



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
A R A G O N

**ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO E IMPLEMENTACION
DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN SISTEMAS
DE DISTRIBUCION DE SISTEMAS ELECTRICOS DE
POTENCIA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
ANGEL GUSTAVO PADILLA GUERRERO



SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO,

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	1
 CAPITULO I	
FUNDAMENTOS	3
I.1 SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA	3
I.2 PLANTAS GENERADORAS	5
I.3 TRANSFORMADOR	6
I.4 LINEAS DE TRASMISION	7
I.5 DIAGRAMA UNIFILAR	10
 CAPITULO II	
COMPONENTES SIMETRICAS	12
II.1 EL FASOR	12
II.2 EL OPERADOR "a"	14
II.3 SISTEMAS DE SECUENCIA	15
II.4 IMPEDANCIAS DE SECUENCIA	19
II.5 DIAGRAMAS DE SECUENCIA	22

CAPITULO III

CORTO CIRCUITO	25
III.1 DEFINICION	25
III.2 METODO EN POR UNIDAD	26
III.3 METODO EN POR CIENTO	26
III.4 TIPOS DE FALLAS	28
III.4.1 DE FASE A TIERRA	29
III.4.2 TRIFASICA	33
III.5 EJEMPLO	37

CAPITULO IV

DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION	53
IV.1 SELECCION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION	53
IV.1.1 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	54
IV.1.2 RELEVADORES	56
IV.1.3 INTERRUPTORES	57
IV.1.4 RESTAURADORES	59
IV.1.5 SECCIONADORES	60
IV.1.6 CORTA CIRCUITOS FUSIBLE	60
IV.2 COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION	61
IV.2.1 EN SUBESTACIONES	61
IV.2.2 EN REDES	69
IV.3 EJEMPLO	74

CONCLUSIONES	89
APENDICE	91
BIBLIOGRAFIA	108

I N T R O D U C C I O N

EN MUCHOS ASPECTOS NUESTRA VIDA DEPENDE DE LA ENERGIA ELECTRICA, COMO ES UN SERVICIO QUE SIEMPRE HEMOS TENIDO CASI NO NOS PREGUNTAMOS QUE SIGNIFICA TENERLA EN TERMINOS DE COSTOS, TRABAJO DE PERSONA, TECNOLOGIA, ETC.; SIN EMBARGO, ESTE SERVICIO ES EL RESULTADO DE UN ESFUERZO DE INGENIERIA, EQUIPOS Y OPERACION REALIZADO POR MUCHAS PERSONAS DE FORMA COORDINADA QUE PARA LLEGAR A MILLONES DE USUARIOS SUPONE EL DISEÑO DE UN SERVICIO INTEGRAL QUE GARANTICE EL SERVICIO ININTERRUMPIDO A TENSION INVARIABLE Y EN CONDICIONES ADECUADAS DE SEGURIDAD.

UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA (SEP) CONSTA DE VARIAS PARTES QUE SON: GENERACION, TRASMISION, SUBTRASMISION Y DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA LO CUAL IMPLICA COMBINAR UN SINFIN DE EQUIPOS DE TAL MANERA QUE LOS EQUIPOS MAS DELICADOS ESTEN DEBIDAMENTE PROTEGIDOS Y EN MUCHOS CASOS RESPALDADOS POR OTROS EQUIPOS DE LA MISMA NATURALEZA; DE MODO QUE SI ALGUNO DE ELLOS FALLA, EL EFECTO NO SE TRASMITA AL USUARIO.

UNO DE LOS TIPOS DE FALLA EN SEP'S MAS FRECUENTES ES EL CORTO CIRCUITO, POR ELLO ES QUE SE DEBEN DETERMINAR LAS CORRIENTES Y POTENCIAS DE CORTO CIRCUITO EN DIFERENTES PUNTOS DEL SISTEMA PARA SELECCIONAR Y COORDINAR LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN FORMA ADECUADA, DE TAL FORMA QUE EL PUNTO DE CORTO CIRCUITO QUEDE AISLADO Y NO SE PROPAGUEN SUS EFECTOS NOCIVOS A OTROS PUNTOS DEL SISTEMA.

PARA DICHO ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO ES NECESARIO TENER LOS CONOCIMIENTOS FUNDAMENTALES DE UN SEP COMO SON ELEMENTOS QUE LO COMPONEN, TENSIONES A LAS QUE TRABAJA, ETC., ASI COMO EL TENER LAS BASES TEORICAS EN QUE SE SUSTENTA DICHO ESTUDIO COMO SON LAS COMPONENTES SIMETRICAS, ADEMAS DE LOS METODOS MAS USADOS PARA CONOCER LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE FALLA COMO LA DE FASE A TIERRA Y TRIFASICA.

PARA LA APLICACION PRACTICA DE DICHO ESTUDIO HEMOS DECIDIDO HACER LA SELECCION Y COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION LLAMADO "PARQUE INDUSTRIAL TEPEJI" LOCALIZADO EN TEPEJI DEL RIO, HIDALGO.

EN RESUMEN, PODEMOS PUNTUALIZAR QUE POR MEDIO DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO PODEMOS IMPLEMENTAR LOS DIFERENTES TIPOS DE PROTECCIONES SIENDO LOS OBJETIVOS PRINCIPALES LOS SIGUIENTES:

- a) EL RETIRO LO MAS RAPIDO POSIBLE DE UN ELEMENTO CUENDO SUFRE UN CORTO CIRCUITO Y,
- b) EL RESTRINGIR A LA MENOR AREA POSIBLE LA FALLAS.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS

I.1.- SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

UN SEP ES LA COMBINACION ORDENADA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DISPOSITIVOS ELECTRICOS POR LOS CUALES SE GENERA, TRASMITE Y DISTRIBUYE LA ENERGIA ELECTRICA DESDE EL PUNTO DE GENERACION HASTA EL EQUIPO DE MEDICION EN EL PUNTO DE CONSUMO.

EN MEXICO, LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA SE HACE POR MEDIO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS, TERMoeLECTRICAS, GEOTERMICAS Y NUCLEoeLECTRICAS.

LAS TENSIONES DE GENERACION SON:

2.4 kV

4.16 kV

6 kV

13.8 kV

23 kV

NORMALMENTE LOS CENTROS DE GENERACION ESTAN ALEJADOS DE LOS CENTROS DE CONSUMO Y LOS VOLUMENES DE ENERGIA SON MUY GRANDES POR LO QUE SE UTILIZAN TENSIONES ELEVADAS LLAMADAS TENSIONES DE TRASMISION QUE SON:

400 kV

230 kV

115 kV

CUANDO LAS DISTANCIAS Y LOS VOLUMENES DE ENERGIA SON MAS PEQUEÑAS, SE UTILIZAN LAS TENSIONES DE SUBTRASMISION QUE SON:

115 kV

69 kV

85 kV

PARA LOS CENTROS DE CONSUMO ESTAS TENSIONES SON DEMASIADO ELEVADAS Y PARA PODER MANEJARLAS EXISTEN LAS TENSIONES DE DISTRIBUCION QUE SON:

34 kV

23 kV

13.8 kV

SIN EMBARGO; ESTAS TENSIONES AUN SON DEMASIADO ELEVADAS PARA SU UTILIZACION EN CASAS Y EN LA MAYORIA DE LAS INDUSTRIAS POR LO QUE SE REDUCEN A LAS TENSIONES DE UTILIZACION QUE SON:

220 VOLTS ENTRE FASES Y 127 VOLTS DE FASE A TIERRA.

440 VOLTS ENTRE FASES EN CASOS PARTICULARES.

PARA TRASMITIR CUALQUIERA DE LAS TENSIONES ARRIBA MENCIONADA

ES NECESARIO CONTAR CON LINEAS AEREAS LAS CUALES SE DIVIDEN SEGUN LA DISTANCIA Y TENSION TRASMITIDA EN LINEA LARGA, MEDIA Y CORTA.

EXISTEN OTROS ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SEP TALES COMO LOS TRANSFORMADORES, LOS CUALES PUEDEN SER DE POTENCIA, DISTRIBUCION O INSTRUMENTO, ASI COMO LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION QUE VAN DESDE LOS RELEVADORES HASTA LOS CORTA CIRCUITOS FUSIBLE.

I.2.- PLANTAS GENERADORAS.

LOS DIVERSOS TIPOS DE ENERGIA QUE SE UTILIZAN EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR CONDUCTO DE C.F.E. SON LA ENERGIA HIDRAULICA, CALORIFICA Y NUCLEAR, ADEMAS DE LA ENERGIA MECANICA QUE SE UTILIZA EN LOS DIVERSOS TIPOS DE TURBINAS QUE ACOPLADAS AL GENERADOR, TRANSFORMAN LA ENERGIA MECANICA EN ENERGIA ELECTRICA.

LAS DIFERENTES PLANTAS GENERADORAS SON:

HIDROELECTRICAS.- APROVECHA LA ENERGIA HIDRAULICA DE UN RIO Y LA TRANSFORMA EN ENERGIA ELECTRICA. ESTO SE LOGRA POR MEDIO DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO.

TERMoeLECTRICAS.- APROVECHA LA ENERGIA CALORIFICA Y LA TRANSFORMA EN ENERGIA ELECTRICA. BASA SU PRINCIPIO DE OPERACION EN EL CICLO RANKINE.

GEOTERMICAS.- UTILIZA EL VAPOR NATURAL DEL SUBSUELO PARA

ALIMENTAR A LAS TURBINAS DE VAPOR QUE MUEVEN A LOS GENERADORES ELECTRICOS.

NUCLEOELECTRICAS.- APROVECHA LA ENERGIA CALORIFICA Y LA TRANSFORMA EN ENERGIA ELECTRICA. SU DIFERENCIA CON UNA CENTRAL TERMICA ESTIBA EN QUE EL CALOR PROVIENE DE LA FISION NUCLEAR DEL URANIO DENTRO DE UN REACTOR.

1.3. - TRANSFORMADOR.

ES UN APARATO ESTADICO EMPLEADO PARA TRANSFERIR ENERGIA ELECTRICA DE UN CIRCUITO DE C.A. A OTRO SIN VARIAR LA FRECUENCIA POR MEDIO DEL PRINCIPIO DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA Y CONSTA BASICAMENTE DE DOS BOBINAS QUE CONSTITUYEN LOS CIRCUITOS DE ALIMENTACION Y CARGA, LOS CUALES ESTAN ESLABONADOS POR UN NUCLEO MAGNETICO LAMINADO. LA BOBINA CONECTADA A LA ALIMENTACION SE LLAMA PRIMARIA Y LA QUE ALIMENTA A LA CARGA SECUNDARIA. DENTRO DE UN SEP, LOS TIPOS DE TRANSFORMADORES UTILIZADOS SON:

a) POTENCIA .- SU FUNCION PRINCIPAL ES LA DE ELEVAR LA TENSION DE GENERACION, LO CUAL NOS DA LA VENTAJA DE TRASMITIR CON CONDUCTORES DE CALIBRES MAS BAJOS, ADEMAS DE PODER EVITAR LAS CAIDAS DE TENSION.

b) DISTRIBUCION.- HACE LA FUNCION INVERSA DEL DE POTENCIA, O SEA, REDUCE LA TENSION PARA SU DISTRIBUCION Y UTILIZACION.

c) INSTRUMENTO.- SE UTILIZAN PARA REDUCIR A VALORES NORMALIZADOS LAS ALTAS CORRIENTES (TRANSFORMADORES DE CORRIENTE O TC'S) O LOS ALTOS VOLTAJES (TRANSFORMADORES DE POTENCIAL O TP'S), ADEMAS DE PARA PROTEGER AL PERSONAL Y AISLAR ELECTRICAMENTE DE LA ALTA TENSION (A.T.) A LOS EQUIPOS DE PROTECCION Y MEDICION.

I.4.- LINEAS DE TRASMISION.

LAS LINEAS DE TRASMISION (L.T.) INTEGRAN FISICAMENTE LA SALIDA DE LAS PLANTAS GENERADORAS Y LAS NECESIDADES DE LOS CLIENTES PROPORCIONANDO VIAS DE ACCESO PARA EL FLUJO DE ENERGIA ENTRE VARIOS CIRCUITOS EN UN SEP. PUEDEN REPRESENTARSE DE MANERA CUANTITATIVA CON UNA COMBINACION DE TRES CARACTERISTICAS O PARAMETROS:

1) RESISTENCIA.- ES LA OPOSICION AL FLUJO DE LA CORRIENTE ELECTRICA. EL EFECTO MAS IMPORTANTE DE LA RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DE UNA L.T. ES LA GENERACION DE PERDIDAS POR EFECTO JOULE (CALENTAMIENTO).

2) INDUCTANCIA.- DEPENDE DE LA NATURALEZA Y DIMENSIONES DE LOS CONDUCTORES Y DE LA SEPARACION ENTRE ELLOS Y TIENE UNA GRAN IMPORTANCIA EN LA DETERMINACION DE LAS CAIDAS DE TENSION EN UNA L.T.

3) CAPACITANCIA. - ESTA EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES DE LOS CONDUCTORES, DE LA SEPARACION ENTRE ELLOS Y DE LA NATURALEZA DEL DIELECTRICO; O SEA, LA L.T. SE COMPORTA COMO UN CAPACITOR, SIENDO LOS CONDUCTORES LAS PLACAS DEL CONDENSADOR Y EL DIELECTRICO EL AIRE U OTRO MEDIO AISLANTE QUE SEPRE A LOS CONDUCTORES.

DEBIDO A LAS TENSIONES Y DISTANCIAS QUE HAY DE LOS CENTROS DE GENERACION A LOS DE DISTRIBUCION TENEMOS QUE PARA EVITAR CAIDA DE TENSION LAS L.T. SE CLASIFICAN EN:

a) LINEA CORTA. - SE LE LLAMA ASI A UNA LINEA DE HASTA 60 KM DE LONGITUD Y UN VOLTAJE MAXIMO DE 40 KV. EN UNA LINEA CORTA, LOS EFECTOS EN PARALELO COMO SON LAS CONDUCTANCIA Y CAPACITANCIA SON DESPRECIABLES. EN LA FIGURAS SIGUIENTES SE MUESTRAN UN DIAGRAMA UNIFILAR SENCILLO Y EL CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UNA L.T. CORTA:

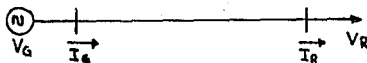


FIG. I.1.- DIAGRAMA UNIFILAR.

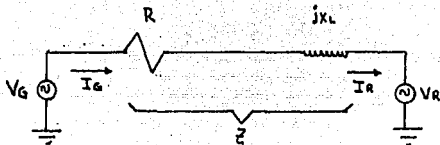


FIG. I.2.- CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UNA LINEA CORTA.

b) LINEA MEDIA. - ES AQUELLA QUE TIENE UNA LONGITUD MAYOR A 60 KILOMETROS Y HASTA 250 KM Y LA TENSION VA ARRIBA DE LOS 40 KV HASTA LOS 220 KV. EN UNA LINEA MEDIA EL EFECTO EN PARALELO SE DEBE A QUE LA CAPACITANCIA DE LA LINEA NO ES DESPRECIABLE. SU CIRCUITO EQUIVALENTE ES EL SIGUIENTE:

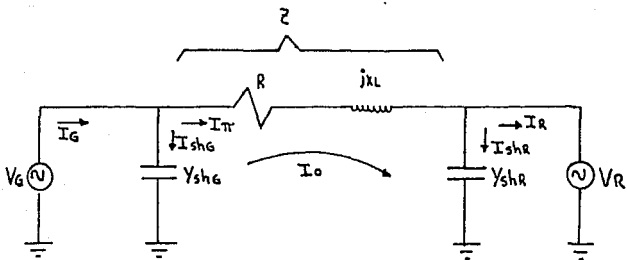


FIG. I.3.- CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UNA LINEA MEDIA.

c) LINEA LARGA. - ES AQUELLA MAYOR A 250 KM DE LONGITUD Y TENSION ARRIBA DE 220 kV. SE CONSIDERA QUE LOS PARAMETROS ESTAN DISTRIBUIDOS UNIFORMEMENTE SOBRE LA L.T. EL CIRCUITO EQUIVALENTE SE MUESTRA EN LA FIGURA:

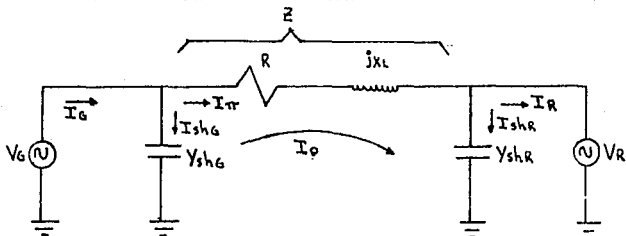


FIG. 1.4.- CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UNA LINEA LARGA.

II.3.- DIAGRAMA UNIFILAR.

UN DIAGRAMA UNIFILAR SE PUEDE REPRESENTAR POR UNA SOLA FASE INDEPENDIEMENTE DE QUE ESTEN CONSTITUIDOS POR TRES HILOS O POR TRES HILOS Y NEUTRO, POR LO QUE SU REPRESENTACION PARA ESTUDIOS DIVERSOS PUEDE SER UNA FASE Y UN CONDUCTOR DE RETORNO QUE FRECUENTEMENTE SE PUEDE SIMPLIFICAR OMITIENDO EL CONDUCTOR DE RETORNO O NEUTRO Y REPRESENTANDO A LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA POR SUS REPRESENTACIONES CONVENCIONALES (VER APENDICE, ANEXO 1) O POR SUS CIRCUITOS EQUIVALENTE DE TAL FORMA QUE SUS COMPONENTES

SON REPRESENTADOS COMO UNA LINEA CON DOS EXTREMOS CON EL SIMBOLO CORRESPONDIENTE DEL ELEMENTO, ESTE TIPO DE DIAGRAMA SIMPLIFICADO SE CONOCE COMO DIAGRAMA UNIFILAR.

EN EL DIAGRAMA UNIFILAR DEBERAN REPRESENTARSE TODOS LOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN AL SISTEMA EN ESTUDIO COMO SON GENERADORES, TRANSFORMADORES, LINEAS DE TRASMISION, LAS POTENCIAS Y VOLTAJES NOMINALES, ASI COMO LAS IMPEDANCIAS O REACTANCIAS REFERIDAS A SUS CARACTERISTICAS ELECTRICAS NOMINALES DE TODOS LOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN DICHO SISTEMA. ESTAS IMPEDANCIAS O REACTANCIAS GENERALMENTE ESTAN EXPRESADAS EN VALORES EN POR UNIDAD, EN POR CIENTO O EN OHMS Y POR LO GENERAL SON DATOS DEL FABRICANTE; O BIEN, SE PUEDEN OBTENER POR NORMAS.

C A P I T U L O I I

C O M P O N E N T E S S I M E T R I C A S

I I . 1 . - E L F A S O R .

 E S L A R E P R E S E N T A C I O N G R A F I C A D E U N A C A N T I D A D E L E C T R I C A E N U N S I S T E M A D E C O O R D E N A D A S . E L F A S O R S E R E P R E S E N T A G R A F I C A M E N T E C O N U N A F L E C H A Q U E D E T E R M I N A S U M A G N I T U D Y C O N U N A N G U L O . S I M B O L I C A M E N T E E L F A S O R S E R E P R E S E N T A C O M O : \vec{V} , \vec{I} , E T C .

 U N F A S O R V I E N E S I E N D O U N V E C T O R P U E S T O Q U E E N U N A C A N T I D A D C O N M A G N I T U D , D I R E C C I O N Y S E N T I D O . E L O B J E T O D E L L A M A R L O F A S O R C O N S I S T E E N D I F E R E N C I A R L O D E L V E C T O R E N E L C U A L N O I N T E R V I E N E E L E L E M E N T O T I E M P O .

