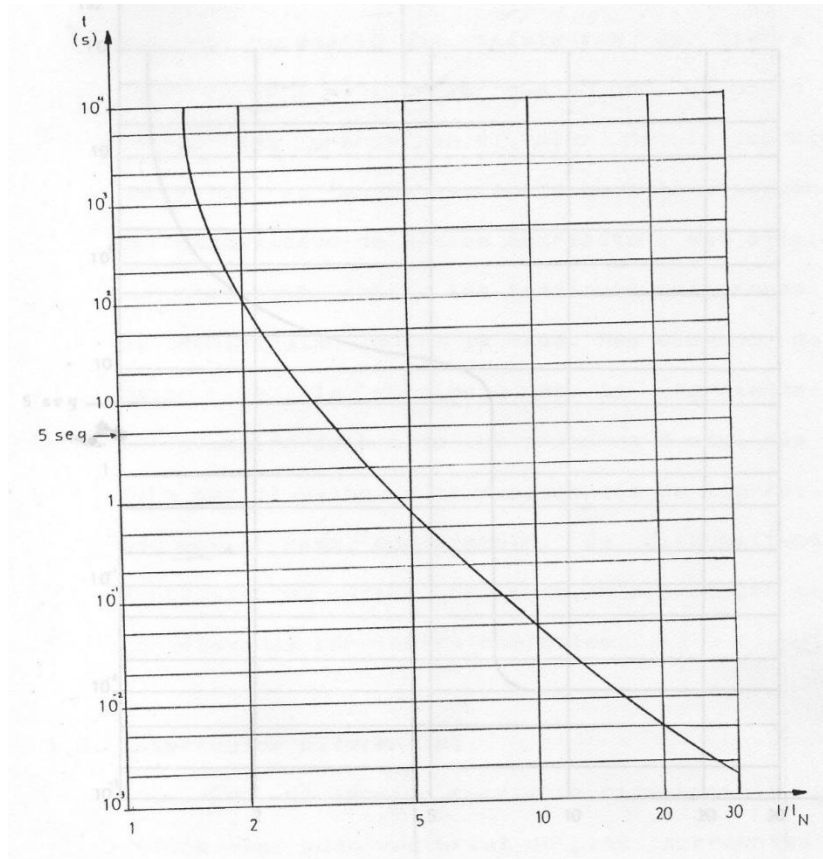


Fig. 16 Características de intervención de un fusible

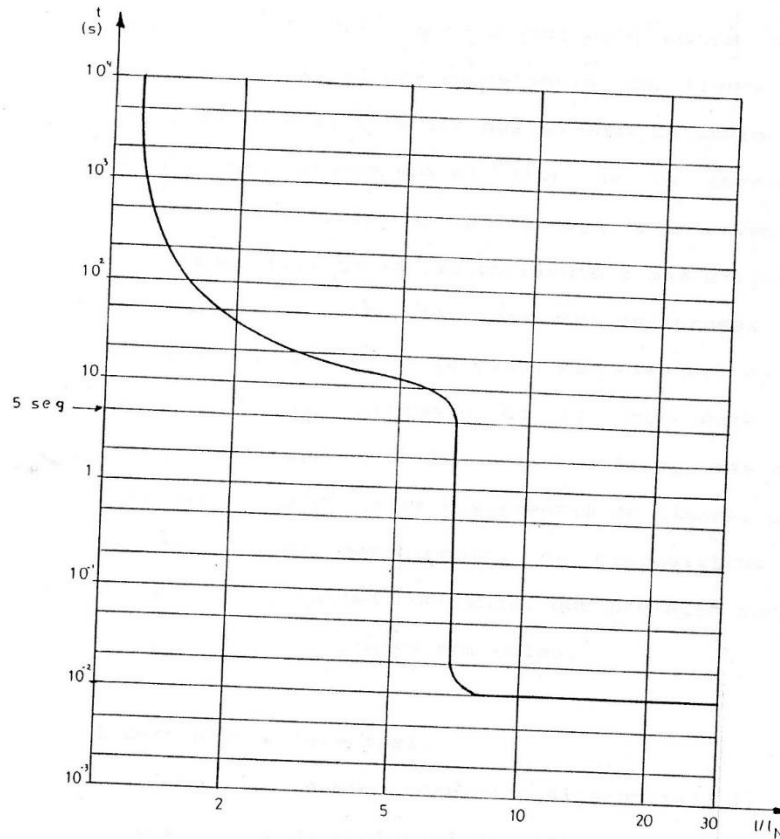


Fig. 17 Características de intervención de un interruptor automático

3.3.3 Interruptor diferencial

Con el término corriente diferencial I_{Δ} se define la suma vectorial de las corrientes que fluyen a través de los conductores activos del circuito. En condiciones normales la corriente diferencial es igual a cero, solo si el circuito sufre una falla a tierra ésta difiere de cero.

El interruptor diferencial es un dispositivo destinado a abrir automáticamente el circuito cuando la corriente diferencial supera un valor preestablecido. La falla a tierra de un aparato monofásico provoca una corriente diferencial.

$$I_{\Delta} = I_1 - I_2$$

El dispositivo diferencial puede ser esquematizado, los arrollamientos 1 y 2 son iguales y están recorridos por una corriente igual y contraria, en funcionamiento normal el flujo magnético total en el transformador es nulo.

Una falla a tierra origina una diferencia entre las corrientes; por lo tanto, se produce, en el toroide, una diferencia entre los flujos magnéticos, de modo que el flujo resultante es distinto de cero e induce en el tercer arrollamiento una tensión que comanda, a través de un amplificador electrónico, la desconexión del circuito. El valor de la corriente diferencial que provoca la desconexión del circuito se denomina corriente nominal diferencial de intervención IAN.

En los sistemas trifásicos son conductor de neutro, la suma de las tres corrientes en ausencia de falla a tierra es siempre igual a cero.

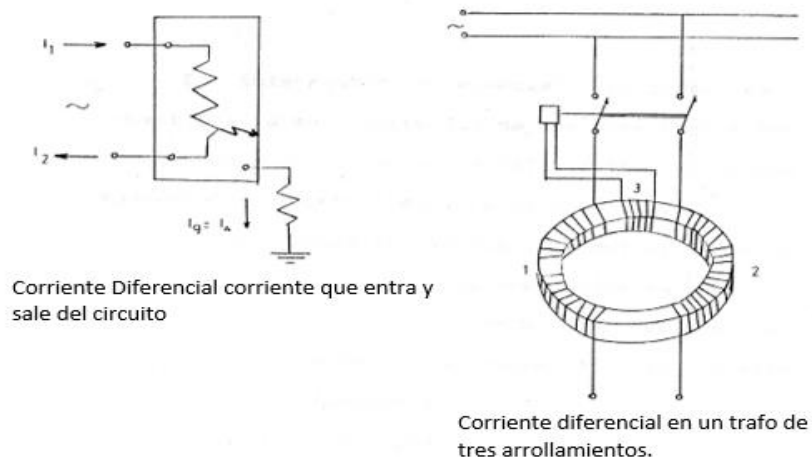


Fig. 18 Esquematación de dispositivo diferencial

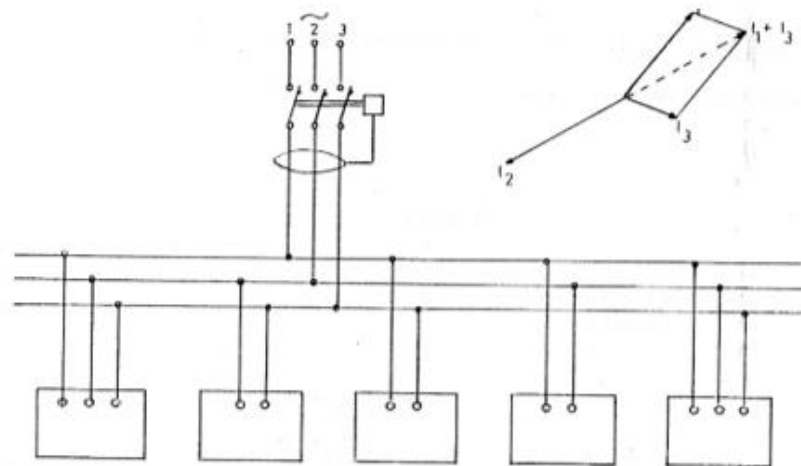


Fig. 19 Sistema trifásico sin neutro en ausencia de una falla a tierra

El interruptor diferencial trifásico es sensible a la suma vectorial de las tres corrientes e interviene cuando ante una falla a tierra, dicha suma supera el umbral de intervención I_{AN} .

En los sistemas trifásicos con neutro, la suma de las corrientes sobre las tres fases es igual a la contraria a la corriente que recorre el conductor de neutro, la suma de las cuatro corrientes es constante e igual a cero (fig. 20). La intervención cuadripolar, cualquiera que sea la distribución de carga, interviene solamente por falla a tierra.

El máximo riesgo de intervención para interruptores diferenciales de $I_{AN} > 0,03$ A, comúnmente denominada de baja sensibilidad, se indica en la tabla

Tabla VI
RIESGO DE INTERVENCIÓN PARA INTERRUPTORES
DIFERENCIALES DE I_{AN}

I	T(seg)
I_{AN}	2
$2 I_{AN}$	0.2
$5 I_{AN}$	0.04

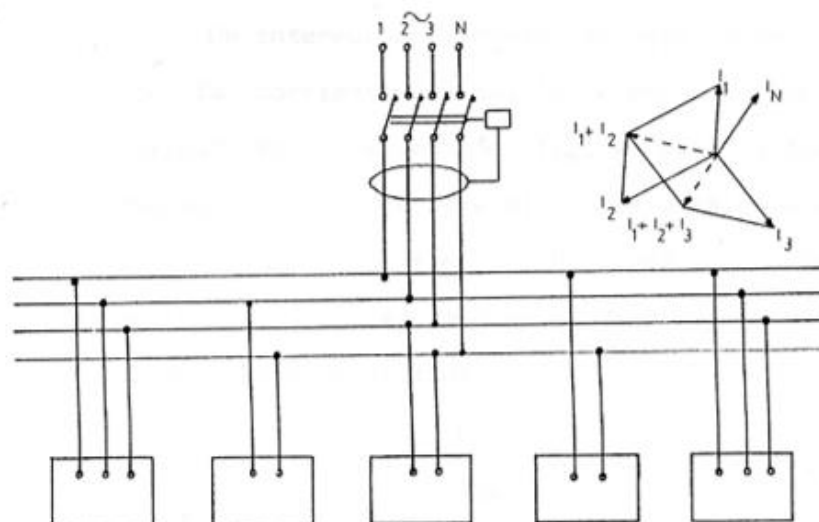


Fig.20 suma de las cuatro corrientes es constante e igual a cero

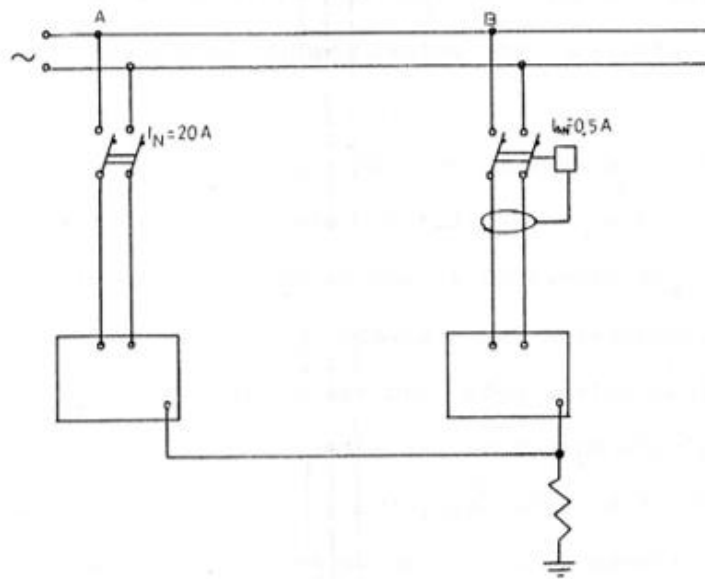


Fig.21 ventaja conseguida con el interruptor diferencial

3.3.4 Protección mediante un interruptor diferencial

Un interruptor diferencial está especificado por la corriente nominal I_N y por la corriente nominal de intervención $I_{\Delta N}$; a esta última es necesario referirse para el dimensionamiento de la instalación de tierra. Por analogía de la protección a máxima corriente, debe ser satisfecha la siguiente condición:

$$R_T < \frac{U_L}{I_{\Delta N}} \quad (1)$$

Los valores normales de $I_{\Delta N}$ para interruptores diferencial de uso doméstico, son: 0.005 A, 0.001 A, 0.03 A, 0.1 A, 0.05 A, y de 1 A. Corrientes diferenciales nominales de intervención de: 3A, 5A, 10A, y de 20A, son valores normalizados para interruptores diferenciales de distinto uso al doméstico.

