

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO

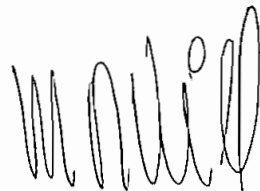
PREVIA LA OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO ELECTRICO, ESPECIALIZACION POTENCIA

NORMAS DE SEGURIDAD EN SUBESTACIONES

RAUL ANTONIO CANELOS SALAZAR

QUITO, AGOSTO 1981

Certifico que la presente Tesis de
Grado, fue realizada en su totali-
dad por el señor Raúl Canelos S.



ING. MARIO ORDOÑEZ

Director de tesis

P R O L O G O

La necesidad de precisar a dirigentes, ejecutivos, mandos medios y personal de base de operación y mantenimiento de subestaciones, normas de seguridad tanto administrativas como técnicas que contribuyan no solamente a la prevención de accidentes, sino también a mantener un alto nivel de salubridad psico-físico de los trabajadores, motivó la realización de este trabajo.

Este estudio constituye un conjunto de normas básicas de seguridad que deben observarse en la instalación, operación y mantenimiento de subestaciones, sin pretender dar técnicas y procedimientos de estos trabajos, así como también establecer una metodología para localización de riesgos y toma de medidas correctivas.

Cabe indicar que al final del presente trabajo se especifican definiciones de términos especiales que son empleados en el transcurso del mismo y bibliografía de los capítulos II, III y IV, que no se indicó a pie de página por su carácter de normas.

Deseo dejar constancia de mi más profundo agradecimiento al Ing Mario Ordóñez, por su acertada dirección; al Ing. Juan Soto, Jefe del Departamento de Higiene y Seguridad Industrial de la Empresa Eléctrica Quitto; al señor Hugo Luna, Técnico Asesor de Seguridad e Higiene Industrial de INECEL; al señor Luis Villacís, Jefe

de Mantenimiento de Subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito, por su decidida colaboración y a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido para la culminación de este trabajo.

Quito, 27 de Julio de 1981

I N D I C E

		<u>Página</u>
	CAPITULO I	
1.	INTRODUCCION	1
1.1	Generalidades	1
1.1.1.	La seguridad industrial. Reseña histórica	1
1.1.2	La seguridad y su incidencia en la producción	3
1.2	Los accidentes. Sus consecuencias	3
1.2.1	Conceptos básicos	4
1.2.2	Consecuencias de los accidentes .	5
1.2.3	Efectos fisiológicos de la electri- cidad	7
1.2.3.1	Efecto contaminante de la electri- cidad	8
1.2.3.2	Consecuencias del paso de la elec- tricidad por el cuerpo humano ...	9
1.3	La seguridad industrial. Metodolo- gía general	11
1.3.1	Conceptos básicos	11
1.3.2	La teoría de Heindrich y la propor- ción BIRD	13
1.4	Seguridad en subestaciones. Impor- tancia	15

		<u>Página</u>
1.5	Alcance y objetivo del trabajo ..	16
CAPITULO II		
2.	NORMAS PARA TRABAJADORES	18
2.1	Aplicación. Requerimientos genera les	18
2.1.1	Aplicación	18
2.1.2	Requerimientos generales	18
2.2	Procedimientos de emergencia	19
2.2.1	Primeros auxilios	19
2.2.2	Responsabilidad	19
2.3	Métodos y equipos de protección .	20
2.3.1	Métodos	20
2.3.2	Aparatos y equipos de protección	20
2.4	Normas para trabajadores	21
2.4.1	Reglas y métodos de emergencia ..	22
2.4.2	Seguridad personal y de compañeros	22
2.4.3	Calificación de empleados	23
2.4.4	Condiciones desconocidas	23
2.4.5	Partes metálicas no puestas a tie- rra	24
2.4.6	Condiciones de peligro	24
2.4.7	Batería	24

	<u>Página</u>
2.4.8	Vestimenta 24
2.4.9	Soportes 25
2.4.10	Cinturones de seguridad 25
2.4.11	Extintores de fuego 26
2.4.12	Fusibles 27
2.4.13	Carrete de cable 27
2.5	Rutina de operación 27
2.5.1	Deberes de un operador o del vigi- lante de la subestación 27
2.5.2	Deberes de un supervisor 27
2.5.3	Autorizaciones 28
2.5.4	Reenergización 29
2.5.5	Desenergización 29
2.5.6	Identificación de circuitos y equi- pos 29
2.5.7	Area de protección 30
2.6	Manejo de equipo energizado 30
2.6.1	Requerimientos generales 30
2.6.2	Alambre cubierto 31
2.6.3	Cintas de metal y cuerdas 31
2.6.4	Condiciones ambientales desfavora- bles 31
2.6.5	Manuales de equipo eléctrico 32
2.6.6	Posición de trabajo 32

	<u>Página</u>
2.6.7	Realización de conexiones 32
2.6.8	Transformadores de corriente 33
2.6.9	Capacitores 33
2.7	Desenergización de equipo. Protec ción de empleados 34
2.7.1	Requerimientos generales 34
2.7.2	Apertura de seccionadores e identi ficación 34
2.7.3	Puestas a tierra de protección .. 35
2.7.4	Precauciones a observarse en pue- tas a tierra 35
2.7.5	Disposiciones a adoptarse para evi tar una energización intempestiva 36
2.7.6	Realización de trabajos 37
2.7.7	Transferencia de responsabilidad 37
2.7.8	Desbloques 37
2.7.9	Restauración del servicio 38
2.8	Trabajos en cables subterráneos . 39
2.8.1	Puesta a tierra del cable 39
2.8.2	Identificación de cables 39
2.8.3	Comprobación de tensión en el ca- ble 40
2.8.4	Trabajos de excavación 40

CAPITULO III	
3.	NORMAS PARA LA INSTALACION Y MAN- TENIMIENTO EN SUBESTACIONES 42
3.1	Disposición general para protec- ción de una subestación 42
3.1.1	Protección externa 42
3.1.2	Cuartos y espacios 42
3.1.3	Iluminación 43
3.1.4	Pisos, Pasadizos, Pasamanos 44
3.1.5	Salidas 44
3.1.6	Equipos extintores de fuego 45
3.2	Disposición del equipo eléctrico 45
3.2.1	Requerimientos generales 45
3.2.2	Inspecciones a equipo en servicio 46
3.2.3	Inspección de equipo para servicio futuro y emergencia 46
3.2.4	Puestas a tierra de protección .. 46
3.2.5	Localizaciones de riesgo 47
3.2.6	Identificaciones 47
3.3	Baterías de almacenamiento 48
3.3.1	Localización 48
3.3.2	Ventilación 48
3.3.3	Soportes 48
3.3.4	Suelo del cuarto de baterías 49
3.3.5	Conductores en el cuarto de bate-

	<u>Página</u>
rías	49
3.3.6 Iluminación del cuarto de baterías	49
3.3.7 Aparatos de calefacción	49
3.4 Transformadores	50
3.4.1 Circuitos secundarios de transformadores de corriente	50
3.4.2 Puestas a tierra de armazones ...	50
3.4.3 Localización y arreglo de los transformadores de potencia	50
3.4.4 Ruido	52
3.5 Switches, disyuntores, fusibles, reclosers	52
3.5.1 Arreglo	52
3.5.2 Aplicación	53
3.5.3 Disyuntores, switches y reclosers que contienen aceite	53
3.5.4 Seccionadores y aparatos de desconexión	54
3.6 Tableros de control	55
3.6.1 Localización	55
3.6.2 Arreglos	55
3.6.3 Separación y barreras	56
3.6.4 Casetas de instrumentos	56
3.6.5 Identificación	56

3.7	Apartarrayos	56
3.7.1	Requerimientos generales	56
3.7.2	Instalaciones internas	57
3.7.3	Puestas a tierra	57

CAPITULO IV

	ZONAS DE GUARDIA EN UNA SUBESTACION	59
4.1	Tipos de resguardos	59
4.1.1	Localización y aislamiento	59
4.1.2	Cable metálico apantallado	59
4.1.3	Barandas	60
4.1.4	Malla externa de protección	61
4.1.5	Coberturas aislantes sobre conductores	61
4.1.6	Plataformas aislantes	61
4.1.7	Partes vivas bajo superficies de soporte para personas	61
4.2	Malla externa de protección	61
4.2.1	Puesta a tierra de la malla externa	62
4.3	Distancias mínimas de seguridad en partes vivas	62
4.3.1	Distancias mínimas de seguridad en	

	<u>Página</u>
partes vivas	63
4.3.2 Distancias mínimas de seguridad pa ra realización de trabajos a mano limpia en partes vivas	63
4.3.3 Distancias mínimas de separación en partes vivas	63
4.4 Factores de variación para distan- cias mínimas	69

CAPITULO V

5. EVALUACION DE LAS NORMAS DE SEGU ^R I DAD EN SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO E INECEL	70
5.1 Procedimiento empleado	70
5.1.1 Introducción	70
5.1.2 Procedimiento	71
5.1.3 Sobre la norma 3.4.4, ruido	74
5.2 Análisis de resultados obtenidos	75
5.3 Conclusiones y recomendaciones ..	92
5.3.1 Conclusiones	92
5.3.2 Recomendaciones	93

APENDICE A

Método para el cálculo de la malla

de tierra

APENDICE B

Señales de protección

DEFINICION DE TERMINOS ESPECIALES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE TABLAS, CUADROS Y FOTOGRAFIAS

	<u>Página</u>
<u>Tabla 4.1</u>	
Distancias mínimas de seguridad en superficies de soporte para personas	65
<u>Tabla 4.2</u>	
Distancias mínimas de seguridad para trabajos a mano limpia	66
<u>Tabla 4.3</u>	
Distancias mínimas de separación de partes vivas (instalaciones internas)	67
<u>Tabla 4.4</u>	
Distancias mínimas de separación de partes vivas (instalaciones externas)	68
<u>Figura 4.1</u>	
Colocación de barandas	60
<u>Figura 4.2</u>	

Página

Distancias mínimas de seguridad en superficies de soporte para personas	64
---	----

CUADROS DE LOCALIZACION DE RIESGOS EN SUBESTACIONES

Cuadro 1

Subestación Vicentina	76
-----------------------------	----

Cuadro 2

Subestación Epiclachima	78
-------------------------------	----

Cuadro 3

Subestación Norte	80
-------------------------	----

Cuadro 4

Subestación Sur	81
-----------------------	----

Cuadro 5

Subestación 16	85
----------------------	----

Cuadro 6

Subestación 10	87
----------------------	----

Fotografía 1	89
--------------------	----

Fotografía 2	89
--------------------	----

	<u>Página</u>
Fotografía 3	90
Fotografía 4	90
Fotografía 5	91

C A P I T U L O I

1. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

Conciente de los peligros que le amenazan en su persona y bienes, el hombre ha sentido la necesidad de atender su seguridad.

Por eso la palabra "seguridad" tiene tantas acepciones diferentes. Se emplea en todos los campos que son parte de la vida misma del hombre. De todas maneras, esta palabra sirve para poner de relieve, como la idea que lleva implícita, a la necesidad con que el hombre desea atender su propia conservación libre de riesgos, en cuanto se refiere a su persona y a los bienes que necesita para su subsistencia. Por lo mismo unas veces la palabra "seguridad" sirve para denotar el simple deseo de obtenerla, otras la conciencia de haberla logrado y, otras, por último, los medios que se han de poner en práctica para conseguirla.

1.1.1 La seguridad industrial. Reseña histórica

Con la revolución industrial se producen una gran cantidad de inventos, los cuales eran manejados por mano de obra barata y sin entrenamiento. Sumado a esto la necesidad de abastecer al mercado cada día en au

mento, dió como resultado una gran cantidad de lesionados. En Alemania en 1885 es donde se dicta la primera legislación sobre accidentes de trabajo y se edita el primer texto de prevención de accidentes con las medidas de protección de maquinaria, dicta normas sobre entrenamiento del trabajador y pautas de inspección de locales industriales. (1)

En el Ecuador la prevención de riesgos se incorporó al Código de Trabajo en 1938, pero solamente quedó escrita. En 1942 la adoptó el Seguro Social y tampoco se puso en práctica por falta de profesionales especializados, luego en 1974 se creó el Seguro de Riesgos de Trabajo que funcionó con organismos dispersos que se dedicaron a acciones indemnizatorias con muy poca actividad de prevención. Solo en 1974 se fusionan tales organismos iniciándose la prevención en forma técnica y sostenida con el concurso de especialistas en diversos campos, ampliándose estas acciones gracias al apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2) De todos modos en nuestro país la seguridad industrial está relegada a un segundo plano, debido principalmente a la dificultad de hacer cambiar la manera de pen-

(1) "Introducción a la prevención de riesgos de trabajo", Curso básico de Seguridad Industrial, (1977), p. 1

(2) Wellington Baquero Ordóñez, Editorial, Seguridad, higiene y medicina del trabajo, I (Enero 1979), p. 3

sar de los dirigentes de las diferentes empresas o industrias.

1.1.2 La seguridad y su incidencia en la producción

Generalmente a los dirigentes de cualquier tipo de industria unicamente les interesa obtener una adecuada producción, a bajo costo y con una buena calidad del producto, sin embargo se olvidan de otro factor industrial, la seguridad, puesto que a la vez que aumenta o mantiene la confianza del empleado en su trabajo y hace que incremente su eficiencia, evita los gastos que se producen en casos de accidente y consecuentemente mejora la producción.

Se puede ver claramente que los gastos que se efectúan para prevenir accidentes son mas bien inversiones que se revierten en bien de la empresa. Por tanto se debe admitir que la seguridad industrial es una técnica que va pareja al desarrollo industrial y por consiguiente debe estar presente, tanto en la ejecución de los trabajos y más tarde en el mantenimiento y operación de la propiedad, entendiéndose por propiedad el conjunto de instalaciones eléctricas y civiles desde la central eléctrica hasta las acometidas a los clientes en el caso de las empresas eléctricas.

1.2 LOS ACCIDENTES Y SUS CONSECUENCIAS

1.2.1 Conceptos básicos

Las primeras leyes de seguridad no se ocuparon del accidente como tal, unicamente trataron de aliviar en algo la terrible situación de orfandad e incapacidad en que quedaban en cada país miles de personas. Se aceptaba unicamente al accidente cuando se producía lesión incapacitante o muerte. En este sentido, el campo de protección al trabajador era muy reducido, a la vez, que se ocultaba las demás consecuencias del accidente, nocivos para la industria y su normal desarrollo.

Actualmente se define accidente como un suceso no intencional y no planeado, que puede o no dar como resultado lesión personal, deterioro a la propiedad, suspensión del proceso de trabajo, interferencia o cualquier combinación de estas condiciones y que es producido por uno o más actos inseguros (fallas humanas), por condiciones inseguras (fallas físicas o ambientales) o ambas. (3)

En este contexto se suprime la idea de que el accidente es imprevisto. Si el accidente ocurrió es porque algo no se previó. Para que los accidentes no ocurran hay que preverlo todo.

(3) Hugo Luna Castro, "El control total de pérdidas", publicado por INECCEL

Es necesario también definir dos términos dentro de la nueva tecnología de la seguridad industrial: riesgo e incidente.

Riesgo: Es la posibilidad de producir lesiones debido a defectos técnicos de materiales, equipos y operaciones. (4)

Incidente: Es un acontecimiento no intencionado y no deseado que puede disminuir la eficacia de la gestión empresarial, este incide directamente en la economía de la empresa, ya que el incidente será siempre una pérdida de tiempo que se traducirá en pérdida económica. (5)

1.2.2 Consecuencias de los accidentes

Los accidentes de trabajo constituyen, en general, una de las pérdidas más graves para toda la industria moderna. A pesar de que las pérdidas más graves son en términos de sufrimiento humano, también las pérdidas en el sentido económico tienen consecuencias de perjuicio para la industria.

En términos humanos pueden ocurrir consecuencias tales como: incapacidad total permanente, incapacidad parcial permanente, incapacidad total temporal o muerte.

(4), (5) "Accidentes del trabajo", Curso Básico de Seguridad industrial, (1977), p. 2, CENAFE

Se entiende por:

Incapacidad total permanente: pérdida total de la capacidad de trabajo de un individuo (pérdida de miembros superiores o inferiores, pérdida de la vista, etc.).

Incapacidad parcial permanente: reducción parcial de la capacidad de trabajo de un individuo o reducción de la capacidad funcional de un órgano (reducción de la capacidad visual o auditiva, pérdida de un brazo de pierna, etc.).

Incapacidad total temporal: es la que aleja al individuo del trabajo, por el tiempo que dure la cura o el tratamiento.

En términos económicos los costos que se producen por los accidentes son:

a). Costos directos que incluyen pagos de:

- Indemnización
- Atención médica
- Subsidios y pensiones
- Medicinas, prótesis
- Rehabilitación

b). Costos indirectos que incluyen:

- Salarios pagados a obreros, ingenieros y capataces, que no sufrieron lesiones pero perdieron tiempo por cualquier motivo como resultado de un accidente.

- Daños en equipos y máquinas
- Costo extra por sobretiempo necesario para reparar el equipo
- Costos de primeros auxilios y médicos que no estaban cubiertos por el Seguro.
- Pago al trabajador o su familia establecido por la ley de convenios laborales
- Costo por concepto de menor rendimiento tanto del trabajador que sustituye al accidentado como de los demás trabajadores de esa área, debido al impacto psicológico en los mismos
- Costo del tiempo empleado por personal administrativo para efectuar investigaciones y reorganizar el trabajo
- Salario al trabajador lesionado
- Costo por transporte extra

La relación entre los costos directos e indirectos es sorprendente, los costos directos son menores a los indirectos en una relación de 1 a 6, pudiendo llegar a ser mucho mayor. (6)

1.2.3 Efectos fisiológicos de la electricidad

Siendo el presente trabajo un estudio para la prevención de accidentes de origen eléctrico, es necesario

(6) Entrevista con el Ing. Juan Soto, EEQ.

sario explicar los efectos que tiene la electricidad en el cuerpo humano.

1.2.3.1 Efecto contaminante de la electricidad

Hasta hace poco tiempo se pensaba que la electricidad tenía un efecto fisiológico sobre el cuerpo humano únicamente cuando pasaba a través de él. Se ha descubierto recientemente que el plasma sanguíneo del organismo contiene una cantidad constante y permanente de "ferratina" y que esta cantidad varía en todos los casos que existe cáncer. Existe una hipótesis que explica el exceso de ferratina, la cual afirma que estaría provocado por los múltiples campos electromagnéticos emitidos por los mil aparatos que estamos rodeados (radio, televisión, radar, electrodomésticos); dichos campos obviamente se incrementan enormemente si nuestro trabajo se lo realiza en equipo eléctrico. De acuerdo a esta hipótesis todos estos campos electromagnéticos interferirían en los campos magnéticos engendrados por las partículas de hierro de nuestros organismos que actuarían como micro imanes y de esta manera se podrían perturbar los mecanismos celulares, provocándose el cáncer.