 P A R A E L E S T U D I O D E C O R T O C I R C U I T O S E H A C E U S O D E L A S S I G U I E N T E S C O N V E N C I O N E S D E F A S O R E S :

 a) V O L T A J E . - U N V O L T A J E I N D I C A D O C O M O \vec{E}_{ab} S I G N I F I C A Q U E S U V A L O R V A D E S D E " b " H A S T A " a " .

 b) C O R R I E N T E . - U N A C O R R I E N T E I N D I C A D A C O M O \vec{I}_{ab} E S L A Q U E

FLUYE DESDE EL PUNTO "a" HASTA "b".

c) VOLTAJE AL NEUTRO.- SE DESIGNA COMO \vec{E}_{an} A UN FASOR CUYO VALOR ACTUA DE "a" HACIA "n", DE LO QUE SE DEDUCE QUE:

$$\vec{E}_{an} = -\vec{E}_{na} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

d) SUMA.- LA SUMA DE DOS FASORES ESTA DADA PARA:

d.1) VOLTAJES:

$$\vec{E}_{ab} = \vec{E}_{an} + \vec{E}_{nb} = \vec{E}_{an} - \vec{E}_{bn} \dots\dots \text{II.2}$$

d.2) CORRIENTES:

$$\vec{I}_{ab} = \vec{I}_{an} + \vec{I}_{nb} = \vec{I}_{an} - \vec{I}_{bn} \dots\dots \text{II.3}$$

A CONTINUACION SE MUESTRA UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DE LA MANIPULACION DE FASORES:

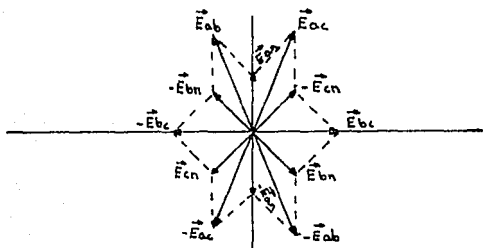


FIGURA II.1.- EL FASOR.

DONDE: $\vec{E}_{ab} = \vec{E}_{an} + \vec{E}_{nb} = \vec{E}_{an} - \vec{E}_{bn}$
 $\vec{E}_{bc} = \vec{E}_{bc} + \vec{E}_{cn} = \vec{E}_{bc} - \vec{E}_{cn}$

$$\vec{E}_{ac} = \vec{E}_{an} + \vec{E}_{nc} = \vec{E}_{an} - \vec{E}_{cn}$$

II.2.- EL OPERADOR "a"

ES UN VECTOR DE MAGNITUD UNITARIA Y UN ANGULO DE 120 GRADOS CON UNA ROTACION EN SENTIDO CONTRARIO A LAS MANECILLAS DEL RELOJ.

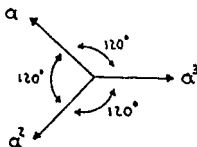


FIG. II.2.- EL OPERADOR "a"

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0.5 + j0.866 \dots \dots \dots \text{II.4}$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0.5 + j0.866 \dots \dots \dots \text{II.5}$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 + j0 \dots \dots \dots \text{II.6}$$

EL OBJETO DEL OPERADOR "a" ES EL DE SIMPLIFICAR EL DESARROLLO DE LAS FORMULAS BASICAS QUE NOS PERMITAN EL ANALISIS MATEMATICO POR COMPONENTES SIMETRICAS DEL CORTO CIRCUITO. TENEMOS LAS SIGUIENTES EXPRESIONES QUE SON DE AYUDA:

a) $a^4 = a$

b) $1 + a + a^2 = 0$

c) $1 - a = 1.73 \angle -30^\circ$

- $$d) 1 + a^2 = -a$$

$$e) 1 - a^2 = 1.73 \angle 30^\circ$$

$$f) a - 1 = 1.73 \angle 150^\circ$$

$$g) a + a^2 = -1$$

$$h) a - a^2 = 1.73 \angle -90^\circ$$

$$j) a - 1 = 1.73 \angle -150^\circ$$

$$k) 1 + a + a^2 = 0 \angle 0^\circ$$

II.3.- SISTEMAS DE SECUENCIA.

ESTA TEORIA ESTA BASADA EN EL METODO DE LAS COMPONENTES SIMETRICAS, EL CUAL ESTABLECE QUE UN SISTEMA TRIFASICO DESBALANCEADO PUEDE DESCOMponERSE EN TRES SISTEMAS TRIFASICOS BALANCEADOS LLAMADOS DE SECUENCIA QUE SON:

1) SECUENCIA POSITIVA.- EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA UN SISTEMA TRIFASICO DESBALANCEADO:

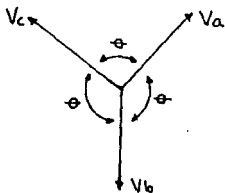


FIG. II.3.- SISTEMA TRIFASICO DESBALANCEADO

SE LE LLAMA SECUENCIA POSITIVA A UN SISTEMA BALANCEADO DE VECTORES TRIFASICOS QUE TIENEN LA MISMA SECUENCIA DE FASE QUE EL SISTEMA ORIGINAL, NO BALANCEADO. ESTA FORMADO POR TRES VECTORES DE IGUAL MAGNITUD CON DIFERENCIA DE FASE DE 120 GRADOS COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA:

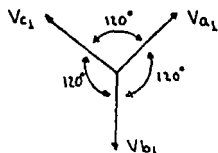


FIG. II.4.- SECUENCIA POSITIVA.

2) SECUENCIA NEGATIVA.- ES UN SISTEMA BALANCEADO DE VECTORES TRIFASICOS QUE TIENEN UNA SECUENCIA DE FASE OPUESTA A LA DEL SISTEMA ORIGINAL NO BALANCEADO. ESTA FORMADO POR TRES VECTORES DE IGUAL MAGNITUD CON DIFERENCIA DE FASE DE 120 GRADOS COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA:

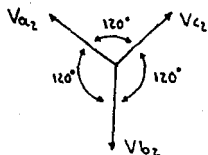


FIG. II.5.- SECUENCIA NEGATIVA.

3) SECUENCIA CERO.- ES UN SISTEMA DE TRES VECTORES MONOFASICOS QUE SON IGUALES EN MAGNITUD Y QUE TIENEN EXACTAMENTE LA MISMA POSICION DE FASE Y TIEMPO CON RESPECTO A CUALQUIER EJE DE REFERENCIA DADO. SE REPRESENTA COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA:

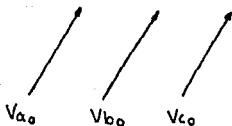


FIG. II.6.- SECUENCIA CERO.

LOS VECTORES O FASORES ORIGINALES DEL SISTEMA DESBALANCEADO EN FUNCION DE SUS SISTEMAS DE SECUENCIA SON:

$$V_A = V_{A1} + V_{A2} + V_{A0}$$

$$V_B = V_{B1} + V_{B2} + V_{B0} \quad \dots \text{II.7}$$

$$V_C = V_{C1} + V_{C2} + V_{C0}$$

APLICANDO EL OPERADOR "a" Y TOMANDO COMO BASE A LA FASE A EN LA ECUACION ANTERIOR TENEMOS QUE:

$$V_A = V_{A1} + V_{A2} + V_{A0}$$

$$V_B = a V_{A1} + a^2 V_{A2} + V_{A0} \quad \dots \text{II.8}$$

$$V_C = a^2 V_{A1} + a V_{A2} + V_{A0}$$

LO CUAL, EN FORMA MATRICIAL QUEDA:

$$\begin{array}{c}
 / \quad \backslash \quad / \quad \quad \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\
 |VA1| \quad |1| \quad |1| \quad |1| \quad |VA0| \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |VB1| = |1| \quad |a| \quad |a| \quad |1| \quad |VA1| \quad \dots \text{II.9} \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |VC| \quad |1| \quad |a| \quad |a| \quad |VA2| \\
 \backslash \quad / \quad \backslash \quad \quad \quad / \quad \backslash \quad \backslash
 \end{array}$$

PARA OBTENER LOS VALORES DE SECUENCIA HAY QUE OBTENER LA
MATRIZ INVERSA DE:

$$\begin{array}{c}
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \backslash \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad |1| \quad |1| \quad |1| \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 [A] = |1| \quad |a| \quad |a| \quad |1| \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |1| \quad |a| \quad |a| \quad |1| \\
 \backslash \quad / \quad \backslash \quad \quad \quad /
 \end{array}$$

QUE SE OBTIENE DE LA SIGUIENTE EXPRESION:

$$[A]^{-1} = [A] / \text{DET } A \quad \dots \text{II.10}$$

QUEDANDONOS QUE:

$$\begin{array}{c}
 / \quad \backslash \quad / \quad \quad \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\
 |VA0| \quad |1| \quad |1| \quad |1| \quad |VA1| \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |VA1| = 1/3 |1| \quad |a| \quad |a| \quad |1| \quad |VB1| \quad \dots \text{III.11} \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |VA2| \quad |1| \quad |a| \quad |a| \quad |VC| \\
 \backslash \quad / \quad \backslash \quad \quad \quad / \quad \backslash \quad \backslash
 \end{array}$$

DE MANERA SIMILAR, LAS CORRIENTES EN TERMINOS DE LOS
SISTEMAS DE SECUENCIA QUEDAN:

$$\begin{array}{c}
 / \quad \backslash \quad / \quad \quad \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\
 |IA1| \quad |1| \quad |1| \quad |1| \quad |IA0| \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |IB1| = |1| \quad |a| \quad |a| \quad |1| \quad |IA1| \quad \dots \text{III.12} \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |IC1| \quad |1| \quad |a| \quad |a| \quad |IA2| \\
 \backslash \quad / \quad \backslash \quad \quad \quad / \quad \backslash \quad \backslash
 \end{array}$$

Y PARA LOS VALORES DE SECUENCIA:

$$\begin{array}{c}
 / \quad \backslash \quad / \quad \quad \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\
 |IA0| \quad |1| \quad |1| \quad |1| \quad |IA1| \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |IA1| = 1/3 |1| \quad |a| \quad |a| \quad |1| \quad |IB1| \quad \dots \text{III.13} \\
 | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |IA2| \quad |1| \quad |a| \quad |a| \quad |IC1| \\
 \backslash \quad / \quad \backslash \quad \quad \quad / \quad \backslash \quad \backslash
 \end{array}$$

II.4.- IMPEDANCIAS DE SECUENCIA.

LA IMPEDANCIA DE UNA LINEA DEPENDE ADEMÁS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CONDUCTOR, DE LA DISPOSICIÓN CON RESPECTO A LOS OTROS CONDUCTORES DEL SISTEMA TRIFÁSICO PARA LA SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA (QUE TIENEN EL MISMO VALOR) Y DE LAS PROPIEDADES DEL TERRENO, EL NÚMERO DE HILOS DE GUARDA, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MISMOS Y SU DISPOSICIÓN RESPECTO A LOS CONDUCTORES DEL SISTEMA TRIFÁSICO PARA LA SECUENCIA CERO.

LAS FÓRMULAS BÁSICAS PARA EL CÁLCULO DE LA SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA SON:

$$Z_1 = Z_2 = r_a + j(X_a + X_d) \dots \dots \text{II.14}$$

DONDE: r_a : ES LA RESISTENCIA PROPIA DEL CONDUCTOR (EN TABLAS DEL CONDUCTOR).

X_a : ES LA REACTANCIA INDUCTIVA PROPIA DEL CONDUCTOR (EN TABLAS DEL CONDUCTOR).

X_d : ES LA REACTANCIA INDUCTIVA MUTUA CON LOS OTROS CONDUCTORES, PARA LO CUAL SE CALCULA LA DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA (DMG) ENTRE CONDUCTORES QUE ES IGUAL A:

$$DMG = \sqrt[3]{d_{12} \times d_{13} \times d_{23}} \dots \dots \text{II.15}$$

UNA VEZ CALCULADA, SE OBTIENE X_d :

$$X_d = 0.2794 \text{LOG}(DMG) \dots \dots \text{II.16}$$

PARA LA SECUENCIA CERO TENEMOS:

$$Z_0 = Z_{0a} - (Z_{0ag} / Z_{0g}) \dots \text{II.17}$$

DONDE: Z_{0a} ES LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA PROPIAMENTE DEL CONDUCTOR Y QUE ESTA DADA POR:

$$Z_{0a} = r_a + j(X_a + X_e + 2X_d) \dots \text{II.18}$$

DONDE: r_a, x_a SON LOS OBTENIDOS PARA LA SECUENCIA POSITIVA.

r_e ES LA RESISTENCIA EN FUNCION DE LA FRECUENCIA Y ES IGUAL A 0.286 OHMS/MI PARA 60 HZ.

X_e ES LA REACTANCIA INDUCTIVA EN FUNCION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y ES IGUAL A 2.888 OHMS/MI PARA 60 HZ.

X_d SE OBTIENE COMO SE INDICO ANTERIORMENTE.

Z_{0g} ES LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO PROPIA DEL HILO DE GUARDA Y SE DEFINE COMO:

$$Z_{0g} = 3/n(r_{ag}) + j(X_e + 3(X_{ag}/n) - 3(n-1)(X_{dg}/n)) \dots \text{II.19}$$

DONDE: r_{ag}, X_{ag} SE OBTIENEN DE TABLAS.

r_e, X_e YA SE DEFINIERON.

X_{dg} ES LA REACTANCIA MUTUA ENTRE LOS HILOS DE GUARDA.

n ES EL NUMERO DE HILOS DE GUARDA.

EN CASO DE NO EXISTIR HILO DE GUARDA:

$$Z_0 = Z_{0a} \dots \text{II.20}$$

PARA UN HILO DE GUARDA:

$$Z_{0g} = 3r_g + re + j(X_e + 3X_g) \dots \text{II.21}$$

PARA DOS HILOS DE GUARDA:

$$Z_{0g} = (3/2)r_g + re + j(X_e + (3/2)X_g - (3/2)X_d) \dots \text{II.22}$$

Z_{0g} ES LA IMPEDANCIA MUTUA DE SECUENCIA CERO ENTRE EL CONDUCTOR Y EL HILO DE GUARDA Y SE DEFINE COMO:

$$Z_{0g} = re + j(X_e - 3X_d) \dots \text{II.23}$$

DONDE re , X_e YA SE DEFINIERON.

X_d ES LA DMG ENTRE LOS CONDUCTORES Y EL O
LOS HILOS DE GUARDA.

LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA PARA LOS DEMAS ELEMENTOS COMO SON GENERADORES, TRANSFORMADORES, ETC., PUEDE SER SELECCIONADA COMO SUBTRANSITORIA (X_d''), TRANSITORIA (X_d') O SINCRONA (X_d), DEPENDIENDO DEL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL INICIO DE LA FALLA AL INSTANTE SOBRE EL CUAL LOS VALORES SON DESEADOS. USUALMENTE EN ESTUDIOS DE FALLAS, LA REACTANCIA SUBTRANSITORIA ES TOMADA COMO REACTANCIA POSITIVA Y NEGATIVA. LA IMPEDANCIA CERO VARIA AMPLIAMENTE EN ALGUNOS ELEMENTOS Y DEPENDE DEL PASO DE LAS BOBINAS DE ARMADURA. ES MENOR A LA IMPEDANCIA POSITIVA. PARA LOS TRANSFORMADORES SE TOMA IGUAL A LA SECUENCIA POSITIVA.

II.5.- DIAGRAMAS DE SECUENCIA.

PARA LA ELABORACION DE LOS DIAGRAMAS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO SE PROCEDE DE LA SIGUIENTE FORMA:

1) SECUENCIA POSITIVA.- SE PUEDE OBTENER DE UNA MANERA SIMPLE REEMPLAZANDO CADA ELEMENTO DEL SISTEMA DEL DIAGRAMA UNIFILAR POR SU IMPEDANCIA REFERIDA A LA BASE COMUN Y REPRESENTANDO A LAS FUENTES DE VOLTAJE CON SUS VALORES EXPRESADOS EN POR UNIDAD Y REFERIDAS TAMBIEN A UNA BASE DE TENSION COMUN. EL PUNTO O BARRA DE REFERENCIA ESTA REPRESENTADO POR EL NEUTRO DEL SISTEMA DE TAL FORMA QUE UNA RED DE SECUENCIA POSITIVA SE PUEDA FORMAR DE ACUERDO A LO INDICADO PARA EL SEP MOSTRADO EN LA FIGURA:

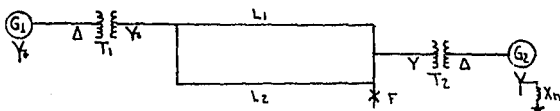


FIG. II.7.- SEP CUALQUIERA.

EL DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITIVA QUEDARA COMO:

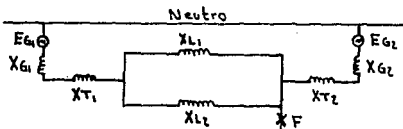


FIG. II.8.- DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITIVA.

2) SECUENCIA NEGATIVA. - SE ELABORA DE LA MISMA MANERA QUE EL DE SECUENCIA POSITIVA, LA DIFERENCIA ESTIBA EN QUE EL DE SECUENCIA NEGATIVA NO CUENTA CON FUENTES DE VOLTAJE. ES BASTANTE COMUN QUE EN LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO SE TOMEN IGUAL. PARA EL SISTEMA MOSTRADO, EL DIAGRAMA DE SECUENCIA NEGATIVA SERA:

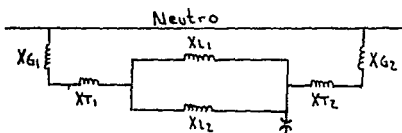


FIG. II.9.- DIAGRAMA DE SECUENCIA NEGATIVA.

3) SECUENCIA CERO. - PARA SU ELABORACION SE REQUIERE DE CONSIDERACIONES ADICIONALES A LAS HECHAS PARA LOS DIAGRAMAS ANTERIORES YA QUE LAS CORRIENTES DE SECUENCIA CERO QUE CIRCULAN LO HACEN A TIERRA, POR LO QUE INFLUYE EN FORMA DETERMINANTE LA FORMA EN COMO SE ENCUENTREN LOS NEUTROS DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS CONECTADOS A TIERRA. EN EL APENDICE; ANEXO 2, SE ENCUENTRA UNA BREVE REVISION DE LA FORMA EN COMO SE CONECTAN A TIERRA Y SUS CORRESPONDIENTES DIAGRAMAS DE REACTANCIAS PARA TRANSFORMADORES. PARA EL SISTEMA MOSTRADO ANTERIORMENTE SE TIENE QUE SU DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO SERA COMO EL MOSTRADO EN LA PAGINA SIGUIENTE, FIGURA II.10.

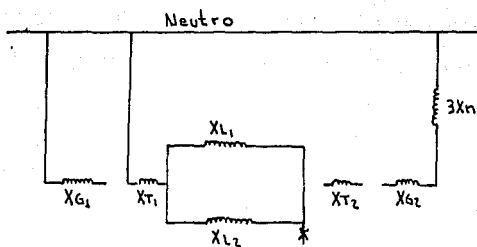


FIG. II.10.- DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO.

CAPITULO III

CORTO CIRCUITO

III.1.- DEFINICION.

SE DEFINE COMO CORTO CIRCUITO A LA CONEXION ACCIDENTAL O INTENCIONAL ENTRE DOS PUNTOS DE UN SISTEMA ELECTRICO QUE TIENEN UN POTENCIAL DIFERENTE.

EL CORTO CIRCUITO PROVOCA COMO SABEMOS, CORRIENTES EXCESIVAMENTE ALTAS EN EL PUNTO DE FALLA Y ADEMAS A TRAVES DE LOS DIVERSOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN AL SISTEMA, TALES CORRIENTES SE CONOCEN COMO CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO. DICHAS CORRIENTES SON LAS MAXIMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN UN SISTEMA, POR LO QUE SU CONOCIMIENTO ES NECESARIO. EL CONOCER DICHAS CORRIENTES SIRVE PARA:

a) DETERMINAR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION.

b) AJUSTE DE LOS RELEVADORES DE PROTECCION PARA QUE ACTUEN

EN FORMA COORDINADA Y AISLEN SOLO LA PARTE AFECTADA.

EXISTEN OTRAS APLICACIONES PERO NOS ENFOCAREMOS SOLO A ESTAS DOS UNICAMENTE.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ESTUDIO DEL CORTO CIRCUITO, LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA RED ELECTRICA SE PUEDEN CLASIFICAR EN:

1) ACTIVOS.- SON LOS QUE ALIMENTAN CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO Y ENTRE ELLOS TENEMOS A LOS GENERADORES, MOTORES SINCRONOS, MOTORES DE INDUCCION, ETC.

2) PASIVOS.- SON LOS QUE SE Oponen AL PASO DE LAS CORRIENTES COMO SON LAS IMPEDANCIAS DE MAQUINAS ROTATIVAS, TRANSFORMADORES, REACTORES Y L.T.

III.2.- METODO EN POR UNIDAD.