La condición (2), es análoga a la (1), la diferencia consiste en el valor numérico del denominador. Mientras que la corriente I_{5s} depende de la corriente nominal del dispositivo de protección y puede ser del orden de las centenas de amperios, la corriente nominal del dispositivo de protección y puede ser del orden de las centenas de amperios, la corriente $I_{\Delta N}$ es independiente de la corriente nominal I_N del interruptor diferencial y varía de fracciones de amperio a un amperio. En la tabla 2.4, se indican los valores de R_T que satisfacen la condición (2) en relación al valor de $I_{\Delta N}$, supuesto $U_L = 50$.

Tabla VII
VALORES DE R_T QUE SATISFACEN LA CONDICIÓN
EN RELACIÓN AL VALOR DE I_{AN}

I_{AN} (A)	R_T (Ω)
0.005	10 000
0.01	5 000
0.03	1 666
0.1	500
0.3	166
0.5	100
1	50
3	16.6

Protección con interruptores automáticos o interruptores diferenciales

En el caso mostrado en la Fig. 21, la derivación A esta protegida por un interruptor automático con corriente nominal I_N igual a 20 A; la derivación B por un interruptor diferencial con corriente diferencial nominal de intervención I_{AN} igual 0.5 A. Para conseguir la seguridad en la derivación B es suficiente una resistencia de tierra R_T , no superior a 100 ($U_L = 50$ V); para la derivación A suponiendo $I_{5s} = 5 \cdot I_N$ se deberá cumplir $R_T < 0.5$. Teniendo la instalación una tierra común, para afrontar el caso más desfavorable, deberá cumplirse que $R_T < 0.5$; es decir se anula la ventaja conseguida con el interruptor diferencial. Por lo tanto, es oportuno en la práctica, que todas las derivaciones que tienen la misma conexión a tierra sean protegidas con interruptores diferenciales.

3.3.5 Equipotencialidad en sistema II

El termino equipotencial es sinónimo de seguridad; por lo que si todas las partes conductoras contemporáneamente accesible, incluido el terreno, se conectan al mismo potencial, no debería haber peligro alguno por las personas.

Es comúnmente buena regla conectar todas las masas extrañas a tierra, como; tubería de agua, cemento armado con estructura de fierro, camisas metálicas de pozos, etc. De este modo se obtienen las siguientes ventajas para la seguridad:

- Disminuye la resistencia a tierra del conjunto puesto que las masas extrañas hacen las veces de dispersor, reduciendo de este modo la tensión total U_T .
- Se atenúa la tensión de contacto entre masas y tierra; y entre la masa y masa extraña, a consecuencia de lo expuesto en el a), por equipotencialidad.
- Se reduce el riesgo para la persona, cuando casualmente, no se verifica la condición.

$$R_T \leq \frac{U_L}{I_{AN}} \quad \text{ó} \quad R_T \leq \frac{U_L}{I_{5s}}$$

3.3.6 Protección contra el contacto indirecto en sistema tn

En el sistema TN, el neutro va conectado directamente a tierra, y las masas de la instalación van conectadas a este punto por medio de un conductor de protección.

Los diferentes tipos de sistemas TN, se distinguen según que los conductores de neutro y los de protección estén separados o no (fig, 22). Los sistemas serán:

- TN-S si los conductores de neutro y de protección están separados
- TN-C: Si la función de neutro y de protección están en parte combinadas y en parte separadas en un solo conductor.

Si consideramos un sistema TN con conductor de protección completamente distinto al conductor de neutro en todo su recorrido, el sistema será TN-S, fig. 16. Si en una primera aproximación se desprecia la impedancia interna del transformador y se indican con Z_f y Z_p las impedancias del conductor de fase u del conductor de protección respectivamente, se obtiene el circuito equivalente mostrado en la fig. 2.18b, y aplicando el teorema de Thevenin entre M y T se determina:

$$R_{eq} = \frac{U_o}{Z_f + Z_p} Z_p \quad Z_{eq} = \frac{Z_f Z_p}{Z_f + Z_p} + R_n$$

Como la impedancia Z_{eq} , es despreciable respecto a $R_C + R_{TC}$, el circuito de falla se comporta como un generador ideal de tensión.

La falla franca a tierra representa un cortocircuito y la corriente es limitada por la impedancia del circuito de falla. Está constituida por una espira o anillo, con una impedancia Z_g denominada impedancia del anillo de falla.

Ya que la falla se transforma en cortocircuito, se ha de buscar utilizar el dispositivo de protección contra la sobre corriente incluso para la protección contra el contacto indirecto. Debe ser satisfecha la curva de seguridad, por lo que es necesario entonces interrumpir el circuito en un tiempo tal que la tensión sobre las masas sea soportable para el cuerpo humano, de la fig. 23 se obtiene

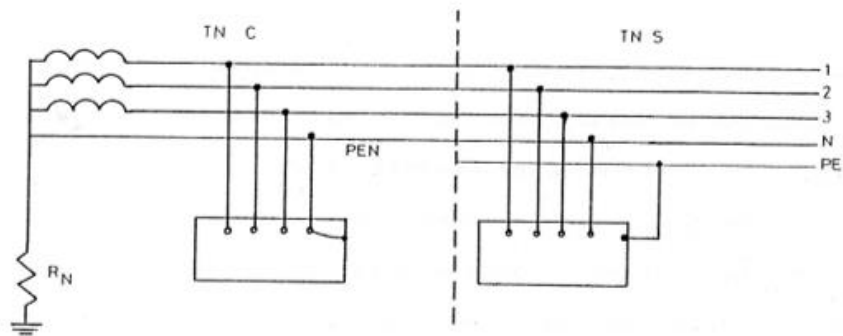


Fig.22 Los diferentes tipos de sistemas TN

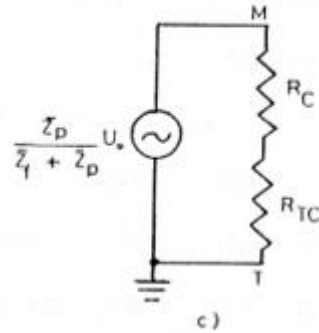
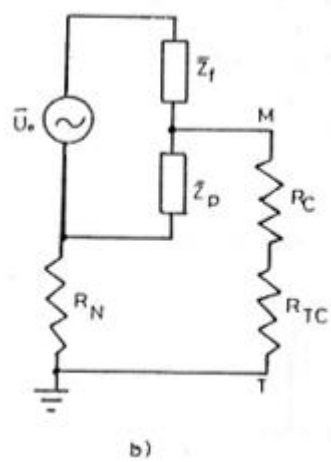
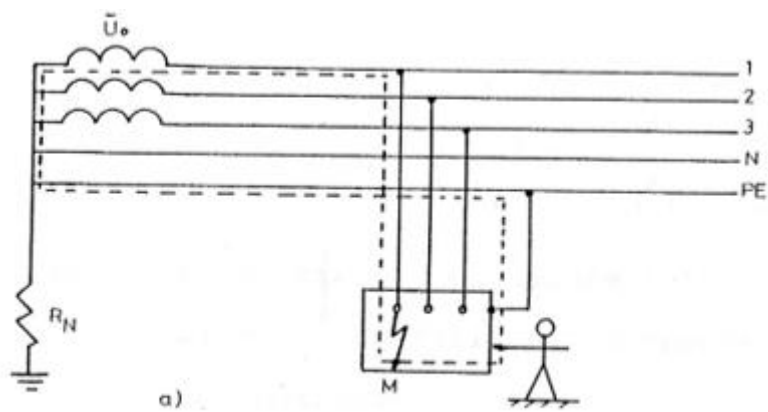


Fig.23 circuito en un tiempo tal que la tensión sobre las masas sea soportable para el cuerpo humano

$$U_{CO} = U_T = \frac{U_0}{Z_f + Z_p} Z_p$$

Para $Z_f = Z_p$, se tiene que $U_{CO} = U_T = U_0/2$; mientras que para $Z_p = 2 Z_f$, se tiene que $U_{CO} = U_T = 2 U_0/3$.

El dispositivo de máxima corriente elegido para la protección contra las sobre corrientes, no siempre abre el circuito en un tiempo suficientemente breve en relación a dicha tensión. Sobre todo, en el caso de una falla al final de la línea debido a la mayor impedancia del anillo de falla y por lo tanto se pueden ocasionar situaciones peligrosas.

3.3.7 Tensión de contacto y conexión equipotencial

En la fig. 24, se esquematiza el circuito típico de falla sobre la masa en un sistema TN. El conductor de protección está constituido en un primer tramo por MP, un segundo tramo por P1 P y un último por PN entre el edificio y la cabina. La conexión equipotencial PA se efectúa a la entrada del edificio sobre el conductor de protección y la masa extraña, representada en la figura por una tubería.

En el sistema TT, el conductor de protección es equipotencial a lo largo del recorrido, debido a que presentan una resistencia despreciable respecto a la resistencia de tierra, en el sistema TN el conductor de protección presenta una impedancia igual o superior que la del conductor de fase, esto asume un potencial variable de punto con ley lineal. La masa H asume una tensión total igual a la suma de la tensión en los tres tramos del conductor de protección: $U_T = U_1 + U_2 + U_3$ suponiéndose en fase entre ellos.

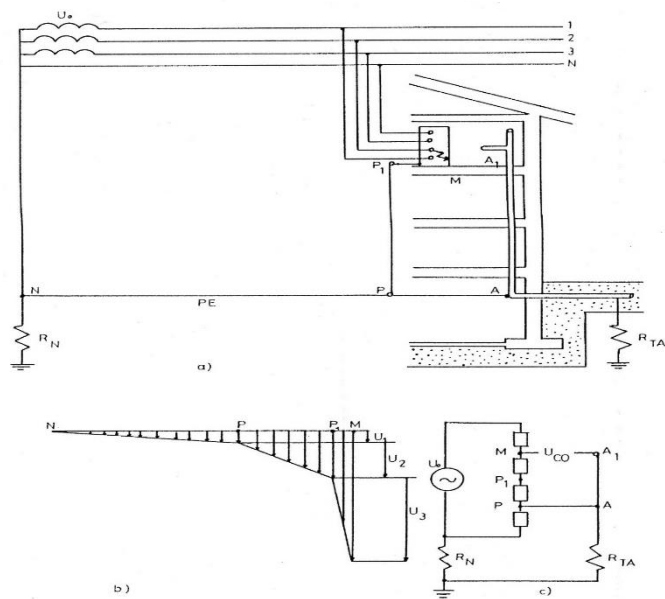


Fig.24 circuito típico de falla sobre la masa en un sistema TN

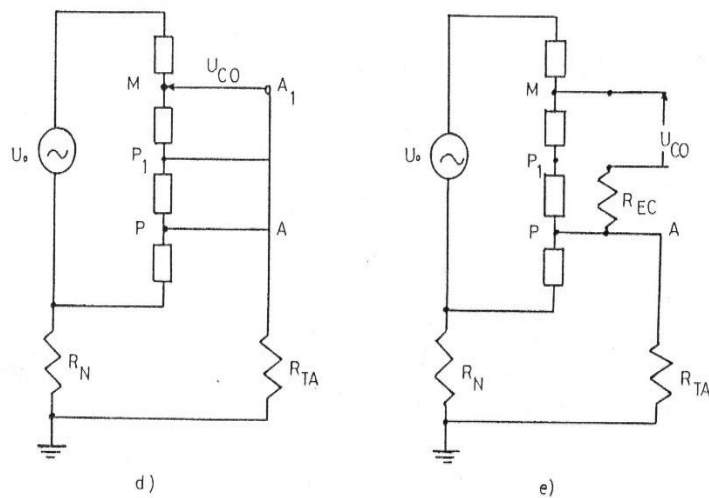


Fig.25 La conexión equipotencial local P A disminuye aún más la tensión de contacto

La conexión equipotencial PA, origina que la tubería alcance la tensión U_1 , de tal modo que la tensión entre la masa y la tubería resulta reducida a $U_2 + U_3$. Si la conexión equipotencial viene afectada localmente por los puntos P1 y A1, la condición de seguridad mejora notablemente, puesto que la tensión de contacto es debida solo a la caída de tensión U_3 sobre el último tramo del conductor de protección.

