

ESTUDIO DE FALLAS
EN EL
SISTEMA DE TRANSMISION Y SUBTRANSMISION
DE LA
EMPRESA ELECTRICA "QUITO" S. A.

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en la Especialización de Electrotecnia de la Escuela Politécnica Nacional

**ESTUDIO DE FALLAS
EN EL
SISTEMA DE TRANSMISION Y SUBTRANSMISION
DE LA
EMPRESA ELECTRICA "QUITO" S. A.**

Luis Gerardo Sánchez Garrido

**Q u i t o
Mayo, 1967**

CERTIFICO:

Que la presente tesis fue elaborada por el señor L. Gerardo Sánchez Garrido, bajo mi dirección.

Quito, Mayo de 1967.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "H. Placencia C.", written in a cursive style.

Ing. Honorato Placencia C.

MI AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra manera me prestaron su valiosa ayuda para la elaboración del presente trabajo.

Quito, Mayo de 1967.

L. Gerardo Sánchez Garrido.

INDICE GENERAL

	Pág.
Indice de materias	I
Indice de esquemas	X
Indice de planos	XIV
Indice de tablas	XVI
Capítulo 1	1
Capítulo 2	43
Capítulo 3	86
Capítulo 4	130
Capítulo 5	159

INDICE DE MATERIAS

Pág.

P R I M E R A P A R T E

Capítulo 1SOBREINTENSIDADES Y SUS EFECTOS

<u>1.1. Calidad de servicio eléctrico</u>	1
1.1.1. La calidad de servicio en función de la carga	1
1.1.2. El régimen de carga y la seguridad de - servicio	7
<u>1.2. Características de un sistema de protección</u>	8
1.2.1. Integridad y seguridad	8
1.2.2. Selectividad	8
1.2.3. Rapidez	9
1.2.4. Simplicidad	10
1.2.5. Indiferencia relativa a las sobrecargas	10
1.2.6. Sensibilidad	10
1.2.7. Economía	11
1.2.8. Independencia con respecto a la configu- ración de la red	11
1.2.9. Protecciones diversas	11
<u>1.3. Sobreintensidades. Protección</u>	12

II

	Pág.
1.3.1. Sobreintensidades. Tipos	12
1.3.2. Protección contra Sobrecorrientes	14
a) Aumento de la reactancia de dispersión	16
b) Bobinas de reactancia	16
c) Desexcitación rápida de una máquina	18
d) Fusibles	18
e) Interruptores	19
1.4. <u>Causas y tipos de los cortocircuitos</u>	20
1.4.1. Causas de los cortocircuitos	20
1.4.2. Tipos de cortocircuitos en redes trifásicas	22
a) Falla de fase a tierra	22
b) Falla de fase a fase	22
c) Falla de dos fases a tierra	23
d) Falla trifásica	23
1.5. <u>Efectos de los cortocircuitos</u>	24
1.5.1. Calentamiento	24
1.5.2. Esfuerzo electrodinámico	27
1.5.3. Efectos producidos por los arcos	29
1.5.4. Accidentes en los interruptores	30
1.5.5. Perturbaciones en circuitos de telecomunicaciones	30
1.5.6. Influencia del cortocircuito en la esta-	

	Pág.
bilidad	31
1.6. <u>Limitación de las corrientes de cortocircuito</u>	33
1.6.1. Elección de una tensión de servicio lo más alta posible	33
1.6.2. Impedancia de cortocircuito lo más elevada	34
1.6.3. Apertura rápida	35
1.7. <u>Análisis de la corriente de cortocircuito</u>	36
1.7.1. Corrientes de cortocircuito simétricas y asimétricas	36
1.7.2. Componente de corriente directa de las corrientes asimétricas de cortocircuito	38
1.7.3. Relación X/R	39
1.7.4. Constante de tiempo de la componente directa	40
1.7.5. Valor RMS de las corrientes de cortocircuito	41
1.7.6. Factor de multiplicación	41

Capítulo 2

COMPONENTES SIMÉTRICAS Y SU APLICACIÓN EN EL CÁLCULO

DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

2.1. <u>Representación de sistemas eléctricos. Magnitudes en tanto por uno</u>	43
--	----