EN CIRCUITOS ELECTRICOS, LOS VALORES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO NORMAL YA SEAN ELEMENTOS ACTIVOS O PASIVOS ESTAN REFERIDOS A SUS UNIDADES NORMALES, O SEA, LA CORRIENTE EN AMPERES, LA TENSION EN VOLTS, ETC., CUANDO SE TRATA DE ESTUDIOS EN SEP'■ DONDE INTERVIENEN ELEMENTOS COMO TRANSFORMADORES, GENERADORES, L.T., ETC., CUYOS VALORES PUEDEN ESTAR DADOS EN OHMS, EN POR CIENTO O EN POR UNIDAD; O BIEN, EN LAS TRES FORMAS PARA UN MISMO SISTEMA, ENTONCES ES NECESARIO QUE TODAS LAS

CANTIDADES SE EXPRESAN EN LA MISMA FORMA; ES DECIR, TODAS EN OHMS, TODAS EN POR CIENTO O TODAS EN POR UNIDAD.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS ESTUDIOS QUE SE REALIZAN EN SEPTE, LA REPRESENTACION DE LOS VALORES EN IMPEDANCIA DE LOS ELEMENTOS EN POR UNIDAD REPRESENTA CIERTAS VENTAJAS SOBRE OTRAS FORMAS DE REPRESENTACION. UNA CANTIDAD EN POR UNIDAD (P.U.) SE PUEDE REPRESENTAR COMO UNA RELACION ENTRE DOS CANTIDADES DE LAS MISMAS UNIDADES, UNA DE ELLAS DENOMINADA CANTIDAD BASE:

$$\text{CANTIDAD EN P.U.} = \text{CANTIDAD DADA} / \text{CANTIDAD BASE} \dots \text{III.1}$$

PARA VALORES MONOFASICOS SE TIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES:

$$I_B = \frac{KVAB}{KV} \dots \text{III.2}$$

$$Z_B = \frac{KV}{MVAB} \dots \text{III.3}$$

PARA VALORES TRIFASICOS:

$$I_B = \frac{MVAB \times 10}{1.73KV} \dots \text{III.4}$$

$$Z_B = \frac{KV}{MVAB} \dots \text{III.5}$$

PARA LINEAS DE TRASMISION:

$$Z(\text{P.U.}) = \frac{Z_{OHMS}}{2} \left(\frac{MVAB}{KV} \right) \dots \text{III.6}$$

COMO SE VE, LOS PARAMETROS TOMADOS COMO BASE SON:

1) POTENCIA.- QUE SERA UNICA EN TODO EL SISTEMA, Y ES SELECCIONADA ARBITRARIAMENTE.

2) VOLTAJE.- QUE VARIARA CON LAS RELACIONES DE TRANSFORMACION EN EL LUGAR DE ESTUDIO DEL SISTEMA.

AUN CUANDO ALGUNOS ELEMENTOS TENGAN SUS VALORES EN POR

UNIDAD, ES NECESARIO CAMBIAR DICHS VALORES A BASES COMUNES PARA TODO EL SISTEMA PARA NO INCURRIR EN ERRORES AL TRATAR DE SUMAR O COMBINAR IMPEDANCIAS O REACTANCIAS DADAS POR SUS VALORES NOMINALES DE VOLTAJE Y POTENCIA. PARA REALIZAR DICHO CAMBIO DE BASE SE DENOMINA CON UNA "V" A LA BASE ANTERIOR Y CON UNA "N" A LA BASE COMUN DEL SISTEMA, PARA LO CUAL SE TIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES:

$$Z(P.U.)_N = Z(P.U.)_V \left(\frac{MV_{ABN}}{MV_{ABV}} \right) \left(\frac{KV_{BV}}{KV_{BN}} \right)^2 \dots \text{III.7}$$

$$Z(\text{OHMS})_N = KV_{BN}^2 / MV_{ABN} \dots \text{III.8}$$

III.3.- METODO EN POR CIENTO.

EN LOS CALCULOS DE CORTO CIRCUITO SE LLEGA A UN PUNTO EN QUE HAY QUE DECIDIR SI SE DEBE UTILIZAR EL METODO EN POR UNIDAD O EL METODO PORCENTUAL, YA QUE GENERALMENTE LAS IMPEDANCIAS DE MAQUINAS, GENERADORES, ETC., VIENEN EXPRESADAS EN POR CIENTO. EN GENERAL LO QUE SE HACE ES CAMBIAR LAS UNIDADES EN POR CIENTO A EN POR UNIDAD CON LA SIGUIENTE RELACION:

$$\text{CANTIDAD EN P.U.} = \text{CANTIDAD EN \%}/100 \dots \text{III.9}$$

III.4.- TIPOS DE FALLAS.

LOS TIPOS DE FALLA OCASIONADAS POR CORTO CIRCUITO QUE SE TOMAN POR SER LOS MAS COMUNES SON:

FALLA DE FASE A TIERRA.

FALLA TRIFASICA.

LA PRIMERA SE CONOCE COMO FALLA ASIMETRICA YA QUE ES DESBALANCEADA Y LA SEGUNDA SE CONOCE COMO BALANCEADA. DICHAS FALLAS NOS PROPORCIONAN LAS CORRIENTES MAXIMA Y MINIMA RESPECTIVAMENTE DE CORTO CIRCUITO. LA CORRIENTE MAXIMA NOS SIRVE PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION Y LA MINIMA PARA DETERMINAR EL VALOR AL QUE DEBEN OPERAR LAS BOBINAS DE RELEVADORES, RESTAURADORES, ETC.

III.4.1.- FALLA DE FASE A TIERRA.

UNA FALLA DE FASE A TIERRA CONSISTE BASICAMENTE EN EL ATERRIZAMIENTO ACCIDENTAL O INTENCIONAL DE UNA DE LAS LINEAS DEL SISTEMA Y ES CONSIDERADA LA MAS PELIGROSA.

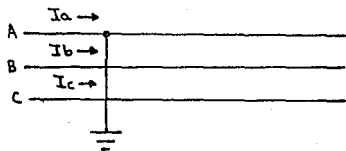


FIG. III.1.- FALLA DE FASE A TIERRA.

DE LA FIGURA ANTERIOR OBSERVAMOS QUE SE PRESENTAN LAS
 CARACTERISTICAS SIGUIENTES:

$$V_A=0$$

$$I_B=0$$

$$I_C=0$$

DE DICHAS CARACTERISTICAS Y POR COMPONENTES SIMETRICAS

TENEMOS QUE:

$$I_B=0=I_{A0}+a I_{A1}+a^2 I_{A2}$$

$$I_C=0=I_{A0}+a^2 I_{A1}+a I_{A2}$$

RESTANDO MIEMBRO A MIEMBRO:

$$I_B-I_C=I_{A0}+a I_{A1}+a^2 I_{A2}-I_{A0}-a^2 I_{A1}-a I_{A2}$$

$$0=I_{A1}(a - a^2)+I_{A2}(a - a^2)$$

$$I_{A1}=I_{A2}$$

SUSTITUYENDO I_{A1} POR I_{A2} EN I_B :

$$I_B=0=I_{A0}+a I_{A1}+a^2 I_{A1}$$

$$0=I_{A0}+I_{A1}(a + a^2)$$

$$I_{A0}=-I_{A1}$$

DE DONDE DEDUCIMOS QUE HAY COMPONENTE DE SECUENCIA POSITIVA,
 NEGATIVA Y CERO Y QUE SON IGUALES. PARA LA FASE A TENEMOS QUE
 SUSTITUYENDO I_{A1} POR I_{A2} E I_{A0} :

$$I_A=3I_{A1}$$

$$(1/3)I_A=I_{A1}$$

POR LO TANTO:

$$(1/3)I_A=I_{A1}=I_{A2}=I_{A0} \dots III.10$$

PARA QUE SE CUMPLAN LAS CONDICIONES ANTERIORES HAY QUE CONECTAR LA RED DE SECUENCIA EN SERIE COMO SE MUESTRA:

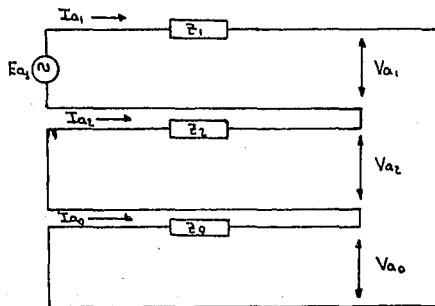


FIG. III.2.- RED DE SECUENCIA PARA FALLA DE FASE A TIERRA.

APLICANDO UNA ECUACION DE MALLA:

$$E_{A1} = I_{A1}Z_1 + I_{A2}Z_2 + I_{A0}Z_0$$

PERO:

$$I_{A0} = I_{A1} = I_{A2}$$

SUSTITUYENDO I_{A1} POR I_{A2} E I_{A0} :

$$E_{A1} = I_{A1}(Z_1 + Z_2 + Z_0)$$

DESPEJANDO LA CORRIENTE:

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A0} = E_{A1} / (Z_1 + Z_2 + Z_0) \dots \text{III.11}$$

POR LEY DE OHM TENEMOS:

$$VA1 = E_{A1} - I_{A1} Z_1$$

SUSTITUYENDO EL VALOR DE I_{A1} :

$$VA1 = E_{A1} - (E_{A1} / (Z_1 + Z_2 + Z_0)) Z_1$$

$$= E_{A1} [1 - (Z_1 / (Z_1 + Z_2 + Z_0))]]$$

$$= E_{A1} [(Z_1 + Z_2 + Z_0 - Z_1) / (Z_1 + Z_2 + Z_0)]]$$

$$VA1 = E_{A1} [(Z_2 + Z_0) / (Z_1 + Z_2 + Z_0)] \dots III.12$$

QUE ES EL VOLTAJE DE LA SECUENCIA POSITIVA, PARA LA SECUENCIA NEGATIVA TENEMOS QUE POR LEY DE OHM:

$$VA2 = -I_{A2} Z_2$$

SUSTITUYENDO EL VALOR DE I_{A2} :

$$VA2 = -Z_2 (E_{A1} / (Z_1 + Z_2 + Z_0))]$$

REORDENANDO:

$$VA2 = -E_{A1} [Z_2 / (Z_1 + Z_2 + Z_0)] \dots III.13$$

DE IGUAL FORMA PARA LA SECUENCIA CERO:

$$VA0 = -I_{A0} Z_0$$

SUSTITUYENDO EL VALOR DE I_{A0} :

$$VA0 = -E_{A1} [Z_0 / (Z_1 + Z_2 + Z_0)] \dots III.14$$

POR COMPONENTES SIMETRICAS SABEMOS QUE:

$$VA = VA0 + VA1 + VA2$$

SUSTITUYENDO LOS VALORES ANTERIORES DE $VA0$, $VA1$ Y $VA2$:

$$VA = -E_{A1} [Z_0 / (Z_1 + Z_2 + Z_0)] - E_{A1} [Z_2 / (Z_1 + Z_2 + Z_0)] + E_{A1} [(Z_2 + Z_0) / (Z_1 + Z_2 + Z_0)]]$$

$$= [E_{A1} / (Z_1 + Z_2 + Z_0)] [-Z_0 - Z_2 + Z_2 + Z_0]$$

$$VA = 0 \dots III.15$$

QUE FUE UNA DE LAS CONDICIONES INICIALES, PARA LOS VOLTAJES DE FASE B y C TENEMOS RESPECTIVAMENTE:

$$VB = VA0 + a \frac{VA1 + aVA2}{2} \dots \text{III.16}$$

$$VC = VA0 + a^2 \frac{VA1 + aVA2}{2} \dots \text{III.17}$$

CALCULANDO LAS CORRIENTES DE LA FASE A:

$$IA = IA0 + IA1 + IA2$$

Y COMO:

$$IA0 = IA1 = IA2 = EA1 / (Z1 + Z2 + Z0)$$

TENEMOS QUE:

$$IA = 3EA1 / (Z1 + Z2 + Z0) \dots \text{III.18}$$

PARA LA FASE B:

$$IB = IA0 + a \frac{IA1 + aIA2}{2}$$

$$= IA1 + a \frac{IA1 + aIA1}{2}$$

$$= IA(1 + a + a^2)$$

$$IB = 0 \dots \text{III.19}$$

DE MANERA SIMILAR OBTENEMOS PARA LA FASE C:

$$IC = 0 \dots \text{III.20}$$

III.4.2.- FALLA TRIFASICA.

ESTE TIPO DE FALLA SE PRODUCE CUANDO EXISTE INTERCONEXION EN LAS TRES FASES COMO SE MUESTRA:

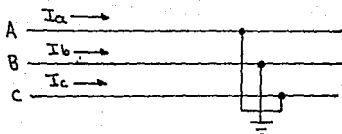


FIG. III.3.- FALLA TRIFASICA.

ESTA FALLA, COMO YA DIJIMOS ES SIMETRICA Y TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

$$I_A = I_B = I_C \text{ (DEFASADAS 120 GRADOS ENTRE SI).}$$

$$I_{A0} = I_{A2} = 0$$

$$V_A = V_B = V_C = 0$$

AL NO EXISTIR DESEQUILIBRIO, NO EXISTEN COMPONENTES DE SECUENCIA CERO NI DE SECUENCIA NEGATIVA, UNICAMENTE DE SECUENCIA POSITIVA, POR LO QUE LA RED QUEDA:

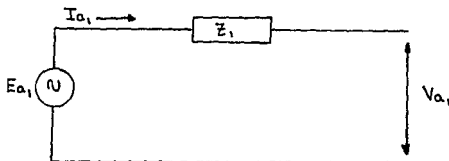


FIG. III.4.- RED DE SECUENCIA PARA FALLA TRIFASICA.

LA CORRIENTE EN LA FASE A ES:

$$IA=IAO+IA1+IA2$$

PERO:

$$IAO=IA2=0$$

POR LO QUE:

$$IA=IA1 \dots III.21$$

DEMOSTRANDO LA ECUACION ANTERIOR, TENEMOS QUE:

$$\begin{aligned} 3IA1 &= IA + aIB + a^2 IC \\ &= IA + a(aIA) + a^2(aIA) \\ &= IA + a^2 IA + a^3 IA \\ &= 3IA \end{aligned}$$

$$IA1=IA$$

PARA LA SECUENCIA NEGATIVA:

$$\begin{aligned} 3IA2 &= IA0 + a^2 IAB + a^4 IC \\ &= IA + a^4 (aIA) + a^4(aIA) \\ &= IA + a^4 IA + a^4 IA \\ &= IA(1 + a^4 + a^4) \end{aligned}$$

$$IA2=0 \dots III.22$$

PARA LA SECUENCIA CERO:

$$\begin{aligned} 3IO &= IA + IB + IC \\ &= IA + aIA + a^2 IA \\ &= IA(1 + a + a^2) \end{aligned}$$

$$IO=0 \dots III.23$$

DE UNA ECUACION DE MALLA PARA LA RED DE SECUENCIA:

$$EAI=VAI+IAI1$$

PERO:

$$\begin{aligned} V_{A1} &= (1/3) (V_A + a V_B + a^2 V_C) \\ &= (1/3) [V_A + a(a V_A) + a^2 (a^2 V_A)] \\ &= (1/3) (V_A + a^2 V_A + a^4 V_A) \\ &= (1/3) (1 + a^2 + a) \end{aligned}$$

$$V_{A1} = 0 \dots \text{III.24}$$

POR LO QUE:

$$E_{A1} = I_{A1} Z_1$$

DESPEJANDO LA CORRIENTE I_{A1} :

$$I_{A1} = E_{A1} / Z_1 \dots \text{III.25}$$

PARA LA FASE B:

$$I_B = I_{A0} + a I_{A1} + a^2 I_{A2}$$

Y COMO:

$$I_{A0} = I_{A2} = 0$$

POR LO QUE:

$$I_B = a I_{A1} \dots \text{III.26}$$

DE MANERA SIMILAR OBTENEMOS I_C :

$$I_C = a^2 I_{A1} \dots \text{III.27}$$

DE LAS ECUACIONES ANTERIORES CONCLUIMOS QUE:

$$I_A = I_B = I_C \dots \text{III.28}$$

DEFASADAS 120 GRADOS ENTRE SI, POR LO QUE:

$$I_A + I_B + I_C = 0 \dots \text{III.29}$$

ENCONTRANDO EL VOLTAJE EN LA FASE A:

$$V_A = V_{A0} + V_{A1} + V_{A2}$$

PERO:

$$\begin{aligned}VA0 &= (1/3) (VA+VB+VC) \\ &= (1/3) (VA+aVA+a^2VA) \\ &= (1/3)VA(1+a+a^2)\end{aligned}$$

$$VA0=0 \dots III.30$$

$$\begin{aligned}VA2 &= (1/3)V(VA+a^2VB+a^4VC) \\ &= (1/3)[VA+a^2(aVA)+a^4(a^2VA)] \\ &= (1/3)(VA+a^2VA+a^4VA) \\ &= (1/3)VA(1+a^2+a^4)\end{aligned}$$

$$VA2=0 \dots III.31$$

Y COMO ADEMAS:

$$VA1=0$$

ENTONCES:

$$VA=0$$

DE MANERA SIMILAR, ENCONTRAMOS VB Y VC:

$$VB=0$$

$$VC=0$$

POR LO QUE, FINALMENTE:

$$VA=VB=VC=0 \dots III.32$$

III.5.- EJEMPLO

PARA UNA APLICACION PRACTICA DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO,

TOMAREMOS COMO EJEMPLO A EL PARQUE INDUSTRIAL "TEPEJI", SITUADO EN TEPEJI DEL RIO, HGO., CON UNA CAPACIDAD DE 165 MW.

DICHO PARQUE ESTA COMPUESTO POR TRES SUBESTACIONES DE 60 MW C/U: TEPEJI I, II Y III, LAS CUALES ESTARAN ALIMENTADAS POR LA SUBESTACION ELECTRICA (S.E.) "EL SALTO". A CONTINUACION SE MUESTRA EL DIAGRAMA UNIFILAR DE DICHO PARQUE:

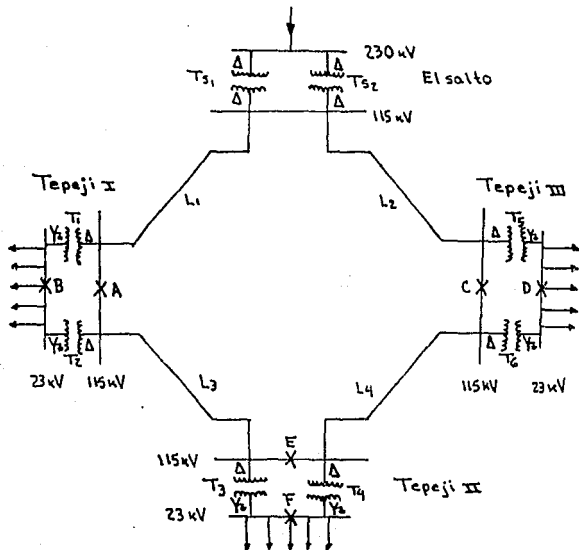


FIG. III.5.- DIAGRAMA UNIFILAR DEL PARQUE INDUSTRIAL TEPEJI.

LOS PUNTOS A, B, C, D, E, Y F SON LOS LUGARES DONDE SE QUIERE CONOCER EL VALOR DE CORTO CIRCUITO OCASIONADO POR FALLA A TIERRA Y FALLA TRIFASICA RESPECTIVAMENTE PARA DESPUES HACER EL ESTUDIO DE PROTECCIONES CORRESPONDIENTE.

LOS DATOS DE DICHO PARQUE SON:

S.E. EL SALIO:

TRANSFORMADOR:	TS1	TS2
POTENCIA :	100MVA	100MVA
% DE IMP. :	7%	7%
RT :	230/115 kV	
CONEXION :	Δ/Δ	
ICC (A.T.) :	40.03 P.U. (MVAB=100)	

S.E. TEPEJI I, II, III.

TRANSFORMADOR:	T1	T2	T3	T4	T5	T6
POTENCIA :	30 MVA (TODOS)					
% DE IMP. :	7% (TODOS)					
RT :	115/23 kV (TODOS)					
CONEXION :	Δ/Y_2 (TODOS)					
L.T. :	L1	L2	L3	L4		
WM :	8	8	2	2		

EL CONDUCTOR ES ACSR 795 MCM. DRAKE, 26 HILOS DE ALUMINIO, 7 HILOS DE ACERO, ESTRUCTURA TIPO H NORMALIZADA.

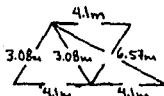


FIG. III.6.- DISTANCIAS ENTRE L.T. E HILOS DE GUARDA.

SOLUCION.