Cabe anotar que la tensión U_3 se establece no solo entre el aparato averiado M y la masa externa A_1 , sino también entre las otras masas conectadas al punto P_1 .

En un contacto mano-pie la persona se puede considerar conectada con el conjunto equipotencial a través de la resistencia REC (fig. 25). En otras palabras, la resistencia hacia tierra de la persona no puede ser independiente de la conexión equipotencial PA , sino que depende también de la resistencia REC .

En definitiva, en un sistema TN , en el interior de un edificio, la conexión equipotencial reduce la tensión de contacto, tanto más cuanto más próximo es el punto de falla. La conexión equipotencial se vuelve necesaria para satisfacer la curva de seguridad cuando, ante una falla franca a tierra en un punto cualquiera de la instalación el dispositivo de protección a máxima corriente no interviene en un tiempo inferior al correspondiente a la tensión total $U_T = U_1 + U_2 + U_3 = U_{CO}$, sobre la curva de seguridad.

La conexión equipotencial es por lo tanto más importante para la seguridad en el sistema TN que para el sistema TT .

Al exterior del edificio la referencia hacia tierra de la persona ya no es la conexión equipotencial, tal como se muestra en la fig. 2.20. La tensión de toque en vacío antes mencionada asume el valor:

$$U_{CO} = U_{MN} = \frac{U_0}{Z_f + Z_p} Z_p$$

Si la masa además de ser conectada al neutro se la conecta a tierra, la condición de seguridad mejora. Las resistencias R_T y R_N son muy elevadas respecto a Z_f y Z_n y no alteran la tensión preexistente U_{MN} ; modificando sin embargo la tensión de toque que no coincide más con U_{MN} sino que con una parte de esta, precisamente la parte relativa a R_T del partidor $R_T + R_N$ de la tensión U_{MN} .

La seguridad mejora pues, tanto más cuanto menor es la relación R_T/R_N ; desgraciadamente R_T es en general mucho mayor que R_N y la ventaja por la seguridad no es decisiva, a menos que no se quiera conseguir localmente la equipotencialidad entre masa y terreno con una oportuna geometría del dispensor.

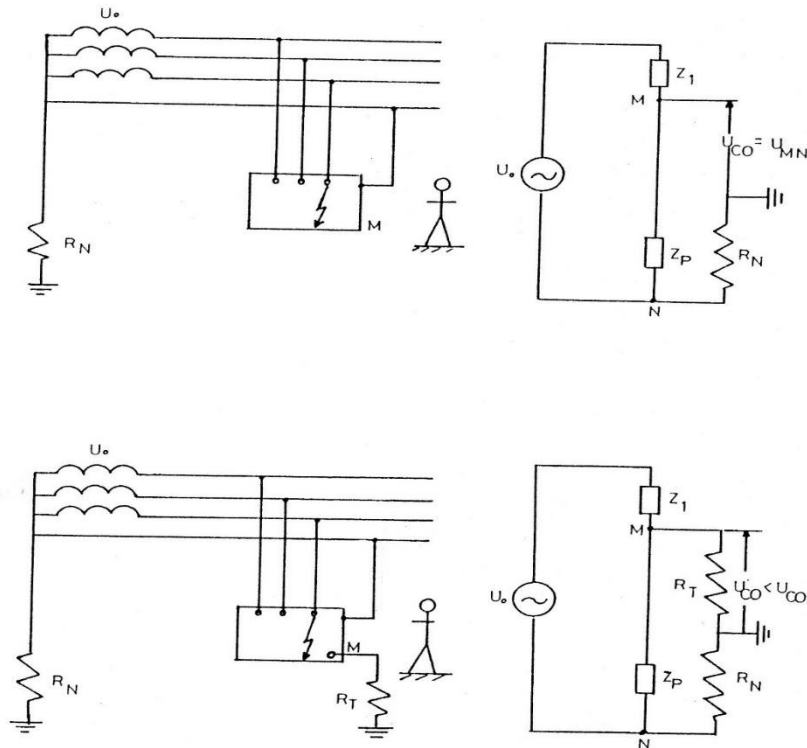


Fig.26 sistema TN no es necesario conectar las masas a tierra. Sin embargo una eventual conexión a tierra mejora las condiciones de seguridad

3.3.8 Situación normativa

Según las normas IEC, el sistema TN, ante una falla franca a tierra en un punto cualquiera de la instalación necesita tan solo respetar la siguiente condición:

$$\frac{U_O}{Z_g} \geq I_{5s}$$

Donde U_O , es la tensión de fases, Z_g , representa la impedancia del anillo de falla; I_{5s} , es la corriente de intervención en 5 seg, del dispositivo de protección de máxima corriente; en otras palabras, la norma exige para una falla franca a tierra, solo la apertura del circuito dentro de 5 seg, sin referencia alguna a la curva de seguridad y requiere además la conexión equipotencial principal.

Esta “ligereza” normativa no es causal; y es difícil determinar en un sistema TN la tensión U_{CO} porque está ligada a la relación de impedancia del conductor de fase y protección, en todo el anillo de falla. No es práctico, en todo el anillo de falla. No es práctico medir tal tensión, la que comúnmente no constituye una solución al fin del proyecto de la instalación.

3.3.9 Tensión sobre el neutro en condiciones anómalas del circuito

En condiciones anómalas el conductor de neutro puede asumir una tensión peligrosa hacia tierra. En el sistema TN a este evento le corresponde un daño elevado para la persona, puesto que también la masa asume tal tensión, aun si no ha sido efecto por alguna falta de asilamiento. Las tensiones se pueden originar:

- Sobre la instalación de tierra del neutro
- Sobre el conductor del neutro

Tensiones que tienen origen sobre la instalación de tierra del neutro

La tensión de tierra del neutro, puede asumir tensiones peligrosas a causa de:

- Una falla a tierra sobre el sistema en AT
- Una falla a tierra sobre el sistema en BT

La situación en la cual una falla a tierra en BT puede provocar tensiones sobre la instalación de tierra del neutro se esquematiza en la fig. 2.21. La resistencia R_E , es la resistencia de tierra del elemento hacia el cual se produce la falla, no conectado al conductor de protección o, como límite, la resistencia hacia tierra de un conductor en contacto con el suelo, por ejemplo por rotura de la línea aérea. La impedancia del conductor de fase es despreciable respecto a la resistencia R_N y R_E .

El dispositivo de protección de máxima corriente colocado al inicio de la línea tiene una corriente nominal elevada, de valor proporcional a la corriente de empleo y difícilmente puede intervenir ante una falla a tierra en la línea dentro del tiempo previsto por la curva de seguridad. La falla puede permanecer por un tiempo indefinido y necesita que la tensión sobre la resistencia R_N , no supera la tensión límite U_L ; es decir debe ser satisfecha la siguiente condición:

$$R_N \frac{U_O}{R_E + R_N} \leq U_L \quad R_N \frac{U_L}{U_O - U_L} R_E$$

Como es fácil imaginar, surge notable dificultad práctica en la determinación de la resistencia R_N , y en el establecer el valor de la resistencia R_E , de todo ocasional a indeterminada. Se termina de asumir valores convencionales prudenciales para la puesta a tierra del neutro en la subestación y a lo largo de la línea.

Vale la pena observar que el caso anteriormente mencionado es característico de la red de distribución pública. En una instalación que utilice alimentación con cabina propia, donde la instalación de tierra es única y general, es extremadamente improbable que una situación como antes mencionada se verifique y sea peligrosa; si se produce una falla hacia la masa, el conductor de protección cortocircuito el partidor de tensión constituido por las resistencia R_E y R_N , si la falla se produce hacia el terreno, la resistencia R_E es en general bastante elevada como para reducir la tensión sobre el neutro a valores no peligrosos.

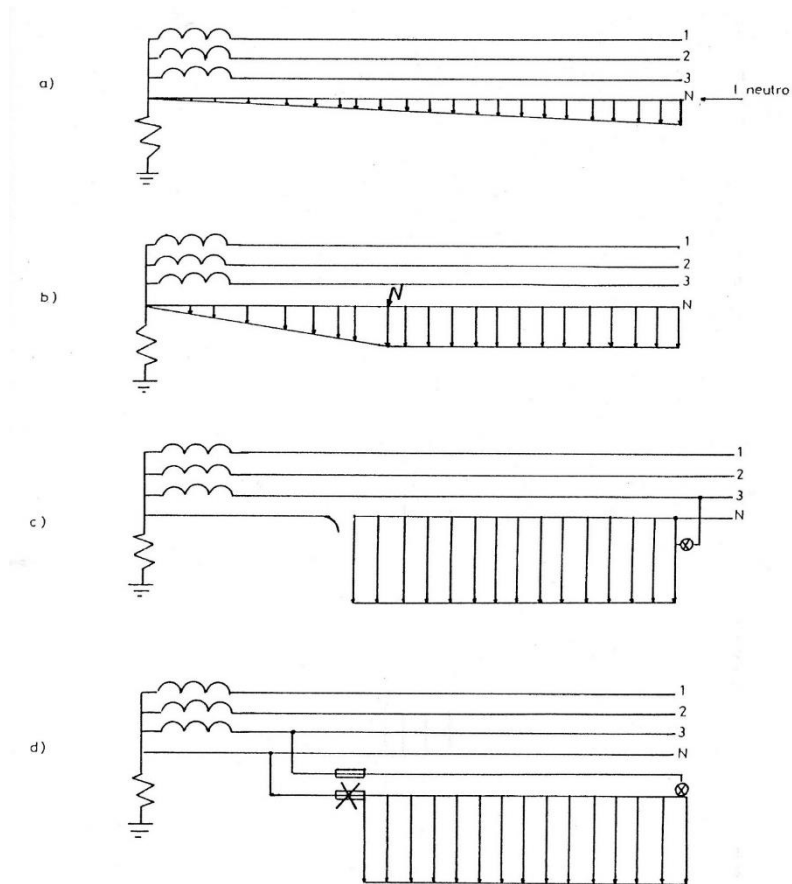


Fig.27 Tensiones que originan sobre el conductor neutro

- A - Por equilibrio de las corrientes
- B - Por cortocircuito fase-neutro
- C - Por rotura del conductor neutro
- D - Por intervención de un fusible

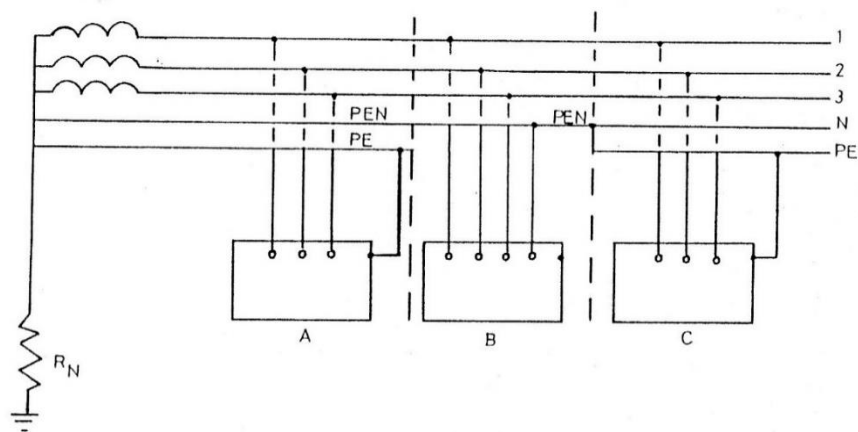


Fig.28 Tensiones peligrosas que se originan sobre la instalación de tierra del neutro y sobre las masas según su tipo de conexión

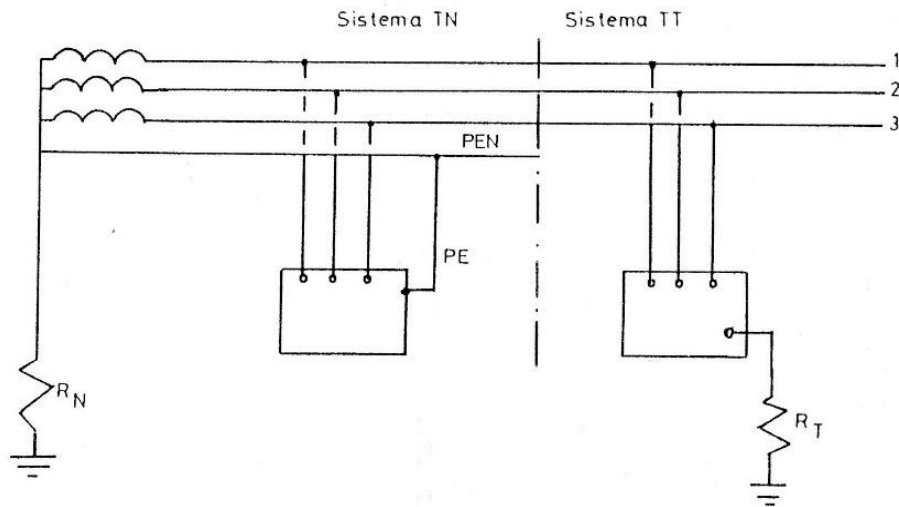


Fig.29 Un sistema TT puede coexistir con un sistema TN, solo si está protegido con interruptores diferenciales.