Profesores de la Universidad de Nueva York piesen que el inevitable electromagnetismo que nos rodea perturbaría así mismo los campos magnéticos engendrados en la actividad eléctrica del corazón y del sistema ner-

vioso y que estos hechos explicarían entre otras cosas el notable aumento de enfermedades cardiovasculares durante este siglo.

Se cree además que las radiaciones electromagnéticas alteran el ritmo biológico natural, relojes internos que regulan el acto de despertar, el sueño y miles de procesos corporales más sutiles.

1.2.3.2 Consecuencias del paso de la electricidad por el cuerpo humano

Los efectos de la corriente eléctrica por el cuerpo humano es un problema sumamente complejo que continua siendo objeto de estudio y trabajo experimental. Las lesiones por choques eléctricos son menos peligrosas si la corriente no pasa por órganos vitales o centros nerviosos. En el caso de trabajadores eléctricos, lo común es que la corriente entre por las manos y salga por los pies, la misma que atraviesa por órganos vitales y produce graves lesiones. (7)

Al recibir el cuerpo humano un choque eléctrico se expone a peligro de muerte o de graves quemadu-

(7) J.M. Banderas, Proyecto de Normas de Seguridad para trabajos en Líneas de Alta Tensión (Escuela Politécnica Nacional), 1973, p.p 24

ras (sin tomar en cuenta los golpes o caídas que pueden producirse al recibir el choque eléctrico), esto dependerá claramente de:

- Intensidad de la corriente eléctrica
- Resistencia eléctrica del accidentado
- Tiempo de contacto .
- Camino que sigue la electricidad a través del cuerpo

La resistencia del cuerpo humano alcanza valores diferentes en cada persona dependiendo de su edad, estado de ánimo, contextura física, sequedad de la piel, nivel de aislamiento, etc.

El siguiente es un resumen de los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano:

Hasta 5 mA	Límite de percepción no hay peligro
Hasta 8 mA	Efecto de choque, peligro de reacciones reflejas
Hasta 10 mA	Contracción muscular de brazos y manos (riesgo de quemaduras)
Hasta 15 mA	Más de dos minutos principio de fibrilación (soportable durante quince segundos)
Hasta 20 mA	Más de treinta segundos principio de fibrilación
Más de 50 mA	Riesgo inminente de fibrilación y muerte.

200 mA o más Produce quemaduras graves y fuertes contracciones musculares que oprimen el corazón y lo paralizan durante el choque. Esta circunstancia evita la fibrilación ventricular. (8)

1.3 LA SEGURIDAD INDUSTRIAL. METODOLOGIA GENERAL

1.3.1 Conceptos básicos

De lo expresado anteriormente se puede observar dos conclusiones importantes:

- a). Los accidentes de trabajo no son casuales, son causados, por lo tanto la mayoría de accidentes se pueden prevenir.
- b). Si los accidentes de trabajo provocan lesión personal o daño material (una elevada probabilidad de muerte en trabajos eléctricos), reduce la eficiencia de los trabajadores y produce graves perjuicios económicos a las empresas o industrias, los accidentes se deben prevenir.

Para prevenir los accidentes, partiendo de

(8) J.M. Banderas, Proyecto de Normas de Seguridad para trabajos en Líneas de Alta Tensión (Escuela Politécnica Nacional), 1973, pp. 22 - 23.

su concepto, será necesario entonces eliminar:

a). Actos inseguros.- Se definen como fallas humanas que pueden dar lugar a accidentes

estos actos pueden deberse a:

- Ignorancia del personal respecto a su trabajo
- El equipo que se está usando no es correcto
- Dificultad en las operaciones
- Causas personales como: factores fisiológicos (deficiencia visual, auditiva, fatiga); factores psicológicos (preocupación, falta de atención, agresividad); y, factores intelectuales (buen juicio, memoria, etc.).

b). Condiciones físicas inseguras.- Las cuales se deben a errores de

diseño, falta de planificación, peligros del medio ambiente. Podemos citar:

- Medio ambiente muy caluroso o muy frío
- Superficies resbaladizas
- Mala iluminación
- Contaminación
- Equipo defectuoso
- Resguardos inadecuados
- Exceso de ruido, etc.

La seguridad industrial, por tanto, empleará como metodología general para la prevención de acci-

dentés el estudio de los actos inseguros y las condiciones físicas inseguras, para luego establecer normas de seguridad en cualquier campo específico de la misma.

1.3.2 La teoría de Heindrich y la proporción BIRD

La seguridad industrial se basa en ciertas teorías para tener una cuantificación aproximada y real del número de accidentes que ocurren en una empresa, aquí citaremos dos de estas teorías:

- a). Teoría de Heindrich.- La cual afirma que para que se produzca una lesión grave o fatal, ocurren un total de 330 accidentes, de los cuales, 300 no ocasionan lesión y 29 ocasionan lesiones leves. Ver fig. 1.1

1	fatal
29	lesiones leves
300	sin lesión

fig. 1.1
Triángulo de la teoría de Heindrich

- b). Proporción BIRD.- La proporción BIRD nos dice que para que se haya producido un accidente grave o mortal, es porque antes han ocurrido ya 10 accidentes con lesiones leves, 30 acciden-

tes sin lesiones leves, pero con daños a la propiedad y 600 accidentes sin daños ni a las personas ni a la propiedad. (9) Ver fig. 1.2

1	fatal
10	lesiones leves
30	daños a la propiedad
600	sin lesiones ni daños

fig. 1.2
Triángulo de la proporción BIRD

En ambas teorías los accidentes que se producen sin ocasionar lesión son muy elevados respecto a los que ocasionan daños y lesiones. En todo caso la diferencia de las dos teorías radica principalmente en la elasticidad de los datos estadísticos. Lo grave del caso es que las pérdidas económicas producidas por este tipo de accidentes es mucho mayor que las ocasionadas por los otros tipos de accidentes. (10) Más grave aún es que la pérdida económica producida por los accidentes sin lesión ni daño no es detectado por ningún control administrativo financiero de la empresa.

(9) Vicente Cabezas, "El estudio de la seguridad industrial", Curso de Seguridad Industrial, 1963, p.4.

(10) Entrevista con el Ing. Juan Soto, EEQ.

Lo que más debe interesar a la gerencia es establecer un control total de accidentes que permita llegar a un control total de pérdidas, etapa y objetivo final de la higiene y seguridad industrial, convirtiéndose en un punto firme, un elemento más, pero muy valioso para la gerencia que busca la estabilidad económica de una empresa.

1.4 SEGURIDAD EN SUBESTACIONES. IMPORTANCIA

Una subestación eléctrica de potencia se define como el conjunto de equipos con objetivos distintos que los de generación o consumo, a través del cual la energía eléctrica se transmite en bloque para propósitos de seccionamiento o de modificación de sus características. El equipo de servicio, las instalaciones de transformadores de distribución y otros equipos menores de transmisión y distribución no se clasifican como subestaciones.

Una subestación es de tal complejidad que involucra una o más barras, una cantidad de disyuntores, y usualmente es la única parte de unión de uno o más circuitos alimentadores primarios, como también para seccionar los circuitos de transmisión que pasan, mediante el uso de disyuntores. (11)

(11) NORMA ANSI C42-1941, Sección 35 - 40, 240.-

La subestación por tanto cumple diversas funciones en un sistema eléctrico de potencia, constituyéndose en un elemento fundamental del mismo. Así podemos ver que una subestación recibe el voltaje primario de generación y lo eleva para transmitirlo (subestación de elevación), o recibe energía de generación en sus barras de alta tensión a un voltaje de subtransmisión y lo reduce a un voltaje de distribución para obtener un adecuado voltaje en sus barras de baja tensión (subestación de distribución y reducción), o simplemente separan los circuitos de un sistema eléctrico de potencia para efectos de coordinación del mismo (subestación de maniobra o seccionamiento). (12)

Es obvio concluir que en una subestación se realizan gran cantidad de trabajos de operación y mantenimiento por lo cual será necesario el conocimiento de normas de seguridad que no solo prevean los accidentes, evitando sus graves consecuencias, sino también, que contribuyan a la creación de condiciones ambientales óptimas para obtener un alto nivel de salubridad psico-físico en los trabajadores de las subestaciones.

1.5 ALCANCE Y OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo será el preci-

(12) Gaudencio Zoppetti, Júdez, Estaciones Transformadoras y de Distribución, Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 1972, p. 2

sar las precauciones que se deben tomar en la instalación, mantenimiento y operación de subestaciones, para velar tanto por la seguridad del personal y del equipo eléctrico, así como también realizar una investigación del conocimiento y aplicación de estas normas para poder establecer medidas correctivas en las principales subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito e INECEL.

Es de esperarse que el presente trabajo sea encaminado hacia la elaboración de un Código Eléctrico de Seguridad Ecuatoriano, dándose un paso fundamental en materia de normalización de seguridad en el país.

C A P I T U L O I I

2. NORMAS PARA TRABAJADORES

2.1 APLICACION. REQUERIMIENTOS GENERALES

2.1.1 Aplicación

Las siguientes normas pueden o deben ser aplicadas durante el mantenimiento, la construcción o la realización de cualquier tipo de trabajo en una subestación eléctrica de potencia. Las siguientes reglas son requerimientos básicos para la seguridad de empleados y público en general.

2.1.2 Requerimientos generales

- a). La empresa debe informar a cada trabajador de subestaciones las normas de seguridad que debe cumplir a cabalidad durante su trabajo. Cuando se considere necesario debe proporcionarse a cada empleado una copia de estas normas.
- b). Los trabajadores o empleados deben utilizar las normas en forma positiva, es decir, deben estar en conformidad con estas normas, puesto que, un cumplimiento forzoso de alguna regla en particular podría traer impedimento en el progreso de trabajo, en estos casos será necesario que se modifique la norma temporalmente sin que se incrementen los riesgos y

- pueda efectuarse el trabajo de mejor manera.
- c). Si una diferencia de opinión surge con respecto a la aplicación de estas reglas, la decisión final será del supervisor o jefe inmediato.

2.2 PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA

2.2.1 Primeros auxilios

- a). Los empleados deben informarse sobre procedimientos a seguirse en casos de emergencia y reglas de primeros auxilios, incluyendo métodos de "resucitación". Copias de dichos procedimientos y reglas deberán conservarse en lugares adecuados, vehículos (para personal de operación y mantenimiento) y donde el número de empleados y su naturaleza de trabajo lo requiera.
- b). Las instrucciones sobre primeros auxilios y procedimientos de emergencia deberán ser hechos regularmente, para proporcionar un adecuado adiestramiento a los trabajadores.

2.2.2 Responsabilidad

- a). Un operador calificado deberá estar a cargo del equipo de la subestación y será el responsable directo del funcionamiento normal del mismo.
- b). Si más de una persona está efectuando un trabajo en

un equipo o línea, una persona debe ser designada como encargada de que el trabajo sea efectuado.

Donde haya localizaciones separadas de trabajo, una persona debe ser designada para cada localización,

✓ 2.3 MÉTODOS Y EQUIPOS DE PROTECCION

✓ 2.3.1 Métodos

- a). El acceso al equipo energizado debe ser restringido al personal autorizado.
- b). Planos y diagramas mostrando la ubicación del equipo en la subestación, deben mantenerse en lugares accesibles al personal autorizado.
- c). Los empleados deben ser instruidos sobre el carácter del equipo o líneas dentro de la subestación, antes de efectuar cualquier trabajo.

✓ 2.3.2 Aparatos y equipos de protección

- a). Adecuados aparatos y equipos protectores debe tener el empleado, además del equipo de primeros auxilios, los mismos que deben asignarse en un sitio específico en la subestación, accesible a los trabajadores.
- b). La siguiente es una lista de aparatos y equipos básicos de protección. El número y la clase dependerá de los requerimientos de cada caso:
 - 1. Indumentaria aislante tal como guantes de caucho,

- mangas aislantes y casco.
2. Plataformas y alfombras aislantes.
 3. Herramientas aislantes para prueba o manipuleo de equipo energizado.
 4. Avisos de "hombres trabajando", señales portátiles de peligro.
 5. Cinturones de seguridad.
 6. Equipos de extinción de fuego, los mismos que deben estar permanentemente en la subestación.
 7. Materiales protectores de puesta a tierra.
 8. Equipo portátil de iluminación.
 9. Equipos y materiales de primeros auxilios.
- c). Los aparatos y equipos de protección deberán ser periódicamente inspeccionados o probados, para asegurarse que se encuentran en condiciones de trabajo. Mangas y guantes aislantes deberán ser inspeccionados antes del uso y probados periódicamente como la frecuencia de su utilización lo requiera.
- d). Signos permanentes de peligro deben exhibirse en todas las entradas de la subestación y en sitios, áreas y pasadizos accesibles al público, que estén expuestos o cercanos a partes conductoras de corriente.

2.4 NORMAS PARA TRABAJADORES

2.4.1 Reglas y métodos de emergencia

- a). Las reglas de seguridad para trabajadores deberán ser cuidadosamente leídas y estudiadas, los empleados deberán dedicar el tiempo que fuese necesario para el conocimiento de las mismas.
- b). Los trabajadores deberán familiarizarse con métodos apropiados de primeros auxilios, técnicas de salvamento y extinción de incendios.

2.4.2 Seguridad personal y de compañeros

- a). Los trabajadores deben poner atención a los signos de peligro cercanos al equipo energizado o líneas en la subestación.
- b). Los trabajadores deben reportar rápidamente a su respectiva autoridad en los siguientes casos:
 - 1. Líneas o equipo defectuoso en la subestación, tal como aislamientos rotos, equipo averiado, soportes rotos, líneas "flojas", etc.
 - 2. Objetos accidentalmente energizados, tales como tuberías de agua, accesorios de iluminación, etc.
 - 3. Otros defectos que podrían llevar a condiciones peligrosas.
- c). Los empleados cuyos deberes no requieran del acercamiento o manipuleo de equipo eléctrico dentro de

la subestación, deben mantenerse fuera de éste.

- d). El empleado que trabaje sobre o cerca de líneas o e quipo energizado, debe tener conciencia de todos los efectos de sus acciones tomando en cuenta tanto su propia seguridad, como la de los demás trabajadores en el sitio de su labor.

2.4.3

Calificación de empleados

- a). Trabajadores sin experiencia en equipo energizado, deberán estar bajo la dirección de una persona calificada y con experiencia.
- b). Si un trabajador o empleado está en duda sobre el seguro funcionamiento del algún trabajo asignado a él, deberá pedir información a su supervisor u otra persona calificada.

2.4.4

Condiciones desconocidas

El equipo de la subestación se considerará energizado a menos que se tenga pleno conocimiento de que está desenergizado. Antes de comenzar el trabajo se harán inspecciones generales o pruebas para determinar las condiciones existentes. Se determinarán previamente a la realización de cualquier trabajo, sobre o cerca de las partes energizadas en la subestación, los voltajes de operación de éstas.

✓ 2.4.5 Partes metálicas no puestas a tierra

Todas las partes metálicas que no sean puestas a tierra, se considerarán estar energizadas al más alto voltaje al cual están expuestas, a menos que se conozca mediante pruebas que están libres de ese voltaje.

2.4.6 Condiciones de peligro

Los empleados deberán conservar todas las partes de su cuerpo tan lejos como sea posible de conmutadores, switches, circuitos breaker u otras partes, las cuales podrían dar lugar a un arco eléctrico, durante su operación o manipuleo.

✓ 2.4.7 Baterías

- a). Las áreas cerradas conteniendo baterías han de ser adecuadamente ventiladas.
- b). Se deberá prohibir fumar y todo tipo de herramientas, las cuales puedan producir chispa, deberán evitarse en estas áreas cerradas.
- c). Cuando se efectúen trabajos los empleados deberán usar protectores de ojos y de piel y no deberán manipular partes energizadas de las baterías a menos que se tomen precauciones, para evitar corto circuitos.

2.4.8 Vestimenta

- a). Un trabajador en el desarrollo de sus deberes usará ropa conveniente, tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales su trabajo se efectúe.
- b). Se evitará el uso de artículos de metal, tales como llaves, reloj de pulsera metálica, anillos, cierres, zapatos con algún accesorio de metal, lentes con algún armazón metálico, hebillas, cuando el trabajo se lo realice en las cercanías de equipo eléctrico energizado.

2.4.9 Soportes

- (a). Ningún material, equipo o trabajador debe apoyarse o permitirse el que esté soportado por alguna porción de árbol, andamio, escalera, pasamano, acera u otra estructura elevada, sin que primero haya sido determinado si el soporte es adecuadamente fuerte, si está en buena condición y en sitios seguros.
- ✓ b). Escaleras portátiles de madera para uso general no deben pintarse, ni deben tener refuerzos de metal, se debe asegurar de que las escaleras estén firmes en el piso.
- ✓ c). No debe usarse escaleras portátiles de metal cuando el trabajo se lo realiza cerca de partes energizadas.

✓ 2.4.10 Cinturones de seguridad

001948

- a). Un empleado que trabaje en una elevada posición, usará cinturones de seguridad u otro apropiado medio para prevenir una caída.
- b). Los cinturones deberán inspeccionarse por el trabajador, para comprobar si están en buenas condiciones de trabajo.
- c). Los cinturones deben estar correctamente colocados en la cintura, para evitar problemas posteriores en la columna.

✓ 2.4.11 Extintores de fuego

- a). En caso de incendio cerca o dentro de la subestación, los empleados usarán extintores de fuego.
- b). Debe tomarse en cuenta que los extintores son efectivos en las primeras etapas del fuego, por tanto se los usará con prontitud.
- c). La duración de la descarga de los extintores, varía entre veinte segundos y un minuto. Por lo que se deberá comenzar a operarlos cerca del fuego, apuntando la base de las llamas.
- d). Se deberá tener en cuenta la dirección del viento, para apagar el fuego con un extintor portátil, éste deberá estar a la espalda, para poder aproximarse más y estar resguardado de las llamas.
- e). Nunca se debe utilizar un extintor de agua o solución acuosa para apagar incendios en equipos eléctricos energizados.

✓ 2.4.12 Fusibles

Cuando sea necesario remover o cambiar fusibles con uno o ambos terminales energizados por encima de un kV, se usarán herramientas especiales aislantes o guantes. Para voltajes entre 300 y 1000 voltios, también podrían usarse guantes o herramientas aislantes.

✓ 2.4.13 Carrete de cable

En caso de que en la subestación se almacenen carretes de cable, aunque sea temporalmente, estos deberán ser bloqueados para evitar que ruedan accidentalmente.

(2.5) RUTINA DE OPERACION

(2.5.1) Deberes de un operador o del vigilante de la subestación

- a). Mantener informado de todas las condiciones que de una u otra forma podrían afectar la operación de la subestación, al jefe de operación y mantenimiento del sistema.
- b). Tener siempre disponible planos, diagramas de la subestación, ya sea que haya equipos que estén fuera de servicio o no.