PRIMERO ENCONTRAREMOS LA IMPEDANCIA DE LAS L.T.:
DE LA ECUACION II.14:

$$Z_1 = Z_2 = r_a + j(X_a + X_d)$$

DE TABLAS:

$$r_a = 0.125 \text{ OHMS/MI}$$

DE LA ECUACION II.15:

$$D_{MG} = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{13} \times D_{23}} = \sqrt[3]{4.1 \times 4.1 \times 8.2} = 5.165 \text{ M} = 16.947 \text{ FT}$$

SUSTITUYENDO EN LA ECUACION III.16:

$$X_d = 0.2794 \log 16.947 = 0.3434 \text{ OHMS/MI}$$

DE TABLAS:

$$X_a = 0.3991 \text{ OHMS/MI}$$

POR LO QUE:

$$Z_1 = Z_2 = 0.125 + j(0.3991 + 0.3434)$$

$$= 0.125 + j(0.7424) \text{ OHMS/MI}$$

PASANDO A OHMS/KM:

$$= 0.467 \sqrt{80.442} \text{ OHMS/MI}$$

PARA LAS LINEAS 1 Y 2:

$$Z1=Z2 = (0.467 \sqrt{80.442}) (8) = 3.736 \sqrt{80.442} \text{ OHMS.}$$

PARA LINEAS 3 Y 4:

$$Z1=Z2 = (0.467 \sqrt{80.442}) (2) = 0.934 \sqrt{80.442} \text{ OHMS.}$$

DE LA ECUACION II.17:

$$Z0 = \frac{Zoa - (Zoa^2 / Zog)}{2}$$

DONDE:

$$Zoa = ra + re + j(Xa + Xe - 2Xd) \dots \text{II.18}$$

$$= 0.125 + 0.286 + j(0.3991 + 2.888 - 2(0.34340))$$

$$= 0.411 + j2.6011 \text{ OHMS/MI}$$

$$Zog = (3/2)rag + re + j(Xe + (3/2)Xag - (3/2)Xdg) \dots \text{II.22}$$

$$Xdg = 0.2794 \log(4.1 \times 3.28084) = 0.3154$$

$$= (3/2)7.9 + 0.286 + j(0.3991 + (3/2)1.05 - (3/2)0.3154)$$

$$= 12.136 + j1.501 \text{ OHMS/MI}$$

$$Zoa^2 = re + j(Xe - 3Xd) \dots \text{II.23}$$

$$\text{DONDE: } DMG = \sqrt[3]{d1g1 \times d2g1 \times d1g2 \times d2g2 \times d3g1 \times d3g2} \dots \text{II.25}$$

$$= \sqrt[3]{3.08 \times 3.08 \times 3.08 \times 6.57 \times 6.57} = 3.9648 \text{ M} = 13.007 \text{ FT}$$

$$Xd = 0.2794 \log 13.007 = 0.3113 \text{ OHMS/MI}$$

$$= 0.286 + j(2.888 - 3(0.3113)) = 0.286 + j1.9541 \text{ OHMS/MI}$$

$$Z0 = \frac{0.411 + j2.6011 - (0.286 + j1.9541)}{2} / (12.136 + j1.501)$$

$$= 2.5708 - j4.1326 \text{ OHMS/MI}$$

PASANDO A OHMS/KM:

$$Z_0 = 2.5708 \sqrt{24.1326} / 1.60934 = 1.6028 \sqrt{24.1326} \text{ OHMS/KM}$$

PARA L1 Y L2:

$$Z_0 = 12.822 \sqrt{24.1326} \text{ OHMS}$$

PARA L3 Y L4:

$$Z_0 = 3.205 \sqrt{24.1326} \text{ OHMS}$$

EL SIGUIENTE PASO ES PASAR NUESTRO SISTEMA A EN POR UNIDAD, ESCOGIENDO PARA DICHO CASO UNA POTENCIA BASE DE 100 MVA Y UN VOLTAJE BASE DE 230, 115 Y 23 KV, EN EL PUNTO INDICADO. CALCULANDO LAS IMPEDANCIAS DEL SISTEMA:

S.E. EL SALTO:

DE LA ECUACION III.4:

$$I_B = MVA \times 10^3 / (1.73) (KV) = 100 \times 10^3 / (1.73 \times 230) = 251 \text{ A.}$$

DE LA ECUACION III.1 Y ADAPTANDOLA PARA ICC:

$$ICC = I_P.U. \times I_B = 40.03 \times 251 = 10.047 \text{ kA}$$

LA IMPEDANCIA ES IGUAL A :

$$Z_s = MVA \times 10^3 / (1.73 KV) (ICC) = 100 \times 10^3 / (1.73 \times 230 \times 10.047 \times 10^3) = j0.025 \text{ PU}$$

PARA LOS TRANSFORMADORES T91 Y T92:

DE LA ECUACION III.7:

$$Z_{PU(BN)} = Z_{PU(BV)} \left[\frac{MVA(BN)}{MVA(BV)} \right] \left[\frac{KV(BV)}{KV(BN)} \right]^2 \\ = 0.07 (100/100) \left[(115/115) \right]^2 = j0.07 \text{ PU}$$

S.E. IEPESI AL IIA III:

$$Z_{PU} = 0.07 (100/30) (115/115) = j0.233 \text{ PU}$$

L.T. 1 Y 2:

DE LA ECUACION III.6:

$$ZPU = ZOHMS (MVAB / KVB) = 3.736 \sqrt{\frac{80.442}{100/115}} = 0.0282 \sqrt{80.442} \text{ PU}$$

$$ZPU(+) = ZPU(-) = 0.0282 \sqrt{80.442} \text{ PU}$$

$$ZPU(0) = 12.822 \sqrt{\frac{74.133}{100/115}} = 0.097 \sqrt{74.133} \text{ PU}$$

L.Y. 3 Y 4:

$$ZPU(+) = ZPU(-) = 0.934 \sqrt{\frac{80.442}{100/115}} = 0.007 \sqrt{80.442} \text{ PU}$$

$$ZPU(0) = 3.205 \sqrt{\frac{74.133}{100/115}} = 0.042 \sqrt{74.133} \text{ PU}$$

HACIENDO UNA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS:

ELEMENTO:

IMPEDANCIA DE SECUENCIA EN PU

	Z1	Z2	Z3
TS1	j0.07	j0.07	j0.07
TS2	j0.07	j0.07	j0.07
T1	j0.233	j0.233	j0.233
T2	j0.233	j0.233	j0.233
T3	j0.233	j0.233	j0.233
T4	j0.233	j0.233	j0.233
T5	j0.233	j0.233	j0.233
T6	j0.233	j0.233	j0.233
L1	0.0282 $\sqrt{80.442}$	0.0282 $\sqrt{80.442}$	0.097 $\sqrt{74.133}$
L2	0.0282 $\sqrt{80.442}$	0.0282 $\sqrt{80.442}$	0.097 $\sqrt{74.133}$
L3	0.007 $\sqrt{80.442}$	0.007 $\sqrt{80.442}$	0.042 $\sqrt{74.133}$
L4	0.007 $\sqrt{80.442}$	0.007 $\sqrt{80.442}$	0.042 $\sqrt{74.133}$

TABLA III.1.- VALORES DEL PARGUE "TEPEJI"

ELABORANDO LOS DIAGRAMAS DE SECUENCIA (+), (-) Y (0):

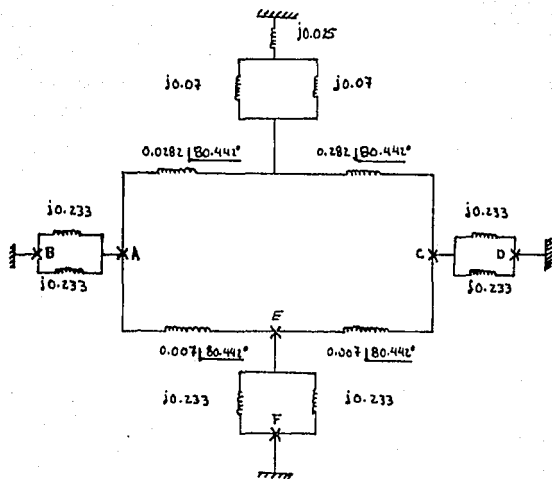


FIG. III.7.- DIAGRAMA DE SECUENCIA (+) Y (-).

EN LA FIGURA III.8 SE MUESTRA EL DIAGRAMA PARA LA SECUENCIA CERD.

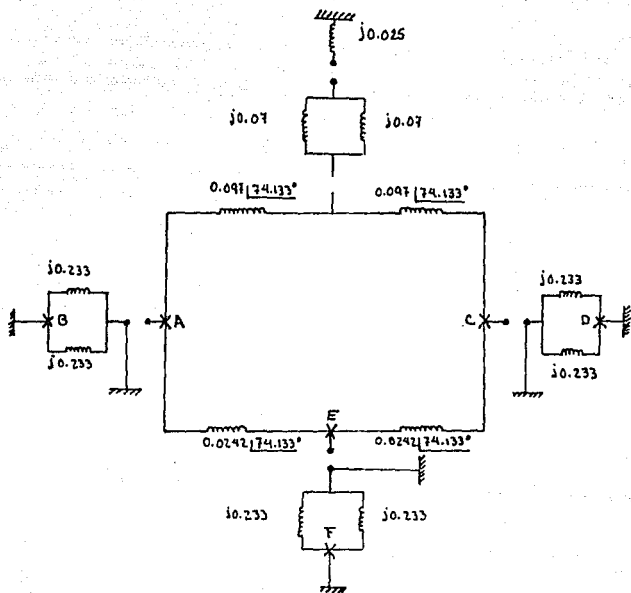


FIG. III.8.- DIAGRAMA DE SECUENCIA (0)

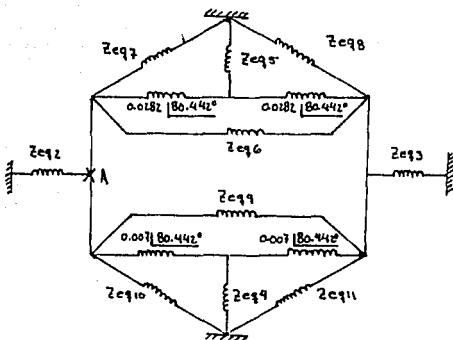
RESOLVIENDO PARA EL PUNTO A:

PARA LA SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA.

$$Z_{EQ1} = 0.07 \angle 90^\circ / 0.07 \angle 90^\circ = 0.07 \angle 90^\circ / 2 = 0.035 \angle 90^\circ \text{ PU}$$

$$Z_{EQ2} = Z_{EQ3} = Z_{EQ4} = 0.233 \angle 90^\circ / 0.233 \angle 90^\circ = 0.1165 \angle 90^\circ \text{ PU}$$

$$Z_{EQ5} = j0.025 + Z_{EQ1} = 0.06 \angle 90^\circ \text{ PU}$$



TRANSFORMANDO DE ESTRELLA A DELTA EN LOS PUNTOS INDICADOS:

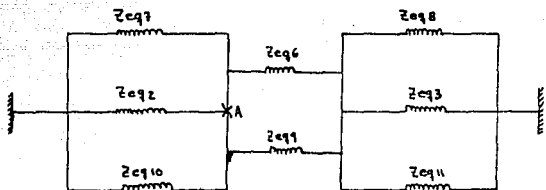
(VER APENDICE, ANEJO 3).

$$Z_{EQ6} = \left(\frac{0.0282 \angle 80.442^\circ}{0.0282 \angle 80.442^\circ} \right) \left(\frac{0.0282 \angle 80.442^\circ}{0.0282 \angle 80.442^\circ} \right) + \left(\frac{0.0282 \angle 80.442^\circ}{0.06 \angle 90^\circ} \right) \left(\frac{0.06 \angle 90^\circ}{0.0282 \angle 80.442^\circ} \right) \left(\frac{0.06 \angle 90^\circ}{0.0282 \angle 80.442^\circ} \right) / 0.06 \angle 90^\circ = 0.0706 \angle -102.236^\circ \text{ PU}$$

$$Z_{EQ7} = Z_{EQ8} = 0.00424 \angle -12.236^\circ / 0.1165 \angle 90^\circ = 0.15 \angle -92.68^\circ \text{ PU}$$

$$Z_{EQ9} = \left(\frac{0.007 \angle 80.442^\circ}{0.007 \angle 80.442^\circ} \right) \left(\frac{0.007 \angle 80.442^\circ}{0.007 \angle 80.442^\circ} \right) + \left(\frac{0.007 \angle 80.442^\circ}{0.1165 \angle 90^\circ} \right) \left(\frac{0.1165 \angle 90^\circ}{0.007 \angle 80.442^\circ} \right) \left(\frac{0.1165 \angle 90^\circ}{0.007 \angle 80.442^\circ} \right) / 0.1165 \angle 90^\circ = 0.014 \angle -99.02^\circ \text{ PU}$$

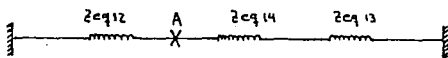
$$Z_{E10} = Z_{E11} = 0.014 \angle -9.68^\circ / 0.007 \angle 80.442^\circ = 0.228 \angle -90.02^\circ \text{ PU}$$



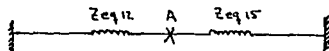
$$Z_{E12} = Z_{E13} = Z_{E7} // Z_{E2} // Z_{E10}:$$

$$\begin{aligned} Z_{E7} // Z_{E2} &= (0.15 \angle -92.68^\circ) (0.1165 \angle 90^\circ) / (0.15 \angle -92.68^\circ \\ &+ 0.1165 \angle 90^\circ) = 0.49 \angle -80.88^\circ \text{ PU} \\ &= ((0.49 \angle -80.88^\circ) (0.228 \angle -90.02^\circ)) / (0.49 \angle -80.88^\circ + 0.228 \angle -90.02^\circ) \\ &= 0.156 \angle 254.63^\circ \text{ PU} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{E14} = Z_{E6} // Z_{E9} &= (0.0706 \angle -102.236^\circ) (0.014 \angle -99.68^\circ) / (0.0706 \\ &\angle -102.236^\circ + 0.014 \angle -99.68^\circ) = 0.0115 \angle -280.842^\circ \text{ PU} \end{aligned}$$



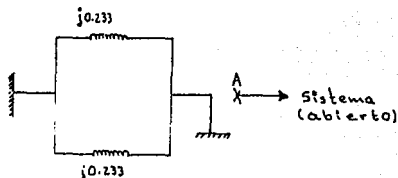
$$Z_{E15} = Z_{E13} + Z_{E14} = 0.156 \angle 254.63^\circ + 0.0115 \angle -280.842^\circ = 0.146 \angle 24.035^\circ \text{ PU}$$



$$Z_T = Z_{EQ12} // Z_{EQ15} = (0.156 \angle 254.65^\circ) (0.146 \angle 74.055^\circ) / (0.156 \angle 254.65^\circ + 0.146 \angle 74.055^\circ) = 0.076 \angle 254.365^\circ \text{ PU}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0.076 \angle 254.365^\circ \text{ PU}$$

PARA LA SECUENCIA CERO:



DE LO ANTERIOR, OBSERVAMOS QUE:

$$Z_0 = 0 \text{ PU}$$

PARA FALLA DE FASE A TIERRA:

DE LA ECUACION III.18:

$$I_F = 3E_{A1} / (Z_1 + Z_2 + Z_0) = 3(1) / ((2)0.076 \angle 254.365^\circ) = 19.737 \angle -105.645^\circ \text{ PU}$$

DE LA ECUACION III.4:

$$I_B = MV_{AB} \times 10^3 / (1.73 \text{ kV}) = 100 \times 10^3 / (1.73 \times 115) = 502 \text{ A}$$

DE LA ECUACION III.1:

$$I_{FAMP} = I_{FP} \times I_B = 19.742 \times 502 = 9.9 \text{ kA}$$

PARA FALLA TRIFASICA:

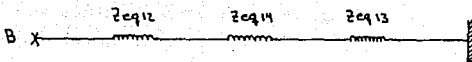
DE LA ECUACION III.25:

$$I_F = E_{A1} / Z_1 = 1 / 0.076 = 13.16 \text{ PU}$$

$$I_{FAMP} = 13.16 \times 502 = 6.607 \text{ kA}$$

PARA EL PUNTO B:

PARA SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA:



$$Z_T = Z_{EQ12} + Z_{EQ13} + Z_{EQ14} = (2)0.156 \angle 254.56^\circ + 0.0115 \angle -280.042^\circ$$

$$= 0.083 \angle 113^\circ \text{ PU}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0.083 \angle 113^\circ \text{ PU}$$

PARA LA SECUENCIA CERO TENEMOS QUE VIENDO LA FIGURA III.8 ES LA MISMA IMPEDANCIA QUE PARA EL PUNTO A:

$$Z_0 = 0.1165 \text{ PU}$$

PARA FALLA DE FASE A TIERRA:

$$I_F = 3 \cdot (2)0.083 \angle 113^\circ + 0.1165 \angle 90^\circ = 12.875 \angle -43.55^\circ \text{ PU}$$

$$I_B = 100 \times 10^{-3} \cdot (1.73 \times 23) = 2.51 \text{ kA}$$

$$I_{FAMP} = 2.51 \times 10^3 \times 12.875 = 32.32 \text{ kA}$$

PARA FALLA TRIFASICA:

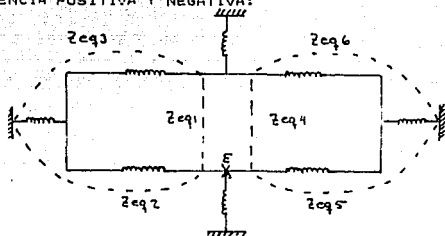
$$I_F = 1 / 0.083 \angle 113^\circ = 12.048 \angle -113^\circ \text{ PU}$$

$$I_{FAMP} = 12.048 \times 2.51 \times 10^3 = 30.24 \text{ kA}$$

DE LA FIGURA III.5 OBSERVAMOS QUE LOS VALORES DE FALLA DE FASE A TIEFRA Y TRIFASICA SERAN LOS MISMOS PARA LOS PUNTOS C Y D QUE LOS OBTENIDOS PARA LOS PUNTOS A Y B RESPECTIVAMENTE.

PARA EL PUNTO E:

PARA SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA:

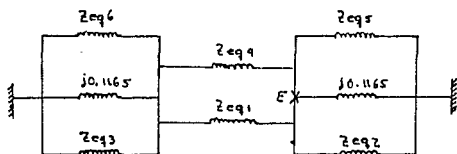


TRANSFORMANDO DE ESTRELLA A DELTA EN LOS PUNTOS INDICADOS:

$$Z_{E01} = Z_{E04} = \left(\frac{0.07 \angle 74.133}{0.0182 \angle 80.442} \right) + \left(\frac{0.007 \angle 74.133}{0.1165 \angle 90} \right) + \left(\frac{0.0282 \angle 80.442}{0.1165 \angle 90} \right) = 0.037 \angle -101.54 \text{ PU}$$

$$Z_{E02} = Z_{E05} = \frac{0.0043 \angle -11.57}{0.0282 \angle 80.442} = 0.152 \angle -92.012 \text{ PU}$$

$$Z_{E03} = Z_{E06} = \frac{0.0043 \angle -11.57}{0.007 \angle 74.133} = 0.614 \angle -85.703 \text{ PU}$$



$$Z_{E07} = Z_{E03} // Z_{E06} // 0.06 \angle 90 :$$

$$\begin{aligned} Z_{E03} // Z_{E06} &= \left(\frac{0.614 \angle 85.703}{2} \right) = 0.307 \angle 85.703 \text{ PU} \\ &= \left(\frac{0.307 \angle 85.703}{0.06 \angle 90} \right) // \left(\frac{0.307 \angle 85.703}{0.06 \angle 90} \right) \\ &= 0.0745 \angle 88.96 \text{ PU} \end{aligned}$$

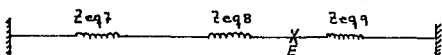
$$Z_{EQ8} = Z_{EQ1} // Z_{EQ4} = 0.037 \angle -101.57^\circ / 2 = 0.0185 \angle -101.57^\circ \text{ PU}$$

$$Z_{EQ9} = Z_{EQ2} // Z_{EQ5} // 0.1165 \angle 90^\circ :$$

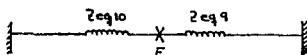
$$Z_{EQ2} // Z_{EQ5} = 0.152 \angle -92.012^\circ / 2 = 0.076 \angle -92.012^\circ \text{ PU}$$

$$= (0.076 \angle -92.012^\circ) (0.1165 \angle 90^\circ) / (0.076 \angle -92.012^\circ + 0.1165 \angle 90^\circ)$$

$$= 0.217 \angle 89.174^\circ \text{ PU}$$

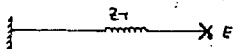


$$Z_{EQ10} = Z_{EQ7} + Z_{EQ8} = 0.0745 \angle 89.956^\circ + 0.0185 \angle -101.57^\circ = 0.0564 \angle 87.665^\circ \text{ PU}$$



$$Z_T = Z_{EQ10} // Z_{EQ9} = (0.217 \angle 89.174^\circ) (0.0564 \angle -87.665^\circ) / (0.217 \angle 89.174^\circ + 0.0564 \angle -87.665^\circ) = 0.075 \angle -84.864^\circ \text{ PU}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0.075 \angle -84.864^\circ \text{ PU}$$



PARA LA SECUENCIA CERO TENEMOS QUE EL VALOR DE Z_0 ES IGUAL A 0 PU.