IV

	Pág.
2.1.1. Diagrama unifilar	43
2.1.2. Diagrama monofásico de impedancias	44
2.1.3. Magnitudes en tanto por uno	45
2.2. <u>Componentes simétricas</u>	48
Teorema de Fortescue	48
2.2.1. Componentes simétricas de un sistema trifásico	49
Secuencias positiva y negativa	49
Secuencia cero	50
Anotaciones	51
2.2.2. Operador "a"	52
2.2.3. Componentes simétricas de fasores asimétricos	52
a) Componentes de secuencia cero	52
b) Componentes de secuencia positiva	53
c) Componentes de secuencia negativa	54
2.2.4. Componentes simétricas de fasores asimétricos de corriente	55
2.2.5. Método gráfico para encontrar las componentes simétricas de fasores asimétricos	56
2.2.6. Resolución analítica de componentes simétricas	57
2.3. <u>Circuitos Secuenciales</u>	59

	Pág.
2.3.1. Máquinas sincrónicas	60
a) Impedancia de secuencia positiva	60
b) Impedancia de secuencia negativa	62
c) Impedancia de secuencia cero	62
2.3.2. Máquinas asincrónicas	63
a) Impedancia de secuencia positiva	63
b) Impedancia de secuencia negativa	64
c) Impedancia de secuencia cero	64
2.3.3. Transformadores	64
a) Transformadores de dos devanados	64
b) Transformadores de tres devanados	66
2.3.4. Líneas Aéreas	68
a) Impedancias de secuencias positiva y negativa	68
b) Impedancia de secuencia cero	68
c) Líneas trifásicas de un solo circuito	69
Líneas sin hilos de tierra	69
Líneas con hilos de tierra	70
d) Líneas trifásicas de doble circuito	70
2.3.5. Cables	71
2.4. <u>Cálculo de la impedancia resultante en el punto de falla</u>	73
2.4.1. Reducción de impedancias en paralelo	74

VI

	Pág.
2.4.2. Transformación delta - estrella	75
2.4.3. Transformación estrella - delta	75
2.5. <u>Corrientes de falla</u>	75
2.5.1. Anotaciones sobre corrientes de falla	75
2.5.2. Cálculo de las corrientes de cortocircu <u>i</u> to. Procedimiento	77
2.5.3. Ecuaciones típicas de los cortocircuitos. Interconexión de circuitos secuenciales	80
Ecuaciones fundamentales para el estudio de fallas	80
a) Falla de fase a tierra	80
b) Falla de fase a fase	82
c) Falla entre dos fases y tierra	83
d) Falla trifásica	85

S E G U N D A P A R T E

Capítulo 3

SISTEMA DE LA EMPRESA ELECTRICA "QUITO" S. A.

3.1. <u>Consideraciones generales</u>	86
3.2. <u>Centrales de generación</u>	90
3.2.1. Los Chillos	90
3.2.2. Térmica	92
3.2.3. Guangopolo	94

VII

	Pág.
3.2.4. Cumbayá	97
3.2.5. Pasochoa	100
3.3. <u>Líneas de Transmisión y Subtransmisión</u>	102
3.3.1. Líneas de transmisión	103
a) Pasochoa	103
b) Los Chillos - Guangopolo	104
c) Guangopolo - Quito	104
d) Cumbayá - Quito	104
e) Diéssel - Subestación No. 11	105
f) Diéssel - Subestación No. 14	105
3.3.2. Líneas de subtransmisión	106
a) Barra Este No. 1	106
b) Barra Este No. 2	106
c) Barra Este No. 3	107
d) Barras Oeste Nos. 1 y 2	108
e) Barra Oeste No. 3	108
3.3.3. Derivaciones a subestaciones	109
a) A subestaciones Nos. 6, 8, 10, 12 y - 14	109
b) A subestación "La Argelia"	109
c) A subestación No. 2	109
d) A subestaciones Nos. 9 y 11	109
3.4. <u>Subestaciones Norte y Sur</u>	110

VIII

	Pág.
3.4.1. Subestación Norte	110
3.4.2. Subestación Sur	111
3.5. <u>Subestaciones de distribución</u>	113
3.5.1. Subestación No. 6	113
3.5.2. Subestación No. 8	115
3.5.3. Subestación No. 10	116
3.5.4. Subestación No. 12	116
3.5.5. Subestación No. 14	117
3.5.6. Subestación No. 9	117
3.5.7. Subestación No. 11	118
3.5.8. Subestación No. 16	119
3.5.9. Subestación No. 17	119
3.5.10. Subestación No. 2	121
3.5.11. Subestación No. 3	122
3.5.12. Subestación "Hospitalillo"	123
3.5.13. Subestación "La Argelia"	124
3.5.14. Subestación "San Rafael"	126
3.5.15. Subestación "El Recreo"	127
3.5.16. Subestación "INIAP"	128