2.5.2 Deberes de un supervisor

- a). Adoptar precauciones propias para prevenir accidentes y vigilar que las normas de seguridad sean observadas por los empleados bajo su dirección.
- b). Hacer los necesarios registros y reportes al Departamento de Seguridad de la empresa o a su jefe inmediato.
- c). Mantener lo más lejos posible a personas no autorizadas en sitios que se realizan los trabajos.
- d). Prohibir el uso de todo tipo de herramientas o aparatos no necesarios para el trabajo a realizarse.
- e). Dar instrucciones precisas, claras y completas.
- f). Asegurarse de que sus instrucciones han sido comprendidas.
- g). Supervisar para verificar el cumplimiento de las mismas.

2.5.3

Autorizaciones

- a). Será necesaria una autorización del operador del sistema o jefe de operación o mantenimiento, antes de empezar un trabajo en un equipo de la subestación. Igualmente será necesario cuando se necesite desenergizar la subestación.

EXCEPCION.- En una emergencia, para proteger la vida de una persona o la integridad de un equipo de la subestación u otras causas de fuerza mayor, cual

quien trabajador calificado deberá tratar de reparar el daño o socorrer al accidentado, sin esperar ninguna autorización, para luego comunicar a su respectivo jefe o supervisor lo más pronto posible.

b). Para abrir o cerrar circuitos de abastecimiento de energía en la subestación se pedirá previamente una autorización al operador del sistema.

EXCEPCION.- Igual que en el punto a).

2.5.4

Reenergización

Las instrucciones para reenergizar un circuito desde la subestación, el cual ha sido desenergizado para efectos de realizar algún trabajo dentro o fuera de la subestación, no deben ser emitidas por la persona encargada de dicho trabajo, hasta que todos los trabajadores se reporten.

2.5.5

Desenergización

Cuando un circuito va a ser desenergizado desde la subestación, se deberá primeramente abrir los disyuntores (seccionadores bajo carga) para luego abrir los seccionadores.

2.5.6

Identificación de circuitos y equipos

Todo equipo o circuito debe estar debidamente identificado, por convenientes avisos o placas.

Equipos o circuitos que estuviesen desenergizados, tendrán apropiados avisos, en todos los puntos por los cuales ellos pueden ser energizados.

2.5.7 Area de protección

- a) Si el trabajo que se realiza en una subestación está expuesto a partes energizadas, se colocarán señales de peligro para resguardo del resto del personal en esa área.
- b). Cuando se efectúa un trabajo en un sector de la subestación, el cual tenga muchas secciones semejantes, como es el caso de paneles o tableros de control, el personal marcará convenientemente el área de trabajo y colocará barreras para prevenir contactos accidentales con partes energizadas de las secciones adyacentes.

2.6 MANEJO DEL EQUIPO ENERGIZADO

2.6.1 Requerimientos generales

Cuando se trabaja en equipo energizado una de las siguientes reglas debe cumplirse:

- a). Aislar al empleado de la parte energizada.
- b). Aislar al empleado de tierra o de estructuras de puesta a tierra y de otros potenciales que no sean a los que se está efectuando el trabajo.

2.6.2 Alambre cubierto

- a). El trabajador no deberá confiar su seguridad en alambres cubiertos y todas las normas dictadas en esta sección deberán observarse para manipuleo de alambres cubiertos.
- ✓ b). Cuando se deba cortar la cobertura aislante de un alambre o cable, los empleados deberán usar herramientas propias para ello.
- ✓ c). Durante el trabajo se usarán protecciones para ojos y además guantes aislantes, los cuales deben estar en buenas condiciones.

2.6.3 Cintas de metal y cuerdas

Cintas de metal para medición y cuerdas o cabos de hilo de metal no se usarán en puntos energizados. Las distancias mínimas se especifican en el capítulo IV, norma No. 4.3.1.

También se tomarán precauciones cuando se extiendan cintas de metal, paralelamente en la proximidad de líneas de alto voltaje, debido a los voltajes que podrían inducirse.

2.6.4 Condiciones ambientales desfavorables

Observación

En tiempo inclemente como lluvia, tempestad o en la noche, ningún trabajador laborará solo en el pa-

tio de maniobras de la subestación o cerca de conductores energizados o partes de más de 700 voltios entre fases.

EXCEPCION.- Un trabajador calificado podrá trabajar si es que existe la suficiente claridad, en tableros de control o cambiando fusibles, o trabajos similares que puedan ser efectuados con seguridad.

✓ 2.6.5 Manuales de equipo eléctrico

Los manuales de cierre y apertura de disyuntores y seccionadores, estarán siempre a mano, para una posible consulta. Se deberá tener cuidado en la apertura de estos equipos por la formación de arcos eléctricos.

2.6.6 Posición de trabajo

Los empleados deberán evitar trabajar sobre un equipo de la subestación, en alguna posición de la cual podría producirse un golpe o un resbalón, que llevaría al cuerpo del trabajador a tomar contacto con partes a diferente potencial del que se encuentra él trabajando. El trabajo de preferencia debe ser hecho desde abajo más que desde arriba.

2.6.7 Realización de conexiones

Para conectar dos circuitos, uno desenergiz

zado y otro energizado, primero deberán hacerse todas las conexiones en la parte desenergizada. Los conductores sueltos deben mantenerse fuera de las partes energizadas.

2.6.8 Transformadores de corriente

El secundario de un transformador de corriente no deberá ser abierto cuando éste se encuentre energizado. Si todo el circuito no puede ser propiamente desenergizado antes de trabajar sobre un instrumento, relé u otra sección del circuito secundario del transformador de corriente, el empleado puenteará el circuito de tal forma, que el secundario del transformador de corriente no sea abierto.

2.6.9 Capacitores

Antes que los empleados trabajen con capacitores en la subestación, éstos deberán ser desconectados de la fuente de energía, corto circuitados y puestos a tierra. Cualquier línea a la cual los capacitores estén conectados debe ser corto circuitada y puesta a tierra antes de ser considerada desenergizada. Como las unidades de capacitores pueden conectarse en serie, paralelo, cada unidad será corto circuitada entre todos los terminales aislantes y los tanques de los capacitores antes de ser manipulados. Si los tanques de capacitores

están sobre soportes no puestos a tierra, estos soportes también deberán ser puestos a tierra.

2.7 DESENERGIZACION DE EQUIPO. PROTECCION DE EMPLEADOS

✓ 2.7.1 Requerimientos iniciales

Cuando sea necesario desenergizar una línea desde una subestación, los empleados deberán identificar los aparatos de corte y seccionamiento empleados para esa sección particular del sistema, mediante su posición, por medio de señales con diferentes números, letras, etc.

✓ 2.7.2 Apertura de seccionadores e identificación

Cuando todos los seccionadores de una línea de transmisión han sido abiertos para la ejecución de algún trabajo sobre ésta, se colocarán convenientes a visos de "Hombres trabajando". En todos los controles automáticos y remotos también serán colocados avisos. Se elaborará un registro para los puntos de control desconectados, donde se indicará: el tiempo de desconexión estimado, el nombre de la persona que realizó las desconexiones, el nombre de la persona que solicitó las desconexiones, el nombre de la persona que dirigió la operación.

✓ 2.7.3 Puestas a tierra de protección

- a). Cuando todos los aparatos de corte y seccionamiento designados para que sean abiertos e identificados de acuerdo a la norma 2.7.2; y, los trabajadores han obtenido permiso para realizar su labor de la persona que dirige la operación, éstos deberán inmediatamente hacer sus propias puestas a tierra o verificar que las puestas a tierra han sido aplicadas sobre la línea desconectada. (Véase norma 2.7.4).
- b). Estas puestas a tierra se efectuarán entre el punto en el cual se está realizando el trabajo y la fuente de energía, tan cerca como sea posible a dicho punto.

✓ 2.7.4 Precauciones a observarse en puestas a tierra

Quando se coloquen temporalmente puestas a tierra sobre circuitos normalmente energizados, se observarán las siguientes precauciones:

- a). Tamaño de las puestas a tierra.- Los conductores de puesta a tierra serán de sección o tamaño tal que lleven la máxima corriente de falla a tierra, que puede fluir al punto de puesta a tierra por el tiempo necesario.
- b). Conexión de puesta a tierra.- Los trabajadores ha-

rán la puesta a tierra de protección, conectando primeramente un terminal a la tierra efectiva de la conexión.

- c). Prueba del circuito.- Los conductores y equipo, el cual está puesto a tierra se les debe probar el voltaje, excepto donde se instaló primeramente la puesta a tierra.

2.7.5 Disposiciones a adoptarse para evitar una energización intempestiva. Bloqueos

El trabajador responsable del resto de empleados debe proceder a ejecutar las operaciones de bloqueo siguientes:

- a). Inmovilización mecánica en posición de abertura, cuando sea posible de todos los aparatos de corte y seccionamiento, para asegurar el corte visible de la corriente eléctrica. Esta inmovilización debe efectuarse por medio de cerrojos o cadenas con candados.
- b). Inmovilización mecánica de ciertos dispositivos de protección que tienen que ver con los aparatos de corte de corriente y que no se inmovilizan directamente con éstos, (ejemplo: la parte móvil del seccionador - fusible que contiene el fuse link).

- c). Poner fuera de servicio todos los circuitos eléctricos de control o de comando a la distancia de los aparatos que aseguran el corte de la corriente.
- d). Poner en su lugar los avisos de bloqueo y operación que deben ser apropiados para cada caso. Dichos avisos deben colocarse sobre los órganos de bloqueo de los aparatos y sobre los figurativos correspondientes en el tablero de comando. Cada aviso debe tener inscripciones como: "Prohibido manibrar, se trabaja en la instalación".

2.7.6 Realización de trabajos

Luego de que el equipo en la subestación haya sido desenergizado y puesto a tierra, el empleado a cargo o bajo su dirección podrá proceder con el trabajo sobre las partes desenergizadas. Se deberá empero tener cuidado con las partes energizadas adyacentes.

2.7.7 Transferencia de responsabilidad

El empleado a cargo luego de concluir el trabajo y luego de asegurarse que todos los hombres bajo su dirección estén libres, removerá o retirará las puestas a tierra de protección y reportará al operador para que todos los avisos de protección puedan ser igualmente retirados.

2.7.8 Desbloqueo

El empleado a cargo procederá a retirar los bloqueos correspondientes:

- a). Retira los avisos de bloqueo y operación colocados en los circuitos de comando de los aparatos y en los circuitos figurativos correspondientes en el tablero de control.
- b). Retorna al servicio los circuitos de comando o de control a distancia de los aparatos que aseguran el corte de corriente.
- c). Suprime la inmovilización mecánica de los elementos de protección que tienen que ver con ciertos aparatos de corte no inmovilizados directamente.
- d). Suprime la inmovilización mecánica de los aparatos de corte y seccionamiento.

En caso de haberse llevado un registro de maniobras, las operaciones de desbloqueo se harán de acuerdo a las instrucciones de dicha ficha y en orden inverso al seguido para el bloqueo.

2.7.9 Restauración del servicio

Solo después de que todas las puestas a tierra de protección hayan sido retiradas y luego de que todos los avisos hayan sido removidos y se hayan efectuado las operaciones de desbloqueo correspondientes, el operador o quien dirige el trabajo en la subestación po-

drá directamente cerrar los aparatos de corte y seccionamiento.

2.8

TRABAJOS EN CABLES SUBTERRANEOS

Las siguientes recomendaciones se tomarán en cuenta cuando se realicen trabajos en los cables eléctricos subterráneos de la subestación.

2.8.1

Puesta a tierra del cable

Un cable (subterráneo) que se desconecta de cualquier fuente de energía conserva una carga estática que puede ser peligrosa, por lo que será necesario entonces, descargarlo a tierra y corto circuitado antes de poner la mano en él, para lo cual debe ponerse a tierra en descarga sucesiva, todos los conductores y en todos los extremos; durante espacios de tiempo del orden de un minuto, de tal manera que desaparezcan las cargas residuales, susceptibles de que reaparezcan en ciertos cables.

✓ 2.8.2

Identificación de cables

Para identificar el cable objeto del trabajo, se tomarán en cuenta los siguientes puntos:

- a). Planos y ubicación de los cables
- b). Marcas y etiquetas de los cables

- c). Características de los cables.
- d). Informaciones complementarias que se puedan obtener tales como: estudio de los cables vecinos, de su disposición, de sus marcas, etc.

2.8.3 Comprobación de tensión en el cable

Excepto en el caso de cuando un elemento permite afirmar con toda certeza, que el cable en el que se va a trabajar es el que está sin tensión, es necesario asegurarse de lo contrario, esto es, si está con tensión, antes de proceder a realizar el trabajo en el cable que se acaba de identificar.

Esta operación se hace introduciendo diametralmente en el cable un cincel especial, que se fija en la extremidad de una pértiga aislante, provista de una pantalla de protección y que previamente debe conectarse a tierra. Para hacer esta operación se debe usar guantes de caucho y estar aislado al suelo.

Si en el momento que el cincel se introduce en el cable, se produce un fenómeno cualquiera, debe considerarse como que el cable estuviese con tensión y debe efectuarse inmediatamente una investigación, para determinar la razón del fenómeno.

2.8.4 Trabajos de excavación

En caso de realizar trabajos de excavación

por una u otra razón cerca o encima del lugar por el que pasan cables subterráneos, será preferible no utilizar barras de acero sino de preferencia herramientas con mangos aislantes.

C A P I T U L O I I I

3. NORMAS PARA LA INSTALACION Y MANTENIMIENTO DE LAS SUBESTACIONES

3.1 DISPOSICION GENERAL PARA PROTECCION DE UNA SUBESTACION

✓ 3.1.1 Protección externa

La subestación, su equipo en general debe estar resguardado, cercado, ya sea por una malla de metal o por una pared, para prevenir la entrada de personal no autorizado. Se deben colocar señales de peligro en las entradas y preferentemente debe estar vigilado por un guardia. La altura de la malla o de la pared debe tener un mínimo de 2 m. 15 cm., (sobre este punto se tratará más detenidamente en el capítulo IV).

✓ 3.1.2 Cuartos y espacios

Todos los cuartos y espacios en los cuales el equipo eléctrico está instalado, deben cumplir los siguientes requerimientos:

- a). Deben estar contruidos a prueba de fuego.
- b). Deben estar libres de materiales combustibles como polvo, gases y no deben almacenar más material que el necesario, para el mantenimiento del equipo ins-

talado.

- c). Debe existir suficiente ventilación para mantener temperaturas de operación y para evitar acumulación de gases.
- d). Deben ser secos, sin humedad. Si la subestación se encuentra en sitios húmedos, debe diseñarse de tal forma que soporte estas condiciones.

✓ 3.1.3 Iluminación

- a). Bajo condiciones normales.- Los cuartos y espacios donde los equipos eléctricos están localizados, tendrán iluminación especial a intensidades no menores de los valores indicados en la tabla 3.1. El sistema de iluminación será mantenido en buenas condiciones, para un uso continuo.

TABLA 3.1.- Iluminación, intensidad

Localización	Pies-candelas mínimos
Instrumentos de control, switches, tableros, etc.....	30
Cuarto de baterías	20
Cuarto de generación, Cuarto de bombas	20
Cualquier espacio trans- versal, (medido a nivel de	5
suelo)	

- b). Fuentes de emergencia.- De preferencia debería ser provista cada subestación de una fuente de emergencia de iluminación con transferencia automática, desde un generador independiente o batería.
- c). Accesorios.- Todos los accesorios de iluminación, (todo tipo de luminarias, interruptores, etc.) no deben colocarse cerca a partes vivas, deben situarse en localizaciones seguras y accesibles.

✓ 3.1.4 Pisos, pasadizos, pasamanos

- a). Pisos.- Los pisos deben ser lo más lisos posible, para proveer seguridad al caminar.
- b). Pasadizos.- Debe procurarse que los pasadizos no tengan obstrucciones que dificulten el paso del personal. De no ser esto posible, la obstrucción debe tener señales de precaución. Los pasadizos deben tener preferiblemente una altura mínima de 2 m.
- c). Pasamanos.- Todas las escaleras de más de cuatro peldaños, deben poseer pasamanos, es preferible que se los marque con un color distinto al del área circundante.

✓ 3.1.5 Salidas

- a). Cada cuarto donde se encuentre instalado equipo eléctrico, debe tener salidas propias para cada caso y deben estas salidas mantenerse libres de cualquier

tipo de obstrucción. Las puertas de salida deben tener cerraduras, aldabas o perillas, que permitan abrir por una simple presión o torque bajo cualquier condición.

- b). Si los cuartos o espacios y el arreglo del equipo eléctrico son de tal forma que es posible que se produzca un accidente, como en el caso de cuartos largos y angostos, pasadizos, espacios detrás de tableros de control o alambres y tuberías, será entonces necesario, proveer de otra salida.

✓3.1.6 Equipos extintores de fuego

Adecuados extintores de fuego deben ser convenientemente instalados con señales de aviso. Los extintores deben tener un apropiado rango de temperatura para la localización en la cual son instalados.

3.2 DISPOSICION DEL EQUIPO ELECTRICO

Conclusión

(3.2.1 Requerimientos generales

Todo el equipo eléctrico existente en una subestación debe ser construido, instalado y mantenido de tal forma que todos los riesgos que atenten contra la vida del personal y la seguridad del equipo mismo, deben estar reducidos a una mínima probabilidad. Para ello se ha elaborado las siguientes normas, tratando de que sean

lo más generales posible.

✓ 3.2.2 Inspecciones a equipo en servicio

El equipo eléctrico debe ser periódicamente inspeccionado y mantenido. El equipo defectuoso debe ser puesto en buen estado o permanentemente desconectado o retirado.

✓ 3.2.3 Inspección de equipo para servicio futuro y emergencia

- a). El equipo eléctrico que está instalado en la subestación para un servicio futuro, debe a través de una inspección determinarse si está listo para su funcionamiento.
- b). Equipo eléctrico que exista en la subestación para casos de emergencia, debe ser periódicamente probado e inspeccionado para determinar sus buenas condiciones de funcionamiento.

✓ 3.2.4 Puestas a tierra de protección

Todo equipo eléctrico que contenga partes metálicas que no lleven corriente, como es el caso de la armazón de los transformadores, tableros de control, generadores, deben estar efectivamente puestos a tierra o aislados. Se recomienda que todas las partes metálicas sobre las cuales esté el equipo eléctrico, deben estar

puestas a tierra.

✓3.2.5 Localizaciones de riesgo

En lugares donde existe gas inflamable o partículas inflamables en cantidades peligrosas, todas las partes que produzcan chispa, arco o calores peligrosos deben ser encerrados para reducir el riesgo de incendio, tanto como sea posible, para lo que se procede de cualquiera de las siguientes formas:

- a). Por colocación en cuartos o compartimientos separados.
- b). Mediante el uso de cubiertas de materiales no combustibles e inabsorbentes, cuando esté presente el polvo o partículas inflamables.
- c). Mediante el uso de cubiertas no combustibles, inabsorbentes y a prueba de explosión, cuando exista gas inflamable en cantidades peligrosas.