PARA FALLA DE FASE A TIERRA:

$$I_F = 3 / ((2)0.075 \angle -84.864^\circ) = 20 \angle 4.864^\circ \text{ PU}$$

$$I_{FAMP} = 20 \cdot 502 = 10.04 \text{ KA}$$

PARA FALLA TRIFASICA:

$$IF=1/0.075=13.33 \text{ PU}$$

$$IFAMP=13.33 \times 502=6.7 \text{ kA}$$

PARA EL PUNTO F:

DEL DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITIVA PARA EL PUNTO A, VEMOS

QUE APLICANDO EL MISMO CRITERIO TENEMOS QUE:

$$Z1=Z2=0.083 \sqrt{13} \text{ PU}$$

$$Z0=0.1165 \sqrt{20} \text{ PU}$$

POR LO QUE TENDREMOS VALORES DE FALLA PARECIDOS:

FALLA DE FASE A TIERRA:

$$IFAMP=32.32 \text{ kA}$$

PARA FALLA TRIFASICA:

$$IFAMP=30.24 \text{ kA}$$

HACIENDO UNA TABLA DE LOS VALORES OBTENIDOS:

PUNTO	KVB	ICC	PCC	ICC	PCC
		10	10	30	30
		KA	MVA	KA	MVA
A	115	9.9	1972	6.6	1313
B	23	32.32	1286	30.2	1201
C	115	9.9	1972	6.6	1313
D	23	32.32	1286	30.2	1202
E	115	10.04	2000	6.7	1333
F	23	32.32	1286	30.2	1202

TABLA III.2.- VALORES DE CORTO CIRCUITO.

CAPITULO IV

DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION

EN LOS SEP'S, LA APLICACION DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SON NUMEROSAS QUE PUEDEN IR DESDE EL DISEÑO DE REDES DE TIERRA HASTA LA ELECCION DEL ULTIMO ELEMENTO QUE PUEDE SER EN CORTA CIRCUITO FUSIBLE; POR LO QUE SOLO TRATAREMOS SU APLICACION EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION.

IV.1.- SELECCION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

UNA BUENA SELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION HARA QUE NUESTRO SISTEMA SEA CONFIABLE EN CASO DE PRESENTARSE UNA FALLA. PARA SELECCIONAR CUALQUIER TIPO DE EQUIPO DEBEMOS TENER EN CUENTA VARIOS FACTORES COMO TENSION NOMINAL, CORRIENTE NOMINAL, CAPACIDAD INTERRUPTIVA ETC., QUE SEAN ACORDES A NUESTROS

REQUERIMIENTOS.

IV.1.1.- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC) ES EL DISPOSITIVO QUE NOS ALIMENTA PROPORCIONALMENTE UNA CORRIENTE MENOR A LA DEL CIRCUITO PARA PROTEGER AL PERSONAL Y AISLAR ELECTRICAMENTE DE LOS EQUIPOS PRIMARIOS LOS EQUIPOS DE PROTECCION Y MEDICION. PARA LA SELECCION DE UN TC SE DEBE TENER EN CUENTA:

a) TIPO.- EXISTEN DOS TIPOS DE TC'S, EL TIPO "BUSHING" QUE VIENE INTEGRADO AL EQUIPO PRIMARIO COMO SON TRANSFORMADORES E INTERRUPTORES Y, EL TIPO "DEVANADO" QUE ES REQUERIDO POR SEPARADO AL EQUIPO PRIMARIO.

b) AISLAMIENTO.-EL TIPO DE AISLAMIENTO UTILIZADO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION ES DE ACEITE O PORCELANA.

c) REALIZACION.- LOS TC'S PUEDEN ESTAR CONSTRUIDOS DE UNO O VARIOS CIRCUITOS SECUNDARIOS QUE TENGAN UNA FUNCION DEFINIDA. EN S.E.'S DE A.T. SON COMUN LOS CONSTRUIDOS CON VARIOS CIRCUITOS.

d) NBAI.- EL NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO SE BASA EN EL VOLTAJE NOMINAL DE AISLAMIENTO QUE DEBE SER MAYOR AL VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA. DICHO VOLTAJE SIRVE DE BASE A LA DETERMINACION DE TENSIONES DE PRUEBA.

e) CORRIENTE NOMINAL.- LA PRIMARIA SE SELECCIONA

GENERALMENTE CON EL VALOR NORMALIZADO SUPERIOR A LA CORRIENTE NOMINAL DEL SISTEMA (VER APENDICE, ANEXO 4), EN CIERTOS CASOS SE UTILIZA UNA DOBLE O TRIPLE RELACION PRIMARIA. LA SECUNDARIA ES UN VALOR NORMALIZADO EN 5 AMPERES, EN CIERTOS CASOS SE UTILIZA 1 AMPERE, COMO CUANDO EL ALAMBRADO DEL SECUNDARIO PUEDE REPRESENTAR UNA CARGA IMPORTANTE.

f) POTENCIA NOMINAL.- ES LA SUMA DE TODAS LAS POTENCIAS CONECTADAS EN SERIE Y TOMANDO EN CUENTA LA PERDIDA POR EFECTO JOULE DE LOS CONDUCTORES DE ALIMENTACION. PARA NORMAS ANSI SE TOMARA EL VALOR INMEDIATO SUPERIOR A LA CIFRA OBTENIDA.

g) CLASE Y PRECISION.- SEGUN ANSI, LA CLASE DE PRECISION ES EL ERROR MAXIMO PERMISIBLE EN %, QUE EL TRANSFORMADOR PUEDE INTRODUCIR EN LA MEDICION DE POTENCIA, (VER APENDICE, ANEXOS). PARA UN VALOR MAXIMO DEL 10% A 20 VECES LA CORRIENTE NOMINAL. PARA UN TC DE CIRCUITO MULTIPLE, LA CLASE ESTA DADA POR LA RELACION MAXIMA.

h) CORRIENTE LIMITE TERMICA.- ES EL VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE PRIMARIA QUE EL TC PUEDE SOPORTAR POR EFECTO JOULE, DURANTE UN SEGUNDO, SIN SUFRIR DETERIORO Y TENIENDO AL CIRCUITO SECUNDARIO EN CORTO CIRCUITO. SE EXPRESA EN kA EFICACES:

$$I_{term. ef.} (kA) = MVACC / (1.73KV) \dots IV.1$$

i) CORRIENTE LIMITE DINAMICA.- ES EL VALOR DE CRESTA DE LA PRIMERA AMPLITUD DE CORRIENTE QUE UN TC PUEDE SOPORTAR POR EFECTOS MECANICOS SIN SUFRIR DETERIORO, TENIENDO SU CIRCUITO

SECUNDARIO EN CORTO CIRCUITO. SU AMPLITUD SE EXPRESA EN LA CRESTA. POR ESTAR LOS BOBINADOS DEL TC SUJETOS A LAS LEYES DE AMPERE, TENEMOS QUE:

- 1) DOS CORRIENTES PARALELAS Y DE LA MISMA DIRECCION SE ATRAEN.
- 2) DOS CORRIENTES PARALELAS Y DE DIRECCION CONTRARIA SE REPELEN.
- 3) DOS CORRIENTES ANGULARES TIENDEN A COLOCARSE PARALELAMENTE Y EN LA MISMA DIRECCION.

$$I_{din. cresta} = 2.54 I_{term.} \dots IV.2$$

IV.1.2.- RELEVADORES.

LOS RELEVADORES DE PROTECCION REPRESENTAN UNA PARTE IMPORTANTE EN LOS SEP'S YA QUE SON LOS ENCARGADOS DE MANTENER UNA VIGILANCIA PERMANENTE DEL MISMO PARA DETECTAR CONDICIONES ANORMALES, ORDENANDO EN CONVENIENCIA, LAS ACCIONES PREVENTIVAS CONVENIENTES CON EL FIN DE ASEGURAR UNA OPTIMA CONTINUIDAD EN EL SERVICIO.

LA FUNCION DE LA PROTECCION POR RELEVADORES ES ORIGINAR EL RETIRO LO MAS RAPIDO POSIBLE DE CUALQUIER ELEMENTO DEL SISTEMA QUE PRESENTE UNA FALLA OCASIONADA POR CORTO CIRCUITO O CUANDO EMPIEZA A FUNCIONAR EN FORMA ANORMAL QUE PUEDA OCASIONAR UN DAÑO O INTERFIERA DE ALGUNA MANERA CON EL FUNCIONAMIENTO EFICAZ DEL SISTEMA.

LOS RELEVADORES ACTUAN SOBRE LOS INTERRUPTORES QUE SON LOS ENCARGADOS DE DESCONECTAR AL ELEMENTO DEFECTUOSO DEL SISTEMA CUANDO RECIBE LA SENAL DEL RELEVADOR.

PARA UNA CORRECTA SELECCION DE RELEVADORES HAY QUE TENER EN CUENTA EL TIPO DE PROTECCION REQUERIDA:

PROTECCION AL TRANSFORMADOR.

PROTECCION DE SOBRECORRIENTE.

PROTECCION A DISTANCIA.

EN EL PUNTO CORRESPONDIENTE ABARCAREMOS DICHOS PUNTOS. EN EL APENDICE, ANEXO 6 SE DA UNA CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION UTILIZADOS.

IV.1.3.- INTERRUPTORES.

ES EL DISPOSITIVO MECANICO QUE CONECTA O INTERRUMPE, UNA O REPETIDAS VECES. EN CONDICIONES NORMALES O ANORMALES DE TRABAJO, UN CIRCUITO ELECTRICO.

ESTA DISEÑADO BASICAMENTE PARA LLEVAR EN FORMA CONTINUA ALTAS CORRIENTES, INTERRUMPIR EN CONDICIONES DE SEGURIDAD LAS CORRIENTES DE FALLA Y SOPORTAR LOS ESFUERZOS ELECTROMECHANICOS DEBIDOS A ESTAS.

SU SELECCION SE BASA EN:

a) TIPO DE EXTINCION DEL ARCO.- AL OPERAR UN INTERRUPTOR SE

FORMA UN ARCO ELECTRICO EL CUAL DEBE SER EXTINGUIDO. SE CLASIFICAN EN:

A.1) VACIO

A.2) GAS.

A.3) ACEITE.

PARA TENSIONES DE 13.8 HASTA 115 KV SE UTILIZAN INTERRUPTORES EN VACIO Y EN ACEITE.

b) VOLTAJE NOMINAL.- ES LA TENSION A LA CUAL OPERA EL SISTEMA DONDE VA A SER COLOCADO.

c) VOLTAJE MAXIMO DE DISEÑO.- TIENE UN INCREMENTO SOBRE EL VOLTAJE NOMINAL DEL 3% PARA INTERRUPTORES DE 46 KV O MAS, Y DE 5 AL 10% PARA TENSIONES MENORES

d) CORRIENTE NOMINAL.- ES EL MAYOR VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE DE CARGA A 60 HZ QUE SE PUEDE CONDUCIR CONSTANTEMENTE CON UNA ELEVACION DE TEMPERATURA QUE NO EXCEDA LOS 30 GRADOS CENTIGRADOS EN ACEITE Y CONTACTOS, BASADA ESTA EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 40 GRADOS CENTIGRADOS Y UNA ALTITUD DE 1000 M.S.N.M. MAXIMA. PARA OPERAR A ALTITUDES MAYORES EL INCREMENTO DE TEMPERATURA MEDIDO DEBE SER MENOR QUE EL STANDAR ESPECIFICADO 2/10 DE 1% PARA CADA 100 METROS MAYOR QUE LA ALTITUD BASE.

e) CAPACIDAD INTERRUPTIVA.- ESTA DADA POR EL PRODUCTO DE MULTIPLICAR 1.73 POR LA TENSION NOMINAL EN KV POR LA CORRIENTE A INTERRUPTIR EN AMPERES A LA TENSION NOMINAL.

f) TIEMPOS DE OPERACION.- ES EL TIEMPO QUE TRANSCURRE DESDE

EL TIEMPO QUE RECIBE ENERGIA EL CIRCUITO DE CIERRE HASTA EL MOMENTO EN QUE LOS CONTACTOS DE ARQUEO SE TOCAN NUEVAMENTE, SE DIVIDEN EN:

- 4.1) TIEMPO DE APERTURA.
- 4.2) TIEMPO DE CIERRE.
- 4.3) TIEMPO DE RECIERRE.

IV.1.4.- RESTAURADORES.

ES UN DISPOSITIVO ELECTROMECHANICO HABILITADO PARA SENSIBILIZAR E INTERRUMPIR EN DETERMINADO TIEMPO, SOBRECORRIENTES EN UN CIRCUITO DEBIDAS A LA EVENTUALIDAD DE UNA FALLA, ASI COMO DE HACER RECIERRES AUTOMATICAMENTE Y REENERGIZAR EL CIRCUITO. EN CASO DE PERSISTIR LA FALLA, VUELVE A ABRIR, RECERRANDO NUEVAMENTE, ESTA SECUENCIA DE OPERACION SE LLEVA A CABO HASTA CUATRO OPERACIONES DE APERTURA, AL FINAL DE LAS CUALES QUEDARA BLOQUEADO. LA SECUENCIA REALIZA DOS IMPORTANTES FUNCIONES:

- a) PRUEBA LA LINEA PARA DETERMINAR SI LA CONDICION DE FALLA A DESAPARECIDO.
- b) DISCRIMINA LAS FALLAS TEMPORALES DE LAS FALLAS PERMANENTES.

LA SELECCION DE UN RESTAURADOR SE HACE AL IGUAL QUE PARA UN INTERRUPTOR.

IV.1.5.- SECCIONADORES.

ES UN DISPOSITIVO DE CARACTERISTICAS SIMILARES A LOS DEL RESTAURADOR, ES DECIR, A TRAVES DE UN CONTROL SENSIBLE LA FALLA PARA ACTUAR Y CUENTA EL NUMERO DE VECES QUE LA CORRIENTE ES INTERRUPTIDA POR UN DISPOSITIVO DE RESPALDO QUE GENERALMENTE ES UN RESTAURADOR. DESPUES DE UNA CANTIDAD ESPECIFICA DE RECIENTOS, EL SECCIONADOR ABRE SUS CONTACTOS CUANDO LA LINEA ESTA DESENERGIZADA.

SU SELECCION SE BASA AL IGUAL QUE PARA UN INTERRUPTOR. HAY QUE MENCIONAR QUE NO CUENTAN CON CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA FALLA, PERO SI PARA LA CORRIENTE DE CARGA, LO CUAL DISMINUYE SU COSTO EN COMPARACION CON OTRO EQUIPO.

IV.1.6.- CORTA CIRCUITO FUSIBLE.

EL LISTON FUSIBLE ES UN ELEMENTO DE ALEACION METALICA QUE POR EFECTO TERMICO SE FUNDE AL PASO DE UNA CORRIENTE ELECTRICA SUPERIOR A UN VALOR PREDETERMINADO. NO DISTINGUE EL TIPO DE FALLA (TRANSITORIA, TEMPORAL O PERMANENTE) Y PARA REANUDAR EL SERVICIO HAY QUE CAMBIARLO.

EL ELEMENTO PORTA FUSIBLE COMPLETA AL CORTA CIRCUITO FUSIBLE Y SU FUNCION BASICA CONSISTE EN LIMITAR EL ARCO PRODUCIDO AL

FUNDIRSE EL FUSIBLE.

SE SELECCIONA AL IGUAL QUE UN INTERRUPTOR, EN DONDE EL TIPO SE REFIERE AL TIPO DE MATERIAL UTILIZADO PARA SU ELABORACION.

NOTA.- HAY QUE HACER NOTAR QUE PARA INTERRUPTORES, RESTAURADORES Y SECCIONADORES ELECTRONICOS HAY QUE ENERGIZARLOS CON CORRIENTE DIRECTA YA SEA EN 110 O 250 VOLTS.

IV.2.- COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

LA COORDINACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCION VA DESDE LA S.E. HASTA EL ULTIMO "BOTE" DE LA RED DE DISTRIBUCION PARA LA UTILIZACION DE LA ENERGIA ELECTRICA.

PODEMOS DIVIDIR POR LO TANTO DICHA COORDINACION EN DOS PARTES:

- a) EN SUBESTACIONES ELECTRICAS.
- b) EN PEDES DE DISTRIBUCION.

IV.2.1.- EN SUBESTACIONES.

EXISTEN DOS TIPOS DE COORDINACION EN BASE A LA CAPACIDAD DEL

BANCO DE TRANSFORMACION:

1.- PROTECCION FUSIBLE-RELEVADOR.- SE EMPLEA ESTE SISTEMA DE PROTECCION EN S.E.'s. EN QUE SUS BANCOS DE TRANSFORMACION SON DE CAPACIDAD MENOR A 12000 KVA (12MVA) Y NO SE JUSTIFICA EL EMPLEO DE UN INTERRUPTOR EN EL LADO DE A.T. EL DIAGRAMA UNIFILAR MOSTRADO EN LA FIGURA IV.1 REPRESENTA A DICHA PROTECCION.

DICHA PROTECCION LA PODEMOS DIVIDIR EN:

a) PROTECCION AL TRANSFORMADOR.- LOS TRANSFORMADORES CUENTAN PARA SU PROTECCION INTERNA DE LOS SIGUIENTES RELEVADORES:

DE NIVEL (71Q)

DE PRESION (63P)

TERMICOS DE LIQUIDO (26Q)

TERMICO DE DEVANADO (49T)

DICHOS RELEVADORES NO ACTUAN SOBRE EL INTERRUPTOR (52) DE B.T., SINO QUE ESTAN CONECTADOS A LAS ALARMAS EN EL TABLERO DE CONTROL. EL FUSIBLE DE POTENCIA ES EL QUE REALMENTE PROTEGE AL TRANSFORMADOR Y LO AISLA EN CASO DE FALLA, ADEMAS DE RESPALDAR LA FUNCION DE LOS RELEVADORES DE B.T.

b) PROTECCION DE SOBRECORRIENTE.- LOS RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE DE FASE (51) QUE OPERAN SOBRE EL INTERRUPTOR DEL BANCO DEL LADO DE B.T., PROTEGERAN AL TRANSFORMADOR DE SOBRECARGAS SOSTENIDAS, EVITANDO QUE OPEREN LOS FUSIBLES DE POTENCIA CUYO COSTO ES ELEVADO Y EL TIEMPO DE REPOSICION LARGO PARA ESTAS ANOMALIAS QUE NO SON INTERNAS. OTRA DE SUS FUNCIONES

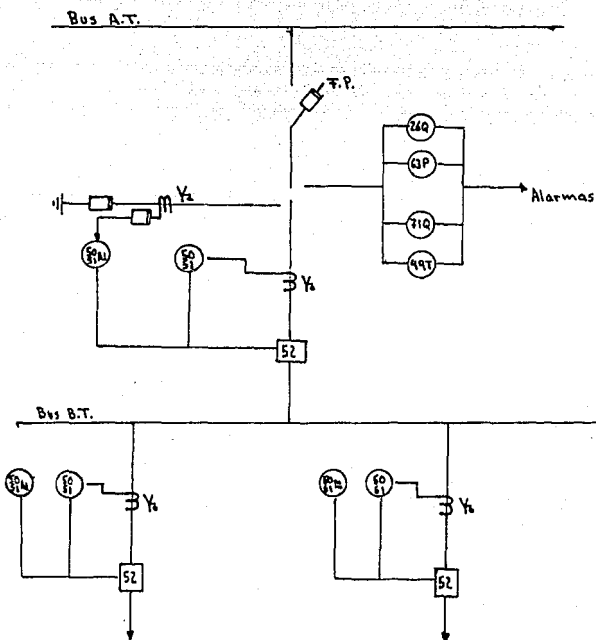


FIG. IV.1.- PROTECCION FUSIBLE-RELEVADOR.

ES LA DE RESPALDAR LAS FUNCIONES DE LOS RELEVADORES DE FASE (50/51) DE LOS CIRCUITOS, PARA EL CASO DE QUE ESTAS NO OPERARAN

CON FALLA EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO. EL RELEVADOR 51 DEL INTERRUPTOR DE B.T. DEBE AJUSTARSE PARA UN PICK UP MAXIMO DEL 200% DE LA CAPACIDAD NOMINAL DEL TRANSFORMADOR Y SU TIEMPO PARA FALLA EN LA BARRA DE B.T. DEBERA TENER DE 0.3 A 0.4 SEGUNDOS MAS QUE EL TIEMPO DE OPERACION DEL ESQUEMA DE PROTECCION DEL ALIMENTADOR.