Capítulo 4

CALCULO DE IMPEDANCIAS. CIRCUITOS SECUENCIALES

4.1. <u>Centrales de generación</u>	130
4.1.1. Los Chillós	132

	Pág.
4.1.2. Diésel	133
4.1.3. Guangopolo	135
4.1.4. Cumbayá	137
4.1.5. Pasochoa	139
4.2. <u>Líneas de transmisión y subtransmisión</u>	142
Línea Pasochoa - Quito (ejemplo)	144
a) Secuencia positiva	144
b) Secuencia Cero	146
Nomenclatura de la tabla 4 - VI	152
4.3. <u>Subestaciones</u>	154
4.4. <u>Circuitos Secuenciales</u>	156
 <u>Capítulo 5</u>	
<u>CALCULO DE FALLAS</u>	
5.1. <u>Introducción</u>	159
5.1.1 Consideraciones generales	159
5.1.2. Analizador de redes. Su empleo	160
5.1.3. Tipos de falla a calcular	162
5.1.4. Modalidad del cálculo de fallas	166
5.2. <u>Fallas de fase a tierra. Generación total</u>	168
5.3. <u>Fallas trifásicas. Generación total</u>	170
5.4. <u>Fallas de fase a fase. Generación mínima</u>	171
5.5. <u>Conclusiones</u>	175

INDICE DE ESQUEMAS

- Fig. 1.1 Selectividad de un sistema de protección.
- Fig. 1.2 Fallas de fase a tierra.
- Fig. 1.3 Fallas de fase a fase.
- Fig. 1.4 Fallas de dos fases a tierra.
- Fig. 1.5 Variación de tensiones en una falla de fase a tierra o de doble fase a tierra.
- Fig. 1.6 Fallas trifásicas.
- Fig. 1.7 Variación de tensiones en una falla trifásica.
- Fig. 1.8 Fuerza entre dos conductores recorridos por igual corriente y en fase.
- Fig. 1.9 Momento resistente de barras planas referido a la dirección de la fuerza P.
- Fig. 1.10 Influencia del cortocircuito en la estabilidad.
- Fig. 1.11 Variación del ángulo entre los ejes de dos rotóres al producirse cortocircuito.
- Fig. 1.12 Limitación de la corriente de cortocircuito por aumento de la impedancia.
- Fig. 1.13 Onda de corriente alterna simétrica.
- Fig. 1.14 Onda asimétrica de corriente alterna.
- Fig. 1.15 Variación de la onda en un cortocircuito.
- Fig. 1.16 Relación de fase entre el voltaje y la corriente.

- Fig. 1.17 Corriente de cortocircuito simétrico y voltaje en un circuito de factor de potencia cero.
- Fig. 1.18 Corriente de cortocircuito asimétrico y voltaje en un circuito de factor de potencia cero.
- Fig. 1.19 Corriente de cortocircuito y voltaje en un circuito en el cual $R = X$.
- Fig. 1.20 Componentes de una onda asimétrica de cortocircuito.
- Fig. 1.21 Constante de tiempo.
- Fig. 1.22 Factor de multiplicación para varias relaciones X/R .
- Fig. 2.1 Diagrama eléctrico unifilar. Ejemplo.
- Fig. 2.2 Diagrama monofásico de impedancias (exacto). Ref. al sistema de la fig. 2.1.
- Fig. 2.3 Diagrama monofásico de impedancias (simplificado). Ref. al sistema de la fig. 2.1.
- Fig. 2.4 Variación de secuencia.
- Fig. 2.5 Sistemas vectoriales de secuencias positiva y negativa.
- Fig. 2.6 Componentes de secuencia cero u homopolar.
- Fig. 2.7 Operador "a" y sus potencias.
- Fig. 2.8 Método gráfico (geométrico) para encontrar las componentes simétricas de un sistema.