✓3.2.6 Identificaciones

- a). El equipo eléctrico debe estar propiamente identificado como norma de seguridad. La identificación puede ser realizada por medio de posición, color, número, placa, etc., siendo preferible que la identificación sea realizada de una sola manera a través de todo el sistema.

- b). Todo aparato dentro de la subestación debe tener una placa de identificación, en concordancia con los standards aplicados al equipo.

✓ 3.3 BATERIAS DE ALMACENAMIENTO

3.3.1 Localización

La localización del cuarto de baterías de almacenamiento o el sitio donde éstas se encuentren, deberá ser accesible solamente para personas calificadas.

3.3.2 Ventilación

La ventilación es necesaria y debe proveer se en cantidad suficiente, para asegurar que los gases difundidos por las baterías no formen compuestos explosivos.

3.3.3 Soportes

Los soportes que sostienen las baterías son necesarios y deben estar hechos por:

- a). Madera, debe ser tratada para que obtenga resistencia a la acción deteriorante del efecto electrolítico.
- b). Metal, también debe ser resistente a efecto electrolítico, y deben contener material aislante las partes del soporte que sostienen directamente a las ba

terías.

3.3.4 Suelo del cuarto de baterías

Es recomendable que el suelo del cuarto de baterías sea de un material resistente al ácido, o pintado con pintura resistente al ácido.

3.3.5 Conductores en el cuarto de baterías

Todos los conductores, cables abiertos, tubos metálicos, deben estar hechos de un material resistente a la corrosión, o deben estar protegidos de ésta.

3.3.6 Iluminación del cuarto de baterías

Los accesorios de luz deben estar protegidos de un daño físico, por adecuados resguardos o aislamientos. Los interruptores y toma corrientes deben estar localizados fuera del cuarto de baterías.

3.3.7 Aparatos de calefacción

Se recomienda que aparatos de calefacción no deben ser instalados en cuartos de baterías. De ser necesaria su instalación, los calefactores deben generar temperaturas que no causen ignición a los gases presentes. Termostatos de calefacción no deben ser instalados en el cuarto de baterías.

3.4 TRANSFORMADORES

3.4.1 Circuitos secundarios y transformadores de corriente

Los circuitos secundarios para transformadores de corriente con un voltaje en el primario mayor de 600 voltios deberían, excepto para longitudes cortas a los terminales del transformador, tener el devanado secundario adecuadamente protegido por medio de coberturas metálicas puestas a tierra. Los circuitos secundarios de los transformadores de corriente deben estar corto circuitados.

3.4.2 Puesta a tierra de armazones

Las armazones de cada transformador (también reguladores) deben estar puestas a tierra.

3.4.3 Localización y arreglo de transformadores de potencia

a). Instalaciones externas.- Un transformador debe estar instalado en una base a nivel de tierra y de tal forma que todas sus partes vivas sean resguardadas de personas no autorizadas (véase norma 3.1.1). La armazón del transformador debe estar puesta a tierra de acuerdo a la norma 3.2.4.

Los transformadores de gran cantidad de aceite de-

ben ser aislados, tomando en consideración los siguientes aspectos para reducir o minimizar los riesgos de incendio:

- Los riesgos son proporcionales al aceite contenido, por lo tanto, para transformadores con un gran volumen de aceite deberá tenerse mayor cuidado.
- Deberá existir una canaleta de absorción de aceite.
- Debe existir equipo de extinción de fuego en sitios accesibles en caso de emergencia.
- Adecuada ventilación para conservar temperaturas de operación del transformador.

La probabilidad de que se derrame el aceite en un equipo eléctrico es mínima, pero cuando esto sucede el 85 % se produce en los transformadores de potencia y en estos casos una gran cantidad de aceite se pierde. Debe tenerse especial cuidado en los sitios donde las vías de agua puedan contaminarse.

- b). Instalaciones internas.- Transformadores de tipo seco o que no contengan líquido inflamable pueden instalarse en sitios sin protección de incendio, pero tampoco debe permitirse el paso de personas no autorizadas.
- c). Se prohíbe el uso de askarel u otro derivado del PCB, por su extremada toxicidad.

d). Los transformadores que contengan líquido inflamable y sean localizados interiormente, serán instalados en cuartos separados y provistos de una adecuada ventilación desde el exterior.

En el suelo existirán canaletas de absorción de aceite. También deberá existir equipo de extinción de incendios y se recomienda que sea de tipo CO₂.

3.4.4 Ruido

El sonido emitido por un transformador es continuo y de una frecuencia tal que afecta el sentido auditivo, tanto del personal de mantenimiento, que tiene un tiempo de exposición de cuatro a seis horas, como de los operadores, cuidadores de la subestación y personas en general que viven cerca de la misma, con un tiempo mayor de exposición.

Este factor debe tomarse en cuenta para la ubicación de subestaciones en áreas urbanas o muy pobladas.

Se recomienda que el sonido emitido por el transformador no sea mayor de 65 decibeles, junto al transformador (a nivel de personal de mantenimiento).

3.5 SWITCHES, DISYUNTORES, FUSIBLES, RECLOSERS

3.5.1 Arreglo

Switches, disyuntores, fusibles y reclosers deben estar localizados en sitios accesibles para personal autorizado de operación y mantenimiento. Paredes, barreras, puertas con cerrojo deben proveerse para proteger al operador de partes vivas o de explosión o fuego. Debe proveerse de identificaciones a todos los aparatos y a los puntos de operación remotas de control y sus posiciones normales de operación.

3.5.2 Aplicación

Todos estos aparatos serán utilizados de acuerdo a valores asignados de voltaje y corriente nominales. Disyuntores, fusibles y reclosers cuya operación consiste en la interrupción de corrientes de falla, deben ser capaces de operar con la máxima corriente de corto circuito del sistema en el punto de aplicación.

3.5.3 Disyuntores, switches y reclosers que contie- nen aceite

Los aparatos de interrupción de corriente conteniendo líquido inflamable deben ser adecuadamente segregados de otros equipos o edificios, para limitar el daño de una eventual explosión o fuego. La segregación podría ser hecha por espaciamiento, por paredes resistentes al fuego o por coberturas metálicas. Las fugas de

gases deben ser separadas de los aparatos que contienen aceite por medio de tuberías en una segura localización. De ser posible deberían proveerse de medios de control de aceite, los cuales descarguen excesos a través de un tanque. Los edificios, cuartos, donde estén instalados estos equipos, deberían ser construidos con materiales a prueba de fuego.

3.5.4 Seccionadores y aparatos de desconexión

- a). Los seccionadores deben tener un adecuado voltaje y corriente nominales de operación, para el circuito sobre el cual son instalados.
- b). Los seccionadores no deben abrir corrientes de carga; y, a lo sumo lo harán con corrientes de magnetización o capacitivas (en un rango de 1 a 3 amperios).
- c). Aparatos de control remoto, disyuntores y seccionadores estarán dispuestos de tal forma de que haya seguridad en una posición de abertura o deben tener identificaciones para prevenir un cierre inadvertido, cuando se haga un trabajo en equipo controlado por éstos.
- d). Los circuitos de control deberán proveerse de medios de desconexión cerca de los aparatos para

prevenir una operación accidental de los mecanismos. (Véase norma 2.7.5)

- e). Los fusibles en circuitos de mas de 150 voltios fase-tierra y 60 amperios deben disponerse de tal forma que puedan ser removidos facilmente por mangos aislantes.

3.6 TABLEROS DE CONTROL

3.6.1 Localización

Los tableros de control deben colocarse en sitios donde el operador no se encuentre en peligro por ninguna parte viva, maquinaria o equipo. Deben estar en un sitio donde se reduzca el peligro de incendio al mínimo posible y el material cercano a los tableros de control no debe ser combustible. El espacio a su alrededor no debe utilizarse para almacenamiento.

3.6.2 Arreglos

Los tableros de control deben estar colocados de tal forma que todos los aparatos que tengan sean facilmente accesibles al operador. Voltímetros, amperímetros, vatímetros, relés u otros aparatos que requieran lectura o constante ajuste y revisión, deberían colocarse de manera que el trabajo se lo efectúe desde el sitio de manejo del tablero.

3.6.3 Separación y barreras

La separación de las partes vivas del tablero de control por convenientes barreras se recomienda cuando tienen voltajes mayores de 600 voltios entre conductores. Se recomienda que dichas partes incluyendo barras de voltaje, deberían ser provistas de coberturas aislantes para evitar corto circuitos con partes a diferente potencial, por utilización de herramientas u otros objetos conductores.

3.6.4 Casetas de instrumentos

Si los tableros de control se montan en casetas metálicas, éstas deberán ser puestas a tierra.

3.6.5 Identificación

Todo el equipo de los tableros de control debe ser dispuesto de manera ordenada y los aparatos de control deben estar identificados.

3.7 APARTARRAYOS

3.7.1 Requerimientos generales

Se tomarán precauciones convenientes para proteger el equipo de la subestación contra sobre-voltajes. Los apartarrayos deben colocarse lo más cerca posible del equipo que ellos protegen.

3.7.2 Instalaciones internas

Si los apartarrayos son colocados dentro de edificios o cercados por paredes, éstos deben colocarse lo más lejos posible de vías de acceso y partes combustibles.

3.7.3 Puestas a tierra

- a). Los apartarrayos deben colocarse siempre con una baja conexión a tierra y deben tener una ruta corta y directa a tierra como sea factible.
- b). Muchas utilidades puede dar el proveer una puesta a tierra separada al apartarrayos montado sobre estructuras metálicas. Estudios realizados muestran que la sección transversal de estas estructuras proveen una gran conductividad. Sobre estas bases se deduce que es de alguna utilidad usar estructuras de acero sobre el cual está montado el apartarrayos como una ruta hacia tierra. Es importante en estos casos, asegurar una adecuada conexión eléctrica entre la estructura, la puesta a tierra del apartarrayos y la rejilla de tierra y además asegurarse que el área transversal de acero de la estructura sea adecuada para la conductividad y que no se introduzcan resistencias altas, debido a la pintura, capas de polvo, moho, etc. Las estructuras de aluminio

cuando se usan pueden obviamente proveer gran conductividad para una ruta a tierra y una elevada capacidad de llevar corriente. Se recomienda la utilización de conectores de cobre para las puestas a tierra desde el apartarrayos al tope del tanque del transformador, cuando se montan sobre éste. La plancha del tanque provee una alta conductividad y cuando se usa este arreglo da una verdadera baja resistencia de conexión de puesta a tierra.

C A P I T U L O I V

4. ZONAS DE GUARDIA EN UNA SUBESTACION

Se denominan zonas de guardia a todas aquellas áreas o espacios que deben aislarse, cubrirse, apantallarse, encerrarse o protegerse mediante apropiadas distancias, pantallas, barreras o cualquier tipo de resguardo, para prever peligrosos acercamientos o contactos de personas u objetos a partes vivas.

A continuación estudiaremos los diferentes resguardos básicos de seguridad, que deben existir en una subestación.

4.1 TIPOS DE RESGUARDOS

4.1.1 Localización y aislamiento

Aquellas partes vivas que se encuentran aisladas por medio de distancias mínimas de seguridad, están resguardadas por localización. Las partes vivas están resguardadas por aislamiento cuando todas las entradas, espacios o vías de acceso a éstas se encuentran cerradas o protegidas y puestas señales de peligro.

4.1.2 Cable metálico apantallado

Cable metálico apantallado puesto efectivamente a tierra es un apropiado resguardo, siempre y

cuando no esté expuesto a daño mecánico. En caso de estarlo, se lo protegerá con conduit metálico u otro medio adecuado.

4.1.3 Barandas

En caso de que la distancia vertical, especificada en la tabla 4.1 (véase distancias mínimas), no pueda asegurarse, deberá colocarse una baranda de resguardo. Esta deberá localizarse a una distancia horizontal de por lo menos 0.90 m. (y preferiblemente no mayor de 1.20 m.) del punto más cercano de la zona de guardia que esté a 2.60 m. del suelo. (Ver fig. 4.1)

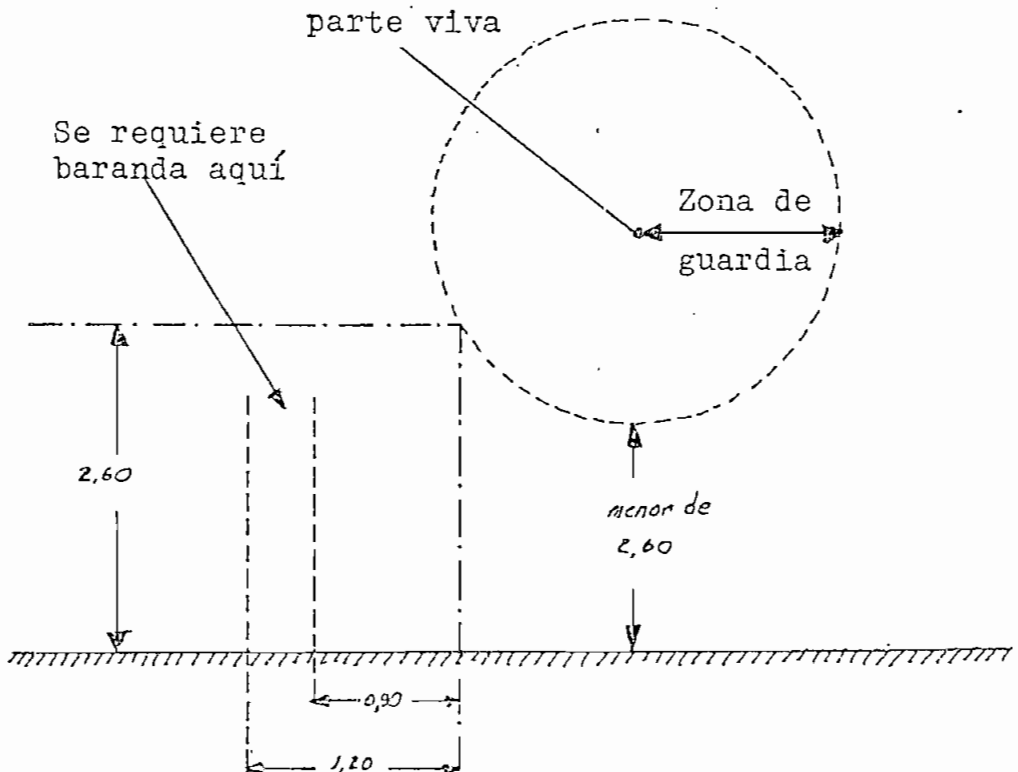


Fig. 4.1.- Colocación de barandas (distancia en metros)

4.1.4 Malla externa de protección

(Véase punto 4.2)

4.1.5 Coberturas aislantes sobre conductores

Las coberturas aislantes sobre conductores que excedan 2500 voltios fase tierra no se considerarán como una adecuada protección. Para conductores menores de 2500 voltios fase tierra pueden usarse barreras o aislamientos apropiados para las condiciones existentes.

4.1.6 Plataformas aislantes

Plataformas de caucho u otro material aislante pueden usarse en tableros de control, switches como protección suplementaria.

4.1.7 Partes vivas bajo superficies de soporte para personas

Las superficies de soporte sobre partes vivas deben ser sin aberturas, los bordes de estas superficies no deben ser menores de 15 cm.

4.2 MALLA EXTERNA DE PROTECCION

La malla externa de protección de la subestación debe tener un mínimo de 2.15 m. de altura. La

La malla externa como resguardo es de gran importancia, puesto que impide la entrada a personas no autorizadas, sin embargo, peligrosos potenciales de contacto pueden presentarse, (Véase Apéndice A) debido a que la malla es usualmente accesible al público por ocupar una posición en la periferia de la rejilla de tierra, donde los gradientes de potencial en la superficie son elevados (en caso de falla). Será entonces necesario hacer acotaciones sobre la puesta a tierra de la malla externa.

4.2.1 Puesta a tierra de la malla externa

Las mallas externas deben ponerse a tierra en base a dos filosofías diferentes:

- a). Incluir a la malla exterior dentro de la rejilla de tierra.
- b). El sitio de la malla exterior fuera del área de la rejilla de tierra, uno u otro con o sin acoplamiento eléctrico entre la malla exterior y la tierra contigua a lo largo de su longitud, pero sin lazo o enlace eléctrico entre la malla exterior y la rejilla principal de tierra.

De preferencia se debe incluir la malla externa en la rejilla de tierra, debido a sus mejores ventajas (Véase Apéndice A).

4.3 DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN PARTES VIVAS

4.3.1 Distancias mínimas de seguridad para trabajadores

Los trabajadores podrán acercarse a partes vivas hasta una distancia igual o mayor que la dada en la tabla 4.1 y explicada en la fig. 4.2.

4.3.2 Distancias mínimas de seguridad para realización de trabajos a mano limpia en partes vivas

Todos los empleados que realizan trabajos a mano limpia en partes vivas, deben mantener las distancias mínimas de seguridad explicadas en la tabla 4.2.

4.3.3 Distancias mínimas de separación de partes vivas

Las distancias de separación de partes vivas en una subestación reviste gran importancia, tanto por el costo de las instalaciones como la seguridad de el equipo eléctrico. Estas distancias están dadas en las tablas 4.3 y 4.4

En la tabla 4.3 están las distancias mínimas para instalaciones externas (en el patio de maniobras) y en la tabla 4.4 para instalaciones internas (casa de control).