EL RELEVADOR DE FALLA A TIERRA (51N) DEL DEVANADO DE B.T. DEL TRANSFORMADOR DEBE CONECTARSE DEL TC DEL NEUTRO DEL TRANSFORMADOR. SU FUNCION ES DESPEJAR LAS FALLAS EN EL BUS DE B.T. Y RESPALDAR LA OPERACION DE LOS RELEVADORES DE FALLA A TIERRA DE LOS ALIMENTADORES. EL RELEVADOR 51N DEL TRANSFORMADOR ES POSIBLE AJUSTARLO A UN VALOR DE ENTRE EL 10 Y EL 70% DE LA CORRIENTE DE CARGA, YA QUE NO SE VE AFECTADO POR ESTA. EL TIEMPO DE OPERACION DEBERA SELECCIONARSE EN FORMA SIMILAR AL DE LOS RELEVADORES DE FASE. EL RELEVADOR DE RECIERRE (79) PRECISAMENTE SIRVE PARA EL CASO DE QUE ABRA EL INTERRUPTOR VOLVER A CERRARLO UN NUMERO DETERMINADO DE VECES Y EN CASO DE PERSISTIR LA FALLA DEJAR AL INTERRUPTOR ABIERTO.

2.- PROTECCION RELEVADOR-RELEVADOR.- ESTE SISTEMA ES EMPLEADO GENERALMENTE PARA BANCOS DE TRANSFORMACION SUPERIORES A LOS 12000 KVA (12MVA). EN LA FIGURA IV.2 SE MUESTRA EL DIAGRAMA UNIFILAR PARA DICHA PROTECCION.

A CONTINUACION DAMOS LOS TIPOS DE PROTECCION UTILIZADOS EN ESTE TIPO DE PROTECCION:

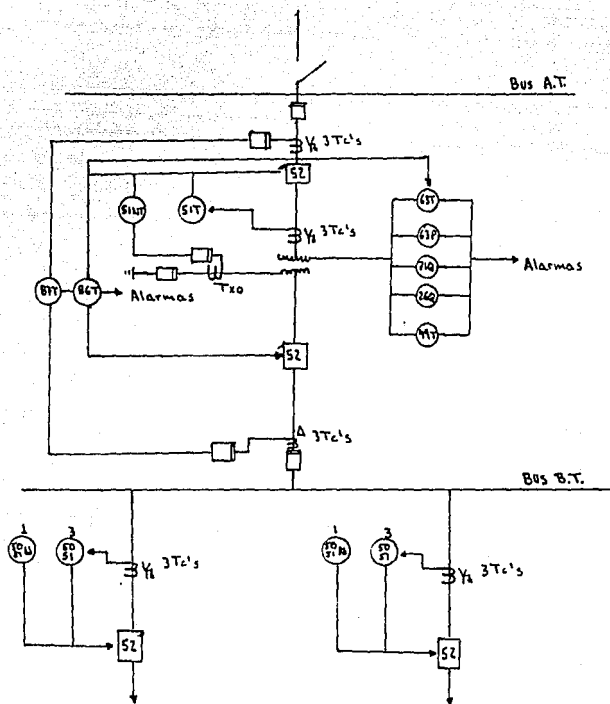


FIG. IV. 2. - PROTECCION RELEVADOR-RELEVADOR.

a) PROTECCION AL TRANSFORMADOR.- PARA SU PROTECCION INTERNA SE UTILIZAN LOS SIGUIENTES RELEVADORES:

DE NIVEL (71Q)

DE PRESION (63P)

DE FLUJO Y PRESENCIA DE GASES (63T)

TERMICO DE LIQUIDO (269)

TERMICO DE DEVANADO (49T)

LOS TRES PRIMEROS OPERAN SOBRE EL INTERRUPTOR DE A.T., DESENERGICANDO AL TRANSFORMADOR. LOS DOS RESTANTES ACTUAN DE MANERA PREVENTIVA DANDO LA SEÑAL DE ALARMA PARA QUE SE ELIMINE LA CAUSA DE SU OPERACION.

b) PROTECCION DIFERENCIAL.- PARA SU PROTECCION EXTERNA SE CUENTA CON EL ESQUEMA LLAMADO PROTECCION DIFERENCIAL DEL TRANSFORMADOR (87). ESTOS RELEVADORES OPERAN BAJO UNA DIFERENCIA DE CORRIENTE. BRINDAN UNA PROTECCION MAS EFICIENTE YA QUE SU ZONA DE OPERACION ESTA RESTRINGIDA AL AREA DEFINIDA POR LOS TC'S UBICADOS EN LOS EXTREMOS DEL EQUIPO PROTEGIDO, LOS TC'S DEBEN SER EXCLUSIVOS PARA ESTA PROTECCION.

DICHOS RELEVADORES COMPARAN SUS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA SIN INVOLUCRAR CONDICIONES EXTERNAS. EL DISPARO DE DICHO RELEVADOR DEBE HACERSE A TRAVES DE UN RELEVADOR AUXILIAR (86) DE CONTACTOS MULTIPLES Y REPOSICION MANUAL QUE TENGA LOS CONTACTOS NECESARIOS PARA DISPARAR A LOS INTERRUPTORES ASOCIADOS Y BLOQUEAR EL CIERRE DE LOS MISMOS, DE MANERA QUE EVITEN UN CIERRE

IMPRUDENCIAL.

3) PROTECCION DE SOBRECORRIENTE. - LA PROTECCION DE SOBRECORRIENTE (SI) DEL TRANSFORMADOR ES SIMILAR A LA MENCIONADA EN EL PUNTO CORRESPONDIENTE DEL ESQUEMA RELEVADOR-FUSIBLE, SOLO QUE AQUI APARECE EN EL LADO DE A.T. LA PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA (SIN) ES IGUAL.

PARA UNA OPERACION CONFIABLE DEL ESQUEMA DEBEMOS CONSIDERAR:

a) DIFERENCIAS EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS TC'S (MAGNETIZACION Y SATURACION).

b) EL PORCIENTO DE ERRORES DE LA RELACION DE CORRIENTES SECUNDARIAS A LOS TAPS DE AJUSTE DE LOS RELEVADORES (MISMATCH):

$$M = \left(\left(\frac{IL}{IH} \right) - \left(\frac{TL}{TH} \right) \right) / S \times 100 \dots V.3$$

DONDE: IL, IH SON CORRIENTES EN EL SECUNDARIO QUE ENTRAN AL RELEVADOR DE LOS TC'S DE A.T. Y B.T.

TL, TH SON LOS TAPS DE AJUSTE DEL RELEVADOR PARA CORRIENTES SECUNDARIAS DE A.T. Y B.T.

S ES EL MENOR DE LOS TERMINOS.

c) RELACION VARIABLE DE TRANSFORMACION (CAMBIADOR DE TAPS DEL TRANSFORMADOR).

d) CORRIENTE DE MAGNETIZACION DEL TRANSFORMADOR.

LOS TRES PRIMEROS PUNTOS SE PRESENTAN PARA FALLAS EXTERNAS, LA OPERACION ERRONEA DE UN RELEVADOR DIFERENCIAL DEBE EVITARSE VERIFICANDO QUE EL ERROR SEA MENOR AL 10% PARA EL VALOR MAXIMO DE FALLA EXTERNA Y DANDO UN MARGEN DE SEGURIDAD DEL 5 AL 15%

ADICIONAL AL PORCIENTO DE PENDIENTE CALCULADO.

EL CUARTO PUNTO APARECE COMO UNA FALLA INTERNA DE LOS RELEVADORES DIFERENCIALES, SU VALOR PICO PUEDE LLEGAR A SER 8 O 10 VECES LA CORRIENTE NOMINAL, SU VALOR MAXIMO ES ALCANZADO CUANDO EL TRANSFORMADOR SE ENERGIZA ESTANDO EL VOLTAJE CERCANO AL VALOR CERO, DECAYENDO RAPIDAMENTE EN LOS PRIMEROS CICLOS Y LUEGO LENTAMENTE TARDANDO DE 4 A 5 SEGUNDOS PARA ALCANZAR SU VALOR FINAL.

LA PROTECCION DEL ALIMENTADOR PRIMARIO ES DE GRAN IMPORTANCIA. GENERALMENTE OPERAN LAS S.E.'s EN FORMA RADIAL Y EN CASO DE EXISTIR ANILLOS, ESTOS ESTAN NORMALMENTE ABIERTOS OPERANDO COMO CIRCUITOS RADIALES ALIMENTANDO LA CARGA DE DIFERENTES SUBESTACIONES. LA PROTECCION AL ALIMENTADOR POR LO GENERAL ES LA DE SOBRECORRIENTE, CON UN ESQUEMA FORMADO POR TRES RELEVADORES A TRAVES DE IGUAL NUMERO DE TC's, CUYOS SECUNDARIOS SE CONECTAN EN ESTRELLA Y UN RELEVADOR RESIDUAL QUE, COMO SU NOMBRE LO INDICA, SE CONECTA AL NEUTRO COMUN DE LA ESTRELLA FORMADA. ESTE ESQUEMA CUENTA SIEMPRE CON UNIDADES DE SOBRECORRIENTE DE DISPARO INSTANTANEO (50). TAMBIEN DEBE CONTAR CON UN RELEVADOR DE RECIERRE (79) PARA RECERRAR EL INTERRUPTOR CUANDO ESTE ABRA POR ACCION DE LOS RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE POR UNA FALLA TRANSITORIA.

IV.2.2.- EN REDES.

LOS LINEAMIENTOS BASICOS PARA LA COORDINACION DE PROTECCIONES EN REDES AEREAS TOMANDO EN CUENTA QUE HASTA UN 88% DE LAS FALLAS SON TRANSITORIAS, 7% TEMPORALES Y 5% PERMANENTES SON:

a) EL PRIMER PUNTO LOGICO A PROTEGER ES LA SALIDA DEL ALIMENTADOR.

b) IDEALMENTE EL ORIGEN DE CADA RAMAL DEBERIA CONSIDERARSE COMO PUNTO DE SECCIONADOR, CON EL OBJETO DE LIMITAR EL RETIRO DEL SERVICIO AL MENOR SEGMENTO PRACTICO DEL SISTEMA.

c) SE DEBE TOMAR EN CUENTA LA FACILIDAD DE ACCESO AL EQUIPO DE PROTECCION QUE SE INSTALE.

d) LA DECISION DEFINITIVA SOBRE EL GRADO DE PROTECCION DEBE QUEDAR SUJETA A UNA EVALUACION TECNICO-ECONOMICA QUE TOMA EN CUENTA LA INVERSION INICIAL EN LOS EQUIPOS CONTRA LOS AHORROS Y BENEFICIO A LARGO PLAZO.

LA COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN REDES AEREAS SON:

PROTECCION A DISTANCIA.- SE UTILIZA PARA LAS L.T., SE UTILIZAN RELEVADORES DE DISTANCIA, CUYO PRINCIPIO DE OPERACION ES TAL QUE SU TIEMPO DE OPERACION ES PROPORCIONAL A LA DISTANCIA EN QUE SE PRODUCE LA FALLA, DE MANERA TAL QUE PARA UN CORTO CIRCUITO EN ALGUN PUNTO DE LA RED, LOS RELEVADORES QUE ESTAN CERCANOS A LA FALLA OPERAN PRIMERO QUE AQUELLOS QUE SE ENCUENTRAN

MAS ALEJADOS. SE LES CLASIFICA CON EL NUMERO 21. ESTE TIPO DE PROTECCION OFRECE VENTAJAS EN LAS L.T. DE MEDIA Y A.T., PROPORCIONANDO EN FORMA AUTOMATICA LA PROTECCION DE RESPALDO A LAS SECCIONES ADYACENTES. DICHA PROTECCION SE PUEDE HACER A BASE DE RELEVADORES DE IMPEDANCIA O ADMITANCIA BASICAMENTE, LO QUE A CONTINUACION SE DESARROLLA CORRESPONDE A LA APLICACION DE RELEVADORES TIPO IMPEDANCIA.

LA IMPEDANCIA AL RELEVADOR DE DISTANCIA SE PUEDE REFERIR A LA POTENCIA TRIFASICA DE CORTO CIRCUITO EXPRESADA EN KVA O MVA:

$$Z(\text{AJUSTE DEL RELEVADOR}) = Z_{SEC} / \cos(\beta - \theta) \dots \text{IV.4}$$

DONDE: Z_{SEC} ES LA IMPEDANCIA MEDIA O APARENTE EN LAS TERMINALES DEL RELEVADOR Y ES IGUAL A:

$$Z_{SEC} = (1000KV/KVA)(RC/RV) \dots \text{IV.5}$$

O BIEN:

$$Z_{SEC} = Z_{PRI}(RC/RV) \dots \text{V.6}$$

β ES EL ANGULO DE LA IMPEDANCIA.

θ ES EL ANGULO CARACTERISTICO DEL RELEVADOR (PARA 115 KV=60).

ESTE TIPO DE PROTECCION SE LLEVA A CABO POR TRAMOS EN LAS LINEAS, YA SEA EN UN 80, 100 O 120%, CON EL FIN DE TRASLAPAR LAS PROTECCIONES Y QUE EXISTA UNA PROTECCION DE RESPALDO Y UNA PRIMARIA, COMO SE OBSERVA EN LA FIGURA IV.3 QUE SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE PAGINA.

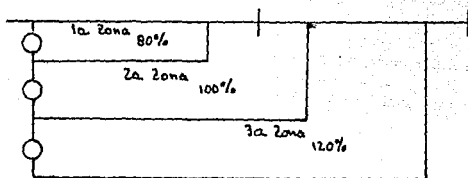


FIG. IV.3.- PROTECCION A DISTANCIA

DE LA ECUACION IV.6 TENEMOS QUE LA ZPRI ES IGUAL A:

$$ZPRI = (\% \text{ ALCANCE}) (\text{LONGITUD}) (\text{IMP. DEL TRAMO}) \dots \text{IV.7}$$

PROTECCION INTERRUPTOR-RESTAURADOR. - AQUI, EL INTERRUPTOR ACTUA COMO RESPALDO Y NORMALMENTE SE ENCUENTRA DENTRO DE LA S.E., COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA:

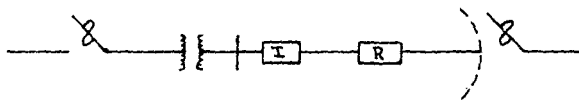


FIG. IV.4.- PROTECCION INTERRUPTOR-RESTAURADOR

DONDE CABE MENCIONAR LO SIGUIENTE:

- a) UN INTERRUPTOR ABRE Y DESPEJA LA FALLA VARIOS CICLOS DESPUES DE QUE SU RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE OPERA.

b) EL TIEMPO DE REPOSICION DEL RELEVADOR ES EXTREMADAMENTE LARGO Y SI LA CORRIENTE DE FALLA SE REAPLICA ANTES DE QUE EL RELEVADOR SE REPONGA COMPLETAMENTE, ESTE AVANZA NUEVAMENTE HACIA EL PUNTO DE CIERRE DESDE LA POSICION DE REPOSICION INCOMPLETA. LA CURVA CARACTERISTICA ACUMULATIVA DEL RESTAURADOR NO DEBE CRUZARSE CON LA DEL INTERRUPTOR Y POR LO TANTO, HAY POSIBILIDAD DE COORDINACION.

c) LA DISTANCIA MINIMA ENTRE EL INTERRUPTOR Y EL RESTAURADOR ES DE 3 KM; O BIEN, ELIMINAR UNA OPERACION LENTA DEL RESTAURADOR.

d) ES CONVENIENTE DEJAR UN TIEMPO ENTRE 0.3 A 0.4 SEGUNDOS ENTRE LA CURVA ACUMULATIVA DEL RESTAURADOR Y LA CARACTERISTICA DEL RELEVADOR, COMO SE OBSERVA EN LA FIGURA:

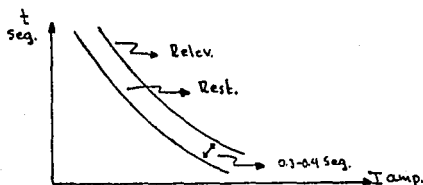


FIG. IV.5.- TIEMPO ENTRE RELEVADOR Y RESTAURADOR

PROTECCION RESTAURADOR-SECCIONADOR .- LA REGLA PARA LA COORDINACION RESTAURADOR-SECCIONADOR, ES AJUSTAR ESTE ULTIMO A

UNA CUENTA MENOR QUE EL RESTAURADOR Y CADA SECCIONADOR ADICIONAL EN SERIE, DEBERA SER AJUSTADO A UNA CUENTA MENOS, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA:

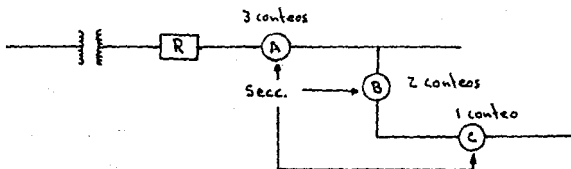


FIG. IV.6.- PROTECCION RESTAURADOR-SECCIONADOR

LA SUMA DE LOS TIEMPOS DE CORTE Y RECIERRE DEL RESTAURADOR, NO DEBEN EXCEDER EL TIEMPO DE MEMORIA DEL SECCIONADOR.

PROTECCION RELEVADOR-SECCIONADOR-FUSIBLE.- LA SECUENCIA DE COORDINACION ES COMO SIGUE:

a) TODAS LAS OPERACIONES DEL RESTAURADOR DEBEN SER MAS RAPIDAS QUE LA CURVA MINIMA DE FUSION DEL FUSIBLE. ADEMAS LA SECUENCIA DE OPERACION DEL RESTAURADOR Y EL INTERVALO DE RECIERRE DEBEN SER CONSIDERADOS.

b) EL RESTAURADOR Y SECCIONADOR SE COORDINAN COMO FUE DESCRITO EN LA PROTECCION RESTAURADOR-SECCIONADOR.

EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA EL ESQUEMA CORRESPONDIENTE:

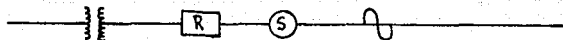


FIG. IV.7.- PROTECCION RESTAURADOR-SECCIONADOR-FUSIBLE

IV.3.- EJEMPLO.

TOMANDO NUESTRO EJEMPLO DE CORTO CIRCUITO, IMPLEMENTAREMOS LOS SISTEMAS DE PROTECCION ACORDES. EL DIAGRAMA UNIFILAR ES EL SIGUIENTE: (OBSERVESE QUE HEMOS PUESTO INTERRUPTORES EN EL LADO DE A.T. Y B.T., ASI COMO EN LAS SALIDAS DE LAS L.T.). EN LA FIGURA IV.8 SE MUESTRA DICHA REPRESENTACION.

COMO SABEMOS TODOS LOS TRANSFORMADORES SON MAYORES A 12 MVA; POR LO QUE, LA PROTECCION USADA EN LAS S.E.'s SERA LA DE RELEVADOR-RELEVADOR. COMO OBSERVAMOS DE LA TABLA DE VALORES DE CORTO CIRCUITO, EL PROCEDIMIENTO PARA LA COORDINACION DE LAS PROTECCIONES SERA LA MISMA PARA LAS TRES S.E.'s TEPEJI, POR LO QUE EL DIAGRAMA UNIFILAR REPRESENTADO EN LA FIGURA IV.9 SERA PARA LAS TRES SUBESTACIONES.

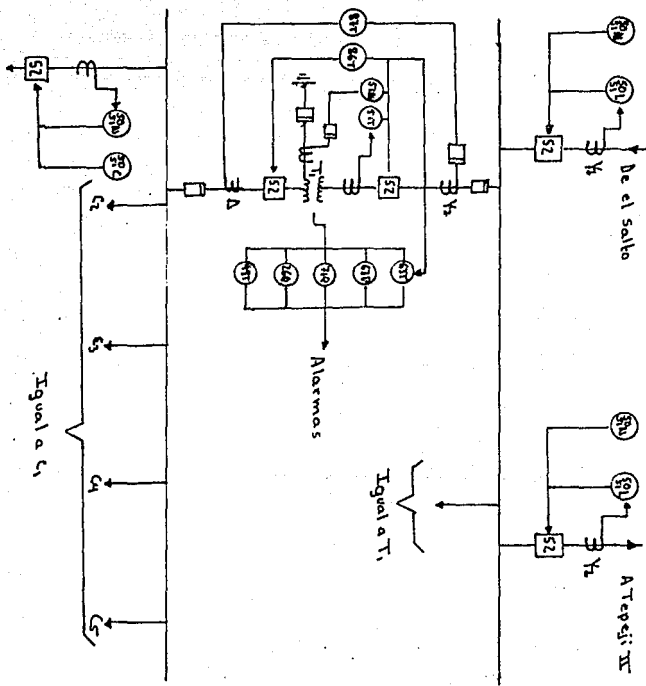


FIG. IV.9.- PROTECCIONES EN SUBESTACIONES TEPEJI.