- Fig. 2.9 Resolución gráfica del método analítico para en
contrar las componentes simétricas.
- Fig. 2.10 Componentes simétricas de un sistema de fasores
asimétricos (Ref. figs. 2.8 y 2.9).
- Fig. 2.11 Representación de un transformador para un dia-
grama de impedancias.
- Fig. 2.12 Circuito de secuencia positiva de máquinas sín-
crónicas.
- Fig. 2.13 Circuito de secuencia negativa de máquinas sín-
crónicas.
- Fig. 2.14 Circuito de secuencia cero de máquinas sincróni-
cas.
- Fig. 2.15 Reactancias de secuencia cero de transformadores
Circuitos Equivalentes.
- Fig. 2.16 Transformador de tres devanados.
- Fig. 2.17 Transformación delta - estrella y viceversa.
- Fig. 2.18 Teorema de Thévenin.
- Fig. 2.19 Interconexión de circuitos secuenciales:
- a. Falla de fase a tierra.
 - b. Falla entre dos fases.
 - c. Falla entre dos fases y tierra.
 - d. Falla trifásica.
- Figs. 3 Líneas de transmisión y subtransmisión.

Disposición de los Conductores:

- Fig. 3.1 Paschoa - Quito.
Fig. 3.2 Los Chillos - Guangopolo.
Fig. 3.3 Guangopolo - Quito.
Fig. 3.4 Cumbayá - Quito.
Fig. 3.5 Diésel - Subestación No. 11 (o 14).
Fig. 3.6 Barras Este No. 1, Oeste No. 1 y Oeste No. 2.
Fig. 3.7 Barras Este y Oeste Nos. 3 (parte común).
Fig. 3.8 Barra Este No. 3 (variante)
Barra Oeste No. 3 y línea a "La Argelia".
Fig. 3.9 Barra Este No. 3 (antigua).
Fig. 3.10 Derivación a Subestación No. 2.
Figs. 4 Circuitos de Secuencia Cero.

Centrales de Generación:

- Fig. 4.1 Los Chillos.
Fig. 4.2 Diésel.
Fig. 4.3 Guangopolo.
Fig. 4.4 Cumbayá.
Fig. 4.5 Paschoa.

INDICE DE PLANOS

- No. PC - 01 Sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
Generación, Transmisión y Subtransmisión.
Localización de Centrales y Subestaciones.
- No. PC - 02 Sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
Generación, Transmisión y Subtransmisión.
Diagrama Eléctrico Unifilar.
- No. PC - 03 Sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
Generación, Transmisión y Subtransmisión.
Diagrama de Impedancias.
Numeración de Disyuntores y Fallas.
- No. PC - 04 Circuitos Secuenciales.
Secuencia Positiva.
Reactancias, Disyuntores y Fallas.
- No. PC - 05 Circuitos Secuenciales.
Secuencia Negativa.
Reactancias, Disyuntores y Fallas.
- No. PC - 06 Circuitos Secuenciales.
Secuencia Cero.
Reactancias, Disyuntores y Fallas.

No. PC - 07 Potencias de Cortocircuito.

Fallas Fase - Tierra.

Generación Total.

No. PC - 08 Potencias de Cortocircuito.

Fallas Trifásicas.

Generación Total.

No. PC - 09 Potencias de Cortocircuito.

Fallas Fase - Fase.

Generación Mínima.

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-I	Operador " a ".
Tabla 3-I	Líneas de Transmisión y Subtransmisión.
Tabla 4-I	Cálculo de Reactancias. Central Los Chillos.
Tabla 4-II	Cálculo de Reactancias. Central Diéssel.
Tabla 4-III	Cálculo de Reactancias. Central Guangopolo.
Tabla 4-IV	Cálculo de Reactancias. Central Cumbayá.
Tabla 4-V	Cálculo de Reactancias. Central Pasochoa.
Tabla 4-VI	Cálculo de Impedancias. Líneas de Transmisión y Subtransmisión.
Tabla 4-VII	Cálculo de Reactancias. Subestaciones.
Tabla 5-I	Cálculo de Reactancias. Centrales en Mínima Generación.
Tabla 5-II	Potencias y Corrientes Máximas de Cortocircuito para cada Dispositivo de Protección.

CAPITULO 1

SOBREINTENSIDADES Y SUS EFECTOS

1.1. CALIDAD DE SERVICIO ELECTRICO

La calidad del servicio eléctrico, en cuanto a su seguridad, guarda relación con el valor que se atribuye a su continuidad. No es posible conseguir un servicio totalmente inmune a interrupciones ocasionales; sin embargo, puede lograrse un mayor grado de seguridad, pero a expensas de mayores gastos, los cuales deben compensarse con una mejor calidad de servicio. Esta calidad dependerá de la magnitud y características de la carga, de la probable frecuencia y duración de las interrupciones, - del grado de seguridad que se desee proporcionar a los - abonados.