Las longitudes mínimas de ruptura dadas

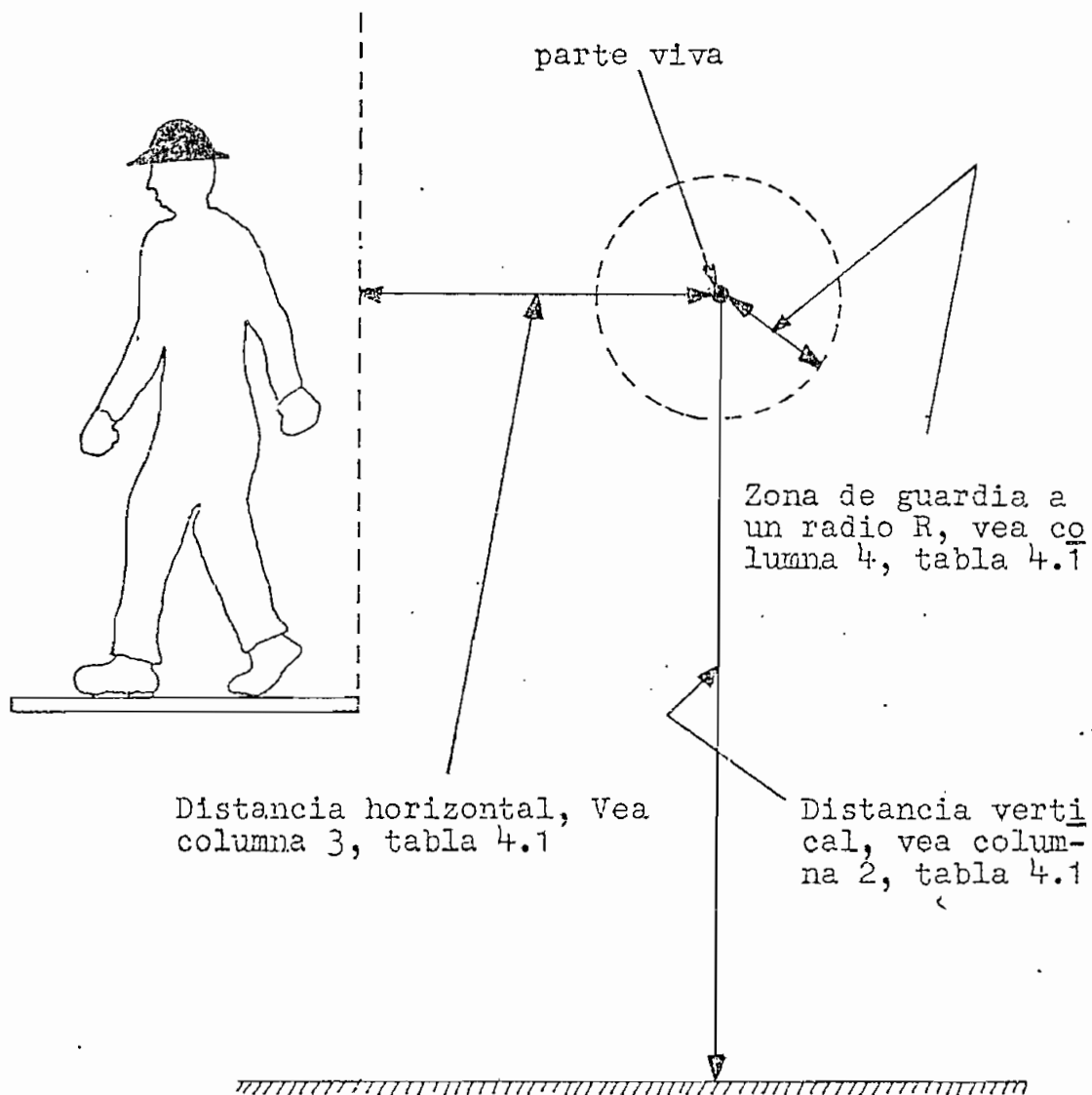


Fig. 4.2.- Distancias mínimas de seguridad en superficies de soporte, para personas

TABLA 4.1

Voltaje nominal entre fases (1) voltios	Distancias mínimas vertical		Distancias mínimas horizontal		Distancias mínimas de guardia a parte viva (4)	
	(2)		(3)		(4)	
	m.	cm.	m.	cm.	m.	cm.
301 a 600	2	64	1	2		5
2.400	2	67	1	2		8
7.200	2	69	1	2		10
13.800	2	74	1	7		15
23.000	2	81	1	14		23
34.500	2	89	1	22		30
46.000	3	0	1	32		40
69.000	3	17	1	50		58
115.000	3	53	1	85		94
138.000	3	70	2	3	1	11
161.000	4	6	2	38	1	47
230.000	4	26	2	59	1	67

para seccionadores, están especificadas para una apertura total, la cual debe ser un diez por ciento mayor de la distancia de arqueo o de extensión del arco en un ambiente seco.

TABLA 4.2.- Distancias mínimas entre partes vivas en la subestación y trabajos a mano limpia*

Voltaje Nominal kilovoltios fase-fase	Distancia			
	Fase-tierra		Fase-fase	
	m.	cm.	m.	cm.
1 a 34.5		61		61
46		76		91
69		76		91
115		91	1	22
138	1	7	1	52
161	1	7	1	52
230	1	52	2	44

* A más de las distancias aquí anotadas el empleado deberá probar el equipo de aislamiento antes de realizar el trabajo a manos limpias y comprobar la integridad del mismo.

Voltaje nominal		Nivel básico de impulso			DMS entre conduc-	DMS entre conduc-	Separación centro a centro entre fases (m)		
Nominal	Máximo	1.2 x 50 us onda de im- pulso	60 Hz kV Rms Húmedo 10 seg	Seco 1 min	tores aéreos y tie- rra para seguridad del personal	tores y caminos dentro de la su- bestación	Seccionadores de ruptura vertical	Seccionadores de ruptura la- teral (horiz.)	Seccionadores de ruptura ho- riz. y vertic. (Gap de cuerno)
7.5	8.25	95	30	35	2.44	6.10	0.46	0.76	0.91
15	15.5	110	45	50	2.74	6.10	0.61	0.76	0.91
23	25.8	150	60	70	3.05	6.71	0.76	0.91	1.22
34.5	38	200	80	95	3.05	6.71	0.91	1.22	1.52
46	48.3	250	100	120	3.05	6.71	1.22	1.52	1.83
69	72.5	350	145	175	3.35	7.01	1.52	1.83	2.13
115	121	550	230	280	3.66	7.62	2.13	2.74	3.05
138	145	650	275	335	3.96	7.62	2.44	3.35	3.66
161	169	750	315	385	4.27	7.92	2.74	3.96	4.26
230	242	900	385	465	4.57	8.23	3.35	4.87	4.87
230	242	1050	455	545	4.88	8.53	3.96	5.49	5.49

TABLA 4.3.- Distancias mínimas de separación (DMS) entre partes vivas (m.)

Voltaje nominal Kv RMS	Nivel básico de impulso (BIL) kV	Separación metal-metal entre fases (metros)	Longitud de el espacio de rup tura (m.)
4.16	4.76	0,11	0,11
4.8	5.5		
7.2	8.25	0,15	0,15
8.32	9.52		
a	a	0,19	0,19
13.8	15.0		
14.4	15.5	0,23	0,23
23.0	25.8	0,33	0,33
27.6	31.0		
34.5	38.0	0,46	0,46

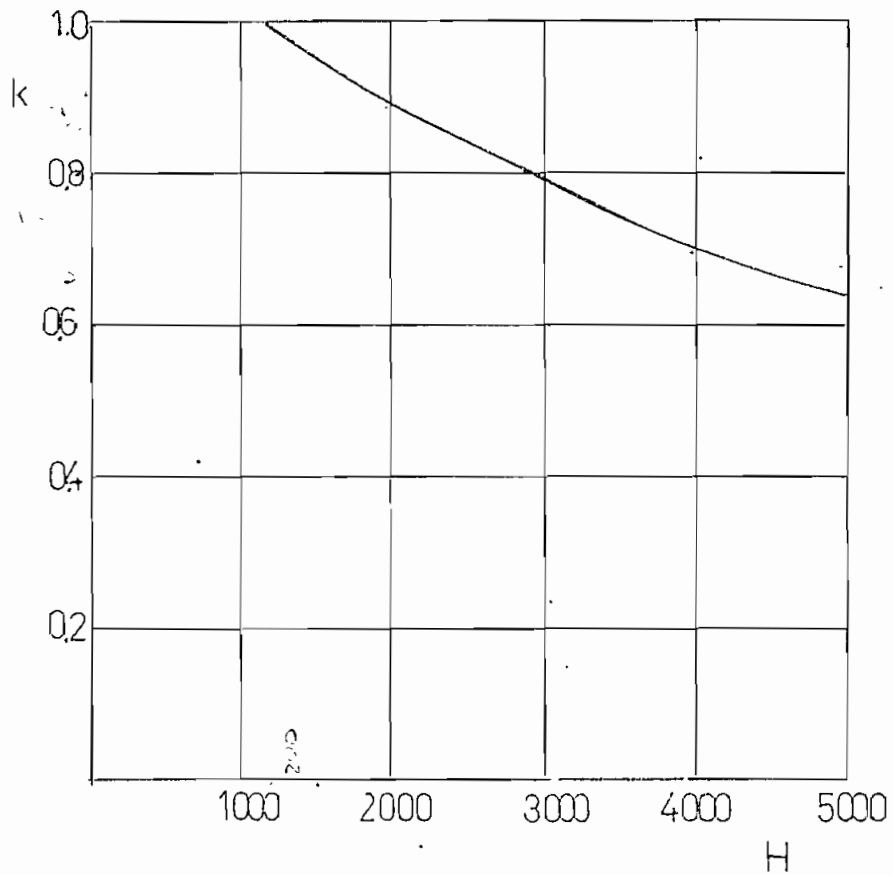
TABLA 4.4.- Distancias mínimas de separación de partes vivas (Instalaciones interiores)

4.4 FACTORES DE VARIACION PARA DISTANCIAS MINIMAS

El aislamiento considerado por este capítulo para ofrecer una base de seguridad para los trabajadores (distancias mínimas de seguridad) o para el equipo eléctrico (distancias mínimas de separación) en una subestación, son función también del ambiente climático; la fuerza del aislamiento externo es influenciado por las propiedades alrededor del aire (densidad del aire, grado y tipo de contaminación, etc.).

Los aparatos y equipos situados en el patio de maniobras, están más sujetos a factores climáticos, tales como: calor, frío, precipitaciones lluviosas, etc. Otros factores como depósitos de polvo, viento, etc., también deben ser considerados para un mayor aumento en las distancias mínimas.

Con el incremento de la altura sobre el nivel del mar, la densidad del aire y por consiguiente la fuerza dieléctrica disminuye. Por tanto debemos considerar que las subestaciones que se encuentran más allá de los 1000 m. sobre el nivel del mar, será necesario aplicar el factor K de altitud sobre el voltaje nominal de los equipos, para luego poder interpolar en las distancias mínimas antes anotadas. Este factor K está dado por la curva 4.1.



CURVA 4.1.- Para determinar el factor de altitud k en relación a la altura h (metros)

$$V \text{ nominal } (h) = \frac{V \text{ nominal}}{k}$$

C A P I T U L O V

5. EVALUACION DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD EN SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO E INECEL

5.1 PROCEDIMIENTO EMPLEADO

5.1.1 Introducción

Una vez concluida la elaboración de las normas de seguridad, fue necesario efectuar un estudio de las condiciones físicas inseguras en diferentes subestaciones, para luego en base a las normas elaboradas, recomendar medidas correctivas, que sirvan de guía para la acción preventiva la cual debe ser pronta y eficaz.

Si bien este estudio no se lo efectuó en todas las subestaciones del sistema Quito, sin embargo, se deja establecido un método para determinación de condiciones inseguras o peligrosas, método, que bien podría extenderse con las modificaciones necesarias a cualquier tipo de fábrica, industria o empresa.

Las subestaciones donde se efectuó este estudio fueron:

- Vicentina
- Epiclachima
- Sur (Luluncoto)
- Norte (Batán Alto)

- Subestación No. 10 (Vicentina Alta)
- Subestación No. 16 (El Inca)

5.1.2 Procedimiento

Para conseguir el objetivo propuesto, fue necesaria la elaboración de una "tarjeta de localización de riesgos", basada en las normas de los capítulos 3 y 4 principalmente, para una rápida y eficiente evaluación de las condiciones inseguras.

A continuación se presenta la tarjeta empleada:

TARJETA DE LOCALIZACION DE RIESGOS
EN LAS SUBESTACIONES

SUBESTACION: UBICACION:

AREA EXTERNA:

- La subestación se encuentra en un sitio:
 - cercano al tráfico densamente poblado
 - inadecuado por otras razones
 - adecuado
- La subestación posee una malla externa o cerramiento de protección
- La altura de la malla o cerramiento externo es:
 - adecuada inadecuada

- La malla o cerramiento externo se encuentra en:
buenas condiciones malas condiciones
- La malla externa está efectivamente puesta a tierra:
.....
- Existen convenientes señales de peligro:
- Observaciones adicionales:

DISPOSICION INTERNA:

Casa de control:

- Los pisos son:
resbalosos sucios están obstruídos
inseguros adecuados
- Existe material combustible cercano:
- Las puertas de entrada, salida y pasadizos son:
cómodos incómodos están obstruidos
- La iluminación es:
inadecuada deficiente deslumbrante
adecuada
- Existe suficiente ventilación:
- Hay demasiada humedad:
- Existe equipo de extinción de incendios:
- El equipo de extinción está convenientemente colocado:
.....
- El personal conoce de su funcionamiento:
- En el cuarto de baterías la ventilación es:

nula escasa adecuada

- El material de los soportes de las baterías es:
.....
- Interruptores de luz y toma corrientes se encuentran fuera del cuarto de baterías:
- El suelo del cuarto de baterías es de un material resistente al ácido:
- Existen aparatos de calefacción en el cuarto de baterías:
- Existe material combustible en el cuarto de baterías:
- Existe un adecuado espacio alrededor de los tableros de control:
- Los aparatos de control están correctamente identificados:
- Las armazones de los tableros de control están puestas a tierra:

Patio de maniobras:

- El transformador de potencia tiene canaleta de absorción de aceite:
- La armazón del transformador está puesto a tierra:
- Los apartarayos se encuentran a una distancia adecuadamente alejada de las vías de acceso a la subestación:

- El suelo es nivelado y posee una capa de ripio:
.....
- Los bancos de capacitores están convenientemente resguardados:
- Existen partes vivas que no cumplan requerimientos de distancias mínimas de separación:
- El equipo eléctrico está debidamente identificado: .
.....
- Observaciones adicionales:

5.1.3 Sobre la norma 3.4.4, ruido

Además de los puntos que se especifican en la tarjeta de localización de riesgos, gracias al apoyo del Departamento de Seguridad de la Empresa Eléctrica Quito, se pudo efectuar mediciones de sonido en las subestaciones, particularmente en aquellas que se encuentran en zonas pobladas, para lo cual se utilizó un decibelímetro marca MSA, tipo S2A, con un rango de medición entre 50 y 130 decibeles (Véase fotografía 1 y 2).

El problema del ruido se ha venido presentando con el aporte de la técnica y el desarrollo industrial, tal es así que en la actualidad se presente en la mayoría de las industrias ecuatorianas y se ha comprobado que un treinta por ciento de los trabajadores, llegando a incrementarse en cincuenta o sesenta por ciento en ciertas industrias se ven afectados.

Entre las consecuencias que produce el ruido podemos anotar: fatiga, afecciones al sistema nervioso, deficiencia del sentido auditivo, hipertensión sanguínea, taquicardia y braquicardia (13).

Las mediciones de sonido se establecieron a diferentes horas, especialmente en horas de demanda pico (11 a.m. a 12 m. y de 7 p.m. a 8 p.m.) y a diferentes distancias (distancias nivel de personal de mantenimiento, de operador o vigilante y distancia a nivel de personas que viven en zonas aledañas), para luego tener un promedio e indicar las medidas correctivas pertinentes.

5.2 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados difieren de una subestación a otra, por lo que hubo la necesidad de elaborar cuadros de localización de riesgos, donde se especifican: el área o equipo, las condiciones inseguras, el riesgo de accidente y las medidas correctivas a adoptarse.

Estos cuadros se presentan a continuación:

(13) Gustavo Cedeño Pontón, Estudio preliminar sobre la seguridad e higiene industrial en el Ecuador, IEES Quito, 1973

CUADROS DE LOCALIZACION DE
RIESGOS EN SUBESTACIONES

SUBESTACION: Vicentina (INECEL)

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Area externa:			
Malla externa de proteccion	La altura de la malla no es correcta No existen señales de peligro	Posible entrada de cualquier persona no autorizada	Elevar la altura de la malla Colocar señales de "Peligro alta tensión", "Prohibida la entrada", etc.
Casa de control:			
Pisos	Inseguros en el sitio donde pasan los cables subterráneos a los tableros de control	Posibilidad de caídas	Colocar nuevas tapas sobre los ductos de cables
	Faltan tapas sobre los ductos de los cables bajo los tableros de control	Riesgo de caer y electrocutarse	Colocar las tapas que faltan
Equipo de extinción de fuego	No existe	En caso de incendio, no hay manera de impedirlo	Proporcionar inmediatamente equipo de extinción de fuego

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Instalaciones eléctricas	Defectuosas	Contactos con operadores, <u>corto circuitos</u> , etc.	Cambiarlas
Transformador de potencia	Está sucio y se ha <u>colocado</u> una botella, para evitar que el aceite se derrame. (Ver foto 3)	Alta probabilidad de incendio con fatales consecuencias para el equipo de la subestación, <u>desestabilización</u> del Sistema Nacional <u>Interconectado</u> .	Limpieza inmediata Debe colocarse un tanque de material no combustible, para almacenar el aceite que se derrame o construir una canaleta de absorción de aceite
Cuarto de baterías	Existe material combustible	Incendio	Retiro inmediato de ese material
Seccionadores	Material cercano a ellos (Foto 4) Muy cercanos al suelo	Potenciales de contacto pueden presentarse Peligro de electrocución del personal de mantenimiento, <u>corto circuitos</u> , etc.	Retiro del material Debe elevarse o colocarse una barrera de protección, acorde con la norma 4.
Tapas de ductos hacia la casa de control desde el patio	Tapas en mal estado, rotas, con aberturas, etc.	Corto circuitos, caídas del personal, golpes, etc.	Colocar nuevas tapas de ductos

SUBESTACION: Epiclachima (EEQ)

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Area externa:			
Malla externa de proteccion	Muy pequeña No existen señales de peligro	Posible entrada de cualquier persona:	Elevar la malla a una altura de 2.15 m. Colocar señales de "Peligro alta tensión", "Prohibida la entrada", etc.
Casa de control:			
Pisos	Material de jardinería cercano a tableros de control (palas, picos, azadones)	Caídas, golpes del personal de mantenimiento, corto circuitos, etc.	Debe colocarse ese material en una bodega o cuarto
Puertas	Material combustible	Incendio	Colocar puertas de material no combustible
Equipo de extinción de fuego	No existe	Caso de incendio no hay medios para impedirlo	Instalar inmediatamente equipo de incendio

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Cuarto de baterías	Ventilación nula, exceso de calor, se percibe los gases emanados por las baterías	Incendio alta probabilidad	Las ventanas del cuarto de baterías deben ser factibles de abrir, debe instalarse un sistema de ventilación forzada desde fuera del cuarto que diluya la concentración de gases. Este aire suministrado debe ser en lo posible húmedo.
	El interruptor de luz se encuentra dentro del cuarto de baterías		Deben cambiarse las instalaciones eléctricas, de tal forma que los interruptores de luz se accionen desde fuera

SUBESTACION: Norte (EEQ)

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Area externa:			
Malla externa de protección	Señales de peligro no existen	Ingreso de personas no autorizadas	Colocar señales con venientes de "Peligro alta tensión", "Prohibida la entrada", etc.
Casa de control:			
Tapas de ductos de cables subterráneos	Faltan	Caídas, electrocución	Colocar las tapas que faltan
Cuarto de baterías	No tiene puertas	Inhalación de gases tóxicos	Colocar la puerta y mejorar el sistema de ventilación
Extintores de incendio	Mal colocados	En caso de ser necesarios, por su mala ubicación pueden ser inútiles	Colocarlos cerca de los tableros de control, del cuarto de baterías y cerca también de las puertas de salida