3.3.10 Compatibilidad entre los sistemas TN y TT

En algunos casos no es oportuno extender el sistema TN a toda la instalación, por ejemplo en el caso de las derivaciones al aire libre de notable extensión, así como en equipos conectados en puntos muy lejanos, donde no es conveniente llevar el conductor de protección.

Para estas partes de la instalación no se puede adoptar el sistema TT, pero es necesario hacer compatibles ambos sistemas; una falla a tierra de un sistema TT, puede provocar una tensión peligrosa sobre la instalación de tierra del neutro Fig. 29

En el sistema TT, como se sabe, debe ser satisfecha la siguiente condición:

$$R_T \leq \frac{U_L}{I_{5s}} \quad (1)$$

Donde I_{5s} es la corriente que determina la intervención de la protección dentro de los primeros 5 segundos. Para que después de una falla sobre el sistema TT no se verifiquen condiciones peligrosas para el sistema TN debe verificarse:

$$R_T \geq \frac{U_0 - U_L}{U_L} \quad (2)$$

A fin de que se establezcan condiciones de peligrosidad en ninguno de ambos sistemas deben ser satisfechas a la vez las condiciones (1) y (2).

El sistema deberá cumplir la siguiente condición:

$$R_N \frac{U_O - U_L}{U_L} \leq \frac{U_L}{I_{5S}} \quad I_{5S} \leq \frac{U_L^2}{R_N (U_O - U_L)}$$

Por ejemplo, para $U_O = 220V$; $R_N = 1$; $U_L = 50V$, la corriente I_{5S} viene a ser inferior a 14,7 A, lo cual excluye en la practica la posibilidad de emplear en este caso protección de máxima corriente. Las condiciones (1) y (2) pueden ser fácilmente satisfechas a la vez por un dispositivo diferencial.

3.3.11 Falla no franca a tierra

Hasta ahora se ha considerado el caso de una falla franca a tierra, es decir, sin la interposición de una resistencia entre fase a masa. En el caso de una falla no franca a tierra esta resistencia podría limitar la corriente, retardando la intervención de la protección sin reducir necesariamente la tensión de contacto dentro del límite de seguridad.

Si la resistencia de falla es pequeña, del mismo orden de Z_g , la corriente de falla será siempre elevada y el calor desarrollado sobre la resistencia de falla nula en breve tiempo su consistencia; si la resistencia de falla es elevada respecto a Z_g , la mayor parte de la tensión U_O cae sobre tal resistencia y no se verifican condiciones de peligro. Se podrían verificar situaciones críticas cuando:

- La resistencia de falla no está constituida por un aislante, sino que es la parte de un aparato, por ejemplo, un aparato térmico, así que la falla se puede desarrollarse en cortocircuito.
- La falla a tierra sobre un punto próximo al centro estrella de los aparatos utilizadores, por ejemplo, sobre el arrollamiento del estator de un motor.
- La falla a tierra determina la formación de un arco; la tensión del arco limita la corriente de cortocircuito y en consecuencia aumenta el tiempo de intervención de la protección.

En todos estos casos los interruptores diferenciales aseguran la protección.

3.3.12 Uso del interruptor diferencial del sistema TN

La ventaja del sistema TN es la de poder utilizar el dispositivo de máxima corriente para la protección contra el contacto indirecto; acudir a los interruptores diferenciales implicaría renunciar a tal ventaja. Estos son indispensables solo para el caso particular en el cual la impedancia Z_G , no satisface la condición de seguridad.

Con el dispositivo diferencial, se obtiene obviamente una mayor seguridad, puesto que la elevada corriente de falla, típica del sistema

TN, provocaría la intervención en un tiempo de 30 a 40 segundos, soportando tensiones tolerables de hasta 280 V.

El dispositivo diferencial brinda una protección, además de los casos mencionados anteriormente, contra fallas no francas a tierra.

En las derivaciones al exterior, el dispositivo diferencial ofrece una buena protección por los motivos mencionado; no se puede sin embargo proteger al usuario de los peligros relacionados con la presencia de tensiones en el neutro, tal como se indica en la fig. 30

Los interruptores diferenciados pueden ser empleados solo en los sistemas TN-N; el uso combinado del neutro y del conductor de protección impediría de hecho el funcionamiento del interruptor en el caso de una falla a tierra.

3.3.13 El sistema TN y la red de distribución pública en BT

En el sistema TN al contrario de lo que sucede en el sistema TT la seguridad del usuario depende estrictamente de la red de alimentación.

Si el generador, el sistema de distribución y los usuarios están en la misma jurisdicción, el conjunto puede ser gestionado de tal modo que garantice los requisitos necesarios para la seguridad del sistema TN. Esto es lo que se verifica por ejemplo en las instalaciones utilizadoras alimentadas por una subestación propia de transformación.

En la red de distribución pública en BT la situación es distinta, se podría complicar el problema de responsabilidad entre el distribuidor y el usuario; no es ciertamente indiferente para el distribuidor además de abastecer energía eléctrica, el brindar seguridad. Es una elección que hay que hacer a priori si se alcanza la convicción de que tal sistema sea conveniente para la comunidad, entendiéndose por conveniente la mejor utilización de los recursos comunes teniendo en cuenta el nivel de seguridad aceptable.

Para proteger al usuario contra el contacto indirecto, el distribuidor debe garantizar el neutro de modo que:

- • Una falla a tierra en la línea BT no produzca tensiones peligrosas sobre la instalación de tierra del neutro
- Una falla a tierra en la subestación, sobre la línea AT no de origen a tensiones peligrosas sobre la instalación de tierra del neutro.
- El conductor del neutro no se interrumpa.
- No haya posibilidad de equivocación entre el conductor de neutro y un conductor de fase.
- La carga no sea demasiado equilibrada.

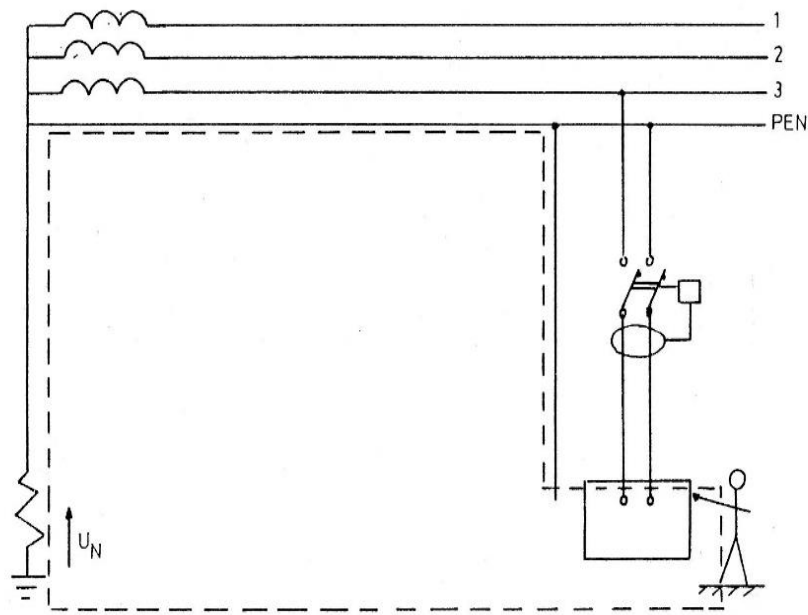


Fig.30 El interruptor diferencial, de alta sensibilidad no protege a la persona contra un contacto con la masa en tensión al presentarse condiciones anómalas sobre el neutro.

3.3.14 Protección contra el contacto indirecto en el sistema IT

El sistema eléctrico IT se encuentra aislado de tierra, a puesta a tierra a través de una impedancia, las masas están conectadas a tierra. Fig. 31

Características del sistema

En un sistema eléctrico aislado de tierra, una falla determina el paso de una corriente predominantemente capacitiva Fig. 32. En una instalación utilizadora la capacidad del sistema eléctrico es debida sobre todo al cable, y en menor medida a los motores y a los otros componentes de la instalación. En los sistemas trifásicos 380/220V la corriente capacitiva puede alcanzar valores de 0.4 A, por cada 1 000 kVA de potencia instalada.

La corriente producida ante una falla franca a tierra I_d , está constituida por la corriente capacitiva y la corriente resistiva del dispensor. Este valor de I_d permanece muy pequeño, del orden del amperio, y excepcionalmente supera los 10 amperios en las instalaciones más extensas.

El valor tan pequeño de la corriente I_d , permite satisfacer la siguiente condición: $R_T I_d \leq U_L$.

Si se satisface la condición antes mencionada, una falla a tierra no representara un peligro para las personas, y además estarán protegidas contra el contacto indirecto.

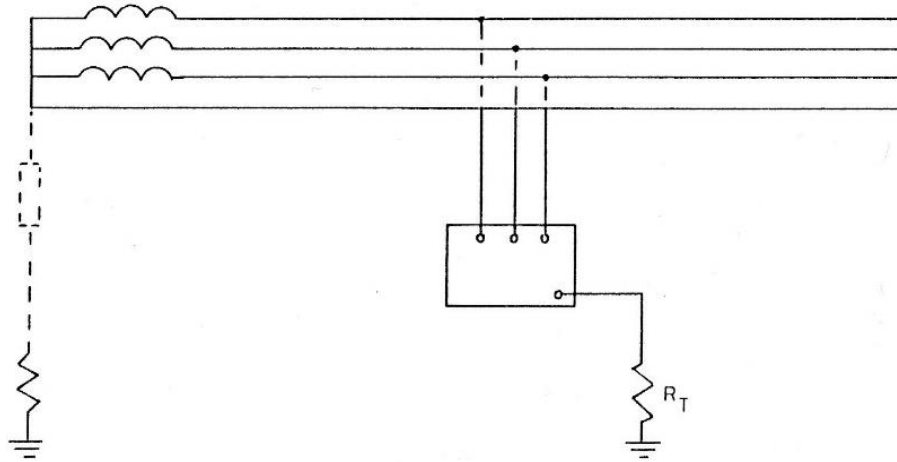


Fig.31 Sistema IT, el neutro está aislado a través de una impedancia las masas van conectadas a una instalación de tierra local.

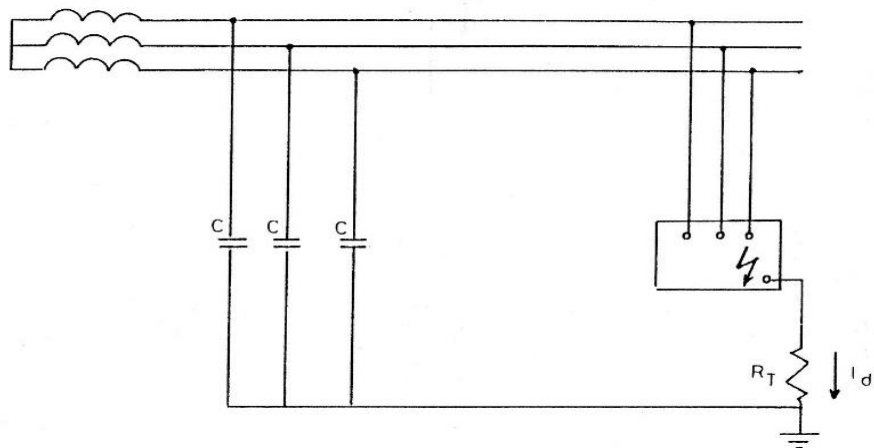


Fig.32 Sistemas eléctricos con neutro aislado una falla franca a tierra da lugar a una corriente de falla predominantemente capacitiva del pequeño valor.