1.1.1. La calidad de servicio en función de la carga

- a) El pequeño consumidor o una pequeña industria no pueden permitirse sino un servicio de calidad regular u ordinaria, alimentado habitualmente por una sola conexión a la red de distribución.
- b) Un centro poblado de poca importancia puede ser alimentado por una red de distribución procedente de una sola estación generadora o mediante una sola línea de transmisión y sólo en casos especiales desde

varios puntos de abastecimiento. La calidad del servi
cio dependerá del valor de las industrias, del creci-
miento de la población y de las posibilidades económi-
cas.

c) Un centro poblado de mayor importancia o un gran cen-
tro industrial se sirven normalmente desde dos o más
puntos de alimentación. El número de éstos y su poten-
cia se pueden establecer aceptando la reducción de -
la carga, al fallar una de las fuentes, o bien a ex--
pensas de un mayor costo para asegurar la reserva su-
ficiente.

d) Un gran centro urbano está normalmente abastecido des-
de una o más centrales eléctricas y con interconexio-
nes de modo que aun en caso de falla de una central o
de una interconexión, no sea necesario reducir la car-
ga. Las subestaciones son abastecidas por varias lí--
neas de alimentación de modo que las fallas más proba-
bles se reducen a las de los alimentadores individua-
les de distribución cuyo servicio puede ser restable-
cido con rapidez, una vez transferida la carga. Las -
subestaciones tienen capacidad limitada pero deben ad-
mitir una sobrecarga para el caso en que tengan que -
absorber parte de la carga alimentada normalmente por

otra subestación, cuando ésta se halle fuera de servicio.

- e) Una región más o menos grande debe estar alimentada -- por varias centrales generadoras interconectadas entre sí y eventualmente con otros sistemas. Los métodos de suministro y las necesidades de servicio son similares a las de los centros urbanos, pero en escala mayor.
- f) Un importante sistema interconectado se compone de varias centrales generadoras y cargas interconectadas -- por medio de líneas de gran capacidad. Aun en caso de falla de algunas unidades generadoras y alimentadoras, el suministro debe mantenerse prácticamente sin inte--rrupciones.

Al aumentar la magnitud de un sistema aumenta también la seguridad de servicio, no porque el simple aumento del número o la potencia de de las unidades signifique mayor grado de seguridad, sino que la cons--trucción de centrales y líneas de gran potencia y sus sistemas de protección puede ser ejecutada con mayor grado -- de perfeccionamiento sin alcanzar costos unitarios prohi--bitivos, con lo cual se obtiene una disminución notable de la probabilidad de interrupciones. Dentro de ciertos lími--tes los conductores de mayor sección ofrecen mayor resis--

tencia mecánica, o al tratarse de conductores aislados reducen las gradientes de potencial. Por otra parte la multiplicidad de unidades y el seccionamiento de líneas y de barras colectoras por medio de interruptores automáticos, así como la existencia de reservas, constituyen factor importante en el aumento de seguridad.

Al proyectar un sistema se debe prever las unidades que pueden quedar fuera de servicio en caso de falla. Podemos catalogarlas o clasificarlas en estas dos categorías:

- Unidades de carga que pueden quedar fuera de servicio por presencia de una avería; y,
- Unidades de suministro que a pesar de salir del mismo, por avería, no ocasionen interrupción del servicio, o reduzcan al mínimo la magnitud o el tiempo de interrupción, o ambas cosas a la vez.

En un sistema deben determinarse estas unidades de carga y de suministro susceptibles de desconexión para evitar la propagación de una falla.

La unidad de carga susceptible de quedar fuera de servicio consiste en la carga alimentada por un "feeder" o un subfeeder". En zonas urbanas donde existe gran número de "feeders" las cargas importantes se pueden -

alimentar por dos ó más de ellos. En cambio en zonas de baja densidad de carga, la economía del sistema puede imponer la posibilidad de la unidad susceptible de quedar fuera de servicio, comprendiendo como tal un pequeño conjunto de transformadores para distribución local. Es posible mejorar un tanto el servicio mediante el empleo de reconectores automáticos para el caso de producirse la interrupción por causas transitorias, como es una descarga atmosférica por ejemplo.

Las pequeñas subestaciones o centrales generadoras constituyen una unidad cuya falla, aunque menos frecuente que la de una línea, produce pérdida de suministro. Para el caso, los daños son relativamente de reducida proporción dadas las pequeñas potencias, y por lo mismo -- se pueden reparar fácilmente, o aun se pueden reemplazar -- pequeñas unidades en un tiempo breve.