SOLUCION.

A CONTINUACION SE HARAN LOS CALCULOS NECESARIOS PARA:

1.- PROTECCION DIFERENCIAL 87I.

SE TIENE EL SIGUIENTE DIAGRAMA:

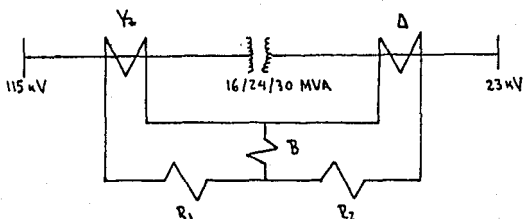


FIG. IV.10.- PROTECCION DIFERENCIAL

DONDE: $(I_{r1}/I_{r2}) = (R1/R2)$ IV.6

PRIMERAMENTE SE DETERMINAN LAS CORRIENTES DEL TRANSFORMADOR A SUS DIFERENTES CAPACIDADES POR MEDIO DE LA FORMULA:

$$I = \text{MVA} / (1.73 \times \text{kV}) \dots \text{IV.7}$$

TANTO PARA A.T. COMO PARA B.T. A CONTINUACION SE DETERMINAN LAS RELACIONES DE TRANSFORMACION PARA A.T. Y B.T. DESPUES SE CALCULAN LAS CORRIENTES SECUNDARIAS POR MEDIO DE:

$$I_S = I \text{ A.T.} / \text{RTC} \dots \text{IV.8}$$

PARA CONEXION ESTRELLA.

$$IS=(IA.T.\times 1.73)/RTC \dots IV.9$$

PARA CONEXION DELTA.

LOS AMPERES EN EL RELEVADOR SE TOMAN IGUALES PARA A.T. Y B.T. QUE PARA LA ORRIENTE SECUNDARIA. LA CORRIENTE MAXIMA DE FALLA SECUNDARIA SE CALCULA COMO:

$$IF=IFMAYOR/RTC \dots IV.10$$

PARA CONEXION ESTRELLA.

$$IF=(IFMAYOR\times 1.73)/RTC \dots IV.11$$

PARA ESTE TIPO DE RELEVADOR SE TIENEN LOS SIGUIENTES TAPS DE AJUSTE:

2.9, 3.2, 3.5, 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 6.7

GENERALMENTE SE SELECCIONA EL TAP MAS ALTO PARA LA MAYOR CORRIENTE Y POR REGLA DE 3 SE OBTIENE EL OTRO:

$$TB=(TSEL\times ISB.T.)/ISA.T. \dots IV.12$$

PARA VERIFICAR EL PORCIENTO DE ERROR, SE UTILIZA LA ECUACION IV.3 ADAPTANDOLA A LA RELACION DE CORRIENTES SECUNDARIAS Y TAPS DE AJUSTE (MISMATCH):

$$M=((ISB.T.)/ISA.T.)-(TB/TA))/S \dots IV.13$$

DONDE: $S=TB/TA \dots IV.14.$

COMO SABEMOS EL VALOR DE M DEBE SER MENOR AL 5%.

DANDO LOS VALORES OBTENIDOS EN FORMA DE TABLA Y QUE SE MUESTRAN EN LA PAGINA SIGUIENTE:

IMVA	KV	IPRI	RTC	ISEC	IRELE	IMAXF	M	TAPS
		A		A	A	A	%	
30	115	157.6	40	3.94	3.94	247.5		4.2
							3.6	
	23	728.6	160	7.87	7.87	107.4		8.7

TABLA IV.1.- VALORES PARA PROTECCION DIFERENCIAL

2.- PROTECCION DE SOBRECORRIENTE SIT.

AJUSTANDO PARA QUE DICHA PROTECCION COORDINE CON EL INTERRUPTOR 52 DE A.T.

TENEMOS QUE:

$$I_{N(A.T.)} = 157.6 \text{ A}$$

SE FIJA EL PICK UP AL 200%

$$I \text{ PICK UP} = (200\%) (157.6)$$

$$= 315.2 \text{ A}$$

EL TC ESTA CONECTADO EN ESTRELLA ATERRIZADA Y SE DEBEN CUMPLIR LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

- A CORRIENTE MAXIMA DE CARGA, LA CORRIENTE SECUNDARIA NO DEBE SER MAYOR A 5 AMPERES.
- A CORRIENTE MAXIMA DE FALLA, LA CORRIENTE MAXIMA SECUNDARIA NO DEBE SER MAYOR A 100 AMPERES.

RESOLVIENDO:

$$I \text{ NOM. MAX.} = MV_{MAX} / (1.73 \times KV) \dots IV.16$$

$$I \text{ NOM. MAX.} = 36 \times 10^6 / (1.73 \times 110 \times 10^3)$$

$$= 190 \text{ A}$$

$$RTC = IF_{MAX.} / 100 \dots \text{IV.17}$$

$$RTC = 9.9 \text{ kA} / 100 = 99$$

PARA QUE LA CORRIENTE EN EL SECUNDARIO NO SEA MAYOR A 5:

$$99 \times 5 = 495 \text{ A}$$

SELECCIONANDO LA RTC DE ACUERDO CON ESTE VALOR:

$$RTC = 600 / 5 = 120$$

POR LO QUE:

$$190 / 120 = 1.58 \text{ A}$$

$$9.9 \text{ kA} / 120 = 82.5 \text{ A}$$

CON LO QUE SE CUMPLEN LAS CONDICIONES a y b, POR LO QUE LA RTC ES IGUAL A 120.

PARA SELECCIONAR EL TAP TENEMOS:

$$TAP = I \text{ PICK UP} / RTC \dots \text{IV.18}$$

$$TAP = 315.2 / 120 = 2.6$$

ESTE TIPO DE RELEVADOR CUENTA CON LOS SIGUIENTES TAPS DE AJUSTE:

4, 5, 6, 8, 10, 12, 16

TOMANDO EL MAS CERCANO:

$$TAP = 4$$

CON LO QUE PODEMOS DEFINIR EL VALOR EXACTO DE PICK UP:

$$I \text{ PICK UP} = (TAP) (RTC) \dots \text{IV.19}$$

$$I \text{ PICK UP} = (4) (120) = 480 \text{ A}$$

CORRESPONDIENDO AL:

$$(480/157.6) \times 100 = 304.6\%$$

DE LA CORRIENTE NOMINAL DEL TRANSFORMADOR.

PARA RESPALDAR LA OPERACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA FALLA EN EL BUS DE B.T. QUE ESTEAN FUERA DE LA PROTECCION DIFERENCIAL, DEBEMOS LIBERAR UNA FALLA DE ESTAS EN UN TIEMPO MAXIMO DE 0.6 SEGUNDOS, PARA QUE COORDINE CON LOS DISPOSITIVOS MENCIONADOS.

LA CORRIENTE DE FALLA TRIFASICA EN EL BUS DE B.T. ES:

$$ICC = 30.04 \text{ KA}$$

REFERIDA A 115 KV:

$$ICC = 30.04 (23.8/110) = 6.5 \text{ KA}$$

OBTENIENDO MT:

$$MT = ICC / (TAP \times RTC) \dots IV.20$$

$$MT = 6.5 \text{ KA} / (4 \times 120) = 13.54 \text{ A}$$

ENTRANDO A TABLAS VEREMOS EL VALOR PARA EL TIEMPO EN SEGUNDOS PARA UNA MT APROXIMADA A ESTE VALOR.

PARA LOS AJUSTES OBTENIDOS ES NECESARIO VERIFICAR SI EXISTE COORDINACION CON LA PROTECCION DE LAS L.T. L1 Y L2, ADEMÁS DE LOS CIRCUITOS C1, C2, C3, C4, Y C5.

PARA FALLA TRIFASICA EN A.T.:

$$ICC = 6.6 \text{ KA}$$

$$MT = 6.6 \text{ KA} / (4 \times 120) = 13.75 \text{ A}$$

ENTRAMOS A TABLAS PARA VER EL VALOR EN SEGUNDOS PARA UNA MT APROXIMADA A ESTE VALOR.

3.- PROTECCION DE SOBRECORRIENTE SINT.

SE SIGUE EL MISMO PROCEDIMIENTO, SOLO QUE AQUI SE TOMA EL 40% DE LA CORRIENTE NOMINAL DEL TRANSFORMADOR Y COMO SE ENCUENTRA CONECTADO EN EL LADO DE B.T. SE TOMA 23.6 KV.

$IN(B.T.)=728.615 \text{ A}$

$I \text{ FIC} = IP = (0.4)(728.615) = 291.5 \text{ A}$

SELECCIONANDO RTC:

$RTC = 72.32 \text{ KA} / 100 = 323.2$

PARA QUE LA CORRIENTE NO SEA MAYOR A 5 AMPERES:

$323.2 \times 5 = 1616 \text{ A}$

POR LO QUE LA RTC SERA:

$RTC = 2000 / 5 = 400$

COMPROBANDO SI CUMPLE CONDICIONES a Y b:

$874.4 / 400 = 2.18 \text{ A}$

$32.32 \text{ KA} / 400 = 80.8 \text{ A}$

POR LO QUE SI SE CUMPLEN.

SELECCIONANDO EL TAP:

$TAP = 291.5 / 400 = 0.73$

ESTE TIPO DE RELEVADOR CUENTA CON LOS SIGUIENTES TAPS DE AJUSTE:

0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5 Y 2.0

TOMANDO EL MAS CERCAÑO:

$TAP = 0.8 \text{ A}$

ESTE RELEVADOR DEBERA RESPALDAR LAS FALLAS A LA SALIDA DE

LOS ALIMENTADORES DE B.T., POR LO QUE DEBERA LIBRAR LA FALLA EN 0.6 SEGUNDOS COMO MAXIMO.

CORRIENTE DE FALLA DE FASE A TIERRA EN EL BUS DE B.T.:

$ICC=32.32 \text{ KA}$

REFERIDA A 115 KV:

$ICC=32.32(23.8/110)=6.99 \text{ KA}$

OBTENIENDO LA MT:

$MT=6.99 \text{ KA}/(0.8 \times 400)=21.84 \text{ A}$

PARA UNA MT APROXIMADA A DICHO VALOR, ENTRAMOS A TABLAS PARA VER EL VALOR EN SEGUNDOS DEL TIEMPO.

4.- PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES (SO/SI)C.

PARA DICHA PROTECCION EN LOS CIRCUITOS DE DISTRIBUCION, TENEMOS QUE PARA QUE COORDINE LA PROTECCION ES NECESARIO HACER LO SIGUIENTE: EL PICK UP DE LOS RELEVADORES DEBERA SER UN 200% DE LA CARGA MAXIMA, CONSIDERANDO UN FACTOR DE POTENCIA (F.P.) IGUAL A 0.95.

LA CARGA MAXIMA EN CADA CIRCUITO ES DE 12 MVA.

$ICARGA \text{ MAX.} = 12 \times 10^6 / (1.73 \times 23 \times 10^3 \times 0.95) = 317.5 \text{ A}$

$I \text{ PICK UP} = 2 \times 317.5 = 635 \text{ A}$

SELECCIONANDO LA RTC:

$RTC = 32.32 \text{ KA}/100 = 323.2 \text{ A}$

PARA QUE NO SEA MAYOR A 5:

$323.2 \times 5 = 1616 \text{ A}$

ESCOGIENDO UNA RTC=2000/5=400

COMPROBANDO SI SE CUMPLEN LAS CONDICIONES a Y b:

$$317.5/400=0.8 \text{ A}$$

$$30.04 \text{ kA}/400=75.1 \text{ A}$$

POR LO QUE SE CUMPLEN DICHS PUNTOS.

SELECCIONANDO EL TAP:

$$\text{TAP}=635/400=1.6 \text{ A}$$

DICHO RELEVADOR CUENTA CON TAPS IGUALES AL RELEVADOR 51T

0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0

SELECCIONANDO EL TAP MAS CERCAÑO:

$$\text{TAP}=1.5 \text{ A}$$

ESTA UNIDAD CUENTA CON ELEMENTO INSTANTANEO. CALCULANDO EL VALOR DE ESTE, TENEMOS QUE SE AJUSTA AL 75% DE LA FALLA TRIFASICA:

$$\text{INSTANTANEO}=(0.75 \times \text{ICC})/\text{RTC} \dots \text{IV.21}$$

$$\text{INSTANTANEO}=(0.75 \times 30.04 \text{ kA})/400=56.3 \text{ A}$$

SE PROPONE UN TIEMPO MAXIMO DE 0.3 SEGUNDOS PARA FALLA EN BUS, DEBIDO A QUE CONTAMOS CON UNIDAD INSTANTANEA DE DISPARO, PARA COORDINAR CON RELEVADORES DE FASE DEL BANCO DE A.T. QUE OPERAN A 0.6 SEGUNDOS.

$$\text{MT}=30.04 \text{ kA}/(1.5 \times 400)=50.6 \text{ A}$$

PARA UNA MT CERCANA A DICHO VALOR, ENTRAMOS A TABLAS PARA OBTENER EL VALOR EN SEGUNDOS.

5.- PROTECCION DE SOBRECORRIENTE (50/51)NC.

PARA DICHA PROTECCION TENEMOS QUE SE TOMA EL 40% DE LA
CORRIENTE DE CARGA MAXIMA CON UN F.P. IGUAL A 0.95.

$$I_{PICK UP} = (0.4 \times 12 \times 10^6) / (1.73 \times 23 \times 10^3 \times 0.95) = 127 \text{ A}$$

LA RTC YA SE ELIGIO EN EL PUNTO ANTERIOR:

RTC=400

SELECCIONANDO EL TAP:

$$TAP = 127 / 400 = 0.32 \text{ A}$$

DICHA UNIDAD CUENTA CON AJUSTES DE TAP IGUALES AL ANTERIOR,
POR LO QUE ESCOGIENDO EL MAS CERCANO:

$$TAP = 0.5 \text{ A}$$

SELECCIONANDO LA MT:

$$MT = 32.32 \text{ kA} / (0.5 \times 400) = 161.6 \text{ A}$$

PARA UNA MT APROXIMADA A DICHO VALOR, TENEMOS UN TIEMPO
MENOR A 0.3 SEGUNDOS, POR LO QUE PODRA COORDINAR CON LOS
RELEVADORES CORRESPONDIENTES DEL BANCO.

AJUSTANDO LA UNIDAD INSTANTANEA DE DISPARO:

$$INSTANTANEO = (0.75 \times 32.32 \text{ kA}) / 400 = 60.6 \text{ A}$$

6.- PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (50/51)L.

DICHA PROTECCION SERVIRA PARA LAS LINEAS DE TRASMISION.

$$I_{NOM. MAX.} = 36 \times 10^6 / (1.73 \times 115 \times 10^3) = 180.9 \text{ A}$$

$$I_{PICK UP} = 2 \times 180.9 = 361.8 \text{ A}$$

SELECCIONANDO LA RTC:

RTC=9.9 kA/100=99

PARA QUE NO SEA MAYOR A 5 AMPERES:

$99 \times 5 = 495$ A

SE SELECCIONA UNA RTC IGUAL A:

RTC=800/5=160

COMPROBANDO QUE SE CUMPLAN LOS PUNTOS A Y B:

$180.9/160 = 1.13$ A

$9.9 \text{ kA}/160 = 61.87$ A

POR LO QUE SE CUMPLEN DICHS PUNTOS.

SELECCIONANDO EL TAP:

TAP= $361.8/160 = 2.26$ A

SELECCIONANDO EL MAS CERCANO

TAP=2.0

SELECCIONANDO EL ELEMENTO INSTANTANEO DE DISPARO:

INSTANTANEO= $(0.75 \times 6.6 \text{ kA})/160 = 30.93$ A

SELECCIONANDO LA MT:

MT= $6.6 \text{ kA}/(2 \times 120) = 27.5$ A

PARA UNA MT APROXIMADA A DICHO VALOR SE SE ENTRA A TABLAS

PARA DETERMINAR EL VALOR DEL TIEMPO EN SEGUNDOS.

7.- PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (50/51)NL.

PARA EL PICK UP SE TOMA EL 40% DE LA INOM.MAX.

I PICK UP= $(0.4 \times 36 \times 10^6) / (1.73 \times 115 \times 10^3) = 72.38$ A

SELECCIONANDO LA RTC:

RTC=160 (ESCOGIDA EN EL PUNTO ANTERIOR).

SELECCIONANDO EL TAP:

$TAP=72.38/160=0.45$ A

DICHA UNIDAD CUENTA CON TAPS DE AJUSTE IGUALES A LOS DEL RELEVADOR 50/51 NC, POR LO QUE ESCOGIENDO EL MAS CERCANO:

TAP=0.5 A

AJUSTANDO LA UNIDAD DE DISPARO INSTANTANEO:

$INSTANTANEO=(0.75 \times 9.9 \text{ kA})/160=46.4$ A

SELECCIONANDO LA MT:

$MT=9.9 \text{ kA}/(0.5 \times 160)=123.75$ A

PARA UNA MT DE DICHO VALOR SE ENTRA A TABLAS PARA SABER SU VALOR EN SEGUNDOS DEL TIEMPO.

HACIENDO UN RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS, EL CUAL PODEMOS APRECIAR EN LA TABLA IV.2.

EN EL APENDICE, ANEXO 7 DAMOS LOS DATOS TECNICOS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE EQUIPOS ELECTRICOS QUE SE HAN REQUERIDO PARA DICHO PARQUE INDUSTRIAL.

HAY QUE HACER NOTAR QUE SE ESCOGIO UNA COORDINACION DE ESTE TIPO (POR RELEVADORES UNICAMENTE) YA QUE LAS CONDICIONES DEL PARQUE ASI LA AMERITABAN.

RELEVADOR	RTC	TAP	MT	INST.
86T	160	8.7		
	40	4.2		
51T	120	4.0	13.7	
51NT	400	0.8	21.84	
50/51C	400	1.5	50.06	57
50/51NC	400	0.5	161.6	61
50/51L	160	2.0	27.5	31
50/51HL	160	0.5	46.4	124

TABLA V.2.- VALORES PARA DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

CONCLUSIONES

UNO DE LOS SERVICIOS MAS IMPORTANTES ES EL SUMINISTRO DE LA ENERGIA ELECTRICA, EL CUAL DEBE SER EFICIENTE, CONTINUO Y SEGURO. POR TANTO, LA ELECTRIFICACION APROPIADA, EN ESTE CASO DE UN PARGUE INDUSTRIAL; NO IMPLICA REALIZAR SOLO UN ANALISIS TECNICO PARA LLEVAR LA ENERGIA ELECTRICA A DICHO PARQUE, SINO QUE ES NECESARIO COORDINAR LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION ADECUADOS PARA EVITAR AL MAXIMO POSIBLE LAS FALLAS EN EL SISTEMA.

UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO ES ESENCIAL EN CUALQUIER PARTE DEL SISTEMA. PARA DICHO ESTUDIO, ES NECESARIO REFERIR TODOS LOS VALORES DEL SISTEMA A UNA POTENCIA BASE UNICA Y UN VOLTAJE BASE DE ACUERDO AL LUGAR DONDE SE ESTE, LO CUAL SE LOGRA POR MEDIO DEL METODO EN POR UNIDAD. DICHO METODO NOS EVITA EN LO POSIBLE A EVITAR ERRORES DE CALCULO ATRIBUIBLES A TENER EN UN MOMENTO UNA IMPEDANCIA REFERIDA A UN TRANSFORMADOR PERO NO AL SISTEMA EN COMUN.

EN DICHO ESTUDIO, LAS FALLA DE FASE A TIERRA Y LA FALLA TRIFASICA NOS PROPORCIONAN LAS CORRIENTES MAXIMA Y MINIMA

RESPECTIVAMENTE PARA SELECCIONAR Y COORDINAR LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION ADECUADOS PARA NUESTRO SISTEMA.

PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCION LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION VAN DESDE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE HASTA LOS CORTA CIRCUITO FUSIBLE QUE SON LOS ELEMENTOS MAS ALEJADOS DEL SISTEMA.