La mayor ventaja del sistema IT, consiste en no interrumpir el circuito ante la primera falla a tierra. Esta característica es importante y a veces indispensable, en particular en las instalaciones utilizadoras en las que la interrupción del servicio puede causar notables daños económicos o comprometer la seguridad de las personas. El pequeño valor de la corriente limita además la posibilidad de que se formen arcos peligrosos tanto para las personas como para los objetos.

El sistema IT no presenta ninguna ventaja en lo que se refiere a los contactos directos. La corriente que fluye a través del cuerpo humano en caso de un contacto directo, aunque pequeña, es tanto más peligrosa, cuanto más extensa es la instalación. Las sobretensiones y la doble falla a tierra constituyen los principales inconvenientes del sistema IT.

Si la primera falla a tierra no es eliminada en un tiempo razonable breve, puede verificarse una segunda falla a tierra sobre otra fase del otro circuito. Se establece así una corriente de doble falla a tierra alimentada por la tensión de línea, la cual puede determinar la máxima corriente sobre ambos circuitos fig. 33.

De este modo se reduce la ventaja de la continuidad del ejercicio del sistema IT, es más; se agrava el mal servicio. Además, al verificarse la segunda falla a tierra, la protección contra el contacto indirecto y contra la sobretensión llega a ser bastante problemática.

Si como se indica en la fig. 33 las masas están conectadas a una sola instalación de tierra al ocurrir una primera falla a tierra se recae sobre un sistema TN, con una fase a tierra en vez del neutro. Ante la segunda falla deberá verificarse la siguiente condición:

$$\sqrt{3} \frac{U_0}{Z_g} > I_{5s}$$

Pero la impedancia del anillo de falla no es conocida a priori, puesto que los dos circuitos no están comprometidos con la doble falla. Para establecer la condición de seguridad contra el contacto indirecto no se puede más que proceder en modo aproximado y convencional. Lo mismo sucede con la protección del conductor contra la sobre corriente debida a la doble falla a tierra

Ocurre además que se cortocircuite la eventual válvula de tensión, instalada entre el neutro y una fase a tierra. Es por lo tanto necesario proveer un sistema de control continuo del aislamiento hacia tierra, de modo que permita una rápida individuación y eliminación de la primera falla a tierra.

El dispositivo de control del aislamiento más conocida y más simple está constituido por tres lámparas incandescentes puesta entre fase y tierra fig. 34 a. La intensidad luminosa de cada lámpara depende del valor de la tensión entre la fase por la cual es alimentada y tierra, y proporciona por lo tanto una valoración ordinaria del nivel de aislamiento de aquella fase. En el caso particular de una falla franca a tierra, la lámpara correspondiente a aquella fase se apaga, mientras que las otras dos, alimentadas con la tensión de línea se vuelven más luminosas.

El esquema de un dispositivo de control de aislamiento puede representarse como se indica en la fig. 34. El miliamperímetro indica la resultante de la corriente debida al generador C y se vuelve a cerrar en circuito a tierra por el paso de la impedancia de aislamiento.

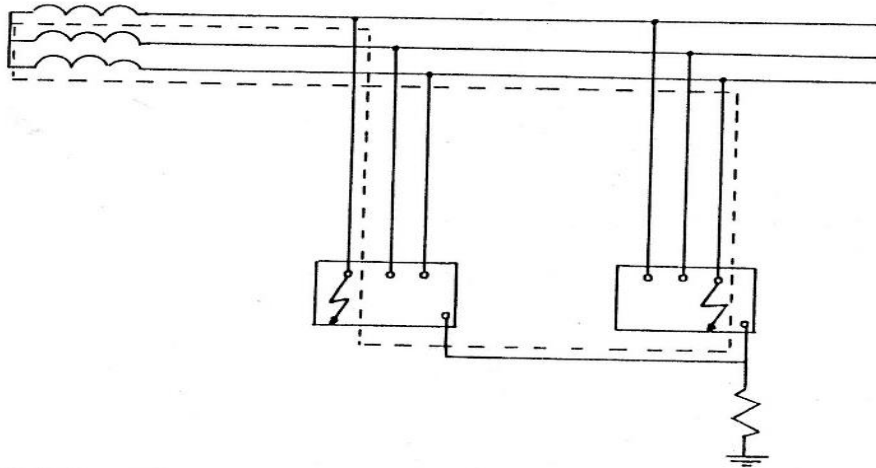


Fig.33 Al permanecer una pequeña falla a tierra el sistema deja de ser IT.

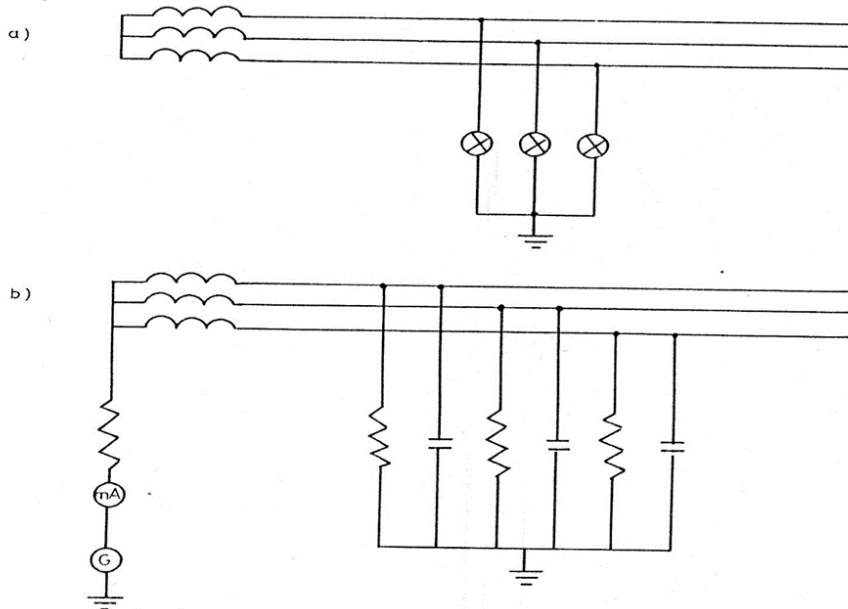


Fig.34 Dispositivo de control de aislamiento

En definitiva, el sistema IT se ha de adoptar cuando se esencial la continuidad del servicio. No es suficiente para tal fin tener el neutro aislado.

Es necesario proveer un dispositivo continuo de control de aislamiento y eliminar dentro de un tiempo t razonable una primera falla a tierra ya no es clasificable como sistema IT y ante una segunda falla a tierra se producirían efectos peligrosos. Se ha de evitar la segunda falla a tierra, para garantizar la continuidad del servicio y la seguridad.

Situación normativa

A diferencia de los sistemas TT y TN la presencia de una resistencia de falla juega en este caso un papel importante en favor de la seguridad.

Ante la presencia de una primera falla, el sistema TN cesa de ser tal y se convierte en un sistema TN o TT, según que la masa esté conectada respectivamente a una instalación de tierra única o a una instalación de tierra separada. De presentarse el sistema IT, este requerirá protección diferencial, por lo que es mucho más económico y practico realizar una instalación de tierra única y general a fin de convertir la primera falla a tierra del sistema IT en un sistema TN. Esta solución es pues la única recomendada según la actual norma IEC.

Con el fin de dar protección contra el contacto indirecto a la segunda falla a tierra, el dispositivo de protección deberá abrir el circuito en los primeros 5 segundos. Pero como se ha señalado anteriormente, no es posible asegurar que esta condición se verifique en una instalación compleja donde la doble falla puede comprometer dos circuitos cualesquiera.

No queda más que considerar el circuito IT con el nutro idealmente a tierra, como una especie de sistema TN virtual; e imponer, para cada circuito, que cumpla la siguiente condición:

$$Z_g \leq \beta \frac{U_0}{I_{5s}}$$

Donde β es un coeficiente inferior a 1 (actualmente en estudio en Sede Internacional) y debe ser tal que a una vez satisfecha la relación mencionada para cada circuito, garantice la interrupción de doble falla en un tiempo de 5 segundos, cualesquiera que sean las dos corrientes comprometidas. Si por ejemplo se admite convencionalmente que la impedancia de anillo de doble falla sea, en una primera aproximación, la suma de las impedancias de la primera falla sobre cada circuito se debe asumir $\beta = 1/2$, para una falla sobre una fase y el neutro, y $\beta = \sqrt{3}/2$, para una falla sobre las dos fases.

3.3.15 Sobretensiones

Existen sobretensiones peligrosas debido a fallas resistivas o inductivas a tierra. Ante una falla resistiva a tierra las fases pueden asumir, respecto a tierra, la tensión de línea por un tiempo indefinido, los componentes de la instalación deben tener un aislamiento idóneo hacia tierras de la misma manera los aparatos monofásicos entre fase y neutro deberán estar aislados con respecto a tierra por la tensión de línea. En consecuencia, no es aconsejable distribuir el neutro en los sistemas IT.

Ante una falla inductiva a tierra, se ha de tener en cuenta que, algunas normas requieren en las redes con neutro aislados un dispositivo que conecte directamente a tierra el neutro cuando se verifica una falla entre la alta y la baja tensión (válvula de tensión). La válvula de tensión va insertada entre el neutro o una fase y tierra. La tensión al inicio de la falla, suma a la tensión de fase debería ser inferior a la mínima tensión nominal de aislamiento de los aparatos en baja tensión. Cabe notar que el permanecer de una primera falla a tierra en el sistema IT cortocircuita la válvula de tensión; por lo tanto, la corriente de falla a tierra sobre la alta tensión atravesaría el aparato averiado con peligro para las eventuales personas presentes.

3.4 Protección contra el contacto directo

Por este contacto directo se entiende el contacto con las partes activas: es decir, todas las partes conductoras bajo tensión durante el servicio ordinario, incluido el conductor de neutro, pero excluido convencionalmente el conductor de protección y neutro (PEN).

El contacto directo puede ser peligroso para las personas (fulguración, quemaduras, etc.) por lo que se debe tomar adecuadas medidas de protección, que pueden ser totales o parciales.

Las medidas de protección totales están destinadas a la protección de personas que desconocen los peligros que se pueden derivar del uso de la electricidad, y son aplicadas en lugares ordinarios. Las medidas de protección parciales están dirigidas a las personas eléctricamente adiestradas (calificadas) y se aplican en los lugares donde solo estas personas tienen acceso (subestaciones eléctricas). Por adiestrada se entiende aquella persona que tiene conocimientos técnicos o experiencia suficiente para evitar los peligros causados por la electricidad, en relación al tipo de operación y condiciones ambientales de instalación en la cual opera.

3.4.1 Medidas de protección

Las medidas de protección total están constituidas por aislamientos, envolturas o por barreras.

Aislamientos

Se trata del aislamiento principal ya definido el material aislante debe recubrir completamente las partes activas y solo podrán ser removidas a través de su destrucción.

El material aislante debe ser adecuado para soportar la tensión nominal hacia tierra del sistema eléctrico debe resistir a las sollicitaciones mecánicas (golpes, vibraciones, etc.) a los esfuerzos electrodinámicos y térmicos, a las alteraciones químicas (bebidas al oxígeno, ozono, radiaciones

ultravioletas, etc.) a las cuales están expuestas durante su operación. A barnices, lacas, esmaltes y similares, generalmente no se les considera adecuados para asegurar un aislamiento idóneo para los fines de la protección contra los contactos directos, estos materiales normalmente son usados para los fines del aislamiento funcional, como por ejemplo en los arrollamientos de las maquinas eléctricas, pero no se les puede aceptar como aislamientos principales.

Envolturas, barreras y grados de protección.

La envoltura es un elemento que asegura la protección contra el contacto directo en cada dirección, la envoltura se emplea también para garantizar la protección contra las sollicitaciones externas.

La barrera es un elemento que asegura un determinado grado de protección contra los contactos directos en la dirección normal de acceso.

La barrera es un elemento que asegura un determinado grado de protección contra los contactos directos en la dirección normal de acceso.

El grado de protección de una envoltura o de una barrera está identificado, según las normas IEC, por las letras IP (Internacional Protection) seguidas de dos cifras, la primera indica el grado de protección contra los cuerpos extraños y contra los contactos directos, la segunda indica el grado de protección contra los líquidos. Cuando se quiere indicar solo uno de los dos tipos de protección, la cifra que falta se sustituye por la letra x, en las tablas 2.5.A y 2.4B se presentan una indicación aproximativa de las pruebas correspondientes a cada cifra.