Las grandes subestaciones y centrales generadoras normalmente están seccionadas, de modo que al -- producirse una falla en el sistema, la interrupción quede reducida a una parte de la central o permita que se pueda restablecer prontamente el servicio en la mayor parte o -- la totalidad de la carga.

La unidad de suministro susceptible de quedar fuera de servicio sin producir pérdida de carga es la central generadora, convertidora, transformadora o la línea - que en caso de falla puede retirarse del sistema sin que - haya parte del mismo que se quede sin servicio. Los gran-- des sistemas trabajan normalmente con varias unidades, pa-- ra que en cualquier momento en que se produzca la salida - de una de ellas (generador, transformador, línea) no se o-- casione interrupción en el suministro, a más de que se -- cuenta con unidades de reserva para hacer frente a una nueva contingencia.

Los defectos en las unidades que quedan fuera de servicio se pueden eliminar con un mínimo de inconve--- nientes y perturbaciones en el servicio, pero en ocasio--- nes o no se puede eliminar automáticamente la averfa, o ésta compromete más de una unidad. En tal caso se hace indispensable un seccionamiento progresivo manual hasta locali-- zar la falla y desconectarla. Se procederá entonces con rapidez para limitar la extensión del daño y evitar la pérdida de sincronismo entre las varias partes de un sistema. - Por otro lado, una reducción considerable del equipo sub-- sistente puede ocasionar sobrecargas excesivas que obli--- guen a desconectar parte de la carga, a fin de evitar mayo

res perturbaciones.

1.1.2. El régimen de carga y la seguridad de servicio.

El régimen de carga de los equipos afecta a la seguridad y al costo de la central. La capacidad de los equipos se basa en los ciclos de carga, la temperatura ambiente, la duración del aislamiento. Al atender contra las condiciones normales de funcionamiento se disminuye la duración de utilización, así pues es obvio que un aislamiento sometido a la máxima temperatura admisible sufrirá reducción en su vida.

Por otra parte, la cantidad y naturaleza del aislamiento y la sección de los conductores influyen directamente en la seguridad del sistema. Los equipos contruídos dentro de las normas aceptadas dan resultado satisfactorio en general en las condiciones para las que han sido hechos. Sin embargo se emplea un sobreaislamiento o un sobredimensionamiento de sección conductora para casos especiales o cuando se preve condiciones de trabajo que pueden llegar a ser muy severas.

El seccionamiento y la segregación son factores importantes para consolidar la seguridad del servicio y tienen por objeto limitar una avería a una pequeña parte del sistema y evitar la propagación de sus conse--

cuencias a otras secciones.

Se puede obtener buena seguridad del servicio, dentro de lo normal, si el sistema ha sido bien planificado y si se tiene una buena construcción y hábil manio--bra; pero si se desea llegar a un grado mayor de seguridad, el beneficio obtenido puede ser relativamente inútil en comparación con el costo exagerado del sistema.

1.2. CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA DE PROTECCION.-

1.2.1. Integridad y Seguridad.-

Un sistema de protección debe ser capaz de hacer frente a todos los tipos posibles de falla que puedan preverse. Frente a esta condición de seguridad está otra: - El sistema debe ser práctico y proporcionado a la importancia del equipo a proteger, pues el diseñarlo de modo que -- pueda hacer frente a una falla extremadamente remota podría significar una inversión económica excesiva y por lo mismo no justificada.

1.2.2. Selectividad.

Implica restringir los efectos de una falla, mediante la eliminación de la sección averiada del sistema dejando en servicio todos los elementos sanos. Esto tiene -

relación con el buen uso de los equipos de protección de los circuitos, como también de los de seccionamiento o corte. En otras palabras, deben operar los interruptores o fusibles que encuadran el defecto o el aparato averiado, con exclusión de todos los demás. Así por ejemplo en la figura 1.1, en que se representa un sistema compuesto de tres generadores, dos transformadores, dos líneas de transmisión, etc., al presentarse una falla en el punto F de la línea L1, los interruptores D1 y E1 deben ser los únicos que se abran, dejando así aislada la falla; otro funcionamiento distinto de los interruptores sería inadecuado, por ejemplo si funcionaran los interruptores B1 ó A2, lo cual tendría como efecto el separar del sistema innecesariamente a un transformador o un generador.