SUBESTACION: Sur

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Area externa:			
Malla externa de protección	Pequeña No existen señales de peligro	Puede entrar cualquier persona	Elevar la altura de la malla, colocar convenientes señales de "Peligro alta tensión", "Prohibida la entrada", etc.
Patio de maniobras	Se están efectuando trabajos, desorden total, no se observan en absoluto las normas de seguridad	Accidente de cualquier persona en equipo eléctrico, caídas, golpes, etc.	Deben efectuarse los trabajos acorde con las normas de seguridad
	Equipo eléctrico sin respectivas identificaciones	Electrocución, malas maniobras	Colocar las respectivas identificaciones
	El suelo está removido por efecto de los trabajos Personal sin respectivo equipo de protección	Puede ocurrir cualquier accidente	Personal debe trabajar con respectivo equipo de protección

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Ruido debido a la cen- tral térmica Lulunco- to (80 decibeles en el patio de maniobras	Sordera profesional y desequilibrios sí- quicos (entre otros) Molestias a perso- nas que viven cerca	Análisis auditivo de todo el personal que labora en la su- bestación Obligar a los traba- jadores a usar el e- quipo de protección personal, principal- mente a los operado- res que permanenen en la noche Limitar el tiempo de permanencia del personal de 8 a 6 horas Instruir al perso- nal sobre el riesgo que representa el ruido como enferme- dad profesional.	
Casa de control:	Totalmente sucios, obstruidos	Caídas	La limpieza es una norma básica de se- guridad, que siem- pre debe cumplirse

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Equipo de extinción de incendio	No existe	Caso de incendio no hay medios para combatirlo	Instalar el equipo de extinción de incendios en lugares visibles
Ambiente	Muy frío	Enfermedades crónicas de vías respiratorias	Equipo de calefacción que sea usado especialmente en la noche
Iluminación	Escaso	Fatiga, caídas	Debe aumentarse el nivel lumínico sobre todo en el área de los tableros de control y en el patio de maniobras
Herramientas	Están mal almacenadas	Daño de las mismas	Construcción de una bodega para herramientas
Cuarto de baterías	Material combustible cercano	Incendio	Retiro inmediato de ese material
	Ventilación casi nula	Incendio, gases tóxicos	Instalar equipo de ventilación forzada desde el exterior que diluya la concentración de gases

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
	Suciedad	Caídas del personal contacto con bate- rías	Limpieza

SUBESTACION: 16 (EEQ)

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDA CORRECTIVA
Area externa:			
Malla externa de protección	Pequeña, en malas condiciones	Posible entrada de personas no autorizadas	Elevar la malla según las normas, mejorar las condiciones físicas de la malla
	No tiene señales de peligro		Colocar convenientes señales de "Peligro alta tensión", "Prohibida la entrada", etc.
Patio de maniobras	Capa de ripio, prácticamente no existe	Potenciales de contacto, en caso de falla, pueden resultar peligrosos	Colocar nuevamente la capa de ripio
	Suelo irregular con huecos profundos cerca del transformador de potencia	Caídas, golpes, electrocución	Nivelar el suelo, colocar barreras y señales de peligro cerca de los huecos, hasta que se realicen trabajos de nivelación del suelo

35

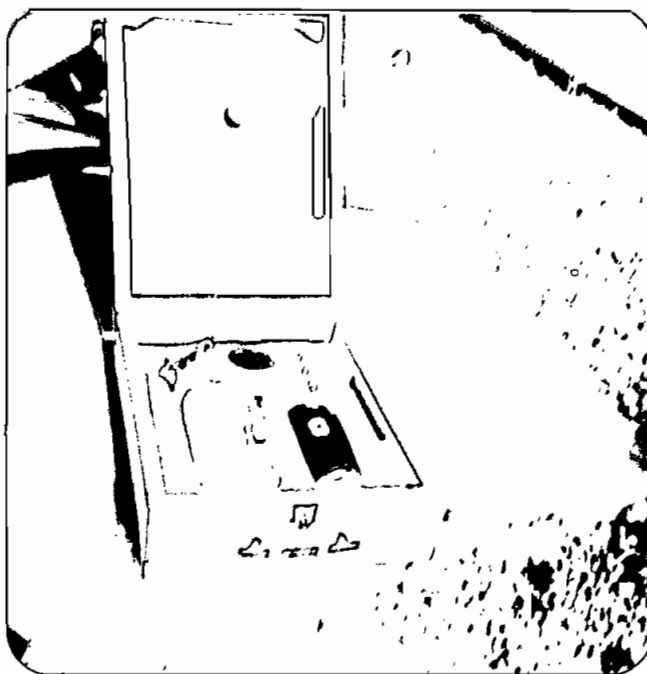
AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Bancos de capacitores	Malla de protección en malas condiciones	Electrocución	Mejorar la malla reforzándola con barandas de resguardo
	Iluminación deficiente	Caídas, electrocución	Mejorar los niveles de iluminación
Cables subterráneos	Sin resguardos	Electrocución, incendios	Colocar barreras o barandas de resguardo, con señales de peligro
Transformador de potencia	Ruido excesivo (76 decibeles)	Sordera profesional, desequilibrios síquicos, fatiga, etc.	Análisis auditivo del personal que labora en la subestación, así como también las personas que vigilan permanentemente allí. Instruir al personal sobre el riesgo que representa el ruido como enfermedad profesional. Si la zona está pronta a poblarse debe construirse un muro para aislamiento del sonido en lugar de la malla externa
	La subestación se encuentra en una área que pronto se poblará		

SUBESTACION: 10 (EEQ)

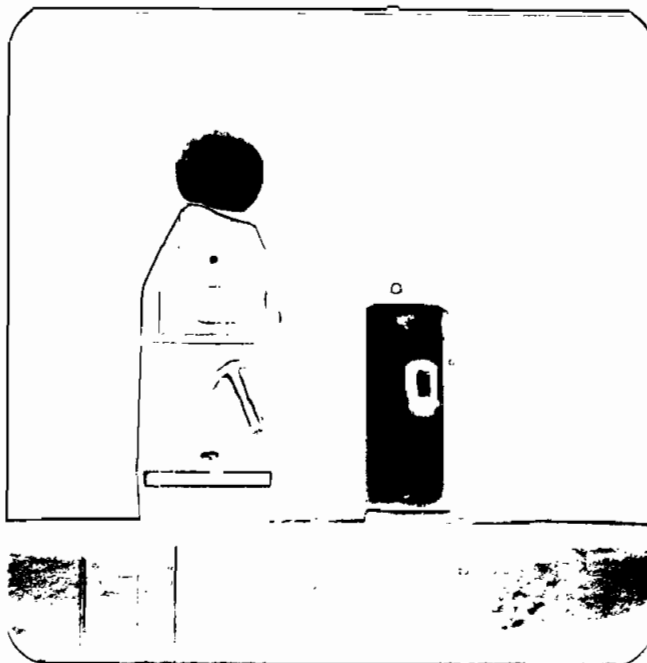
AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Area externa:			
Malla externa de protección	Falta señales de peligro	Entrada de personas no autorizadas	Colocar señales convenientes de "Peligro alta tensión", "Prohibida la entrada", etc.
Casa de control:			
Equipo de extinción de incendio	Personal no conoce su funcionamiento	En caso de incendio no serviría	Instruir al personal sobre su funcionamiento
Patio de maniobras:			
Malla de protección entre la casa de los vigilantes y la subestación	Muy pequeña y en malas condiciones físicas	Peligro de ingreso de niños	Elevarla y reforzarla con adecuadas bandaras

AREA O EQUIPO	CONDICIONES INSEGURAS	RIESGO DE ACCIDENTE	MEDIDAS CORRECTIVAS
Iluminación	Deficiente	Caídas, electrocución	Mejorar los niveles de iluminación, especialmente en el area cercana a los tableros de control
Transformador de potencia	Exceso de ruido (76 decibeles)	Zona densamente poblada, afección a las personas que viven cerca y al personal de mantenimiento (foto 5)	Debe efectuarse estudios para reubicación de la subestación Debe construirse un muro para aislamiento del ruido Análisis auditivo para personas que laboran y vigilan la subestación Instruir al personal sobre el riesgo que representa el ruido como enfermedad profesional

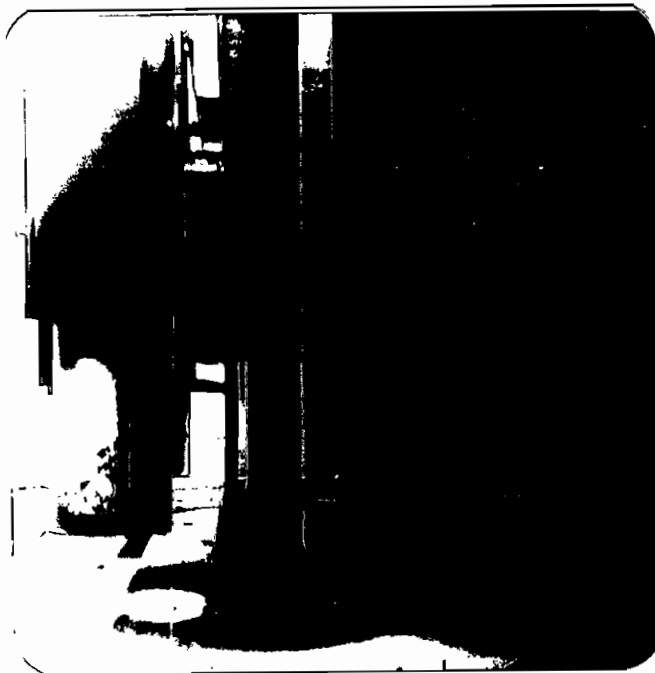
1
∞
∞
1



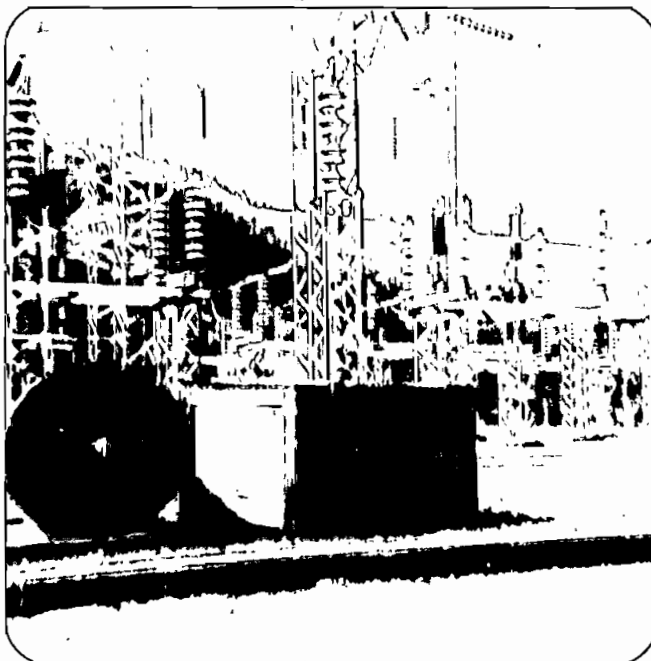
FOTOGRAFIA 1: Decibelímetro proporcionado por la EEQ, para efectuar mediciones de sonido



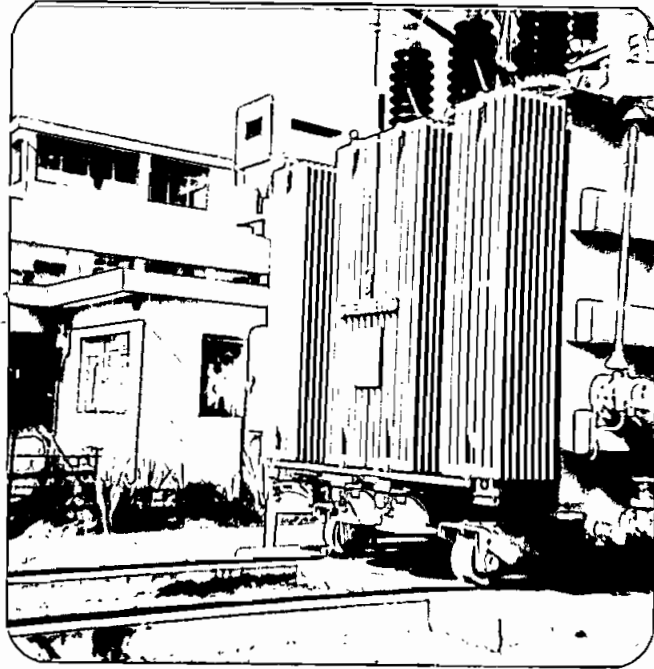
FOTOGRAFIA 2



FOTOGRAFIA 3: Condición Insegura.- Se ha colocado una botella para evitar que el aceite se derrame, sin embargo el aceite está esparcido en el piso.



FOTOGRAFIA 4: Condición Insegura.- Material en el patio de maniobras, cerca a equipo eléctrico energizado.



FOTOGRAFIA 5: Condición Insegura.- Transformador muy cercano a residencias, exceso de ruido, malla de protección baja y sin señales de peligro.

5.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.3.1 Conclusiones

Las "Normas de Seguridad en Subestaciones" que se han presentado en los capítulos anteriores, deben tomarse en cuenta por las Empresas Eléctricas del país, las mismas que acorde con su experiencia podrían adaptarlas, con las reformas que se consideren necesarias.

El conocimiento y aplicación de estas normas contribuirá a velar por la seguridad tanto del personal que labora en una subestación, así como también del equipo eléctrico, lo que traerá consigo, entre otras, las siguientes ventajas:

- Los trabajos se realizarán en mejor forma y con mejores resultados, lográndose una mayor eficiencia en los trabajadores.
- Disminuirá el número y frecuencia de los accidentes, reduciéndose sus consecuencias en términos humanos y económicos.
- Fomentará en los dirigentes, ejecutivos, mandos medios y personal de base en la operación y mantenimiento en subestaciones la conciencia de seguridad.

Todo lo anterior se traduce en ventajas económicas para la empresa eléctrica, estableciéndose un camino más para llegar al control total de pérdidas.

Del análisis efectuado a las diferentes subestaciones del Sistema Quito, podemos concluir que en su gran mayoría presentan muchas condiciones inseguras, por desconocimiento del personal sobre normas de seguridad, por lo que los riesgos de accidente son muy elevados.

El personal de mantenimiento en subestaciones tiene conocimiento de normas de seguridad en base a experiencia de los supervisores o jefes de grupo, y más no porque hayan recibido un adecuado entrenamiento.

La seguridad industrial, en general, sigue ocupando un segundo plano, por la poca comprensión de lo que ésta significa en el funcionamiento eficiente de una empresa.

5.3.2 Recomendaciones

El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social y en particular la División de Riesgos de Trabajo, debe establecer una cotización diferencial por aporte de seguros de riesgos de trabajo, que actualmente toda empresa paga un 1.5 %, existiendo empresas como las eléctricas de un elevado índice de accidentes debido a los peligros que conlleva trabajar con equipo eléctrico. Esta sería una medida muy eficaz de fomentar la seguridad industrial en el país y con la que se beneficiarían tanto las empresas e industrias como los trabajadores y el

país en general.

La Escuela Politécnica Nacional y en especial la Facultad de Ingeniería Eléctrica, deben dictar cursos de seguridad industrial, sobre todo a estudiantes de los últimos semestres, para que se fomente el conocimiento de esta materia, de tal forma que cuando a los estudiantes les corresponda asumir responsabilidades de origen técnico en su profesión no dejen de lado la seguridad industrial.

La Empresa Eléctrica Quito e INECEL, así como también todo tipo de industria deben efectuar estudios de condiciones inseguras y localización de riesgos, en base a la metodología que se ha especificado en este trabajo.

Las medidas correctivas antes anotadas para prevención de accidentes en subestaciones deben ejecutarse inmediatamente por dichas empresas.

Finalmente, este tipo de estudios deberán ser encaminados hacia la elaboración de un Código Eléctrico de Seguridad Ecuatoriano, que será la suprema ley en cuanto a este aspecto humano y de productividad, y de cuya ejecución sería responsable el Ministerio de Trabajo.

A P E N D I C E A

A. METODOS PARA EL CALCULO DE LA MALLA DE TIERRA

A.1 INTRODUCCION

Siendo la malla de tierra factor básico de seguridad, tanto para las personas, cuanto para los equipos, es necesario dedicar un estudio orientado a normalizar los diferentes pasos a seguirse para el cálculo y diseño de la malla de tierra.

El presente apéndice recoge las últimas informaciones y estudios realizados sobre los factores de irregularidad, cálculo de resistencia, así como también presenta un ordenamiento de los pasos a seguirse, posibilitándose de esta forma una guía práctica para el ingeniero, y constituyéndose de esta manera en un factor determinante de la seguridad en la subestación.

Los pasos a considerarse son los siguientes:

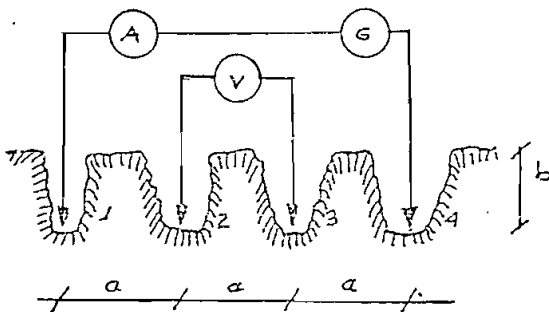
A.2 CARACTERISTICAS DEL TERRENO

Para determinar las características del terreno debemos tener en cuenta:

- La resistividad del suelo no es constante, sino que varía durante las horas del día, durante las estaciones del año.

- Los valores calculados son mayores que los medidos, esto permite un margen de seguridad de cálculo.