EXISTEN VARIAS FORMAS DE COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION Y ESTAS DEPENDEN DEL GRADO DE CONFIABILIDAD QUE QUERAMOS PARA NUESTRO SISTEMA.

PARA EL CASO DE EL PARQUE INDUSTRIAL TEPEJI OBSERVAMOS QUE UNA COORDINACION A BASE DE RELEVADORES ERA LO MAS IDONEA POR LAS CARACTERISTICAS DEL SISTEMA, YA QUE SE REQUERIA QUE DICHO PARQUE TRABAJARA LAS 24 HORAS DEL DIA ININTERRUMPIDAMENTE.

EN GENERAL, PODEMOS RESUMIR QUE PARA LLEVAR A CABO EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO ES NECESARIO CONOCER LOS FUNDAMENTOS NECESARIOS PARA LLEVARLO A CABO Y POR MEDIO DE DICHO ESTUDIO, SELECCIONAR Y COORDINAR LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION NECESARIOS PARA EL SISTEMA EN CUESTION, TOMANDO EN CUENTA LA CONFIABILIDAD QUE QUERAMOS EN DICHO SISTEMA.

A P E N D I C E

ANEXO 1

SIMBOLOGIA UTILIZADA EN DIAGRAMA UNIFILARES Y/O CIRCUITOS EQUIVALENTES

EN UN DIAGRAMA UNIFILAR LOS SIMBOLOS UTILIZADOS SON AQUELLOS DENOMINADOS NORMALIZADOS. LOS PRINCIPALES SON:

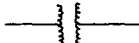
GENERADOR.



MOTOR DE INDUCCION.



TRANSF. DE 2 DEV.



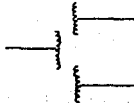
CONEXION DELTA.



CONEXION ESTRELLA.



TRANSF. DE 3 DEV.



CONEXION ESTRELLA.

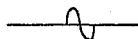
ATERRIZADA.



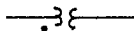
INT. TERMOMAGNETICO.



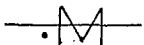
FUSIBLE.



T.P.



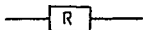
T.C.



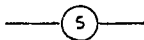
RELEVADOR.



RESTAURADOR.



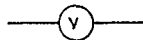
SECCIONADOR.



AMPERMETRO.



VOLTMETRO.



WATTMETRO.



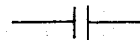
RESISTENCIA.



REACTANCIA.



CAPACITOR.



INDUCTANCIA.



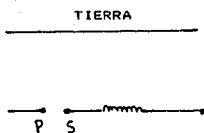
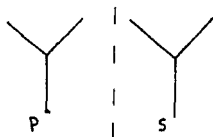
ANEXO 2

CONEXION DE TRANSFORMADORES DE SECUENCIA CERO

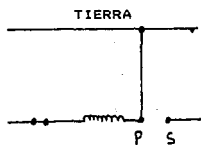
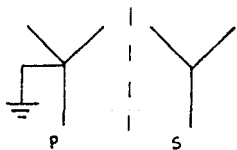
CONEXION:

DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO:

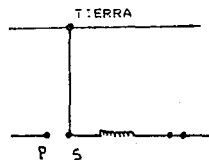
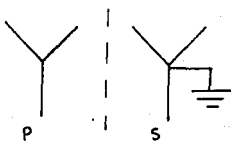
ESTRELLA-ESTRELLA



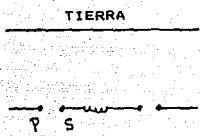
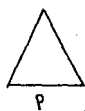
ESTRELLA ATERRIZADA-ESTRELLA



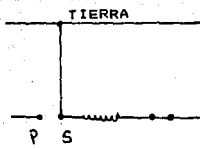
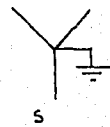
ESTRELLA-ESTRELLA ATERRIZADA



DELTA-ESTRELLA

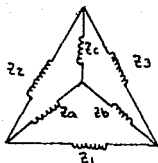


DELTA-ESTRELLA ATERRIZADA



ANEXO 3

FORMULAS PARA TRANSFORMACION DE ESTRELLA-DELTA Y DELTA-ESTRELLA.



TRANSFORMACION ESTRELLA-DELTA:

- 1) $Z_1 = (Z_a Z_b) / (Z_a + Z_b + Z_c)$
- 2) $Z_2 = (Z_b Z_c) / (Z_a + Z_b + Z_c)$
- 3) $Z_3 = (Z_a Z_c) / (Z_a + Z_b + Z_c)$

TRANSFORMACION DELTA-ESTRELLA:

- 1) $Z_a = ((Z_1 Z_2) + (Z_1 Z_3) + (Z_2 Z_3)) / Z_3$
- 2) $Z_b = ((Z_1 Z_2) + (Z_1 Z_3) + (Z_2 Z_3)) / Z_2$
- 2) $Z_c = ((Z_1 Z_2) + (Z_2 Z_3) + (Z_2 Z_3)) / Z_1$

ANEXO 4

CORRIENTE NOMINAL ESTANDARIZADA PARA TC's.

SIMPLE RELACION DE TRANSFORMACION:

5	150
10	200
15	300
20	400
25	600
30	800
40	1000
50	1200
75	1500
100	2000
	3000

DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION:

5 x 10	100 x 200
10 x 20	150 x 300
15 x 30	200 x 400
25 x 50	300 x 600
50 x 100	400 x 800
75 x 150	500 x 1000
	600 x 1200

ANEXO 5

CLASE Y PRECISION PARA TC's.

LAS CLASES DE PRECISION NORMALES SON: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3 Y 5, DEPENDIENDO DE LAS NORMAS USADAS.

CADA CLASE DE PRECISION ESPECIFICADA DEBERA ASOCIARSE CON UNA O VARIAS CARGAS NOMINALES DE PRECISION, POR EJEMPLO: 0.5-50 VA.

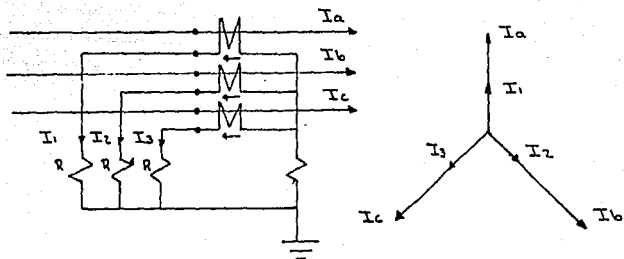
A CONTINUACION SE DAN LAS CLASES RECOMENDADAS, SEGUN EL USO A QUE SE DESTINA EL TC.:

CLASE	UTILIZACION
0.1	CALIBRACION Y MEDIDAS DE LABORATORIO.
0.2-0.3	MEDIDAS DE LABORATORIO. ALIMENTACION DE WATTHORIMETROS PARA ALIMENTADORES DE GRAN POTENCIA.
0.5-0.6	ALIMENTACION DE WATTHORIMETROS PARA FACTURACION, EN CIRCUITOS DE DISTRIBUCION. WATTHORIMETROS INDUSTRIALES.
1.2	AMPERMETROS INDICADORES. AMPERMETROS REGISTRADORES. FASOMETROS INDICADORES. PROTECCIONES DIFERENCIALES, RELEVADORES DE IMPEDANCIA Y DE DISTANCIA.
3-5	PROTECCIONES EN GENERAL, (RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE).

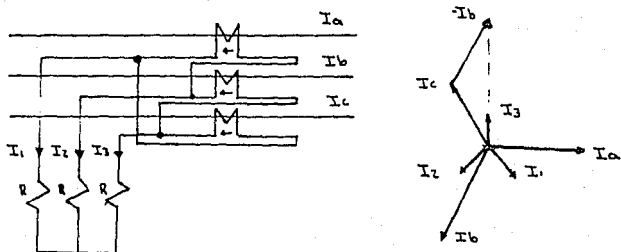
ANEXO 6

CONEXION PARA TC'S.

CONEXION ESTRELLA:



CONEXION DELTA:



ANEXO 7

NUMERACION NORMALIZADA SEGUN ANSI E IEEE PARA DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

EN LA APLICACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION NORMALMENTE SE EMPLEAN NUMEROS PARA DESIGNAR A CADA UNO DE ELLOS, ESTE SISTEMA DE DESIGNACION SE USA EN LOS DIAGRAMAS UNIFILARES PRINCIPALMENTE, EN ESTA PARTE SOLO SE INDICAN ALGUNOS DE ELLOS Y HACIENDO UNA BREVE EXPLICACION DE LOS QUE NOS INTERESAN.

- 1.- ELEMENTO MAESTRO.
- 2.- RELEVADOR DE RETARDO PARA ARRANQUE O CIERRE.
- 3.- RELEVADOR DE VERIFICACION O BLOQUE.
- 4.- CONTACTOR MAESTRO.
- 6.- INTERRUPTOR DE ARRANQUE.
- 12.- DISPOSITIVO DE SOBREVOLUCIDAD.
- 13.- DISPOSITIVO DE VELOCIDAD SINCRONA.
- 14.- DISPOSITIVO DE BAJA VELOCIDAD.
- 18.- DISPOSITIVO DE ACELERACION O DESACELERACION.
- 20.- VALVULA OPERADA ELECTRICAMENTE.
- 21.- RELEVADOR DE DISTANCIA.-ES UN DISPOSITIVO QUE FUNCIONA CUANDO LA ADMITANCIA, IMPEDANCIA O REACTANCIA DE UN CIRCUITO AUMENTA O DISMINUYE MAS ALLA DE LIMITES PREDETERMINADOS.
- 23.- DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA.
- 25.- DISPOSITIVO DE SINCRONIZACION O VERIFICACION DE

SINCRONIZACION.

- 26.- **DISPOSITIVO TERMICO DE APARATOS.**
 - 27.- **RELEVADOR DE BAJO VOLTAJE.**
 - 30.- **RELEVADOR ANUNCIADOR.**
 - 32.- **RELEVADOR DIRECCIONAL DE POTENCIA.**
 - 36.- **DISPOSITIVO DE POLARIDAD O POLARIZACION DE VOLTAJE.**
 - 37.- **RELEVADOR DE BAJA COORIENTE O POTENCIA.**
 - 38.- **DISPOSITIVO DE PROTECCION DE LOS RODAMIENTOS. (CHUMACERAS)**
 - 40.- **RELEVADOR DE CAMPO.**
 - 41.- **INTERRUPTOR DE CAMPO.**
 - 46.- **RELEVADOR DE CORRIENTE PARA INVERSION DE FASE O EQUILIBRIO DE FASE.**
 - 47.- **RELEVADOR DE VOLTAJE DE SECUENCIA DE FASE.**
 - 49.- **RELEVADOR TERMICO PARA MAQUINA O TRANSFORMADOR.**
 - 50.- **RELEVADOR INSTANTANEO DE SOBRECORRIENTE O RELEVADOR DE INDICE DE CRECIMIENTO.- FUNCIONA INSTANTANEAMENTE PARA UN VALOR EXCESIVO DE CORRIENTE E INDICA UNA FALLA EN EL APARATO O CIRCUITO PROTEGIDO (0.05 SEGUNDOS O MENOS).**
 - 51.- **RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE CON RETRASO DE TIEMPO.- ES UN RELEVADOR CON UNA CARACTERISTICA DE TIEMPO DEFINIDA O INVERSA , QUE FUNCIONA CUANDO LA CORRIENTE EN EL CIRCUITO EXCEDE UN VALOR PREDETRMINADO, A MAYOR CORRIENTE, MENOR TIEMPO EN LA CARACTERISTICA INVERSA.**
- NOTA.- LOS RELEVADORES 50/51 SON RELEVADORES QUE VIENEN EN UNA**

MISMA CAJA (SE CONTIENE A LOS DOS) FORMANDO ASI UN ESQUEMA. FISICAMENTE ESTA CONSTITUIDO POR SU UNIDAD 50 DE ELEMENTO INSTANTANEO Y POR SU UNIDAD 51 DE TIEMPO INVERSO.

52.- INTERRUPTOR DE CORRIENTE ALTERNA.- ES UN DISPOSITIVO QUE SE USA PARA CERRAR O ABRIR UN CIRCUITO DE CORRIENTE ALTERNA EN CONDICIONES NORMALES O PARA INTERRUMPIR EL CIRCUITO EN CONDICIONES DE FALLA O EMERGENCIA.

55.- RELEVADOR DE FACTOR DE POTENCIA.

56.- RELEVADOR DE APLICACION DE CAMPO.

59.- RELEVADOR DE SOBREVOLTAJE.

74.- RELEVADOR DE ALARMA.

79.- RELEVADOR DE RECIERRE EN CORRIENTE ALTERNA.- SON DEL TIPO DE RELEVADORES DE PROGRAMA QUE SUPERVISAN LA POSICION DE UN INTERRUPTOR PERMITIENDO SU REENERGIZACION YA SEA INSTANTANEA O POCO TIEMPO, POSTERIOR A UNA APERTURA DEL MISMO POR ACCION DE SU SISTEMA DE PROTECCION.

81.- RELEVADOR DE FRECUENCIA.

85.- RELEVADOR RECEPTOR DE PORTADOR O HILO PILOTO.

86.- RELEVADOR AUXILIAR.- SON AQUELLOS DISPOSITIVOS QUE COMPLEMENTAN LOS ESQUEMAS DE PROTECCIONES Y QUE SIRVEN PARA DIFERIR LA FUNCION PRINCIPAL DEL RELEVADOR YA SEA: TRANSFIRIENDO, BLOQUEANDO, SELLANDO O MULTIPLICANDO LA CAPACIDAD DE OPERACION.

97.- RELEVADOR DE PROTECCION DIFERENCIAL.- ESTOS RELEVADORES

OPERAN DAJD UNA DIFERENCIA DE CORRIENTE.

89.- DESCONECTOR DE LINEA (CUCHILLA DESCONECTADORA).

91.- RELEVADOR DIRECCIONAL DE VOLTAJE.

92.- RELEVADOR DE VOLTAJE Y POTENCIA DIRECCIONAL.

ANEXO 8

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO ELECTRICO PARA
SUBESTACION ELECTRICA TEPEJI I.

A) TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

	A.T.	B.T.
- CLASE:	115 kV	23 kV
- TIPO DE SERVICIO:	INTEMPERIE	
- POSICION DE MONTAJE:	VERTICAL	
- RTG:	200:5	800:5
	600:5	800:5
	2000:5	800:5
	2000:5	
	2000:5	
- FRECUENCIA:	60 HZ	60 HZ
- NBI:	550 kV	150 kV
- CLASE DE PRECISION:	0.3	0.3
- POTENCIA DE PRECISION:	C-100	C-50
- FACTOR TERMICO:	1.2	1.2
- CORRIENTE MAXIMA DE C.C.:		
- CORRIENTE TERMICA KA(RMS):	350	70
- CORRIENTE DINAMICA KA(CRESTA):	875	175
- CORRIENTE NOMINAL MAXIMA:	5000 A	1000 A
- MARCA:	BALTEU	

B) INTERRUPTORES

	A.T.	B.T.
- TENSION NOMINAL:	115 kV	23.8 kV
- No. DE UNIDADES:	4	7
- No. DE POLOS:	3	3
- TENSION MAXIMA DE DISEÑO:	123 kV	26.4 kV
- FRECUENCIA:	60 HZ	60 HZ
- NBI:	550 kV	150 kV
- TIEMPO DE CIERRE:		0.1 SEG.
- TIEMPO NOMINAL DE INTERRUPCION:		0.1 SEG.
- MEDIO DE EXTINCION DEL ARCO:		ACEITE
- CAPACIDAD INTERRUPTIVA (MVA):	6700	1000
- CORRIENTE NOMINAL (A):	350	1000
- TIPO DE SERVICIO:		EXTERIOR
- FORMA DE OPERACION:		HORIZONTAL EN GRUPO
- TENSION NOMINAL DE CONTROL:		125 V.C.D.
- MARCA:		PACIFIC ELECTRIC

C) RELEVADORES

- 87T

RELEVADOR DE PROTECCION DIFERENCIAL DEL TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS.

- ALTA VELOCIDAD DE PORCENTAJE VARIABLE.
- MONOFASICO.
- 5 AMPERES.
- 60 HZ.
- 2 UNIDADES RESTRICTIVAS Y UNA DE OPERACION.
- BOBINAS DE CORRIENTE CON 8 DERIVACIONES DE 2.9 A 8.7 AMPERES.
- 125/250 V.C.D.
- UNIDADES: 2.
- MARCA: W.H.

- 86T

RELEVADOR AUXILIAR DE DISPARO.

- REPOSICION MANUAL.
- MOVIMIENTO ROTATORIO.
- 125 V.C.D. CON CONTACTOS DE CORTE DE BOBINA Y UN MINIMO DE 9 CONTACTOS TIPO "A" Y 7 CONTACTOS TIPO "B" DISPONIBLES PARA CONEXION EXTERNA.
- UNIDADES: 2.
- MARCA: G.E.

- 51NT

RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE PARA FALLAS A TIERRA DE TIEMPO
EXTREMADAMENTE INVERSO.

- 5 AMPERES.

- 60 HZ.

- BOBINAS DE CORRIENTE CON DERIVACIONES DE 0.5-2.5 AMPERES.

- SIN ELEMENTO INSTANTANEO.

- 125 V.C.D.

- UNIDADES: 2

- MARCA: G.E.

- 51F

RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE CON UNIDAD DE TIEMPO INVERSO PARA
FALLAS ENTRE FASES.

- 5 AMPERES.

- 60 HZ.

- BOBINAS DE CORRIENTE CON DERIVACIONES DE 2-16 AMPERES.

- UNIDAD INSTANTANEA.

- 125 V.C.D.

- UNIDADES: 2.

- MARCA: G.E.

- 50/51N

RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE PARA FALLAS A TIERRA DE TIEMPO

EXTREMADAMENTE INVERSO.

- 5 AMPERES.
- 60 HZ.
- BOBINAS DE CORRIENTE CON DERIVACIONES DE 0.5-4 AMPERES.
- ELEMENTO INSTANTANEO DE 10-80 AMPERES.
- UNIDADES: 7.
- MARCA: G.E.

- 50/51F

RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE PARA FALLAS ENTRE FASES DE TIEMPO
EXTREMADAMENTE INVERSO.

- 5 AMPERES.
- 60 HZ.
- BOBINAS DE CORRIENTE CON DERIVACIONES DE 1.5-12 AMPERES.
- ELEMENTO INSTANTANEO DE 10-80 AMPERES.
- UNIDADES: 7
- MARCA: G.E.

BIBLIOGRAFIA

- VIGUEIRA LANDA, JACINTO.
REDES ELECTRICAS: VOLUMEN I Y II.
2a. EDICION.
EDITORIAL REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA.
MEXICO D.F., 1970

- RAUINDRAMATH, B.
PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA E INTERRUPTORES.
EDITORIAL LIMUSA.
MEXICO D.F., 1980

- ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO.
LINEAS DE TRASMISION Y REDES DE DISTRIBUCION DE POTENCIA
ELECTRICA: VOLUMEN I Y II.
2a. EDICION.
EDITORIAL LIMUSA.
MEXICO D.F., 1983

- ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO.
FUNDAMENTOS DE PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS POR
RELEVADORES.
EDITORIAL LIMUSA.
MEXICO D.F., 1987

- CURSO DE ORIENTACION SOBRE LAGUNA VERDE PARA RESPUESTA EXTERNA.
C.F.E.
MEXICO D.F., 1987

- NEUENSWANDER, JOHN R.
MODERN POWER SYSTEMS.
EDITORIAL INTERNATIONAL TEXTBOOK COMPANY.
USA, 1971

- SANTO POTRESS, E.
CENTRALES ELECTRICAS.
EDITORIAL GUSTAVO GILLI.
ESPANA, 1971

- GREENWOOD, ALLAN.
ELECTRICAL TRANSIENTS IN POWER SYSTEMS.
EDITORIAL WILEY-INTERSCIENCE.
USA, 1971.

- ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO.
ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.
EDITORIAL LIMUSA.
MEXICO D.F., 1988

- ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO.
FUNDAMENTOS DE PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS POR
RELEVADORES.
EDITORIAL LIMUSA.
MEXICO D.F.

- ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO.
TECNICAS DE LAS ALTAS TENSIONES.
EDITORIAL LIMUSA.
MEXICO D.F.

- PROCEDIMIENTOS PARA COORDINACION DE PROTECCIONES DE
SOBRECORRIENTE EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION.
C.F.E.
MEXICO D.F., 1983

- RUGELL, MASON C.
EL ARTE Y LA CIENCIA DE LA PROTECCION POR RELEVADORES.
EDITORIAL CECSA.
MEXICO D.F., 1978