1.2.3. Rapidez.

Un sistema de protección correctamente planeado debe despejar la falla en el menor tiempo para evitar en lo posible el más mínimo daño al equipo y a los circuitos, y defender la estabilidad del sistema. Puede suceder que en ciertas circunstancias una desconexión tardía de una falla grave perturbe la estabilidad de la transmisión y ocasione la suspensión total del suministro de energía por un tiempo más o menos prolongado. Hay pues, interés capi--

tal en acelerar la eliminación de una falla, sobre todo en líneas y sistemas de importancia. Únicamente la selectividad impone un cierto límite a la rapidez.

1.2.4. Simplicidad.

Se debe tender al empleo del mínimo equipo - posible con un sistema simple de protección. Muchas veces las averías se complican y son difíciles de despejar en -- sistemas con protecciones extremadamente complejas.

1.2.5. Indiferencia relativa a las sobrecargas.

Un equipo de seccionamiento no debe operar - ante la presencia de una sobrecarga admisible para las ins talaciones. Cuando esta es prolongada y se corre el riesgo de un calentamiento perjudicial a los elementos de un sistema, toca a los relés térmicos detectar esta anomalía. En general todo equipo está diseñado para soportar una sobrecarga determinada durante un cierto tiempo sin atentar su integridad; por lo mismo, en presencia de una sobrecorriente admisible no debe intervenir el equipo de protección cor-- tando el circuito.

1.2.6. Sensibilidad.

La sensibilidad del sistema debe ser sufi-- ciente para que, cualquiera que sea el emplazamiento del -

defecto y las condiciones de explotación de la red, quee asegurada la eliminación de aquel. Sin embargo hay que no tar que hay un límite justo dentro de esta característica de un sistema, pues resulta inútil y hasta perjudicial sen sibilizar mucho los relés, por debajo de la corriente míni ma de cortocircuito.

1.2.7. Economía.

Como en todos los campos de la ingeniería, a la técnica debe estar ligada la economía. Se tratará, para el caso que nos ocupa, de buscar la máxima protección admisible, dentro de un costo aceptable. Será necesario para el objeto examinar los sostos inicial, de operación y manteni miento del sistema y relacionarlo con el costo del equipo de protección asociado a él.

1.2.8. Independencia con respecto a la Configuración de la Red.

El comportamiento del sistema de protección de be ser independiente , en la medida de lo posible, de la configuración de la red, y debe dejar libertad para manio bras tales como puestas en bucle, puestas en paralelo, cam bios de alimentación, sin exigir variaciones o cambios en las regulaciones.

1.2.9. Protecciones diversas.

Junto a los sistemas destinados a eliminar defectos, se encuentran en las redes dispositivos cuyo objeto es poner fin a situaciones anormales que pueden resultar peligrosas si se prolongan, aunque la red no esté afectada de cortocircuito. Estas protecciones intervienen en los casos siguientes: ruptura de sincronismo, sobreelevaciones permanentes de tensión, traslados de potencia en caso de apertura de un bucle, baja de frecuencia, etc.

1.3. SOBREINTENSIDADES. PROTECCION.

1.3.1. Sobreintensidades. Tipos.

Se tiene una sobrecorriente sobre un circuito cuando la corriente que fluye a través del mismo excede el valor nominal. La sobrecorriente puede presentarse como sobrecarga, corriente de falla o cualquier corriente súbita que puede considerarse anormal.

Sobrecarga. Es la corriente de carga que puede causar elevación de temperatura en un componente del circuito hasta el punto de alcanzar una temperatura final que está sobre la de operación de aquel componente, si se permite a la corriente fluir indefinidamente.

La corriente de falla se define como aquella corriente que fluye de un conductor a tierra o a otro conductor, debido

a una conexión anormal (incluyendo el arco) entre los --
dos.

"Golpes" anormales de corriente son corrientes transito-
rias como aquellas causadas por descargas atmosféricas
u operaciones de suiches. Las corrientes transitorias --
causadas por la conexión en frío luego de un tiempo de --
reposo, y las corrientes de arranque de motores deben --
ser consideradas como "golpes" normales de corriente.