Para medir la resistividad de la superficie de un suelo mediante la disposición de Wenner a diferentes separaciones de electrodos, se construye una curva de $\rho(a)$, (de la resistividad en función de la separación a). Si la resistividad variase con diferentes separaciones de electrodos, se dice que el suelo no es homogéneo. (1)



$$R = \frac{V_{e3}}{I}$$

$$\rho(\Omega \cdot m) = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}}$$

$$\rho = 4\pi a R \quad \text{si } b \gg a$$

$$\rho = 2\pi a R \quad \text{si } b \ll a$$

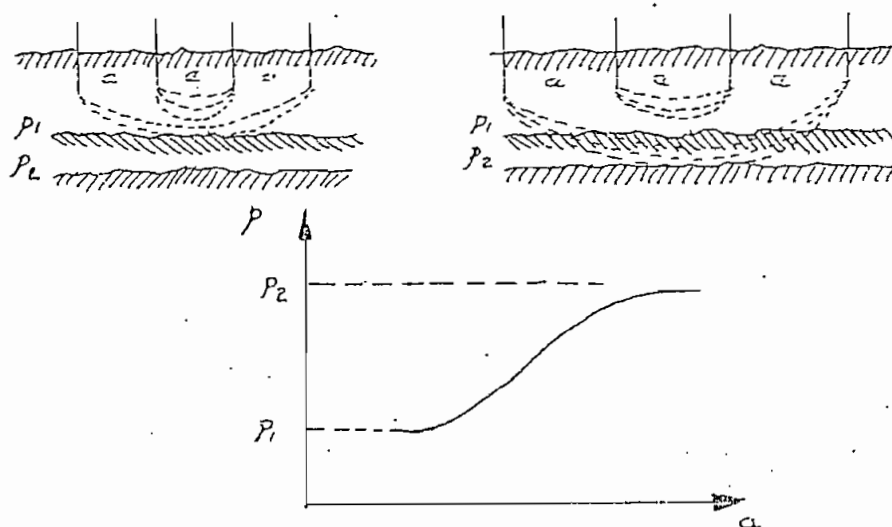
Fig. A.1.- Configuración de Wenner para medir la resistividad en función de la separación de los electrodos a y la profundidad b que han sido enterrados

(1) Jaime Freire, Tesis de Grado: Experimentación en suelos para el diseño de mallas de tierra, Escuela Politécnica Nacional

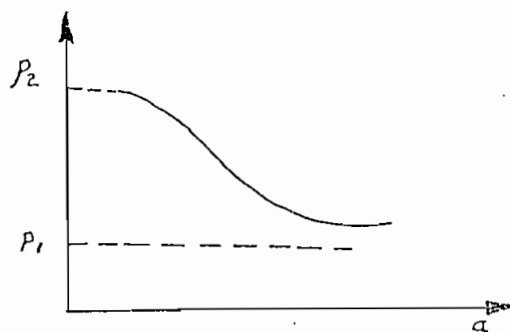
En caso de que el suelo fuese no homogéneo será necesario encontrar un equivalente de 2 capas de diferentes resistividades ρ_1 y ρ_2 . (2)

Para encontrar el equivalente de dos capas consideraremos los siguientes casos:

a). Modelo de resistividad para dos suelos con $\rho_1 < \rho_2$



b). Modelo de resistividad para dos suelos $\rho_2 < \rho_1$



(2) F. Dawalibi, D. Mukhedkar, "Optimum design of substation grounding in two layer earth structure". Part 1, Analytical study, IEEE Transactions, vol. PAS 94, No. 2, March/April 1975, pp. 252 - 261

En el primer caso extrapolamos la curva de resistividad a fin de encontrar ρ_1 para pequeñas distancias de a y para encontrar ρ_2 trazamos la asíntota de la curva para grandes distancias de a . En el segundo caso procedemos a la inversa. Es aconsejable si se utiliza la configuración de Wenner ampliar distancias pequeñas para obtener una mayor exactitud en las extrapolaciones.

A.3 MAXIMA CORRIENTE DE FALLO A TIERRA

Una vez determinado el valor de la resistividad del suelo necesitamos calcular la máxima corriente de fallo a tierra (I''). A dicha corriente será necesario aplicarle un factor de decremento, un factor de corrección, el mismo que toma en cuenta el desplazamiento de la corriente continua y la atenuación de las componentes transitorias de la corriente alterna. A este factor denominado factor de decremento lo encontramos en la tabla A.1 y está dado por la fórmula 2. (3)

$$D = \frac{1}{I''} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\tau} i_F^2 dt} \quad (2)$$

Donde:

I = valor rms modificado de la corriente de fallo a tierra (amperios) = DI''

(3) Guide for safety in alternating-current substation grounding, 1977, p. 14

T = tiempo de duración de la falla en segundos

t = tiempo después de la iniciación de la falla en segundos

i_F = valor rms de la corriente de fallo a tierra a un tiempo de t segundos, luego de la iniciación de la falla

D = factor de multiplicación denominado factor de decremento

TABLA A.1

Tiempo de duración de la falla		Factor de decremento
segundos	ciclos (60 Hz)	
0.008	1/2	1.65
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5 o más	30 o más	1.00

A.4 CONSIDERACIONES PRELIMINARES AL DISEÑO

Para elaborar el diseño de la malla será necesario conocer la disposición y magnitud de los equipos que se instalarán en la subestación a base de las siguientes consideraciones:

- a). Un cable periférico continuo deberá rodear el perímetro de la malla para evitar concentraciones de co

rriente y por tanto altas gradientes de potencial en los terminales de los cables de tierra.

- b). Los cables en el interior de la malla deberán colocarse paralelamente a una distancia lo más constante posible (procurando llevarlos cerca de las salidas de estructuras, columnas metálicas, etc.).
 - c). Las conexiones deberán hacerse en los cruces de los conductores para proporcionar trayectorias múltiples a las corrientes y evitar que los conductores excedan su límite térmico, con lo cual se vería asegurada la continuidad de la rejilla. (Ver fig. A.3)
- (4)

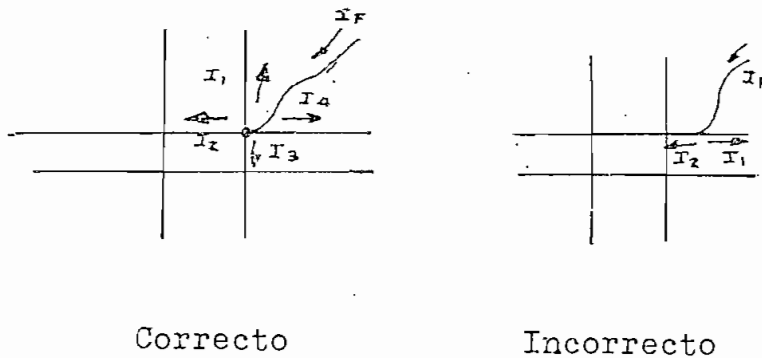


Fig. A.3

A.5 CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

En la actualidad el precio del cobre se ha

(4) Fausto Avilés, Optimización de cálculo de mallas de puesta a tierra, Tesis EPN

incrementado considerablemente y en un futuro no muy lejano se utilizarán mallas de tierra de otro material. En la India por ejemplo, se están haciendo investigaciones sobre la utilización de mallas con material de acero, obteniéndose excelentes resultados. La fórmula de Onderdonk, para cobre no es válida. (5) Para el cálculo del conductor de la malla se aplica una fórmula genérica para los diferentes materiales que podrían usarse: (6)

$$A = I \left\{ \frac{0.00104 R_m \cdot T_c \cdot T_m}{d \cdot s \log_{10} \left(\frac{1 + T_c \cdot T_m}{1 + T_c \cdot T_0} \right)} \right\}^{1/2}$$

Donde:

A = Calibre del conductor en mm.²

I = corriente de fallo en amperios

t = tiempo en segundos durante el cual fluye la corriente

R_m = resistividad del material en micro ohm - cm

T_c = coeficiente de temperatura del material por °C

d = densidad del material en gramos/ cm³

T_m = temperatura máxima permisible en °C

Fórmula de Onderdonk: (5)

$$A = \frac{I (335)^{1/2}}{\left(\log_{10} \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)^{1/2}}$$

donde: T_a = temperatura ambiente °C
s = t

(6) V.N. Manohar and R.P. Nagar, Design of Steel Earthing Grid in India, Power Transaction, Nov. Dec. 1978, p. 2126

T_0 = Temperatura ambiente en $^{\circ}\text{C}$

s = calor específico del material en $\text{cal/gm } ^{\circ}\text{C}$

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 0.00427 \times ^{\circ}\text{C} \\ R_m = 1.589 \text{ micro-}\Omega\text{-cm} \\ S = 0.092 \text{ cal/gm } ^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \text{Para cobre}$$

A.6 CALCULO DE LOS POTENCIALES DE PASO CONTACTO Y TRANSFERENCIA

Según el National Electrical Safety Code los potenciales de paso contacto se definen como:

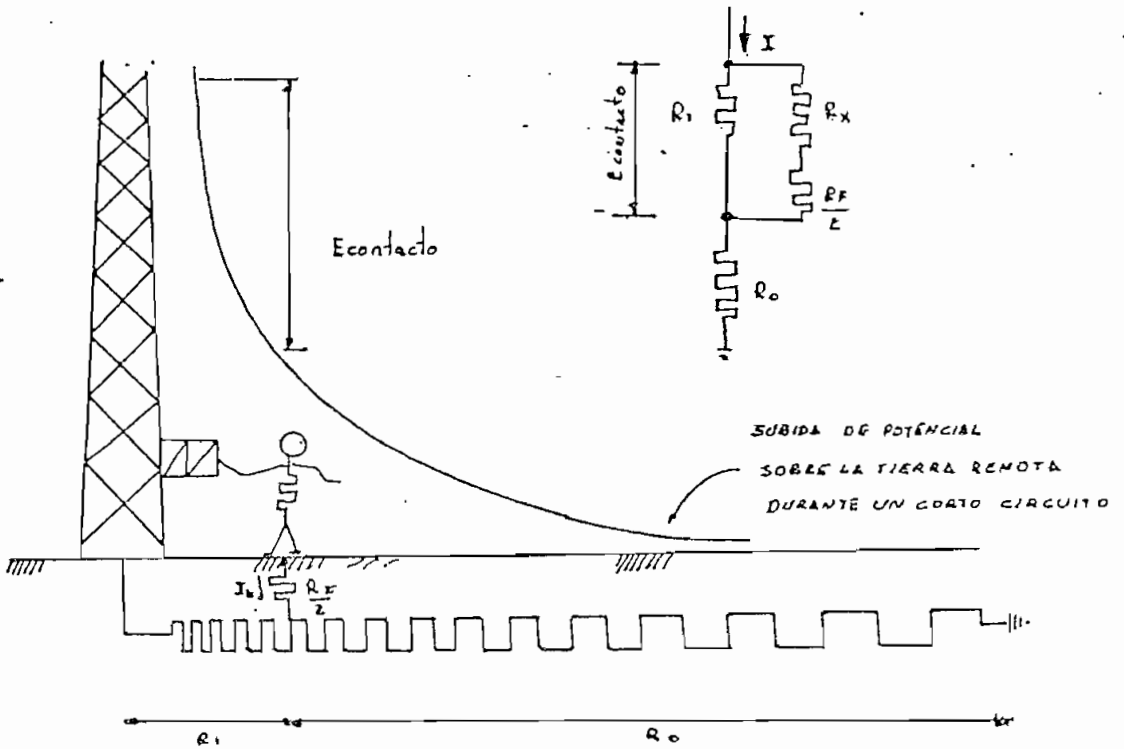
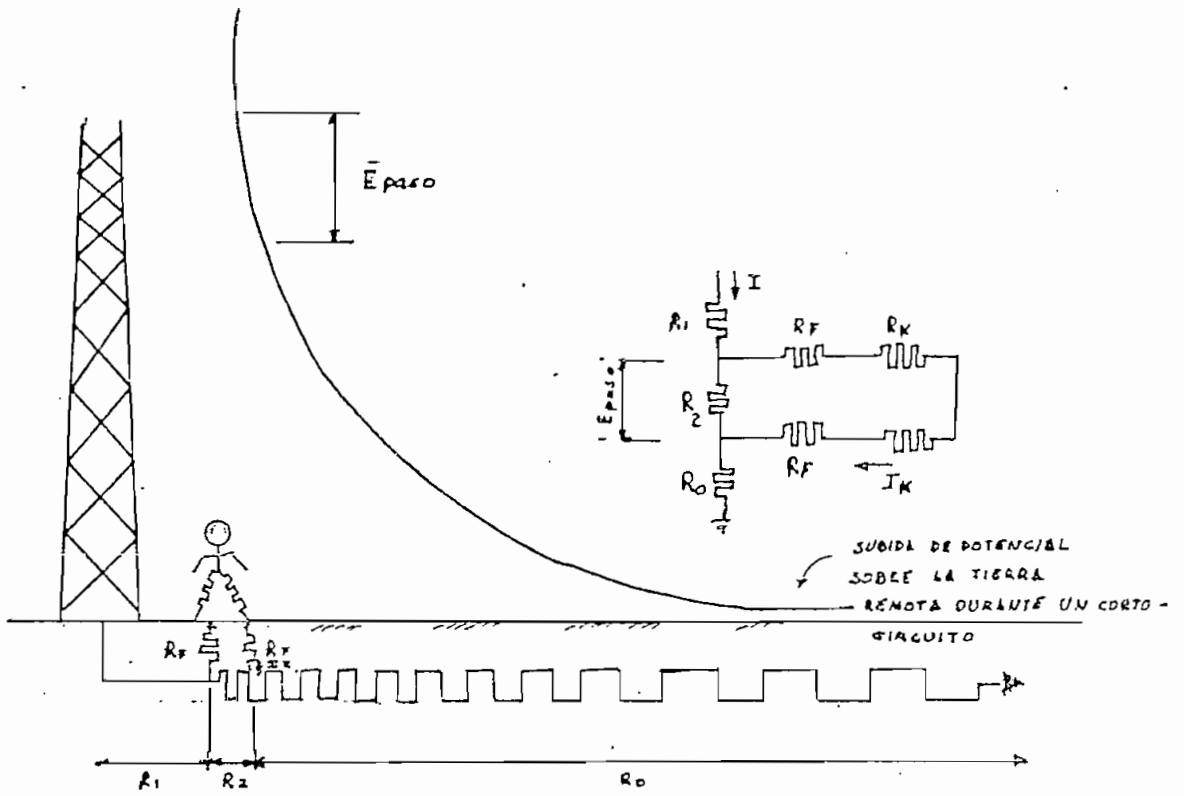
E_{paso} = máxima diferencia de potencial tolerable entre dos puntos cualesquiera de la superficie de tierra, la cual puede ser tocada simultáneamente por dos pies (separados).

E_{contacto} = máxima diferencia de potencial tolerable entre dos puntos cualesquiera sobre la superficie de tierra donde un hombre está parado y cualquier punto, el cual puede ser tocado simultáneamente por una mano.

ρ_s = Resistividad del suelo cercano a la superficie en ohm - metros (ya calculada en el punto A.2)

t = tiempo de exposición en segundos

$$E_{\text{paso}} = (1000 + 6\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad E_{\text{contacto}} = (1000 + 1.5\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$



A.7 DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD K_m Y K_i DE LA MALLA

En la actualidad se han hecho nuevas investigaciones sobre los factores de irregularidad, K_m y K_i ; siendo K_i factor de irregularidad, para considerar la no uniformidad del flujo de corriente a tierra desde diferentes partes de la rejilla; y, K_m coeficiente que toma en cuenta el efecto de los conductores de la malla en cuanto a número, calibre y disposición, empleándose modelos digitales. Estudios realizados en Universidades de Yugoslavia han llegado a determinar fórmulas analíticas para los factores de irregularidad de las mallas.

A las mallas de tierra, para el efecto, se las ha dividido en dos grandes tipos: mallas cuadradas y mallas rectangulares.

Para las mallas cuadradas las expresiones para los factores de irregularidad son las siguientes:

$$K_m = 0.58 + 0.155n + \Delta kmi$$

$$\Delta kmi \begin{cases} 0.155X & ; X \leq 16.3 \\ 0.68X - 8.55 & ; X > 16.3 \end{cases}$$

$$X = n^3 a^{-0.25} h^{10/4}$$

$$K_i (\text{squares}) = (0.068 h + 0.556 [1 + 0.49 (\frac{1}{ah^2} - 0.005)^{1/3}])$$

Donde:

n = número de conductores de la malla en una direc

ción

h = profundidad de entierro de la malla

a = longitud del lado de la malla

Para las mallas rectangulares:

$$K_m(\text{rect}) = [0.86 + 0.066(n-2)]^{1/3} \text{ kmi}$$

Siendo K_{mi} el factor de irregularidad de u na malla cuadrada con igual h y n e igual longitud a para el lado más largo del rectángulo.

Para el factor de irregularidad de paso t_e nemos:

$$k_i(\text{rect.}) = (1 + 0.148 \frac{h}{1a}) \text{ k(Square) i.}$$

Siendo K_{si} el correspondiente factor de la malla cuadrada con la misma h , n e igual lado a a la longitud más corta del rectángulo. (7)

A.8 CALCULO DE LA LONGITUD TOTAL DE LOS CONDUCTORES

Para el control de los voltajes peligrosos (Potenciales de paso y contacto) la longitud total de

(7) J. Nahan, Sskuletich, Irregularity factors for Ground Grid, Power Transaction, Feb 1980, pp. 174 - 180

los conductores enterrados, incluyendo las varillas debe ser mayor o igual al dado por la expresión: (8)

$$L = \frac{K_m \cdot K_i \cdot \rho \cdot I \cdot \sqrt{t}}{165 + 0.25 \rho_s}$$

Donde:

L = longitud total del conductor enterrado in
cluyendo las varillas

ρ = Resistividad promedio del terreno

K_m, K_i = factores de irregularidad ya calculados
(punto A.7)

t = duración de la falla en segundos

ρ_s = resistividad de la tierra inmediatamente
bajo los pies (generalmente ripio)

A.9 CALCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE LA MALLA

Existen diversos métodos propuestos por diferentes autores (Gross, Shuard y Rudnberg), es recomendable utilizar el método de Laurent y Nieman, puesto que el error es mínimo y el cálculo es sencillo y suficiente para darnos una idea clara de la resistencia a tierra de la malla. Este método emplea la siguiente fórmula: (9)

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{z}$$

(8) Fausto Avilés, Optimización del cálculo de mallas a puesta a tierra en suelos no homogéneos, (EPN)

(9) J. Estrella N. Bedoya, Diseño de la subestación El Tambo, Tesis EPN, p. 281

Donde:

ρ = resistividad promedio del terreno

r = radio del circulo con área igual al de la rejilla diseñada ($r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$)

L = definido en A.8

A.10 CALCULO DEL MAXIMO AUMENTO DE POTENCIAL DE LA MALLA

Para determinar este aumento de potencial emplearemos la siguiente ecuación:

$$E = I \times R$$

Donde:

E = Máxima elevación de potencial voltios

I = Máxima corriente de corto circuito en la rejilla (ya corregida por el factor de decremento) amperios

R = Resistencia de la rejilla, punto A.9

En caso de que este valor sea menor que el potencial de contacto, existirá suficiente confianza sobre la seguridad del personal, caso contrario será necesario calcular otros tipos de potenciales peligrosos, indicados a continuación.

A.11 CALCULO DE TENSIONES DE PASO EN EL EXTERIOR INMEDIATO DE LA MALLA

Esta tensión se la puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$E_s = k_s k_i \rho \frac{I}{L}$$

Donde:

E_s = Tensión que se presenta entre los pies de una persona al dar un paso largo, cuando está circulando la corriente máxima de falla hacia la tierra.

k_s = coeficiente que toma en cuenta el número de conductores paralelos n , D espaciamiento, h profundidad y es igual al dado por la expresión:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \dots \right)$$

n términos

Los otros términos fueron definidos anteriormente. Este valor no debe exceder la tensión de paso calculada en el punto A.6, en caso contrario será necesario modificar el diseño preliminar de la malla (modificando el calibre conductor, su longitud, etc.) (10)

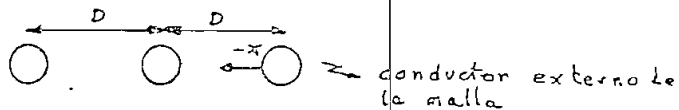
A.12 CALCULO DE POTENCIALES DE CONTACTO

Es necesario el cálculo de potenciales de

(10) J. Estrella N. Bedoya, Diseño de la subestación El Tambo, Tesis EPN, p. 283

contacto en varios puntos dentro del conductor externo de la malla.