Las partes activas tienen que estar puestas dentro de envolturas o detrás de barreras, de modo que se asegure por lo menos el grado de protección IP2X; este grado de protección se denomina a prueba de dedo, debido a la forma y la herramienta que se emplea para efectuar la prueba: además una esfera de 12 mm de diámetro no debe pasar a través de la envoltura. El grado de protección IP2X, no se considera suficiente para superficies horizontales de envolturas o de barreras situadas accesibles a la mano, ya que es mayor en tal caso la probabilidad de entrar en contacto con las partes activas, a través de objetos sutiles que podrían penetrar o caer accidentalmente por las rendijas el grado de protección mínima en esta situación es de IP4X, este grado de protección se requiere también para los rieles electrificados y no solo para las superficies horizontales en consideración de notable longitud que ellos puedan tener y por lo tanto de mayor riesgo. Para las envolturas que tengan grado de protección IP4X, un hilo de 1mm de diámetro no debe entrar en la envoltura, mientras que para los fines de protección contra los contactos directos es suficiente que el hilo no toque las partes activas.

Las envolturas y las barreras deben tener una suficiente resistencia mecánica de modo que puedan resistir a las sollicitaciones mecánicas previstas en el uso ordinario, tomando en cuenta las condiciones ambientales, y se debe procurar mantener la distancia prevista de aislamiento de las partes activas.

Remoción de envolturas y barreras

Las envolturas y las barreras utilizadas para la protección contra los contactos directos deben estar fijadas de manera segura; generalmente se pueden sacar mediante una herramienta. El acceso de las partes activas es permitido solo a personal eléctricamente adiestrado. No se puede permitir que personas e personas eléctricamente no adiestradas tengan acceso a maquinas o más aun, al tablero eléctrico para actuar sobre dispositivos de regulación puestos cerca de las partes activas; en este caso los órganos de regulación y reactivación puestos cerca de las partes activas; en este caso los órganos de regulación y reactivación de relés térmicos, fusibles, lámparas, etc. De modo que el acceso a las partes activas sea posible solo después de haber abierto el dispositivo de seccionamiento (bloqueo mecánico o eléctrico).

El personal adiestrado que tenga acceso a las partes activas normalmente tiene que seccionar el circuito antes de intervenir sobre estas. En algunos casos de reconocida necesidad está permitido el continuar con los trabajos sobre partes en tensión, no superior a 1000 V, en el caso que la orden haya sido dada por el jefe responsable y que se adopten medidas personales de protección, tales como herramientas apropiadas, guantes aislantes, etc. Lamentablemente la experiencia enseña que no siempre se utilizan los equipos personales de protección para intervenir en proximidad de partes activas, sobre todo cuando hay que seguir operaciones simples como cambiar un fusible, una lámpara, reactivar un relé térmico, etc. Por otra parte, no siempre se puede adaptar la puesta fuera de servicio de la instalación, por ejemplo, algunas regulaciones hay que efectuarlas con la maquina en marcha, tampoco es siempre posible sacar estos dispositivos fuera del tablero. En estos casos la tendencia normativa internacional es la de permitir la intervención de personas adiestradas en proximidad de las partes en tensión sin equipos de protección personal para ejecutar las operaciones antes mencionadas, bajo estas condiciones:

- Los órganos sobre los cuales se ha de intervenir deben estar colocados en posiciones fácilmente accesibles al operador.
- Las partes en tensión deben estar suficientemente alejadas de modo que permitan el paso de la mano y el brazo, y deben estar parcialmente protegidas contra el contacto accidental.

3.4.2 Medidas de protección parcial

Las medidas de protección parcial están destinadas únicamente a la protección de personas eléctricamente adiestradas. Esta protección puede ser asegurada mediante obstáculos o alejamiento.

Se entiende por obstáculo cada elemento que previene del contacto accidental con las partes activas; el obstáculo permite de otra parte el contacto intencional. Un pasamanos o una reja con grado de protección inferior a IP2X, constituyen ejemplos de obstáculos hacia las partes activas. Se presenta una protección parcial por alejamiento cuando partes simultáneamente accesibles, a diferente nivel de tensión, no están al alcance de la mano; se entienden por simultáneamente

accesibles dos partes distantes entre sí, no más de 2,5 m en forma vertical y 2 m en forma horizontal.

A veces, por razones funcionales, no es posible aislar las partes activas como por ejemplo en las instalaciones electroquímicas, se asila entonces el operador de tierra, de modo que no pueda tocar simultáneamente una parte activa o una masa extraña y tierra. También en el caso de la soldadura por arco el operador debe ser una persona adiestrada y debe utilizar medidas personales de protección sobre todo si el ambiente en el cual actúa puede ocasionar un contacto directo.

3.4.3 Interruptor diferencial y protección contra el contacto directo

Las medidas de protección contra los contactos directos mencionadas anteriormente tienden a evitar el contacto (protección pasiva). En caso se presentara un contacto directo por imprudencia del usuario o por falta de protección pasiva, la corriente que atraviesa el cuerpo humano no es suficiente para provocar la intervención de los dispositivos de protección de máxima corriente el único dispositivo de protección que puede intervenir en estos casos es el interruptor diferencial; a tal fin se define de “alta sensibilidad” o también de “sensibilidad fisiológica”, a aquellos interruptores diferenciales con corriente nominal de intervención IAN no superior a 30 mA.

Este valor de corriente no corresponde al valor que el cuerpo humano puede soportar por un tiempo indefinido, pero representa un compromiso entre la exigencia de protección de las personas y de la continuidad de servicio de la instalación.

A continuación, se propone examinar los límites de los interruptores diferenciales de alta sensibilidad en la protección contra los contactos directos

3.4.4 Límites de protección propios de la característica de intervención.

Cuando se produce un contacto con la parte activa de un sistema eléctrico con tensión nominal U_0 respecto a tierra, la persona es atravesada por una corriente I , según el recorrido mano-pie.

$$I = \frac{U_0}{R_C + R_{TC}}$$

Donde R_C es la resistencia del cuerpo humano, R_{TC} es la resistencia de la persona hacia tierra; las impedancias de la línea y la resistencia de la puesta a tierra del neutro son despreciables respecto a la resistencia $R_C + R_{TC}$.

La corriente I determina la intervención del interruptor diferencial instalado antes del punto de contacto, dentro del tiempo correspondiente a su característica de intervención. Vale la pena observar que el interruptor diferencial no limita el valor de la corriente, sino sólo al tiempo por el cual esta corriente permanece.

La característica de intervención varía con la corriente nominal de intervención IAN y está determinada por los pares de valores, corriente diferencial, tiempo de intervención, indicados en la tabla VIII

Para proteger a las personas, el interruptor diferencial debe abrir el circuito, por cada valor de corriente, en un tiempo compatible con la protección del cuerpo humano; es decir la característica de intervención del interruptor diferencial tiene que encontrarse en una posición más baja en la curva “b”.

En la fig. 35 se representan las zonas de peligrosidad de la corriente eléctrica en función del tiempo, en comparación con las características de intervención del interruptor diferencial, las que presentan una corriente diferencial nominal de intervención $I_{AN} = 5\text{mA}$, 10mA y 30mA .

Para $I_{AN} = 5\text{mA}$ e $I_{AN} = 10\text{mA}$ y 30mA , las condiciones de protección están satisfechas para valores de corriente hasta de 250mA ; para corrientes mayores el tiempo, en el cual el interruptor diferencial abre el circuito, queda constante y ya no garantiza la seguridad contra la fibrilación ventricular.

Tabla VIII
TIEMPOS MAXIMOS DE INTERVENCION DE LOS INTERRUPTORES
DIFERENCIALES DE ALTA SENSIBILIDAD

I_A I_{AN}	$I_A = I_{AN}$	$I_A = 2 I_{AN}$	$I_A = 250\text{ mA}$
	TIEMPOS MAXIMOS DE INTERVENCION		
5 mA	5 seg.	1 seg.	0.04 seg.
10 mA	5 seg.	0.5 seg.	0.04 seg.
30 mA	0.5 seg.	0.2 seg.	0.04 seg.

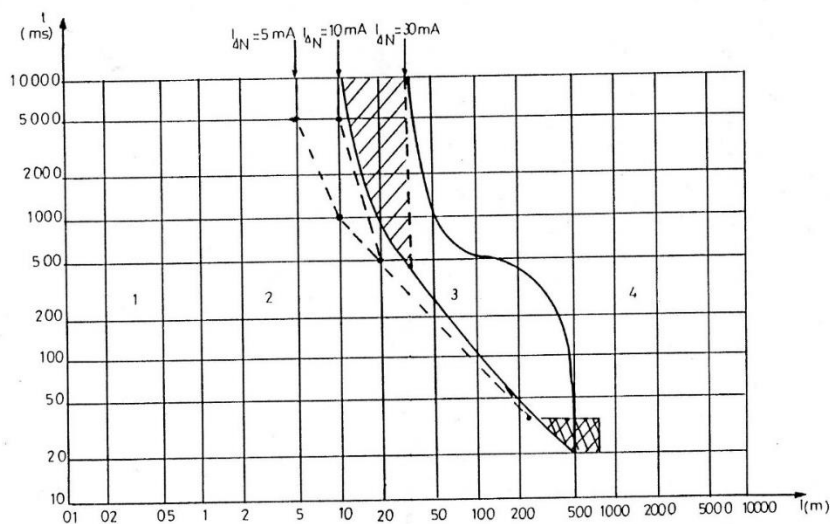


Fig.35 Características de intervención de los interruptores diferenciales en comparación con la curva de seguridad, tiempo-corriente.

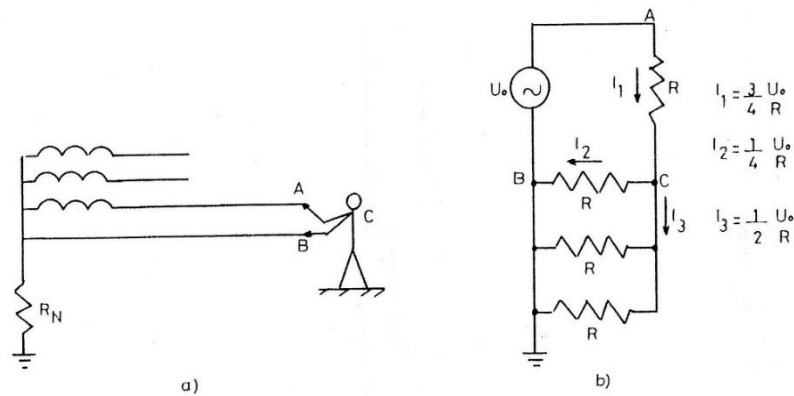


Fig.36 Contacto bipolar fase-neutro en un sistema eléctrico con neutro a tierra.

Para $I_{AN} = 30 \text{ mA}$, las condiciones de seguridad están satisfechas para corrientes diferenciales comprendidas entre 30 y 250 mA. Para corrientes superiores a 250 mA se verifica lo expuesto en el párrafo anterior; mientras que para valores comprendidos entre 10 y 30 mA, la persona puede estar sujeta a tetanización.

Corriente superior a 250 mA se verifican solo en condiciones excepcionales, en las cuales las personas presentan una resistencia $R_C + R_{TC}$ muy bajas (menor 800). Corrientes comprendidas entre 10 y 30 mA son más probables, sobre todo en presencia de pavimentos casi aislados.

3.4.5 Límites de protección en circuitos de condiciones particulares

En algunas situaciones donde los circuitos presentan condiciones particulares, la protección ofrecida por el interruptor diferencial contra los contactos directos puede ser parcial o totalmente interrumpida.

Contacto bipolar: El caso más común es el de contacto entre dos partes activas del circuito; si la persona está aislada de tierra, el interruptor diferencial no interviene, en caso contrario, el interruptor diferencial puede intervenir. En la fig. 2.31 la persona está en contacto con la fase, el neutro y el terreno. R indica la resistencia de cada uno de los miembros superiores e inferiores del cuerpo humano, la impedancia de la línea y la resistencia R_N es también despreciable, los valores de las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , que atraviesan las distintas partes del cuerpo humano valen:

$$I_1 = \frac{3 U_0}{4R} \quad I_2 = \frac{U_0}{4R} \quad I_3 = \frac{U_0}{2R}$$

El interruptor diferencial siente la corriente $I_3 < I_1$ y protege solo parcial y ocasionalmente a la persona. Si el contacto no es perfectamente simultaneo, sino que toca primero una fase, el interruptor diferencial intervendrá solo si la corriente hacia tierra es mayor que I_{AN} , y el contacto unipolar permanezca por un tiempo superior al tiempo límite de “no respuesta” del interruptor diferencial.