El máximo valor encontrado no deberá exceder al valor del potencial de contacto calculado en el punto A.6.



La siguiente expresión nos da el valor deseado:

$$E_{\text{contacto}} = k_i \frac{I}{L} \rho \cdot \frac{L}{\pi} k_x$$

donde:

$$k_x = \frac{1}{2} \ln \frac{(h+x)^2 (D+x)^2}{h \cdot d \cdot D^2} + \ln \frac{(2D+x)(3D+x)}{2D \cdot 3D}$$

$$E_{\text{contacto}} = \text{cte} \cdot k_x = f(k_x)$$

$$E_{\text{contacto max}} < E_{\text{contacto}} (A.6)$$

Será necesario elaborar una tabla para encontrar un valor máximo de E contacto; podría también elaborarse un sencillo programa digital.

A.13 PUESTA A TIERRA DE LA MALLA EXTERNA*

Incluir la malla exterior dentro del área de la rejilla de tierra incrementa el tamaño del área y consecuentemente, muchas veces reducirá la resistencia

* Discusión de la norma 4.2.1

de la rejilla de tierra, favoreciéndose de esta forma una disminución de la máxima elevación de potencial. Temporalmente la malla tomará parte de esta elevación pero ésta no acarreará peligros, si los gradientes internos y el perímetro de la rejilla de tierra, se mantienen dentro de límites aceptables. (Véase Punto A.6)

Dentro de la primera filosofía, el conductor periférico de la rejilla de tierra seguirá normalmente la línea de la malla exterior o paralelamente a una corta distancia (aproximadamente a 50 cm. hasta un máximo de 1.50 m.) fuera de ella. En uno u otro caso el conductor periférico de la rejilla de tierra y la malla externa deberían estar electricamente enlazados a intervalos frecuentes.

Si la segunda filosofía va a ser seguida y la malla no va a ser enlazada por ninguna vía a la rejilla principal de tierra (excepto a través del suelo), los siguientes factores deben considerarse:

- a). Es o debe ser considerado un peligro una eventual falla de una línea energizada sobre la malla exterior?
- b). Pueden existir potenciales peligrosos durante otros tipos de falla porque la línea de la malla cruza el contorno normal equipotencial?

c). Puede existir una completa aislación entre la malla externa y la rejilla de tierra de la subestación?

El número de líneas que cruza la malla de una subestación, es bastante elevado y aunque, el peligro que esto encierra está todavía en estudio se recomienda, que para evitar cualquier tipo de riesgo, se debe unir estrechamente la malla a la tierra adyacente, a través de toda su longitud si es necesario, y los potenciales de contacto dentro y fuera deberán reducirse a niveles aceptables para corrientes de corto circuito del mismo valor máximo calculadas para la subestación. Aislar de la rejilla principal de tierra, la cual podría disipar una parte de esta corriente, será más difícil.

En relación al segundo punto, la malla externa rara vez seguirá exactamente la línea normal equipotencial, que resulta debido a una corriente de falla fluyendo en la rejilla de tierra de la subestación. Si unimos la malla externa a tierra, ésta podría bajo ciertas circunstancias adquirir un potencial de un punto sobre tierra, donde el acoplamiento fue relativamente bueno y consigue de esta manera un elevado voltaje en relación con la superficie de la tierra adyacente de otros puntos. Las corrientes y los voltajes implicados aquí son menores de los que podrían resultar de una falla de

una línea energizada, pero quizá suficientemente elevados. En todo caso, es preferible colocar un fuerte enlace de la malla exterior hacia tierra; por un conductor enterrado a lo largo de toda su longitud y fuertemente enlazado.

En relación al tercer punto, una desventaja del aislamiento de la malla exterior a la rejilla de tierra es el enlace eléctrico que existe en el área entre la malla exterior y la rejilla de tierra. Circuitos de distribución, líneas telefónicas desde la subestación a la casa principal o de control, tuberías de agua, podrían transferir potenciales de la rejilla principal de tierra e introducir diferencias de potencial locales bastante peligrosas durante las fallas. Si la malla exterior no está estrechamente ligada a la tierra adyacente por un propio y adecuado sistema de tierra, por alguna conexión involuntaria podrían crearse riesgos a lo largo de toda su longitud bajo condiciones de falla,

Establecer una norma sobre este punto es muy difícil, puesto que se encuentra todavía en estudio, por lo que ha sido necesario únicamente presentar las alternativas existentes y sus respectivas recomendaciones.

A P E N D I C E B .

B. SEÑALES DE PROTECCION

B.1 LOS COLORES DE LA SEGURIDAD

El color al igual que la música, tiene un amplio campo de variaciones, estas variaciones causan de finidas reacciones sicológicas, las mismas que varían de persona a otra. Sin embargo, basados en los principios de reacción de masas, se puede asegurar que el color produce sus efectos sobre las personas, creando sobre todo ilusiones de tamaño, dimensión y peso.

Aprobado por el National Safety Council (USA) existe un código de colores y marcas destinadas a mejorar las condiciones de seguridad en una planta industrial estos colores se utilizan actualmente en forma estandarizada, a continuación se presentan algunos de los más empleados:

B. 1.1 Rojo en campo blanco

Protección contra el fuego. Significa lugares donde se ha depositado materiales y equipo de protección contra el fuego, tales como: máquinas, extinguidores, máscaras, hachas, etc.

B.1.2 Cruz verde en campo blanco

Seguridad. Indica localización de equipo de primeros auxilios.

B.1.3 Franjas amarillas, rojas y negras

Alta visibilidad. Tomar precaución peligro. Significa andar por esos lugares con cuidado, porque puede el individuo tropezarse, caerse, golpearse, topar algo indebido y peligroso.

B.1.4 Franjas blancas en fondo gris o negro

Dirección de tráfico. Significa lugares de almacenamiento.

B.1.5 Color anaranjado

Prevención de peligro. La existencia de este color indica de inmediato que existe peligro.

B.1.6 Color azul

Se utiliza en cajas de switches y equipo bajo reparación, delante del cual se debe colocar un cablete con un gran círculo azul.

El uso adecuado y técnico de colores de por si nos está hablando de seguridad, solo hace falta que el trabajador se compenetre con su significado y lo ponga en práctica.

B.2 SIGNOS Y SEÑALES. REQUERIMIENTOS GENERALES

B.2.1 Signos de peligro

- Los signos y señales deben ser visibles todo el tiempo, cuando el trabajo está siendo ejecutado y no deben ser removidos si el peligro existe permanentemente.
- Los signos de peligro deben ser utilizados únicamente cuando el peligro existe.
- Estos signos deben ser rojos, como color predominante negro sobre los bordes y blanco en el resto del panel o cartel, para palabras adicionales. (Ver fig. B.1)

B.2.2 Signos de precaución

- Los signos de precaución deben usarse únicamente contra riesgos potenciales, en la ejecución de ciertas operaciones.
- Los signos de precaución deben ser amarillos como color predominante, los bordes deben ir de color negro, las letras deben ser de color amarillo, para la palabra "Precaución". Cualquier otra palabra debe ir con letras negras. (Ver fig. B.2)

B.2.3 Signos de instrucción de seguridad

Quando se requiera usarlos, éstos deben ser blancos con letras verdes.. Cualquier nota adicional

debe ser con letras negras en fondo blanco.

B.2.4 Tarjetas de prevención de accidentes

Cuando los empleados realicen algún trabajo temporal, para evitar accionamientos de equipo, indicar que algún equipo está fuera de funcionamiento, etc.

Las especificaciones para estas tarjetas están dadas en la tabla B.1 y fig. B.3.

TABLA B.1.- Tarjetas de prevención de accidentes

Color de fondo	Color de seguridad	Especificación (letras)
Blanco	Rojo	No opere
Blanco	Negro y Rojo	Peligro
Amarillo	Negro	Precaución
Blanco	Negro	Fuera de uso no operar

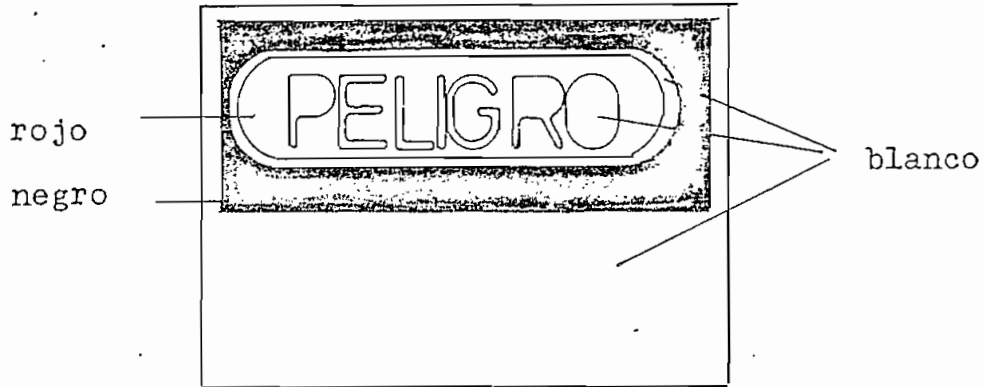
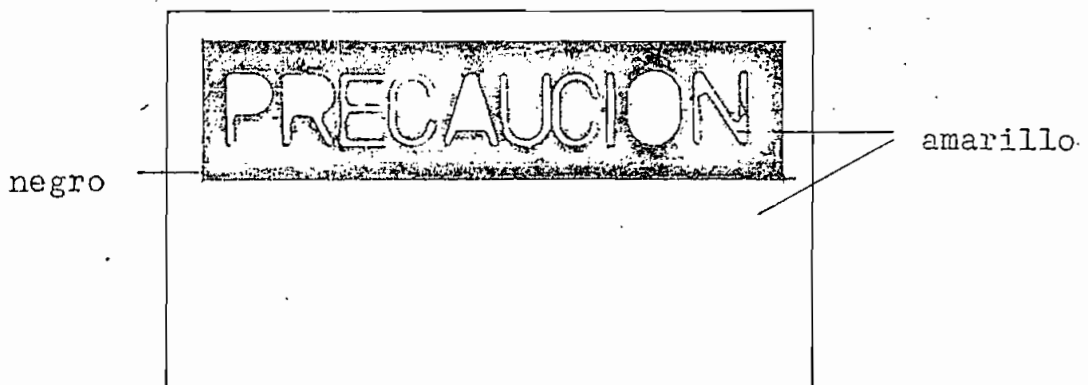


Fig. B.1

Fig. B.2



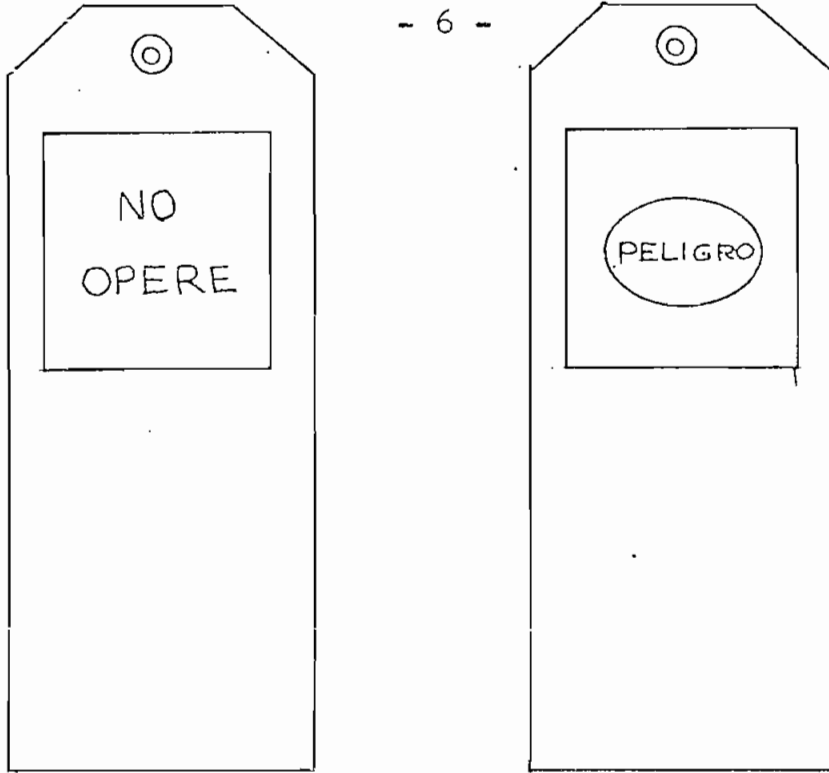
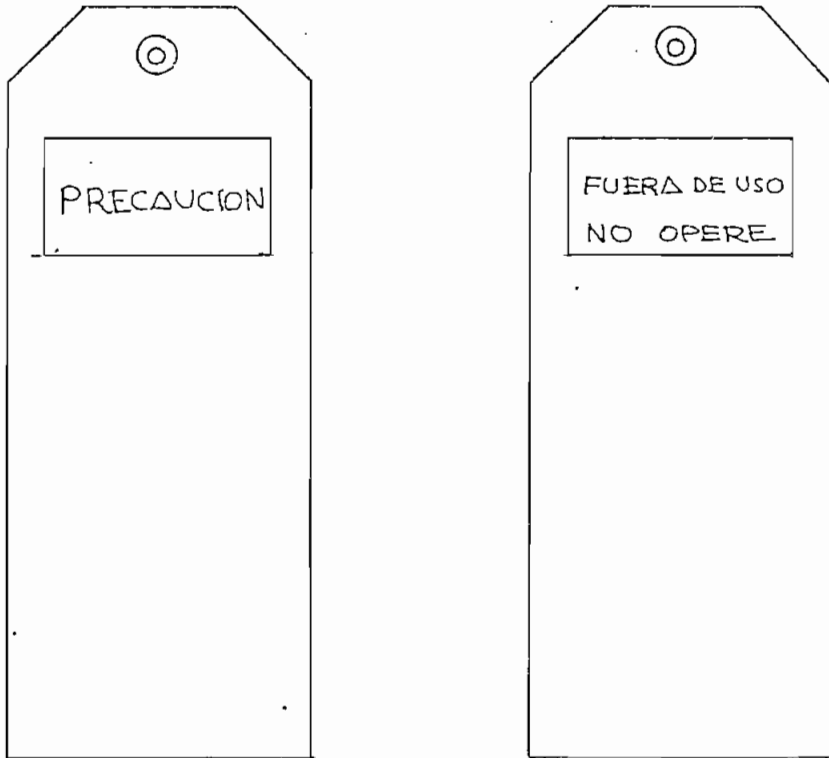


Fig. B.3



DEFINICION DE TERMINOS ESPECIALES

Para una mejor comprensión de las normas e laboradas en este trabajo, se han especificado las siguientes definiciones de términos especiales: (D.N.)

Aislar.- Separar de superficies conductoras por medio de una substancia dieléctrica o separación de aire que ofrece permanentemente una elevada resistencia al paso de la corriente y a la descarga disruptiva.

Avisos.- Carteles, tarjetas, señales de distinta apariencia que indican que se está trabajando en el equipo o línea marcado por el aviso.

Breaker.- Disyuntor, seccionador bajo carga

Cobertura de conductores.- Dieléctrico que cubre un conductor y que puede o no tener el aislamiento nominal del voltaje en el circuito en el cual el conductor es usado.

Desconectores.- Aparatos de desconexión, switches, seccionadores los cuales pueden abrir el circuito solamente después que se haya removido la carga.

Efectivamente puesto a tierra.- Medio permanentemente conectado a tierra a través de una conexión o conexiones de una impedancia suficientemente baja

Parte viva.- Aparato, equipo, línea, conductor conectado a una fuente de voltaje o cargada eléctricamente. El término "vivo" será usado en lugar del término conductor de corriente.

Persona calificada.- Cualquier persona que está familiarizada con la operación de un equipo y conoce los riesgos existentes.

Recloser.- Reconectador

Resguardo.- Medio de cobertura, encierro u otra clase de protección que contenga apropiadas cubiertas.

Switches.- Seccionador, aparato para apertura y cierre de un circuito.

Zona de guarda.- Area resguardada protegida por medio

de convenientes coberturas, para proteger de peligrosos acercamientos a personas u objetos.

(D.1) Definition of Electrical terms (ANSI C 42) - National Electrical Safety Code

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

1. National Electrical Safety Code
USA, 1977
2. Safety and Health Regulations for Construction
Bureau of Reclamation .
September, 1971
3. Guide for Safety in Alternating Current
Substation Grounding, 1977
4. Switch and Bus Insulators
Bulletin 12.2 - 1C
5. Du Code Des Travaux Electriques a L'usage
Du personel O' encadrement, traducción de Hugo
Luna Castro para EEQSA
6. J. Marcelo Banderas, Proyecto de Normas de
Seguridad para trabajos en líneas de alta
tensión, Tesis de grado EPN, 1973
7. J. Estrella, N. Bedoya, Diseño de la Subestación
Tambo, Tesis de grado EPN, 1975
8. Task Force and Oil Spill Prevention, Power
Transaction, Nov. Dec., 1978
9. The IES Lighting Handbook, Fourth Edition, 1966
10. Curso básico de Seguridad Industrial
INECEL, 1977
11. Gustavo Cedeño, Estudio preliminar sobre la
seguridad e higiene industrial en el Ecuador,

Quito, 1973

12. Fausto G. Avilés, Optimización del cálculo de mallas de puesta a tierra de subestaciones en suelos no homogéneos, Tesis EPN, 1978
13. Nelson E. Lapuerta, Estudio, Cálculo y Diseño de Mallas de Tierra para Subestaciones de Alto Voltaje, Tesis EPN, 1974
14. Luis E. Córdova, Diseño de la subestación I-barra, Tesis EPN, 1975
15. Power System Safety Standards, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, First Edition, May 1, 1971

REVISTAS Y PUBLICACIONES

1. Publicaciones de INECEL:
 - Reglamento para la ejecución de trabajos de orden no eléctricos
 - Normas para la ejecución de trabajos en instalaciones eléctricas sin tensión
 - Socorrismo
 - Un mensaje especial para los supervisores
 - La higiene industrial
 - Psicología en prevención de accidentes
 - Curso Básico de Seguridad Industrial, CENAFE
 - Primeros auxilios, CENAFE, 1977
2. Publicaciones Empresa Eléctrica Quito

- Reglamento único de higiene y seguridad industrial, 1977
 - Código de seguridad para trabajos eléctricos, 1974
 - Curso básico de seguridad industrial, Vicente Cabezas, 1963
3. Wellington Baquero Ordóñez, Seguridad, higiene y medicina del trabajo, 1979
 4. Hugo Luna Castro, El control total de pérdidas, folleto publicado por INECEL