Corriente de dispersión: Las corrientes de dispersión pueden disminuir la acción protectora del interruptor diferencial de alta sensibilidad. Si se considera por ejemplo el sistema trifásico de la fig. 37 y que la corriente de dispersión sobre las dos fases llegue a 20 mA; el interruptor diferencial sensible a la suma vectorial, igual también a 20 mA, no interviene. En estas condiciones, la persona que toca la tercera fase y deriva hacia tierra una corriente de 30 mA, no provoca la intervención del interruptor diferencial (fig.38). este señalará solo la resultante de 10 mA hacia tierra y por lo tanto no abre el circuito. Como límite, para corrientes de dispersión poco inferiores a 30 mA, el sujeto puede ser atravesado por una corriente próxima a 60 mA, sin que el interruptor diferencial trifásico de alta sensibilidad intervenga.

Como conclusión se puede afirmar que la composición vectorial de las corrientes de dispersión en las distintas fases puede alterar la función proyectiva del interruptor diferencial, ya que la corriente que atraviesa a la persona es uno de los vectores que concurren a formar la resultante a la cual el interruptor diferencial es sensible.

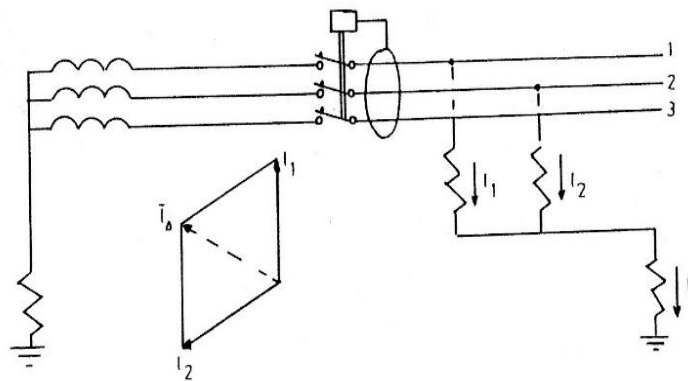


Fig.37 Interruptor diferencial trifásico de alta sensibilidad

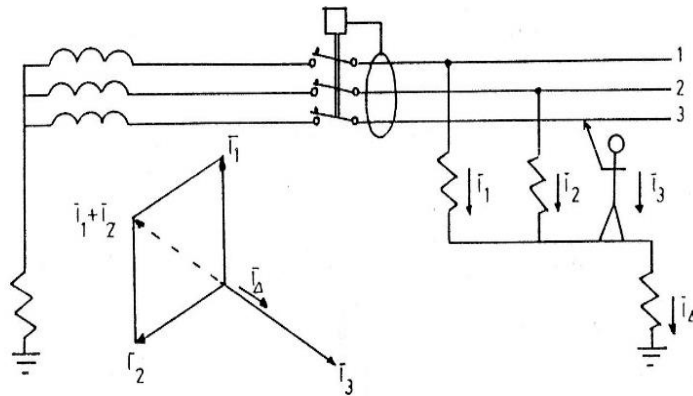


Fig.38 Las corrientes de dispersión sobre las fases

Este problema no se verifica en la protección contra los contactos indirectos, ya que en tal caso la tensión de contacto depende de la resultante vectorial de las corrientes hacia tierra.

Cortocircuito del arrollamiento del neutro: Si se cortocircuita uno de los arrollamientos del revelador diferencial, puede reducirse la sensibilidad del interruptor diferencial de modo considerable. En la fig. 39.a, el flujo producido por la corriente que atraviesa la persona, después de un contacto directo, es reducido por el flujo generado por la corriente inducida en el arrollamiento en cortocircuito (que por la ley de Lenz, se opone a la causa que lo ha generado). Lo mencionado anteriormente se puede aplicar al arrollamiento del conductor de neutro que podría estar cortocircuitado por dos puntos a tierra, uno antes y otro después del interruptor diferencial; esta situación está esquematizada en las fig. 39.b, 2.39.c para los sistemas TN y TT. En el sistema TN, el neutro está conectado a tierra localmente, antes del interruptor diferencial; una falla a tierra después del interruptor diferencial cortocircuita el arrollamiento del neutro. En el sistema TT, es necesaria una doble falla a tierra, una antes y la otra después del interruptor diferencial para cortocircuitar el arrollamiento del conductor de neutro. Una falla a tierra del conductor de neutro antes del interruptor diferencial no determina la intervención del interruptor (si el neutro no está en tensión) y la persona que realizará un contacto directo no estaría protegida.

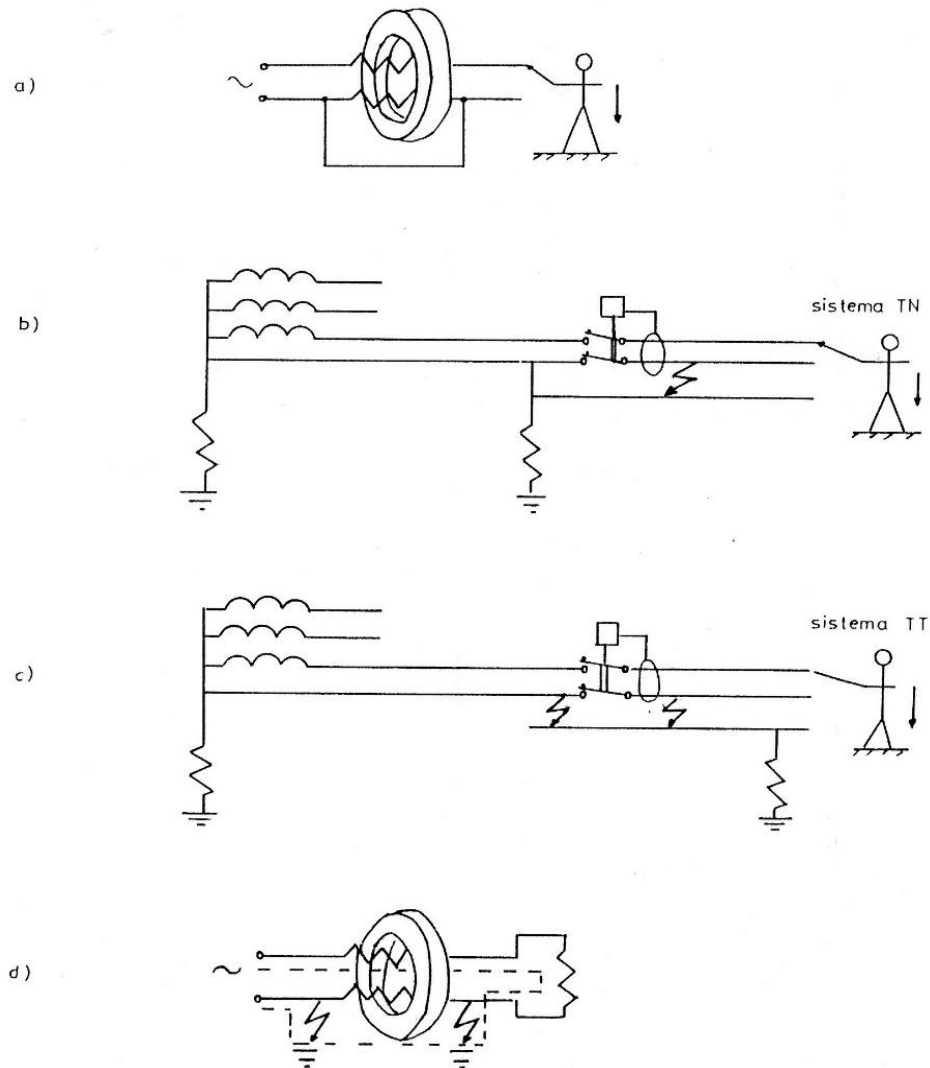


Fig.39 Corto circuito arrollamiento del neutro

En el caso antes mencionado se ha supuesto que la parte del circuito después del interruptor diferencial fuera abierto; pero la corriente de funcionamiento ordinaria del circuito, si es de valor suficiente, podría provocar la intervención del interruptor diferencial (fig.39.d)

Componentes continuas hacia tierra: Se ha de considerar el comportamiento del interruptor diferencial respecto a las corrientes que tengan una componente continúa debido a circuitos de rectificación presentes en la instalación eléctrica. Si la componente continúa está presente en igual media sobre las fases, no se produce ninguna variación sobre el revelador diferencial, ya que las componentes continuas producen un flujo resultante nulo que no altera la situación preexistente. Si en cambio la componente continua recorre un solo conductor, ya que se cierra a través de una falla a tierra, el flujo ya no será nulo por lo que el circuito magnético se premagnetiza, lo cual

puede alterar el funcionamiento del interruptor diferencial. Prácticamente se lleva el material magnético a trabajar en una zona no lineal, la diferencia entre los flujos magnéticos ya no se presentan de manera proporcional a la diferencia entre las corrientes, y el funcionamiento del revelador diferencial se altera. Los resultados de pruebas con corrientes continuas hasta de 1 amperio sobre algunos interruptores diferenciales presente en el mercado se dan en la fig. 40; en estas se muestran las características de intervención halladas con corrientes diferencial alterna senoidal, en presencia de la corriente continua del valor indicado. Debido a la corriente continua hacia tierra, la corriente característica de intervención del interruptor diferencial se desplaza hacia la derecha de manera tanto mayor cuanto mayor es el valor de la corriente continua. Disminuye así la protección ofrecida por el interruptor diferencial hasta que se anula. Felizmente la corriente hacia tierra después de los elementos de rectificación, no es, por lo general, perfectamente continua Fig. 41 Corriente unidireccionales con simple semi-onda, determinan la abertura del circuito no solo ocasionalmente, pero no determinan variaciones apreciables de las características de intervención. Los interruptores diferenciales de alta sensibilidad son los más expuestos a los efectos de los componentes continuos de las corrientes de falla a tierra, ya que son suficientemente pequeñas para desensibilizar el interruptor.

En conclusión, la protección contra los contactos directos puede estar comprometida en el caso de:

- Contacto directo después de un elemento de rectificación
- Contacto directo mientras que el interruptor diferencial está recorrido por una corriente continua, debido a una falla a tierra preexistente.

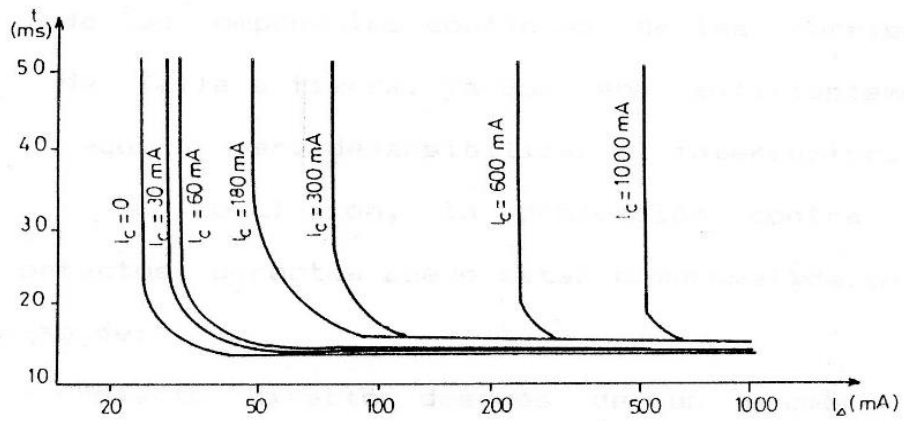
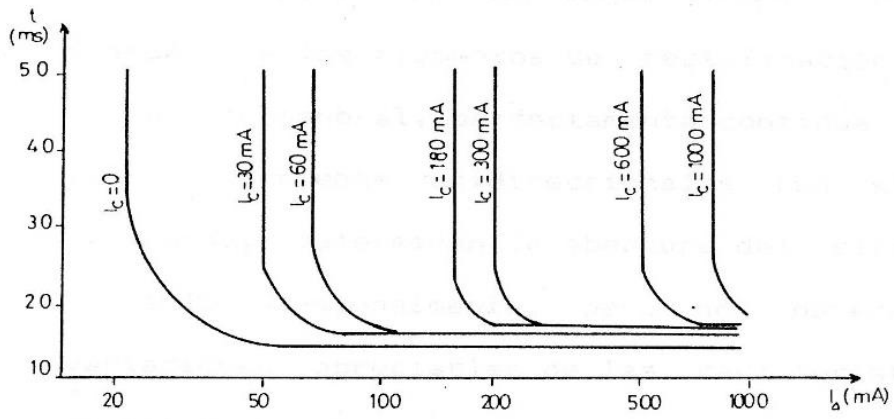


Fig.40 Característica de interacción de dos interruptores diferenciales comerciales, al permanecer corrientes continuas hacia tierra variables de 30 a 1000 mA

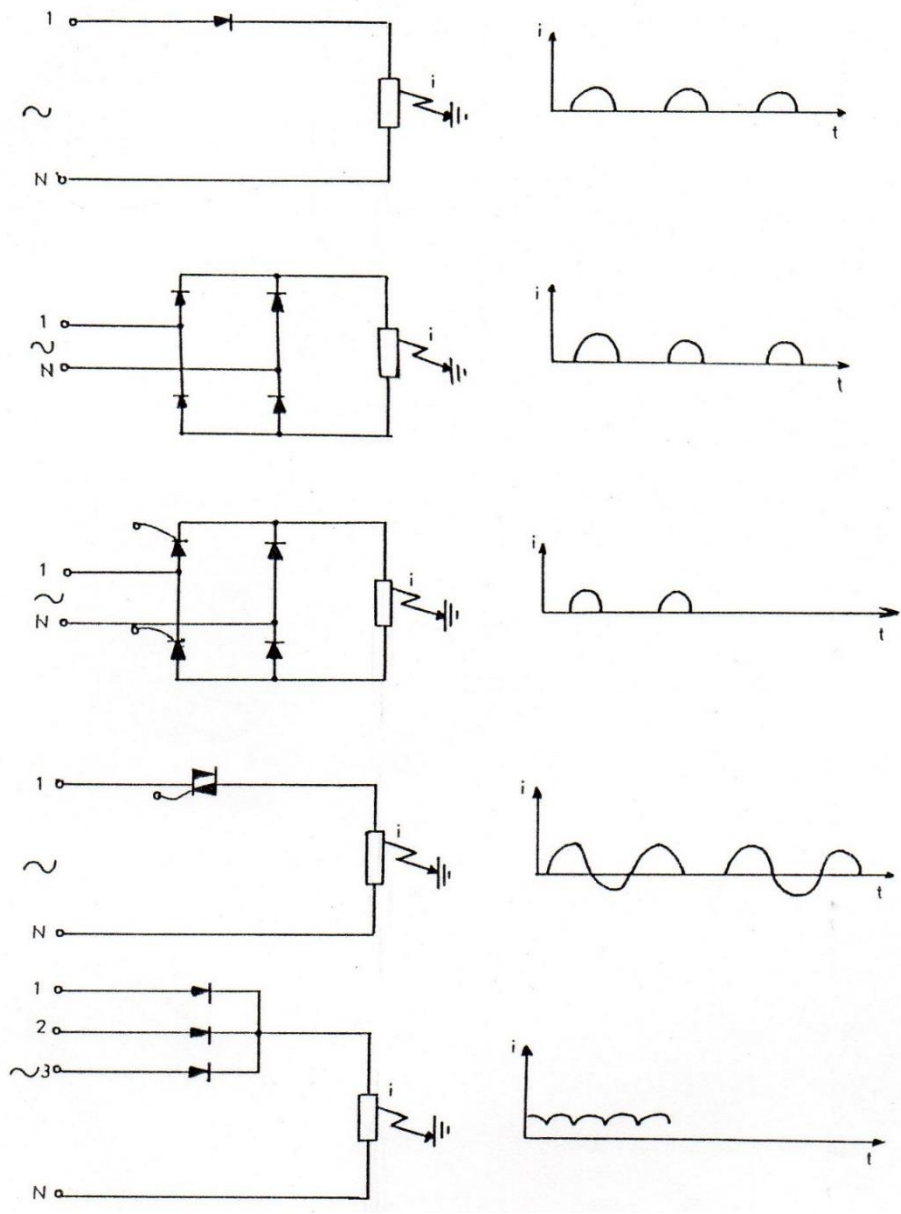


Fig.41 Falla a tierra en circuitos de rectificación formas de ondas de la corriente de falla.

- el interruptor diferencial se considera una medida de protección adicional, pero no sustitutiva de las otras medidas de seguridad contra los contactos directos.
- A continuación, se resumen las protecciones contra los contactos directos o indirectos en los sistemas eléctricos.

Tabla IX
 PROTECCIONES CONTRA LOS CONTACTOS DIRECTOS O INDIRECTOS
 EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.

SISTEMA	CONTACTO DIRECTO	CONTACTO INDIRECTO
TT	Aislamiento total de las partes activas no inferior a IP4X. Barreras Protección Parciales Interruptor Diferencial	Puesta a tierra de todas las masas accesibles y del neutro del trafo. Dispositivo de máxima corriente
TN 5	Similar al sistema TT	Puesta a tierra del neutro estrella del trafo y de todas las masas accesibles puesta a tierra única. Coordinación de protección con Z_g (Impedancia de anillo de falla)
TN-C IT	Similar al sistema TT Aislamiento total de las partes activas no inferiores a IP4X Barreras Protecciones parciales	Similar al TN-S Puesta a tierra individual de todas las masas accesibles. Dispositivos de señalación de primera falla a tierra.

IV. DISCUSIÓN.

La gestión de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión es un aspecto crítico en la industria eléctrica, dado que los riesgos asociados al contacto directo con partes activas pueden tener consecuencias graves para la salud y seguridad de los trabajadores. El texto proporciona un análisis detallado de las medidas de protección contra contactos directos e indirectos, destacando la importancia del aislamiento, envolturas y barreras, así como el uso de interruptores diferenciales de alta sensibilidad.

El aislamiento de las partes activas es fundamental para prevenir el contacto accidental. Sin embargo, es crucial que el material aislante utilizado sea adecuado para soportar no solo las tensiones eléctricas, sino también las sollicitaciones mecánicas y químicas a las que puede estar expuesto. El uso de barnices y lacas, aunque común en aislamientos funcionales, no es adecuado para la protección principal debido a su limitada capacidad para resistir estas sollicitaciones.

Las envolturas y barreras proporcionan una defensa adicional, asegurando que las partes activas estén protegidas de contactos accidentales. El grado de protección IP2X, aunque útil en ciertas aplicaciones, no es suficiente para superficies horizontales accesibles, donde se requiere un nivel de protección IP4X para evitar el riesgo de contacto accidental con objetos delgados.

Los interruptores diferenciales de alta sensibilidad (con corrientes nominales de intervención de hasta 30 mA) son esenciales como una medida de protección adicional contra contactos directos. Sin embargo, tienen limitaciones inherentes en su capacidad para proteger contra todos los tipos de contactos directos, especialmente en situaciones con corrientes de dispersión o componentes continuas hacia tierra.

La característica de intervención de los interruptores diferenciales debe ser adecuada para garantizar que la apertura del circuito ocurra dentro de un tiempo compatible con la protección del cuerpo humano. Sin embargo, situaciones específicas como el contacto bipolar o la presencia de componentes continuas pueden comprometer su efectividad.

En resumen, la gestión efectiva de la seguridad y salud en obras eléctricas de baja tensión requiere una combinación de medidas técnicas, normativas y educativas. La implementación adecuada de estas medidas puede significar la diferencia entre un entorno de trabajo seguro y uno que pone en riesgo la vida y la salud de los trabajadores.

V. CONCLUSIÓN.

- Aunque los interruptores diferenciales de alta sensibilidad son efectivos para proporcionar una protección adicional contra contactos directos, no deben considerarse una solución única. La protección integral contra contactos directos requiere la implementación de múltiples medidas, incluyendo aislamiento adecuado, envolturas y barreras con un grado de protección IP4X, y la capacitación constante del personal para evitar contactos accidentales.
- La adherencia estricta a la normativa de seguridad y salud, como la Ley N° 29783 y las normas técnicas específicas, es esencial para asegurar la protección de los trabajadores. Además, la capacitación continua y la formación especializada para el personal que trabaja con instalaciones eléctricas son fundamentales para garantizar que comprendan los riesgos y las medidas de protección necesarias.

VI. RECOMENDACION.

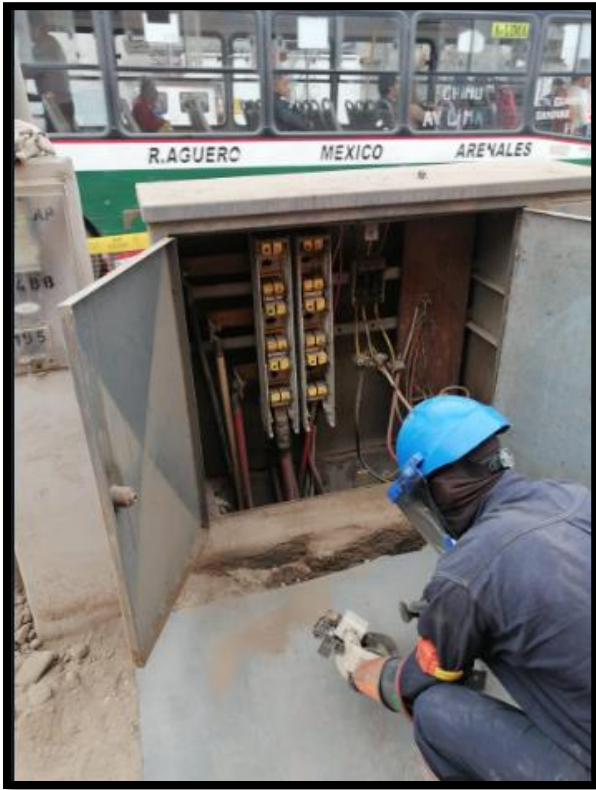
- Las empresas deben establecer sistemas de supervisión y monitoreo robustos para asegurar que todas las medidas de protección se implementen y mantengan adecuadamente. Esto incluye la realización de auditorías regulares de cumplimiento normativo, la revisión de registros de incidentes y accidentes, y la observación directa de las prácticas laborales.
- Es imperativo que las empresas inviertan en programas de capacitación y sensibilización continuos para todos los trabajadores y supervisores. Estos programas deben cubrir no solo el uso adecuado de EPP y las medidas de protección, sino también la importancia de seguir procedimientos de seguridad y las consecuencias potenciales de no hacerlo. La formación debe adaptarse a las necesidades específicas de cada grupo de trabajadores, asegurando que aquellos que trabajan en proximidad de partes activas reciban capacitación especializada para minimizar los riesgos.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Lozada Rojas, V., & Mosquera Ceballos, C. (2022). “Condiciones de seguridad para instalaciones de media tensión en una empresa de servicios de obras civiles eléctricas de Cali”.
- [2]. Lozano Lozano, Y. P., Montenegro Peña, J. S., & Zapata Suarez, A. H. (2022). “Manual de promoción y prevención en la seguridad y salud en el trabajo en riesgo eléctrico con vehículos eléctricos e híbridos”.
- [3]. Velásquez Nemocón, O. (2020). Diseño del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, bajo la norma ISO 45001: 2018, para Fertecnica G SAS en la ciudad de Bogotá DC.
- [4]. Reyna Basilio, M. E. (2021). “Propuesta de un sistema integrado de gestión en las áreas de calidad, seguridad y salud ocupacional y medio ambiente para reducir costos en una empresa dedicada a servicios eléctricos-ubicada en la ciudad de Lurín”.
- [5]. Ticse Sotomayor, R. M. (2023). Implementación de guía de buenas prácticas para gestionar la seguridad y salud en servicios generales F&D SAC, 2023.
- [6]. Rios Sanchez, C. Y. (2022). Diseño de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo basado en la Ley 29783 para minimizar los riesgos laborales en la empresa Hallpa Perú Minería y Construcción SRL.
- [7]. . Avalos Pariona, M. L. (2023). Influencia del sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional en la calidad de vida laboral en la empresa minera Shougang Hierro Perú SAA-2019.

ANEXOS

TRABAJO DE BT, RETIRO DE TABLERO BT DE SAB EXISTENTE POR CAMBIO DE LLAVES AEREAS



RETIRO DE TABLERO BT DE UNA SUBESTACION AEREA BIPOSTE(SAB)

EPPS:

- ROPA IGNIFUGA 27 CAL/CM2
- CARETA ANTI-ARCO 27 CAL/CM2
- CAPUCHA IGNIFUGA 27 CAL/CM2
- REVELADOR DE TENSION PERSONAL
- GUANTES DIELECTRICOS BT
- CASCO
- BOTINES DIELECTRICOS

CREDENCIAL/ FOTOCHECK DEL OPERARIO BT