Todas estas condiciones de anormalidad en el flujo de co-
rriente siguen fenómenos definidos por dos leyes que se
se aplican en general:

- 1a) La energía térmica desarrollada por la corriente --
que atraviesa dos conductores colocados a cierta --
distancia aumenta proporcionalmente al cuadrado de --
la intensidad (Ley de Joule); por lo mismo su tempe-
ratura aumenta tanto más cuanto mayor es la intensi-
dad que los recorre.
- 2a) Entre dos conductores colocados a cierta distancia
se producen fuerzas electrodinámicas de atracción -
o repulsión, según el sentido de la corriente que -
los atraviese (Ley de Ampere); esfuerzos que son --
proporcionales al producto de las corrientes (en -
el caso de ser iguales, el esfuerzo crecerá con el

cuadrado de la corriente),

Todos los elementos de un sistema eléctrico: generadores, transformadores, barras, interruptores, etc. están dimensionados para soportar una intensidad de corriente -- tal que la temperatura producida no sea atentatoria contra los aislamientos ni los esfuerzos electrodinámicos -- ocasionen deformación en los aparatos. Cuando la corriente en los conductores pasa este valor, se habrá producido una sobreintensidad.

Cuando la sobreintensidad no adquiere un valor excesivo, por ejemplo hasta un 50%, sólo se dejan sentir los efectos térmicos. Debido a esto se construye el equipo como en el caso de los transformadores, de modo que puedan admitir una cierta sobrecarga en un tiempo determinado sin que se produzcan daños.

Por el contrario, cuando se presenta un cortocircuito, -- la intensidad es algunas veces mayor que la nominal -- (5, 10, 20) y en tal caso son preponderantes los efectos electrodinámicos que producen esfuerzos mecánicos exagerados en las máquinas.

1.3.2. Protección contra sobrecorrientes:

La carga a servirse tendrá la mayor influencia

en el diseño del sistema de protección, pues son las características de la carga las que determinan el diseño total del sistema eléctrico; en otras palabras la inversión en el sistema de protección es proporcional a la inversión del sistema todo; por lo mismo el planeamiento del sistema de protección es parte del planeamiento de un sistema eléctrico.

El ingenierá debe esforzarse por diseñar un sistema de modo que pueda asegurar el mínimo de fallas. Para el objeto se ha de echar mano de dos herramientas básicas que determinan el buen comportamiento del sistema: a) el sistema de protección; b) el tipo de construcción del sistema en general. Estas dos están íntimamente relacionadas y se han de coordinar para conseguir el mejor resultado, naturalmente sobre bases prácticas, sin perder de vista el aspecto económico que es de suma importancia en todo proyecto.

Existen varios métodos para proteger un sistema contra los efectos nocivos de una sobreintensidad, dependiendo el tipo de instalación, del elemento a proteger, de la exigencia del servicio, de la intensidad de la corriente. A continuación citamos los más empleados, exponiendo brevemente el campo de aplicación de cada uno.

- a) Aumento de la reactancia de dispersión de los generadores.
- b) Bobinas de reactancia.
- c) Desexcitación rápida de una máquina.
- d) Fusibles.
- e) Interruptores.

Los dos primeros sirven para reducir el valor de la corriente transitoria de cortocircuito; y además para interrumpir la alimentación sobre el lugar de falla.

a) Aumento de la Reactancia de Dispersión:

Como se verá más adelante la corriente inicial de cortocircuito es inversamente proporcional a la reactancia de dispersión de los alternadores ($I_c = V / \sqrt{3 \cdot X_i}$). El método consiste en adoptar dispositivos especiales (por ejemplo, forma adecuada de las cabezas de las bobinas) a fin de aumentar la reactancia. No es posible usar este método sino dentro de ciertos límites para no comprometer el normal funcionamiento de los alternadores.

Es preferible en muchos casos, la siguiente modalidad de protección.

b) Bobinas de Reactancia:

En los bornes de los generadores, sobre los bornes colectores o a la salida de las líneas se incluyen las bobinas de reactancia que limitan la corriente transitoria de cortocircuito. El arrollamiento del reactor va sobre un núcleo de madera o de cemento, o en ocasiones simplemente en el aire; pero en todo caso debe reforzarse a fin de que pueda soportar los grandes esfuerzos que se producen con el cortocircuito. Se evita el núcleo de hierro porque su gran saturación en el momento del cortocircuito no ayudaría al aumento de reactancia, pues la permeabilidad se acerca a la del aire, y, por otra parte, produciría pérdidas por histéresis o por corrientes parásitas.

Las bobinas de reactancia se emplean en instalaciones en las cuales se quiere evitar el costoso montaje necesario para resistir los valores máximos de la corriente de cortocircuito, y también en instalaciones que a causa de ampliaciones serán atravesadas por mayores corrientes de cortocircuito, para las cuales no estaban previstas dispositivos de corte.

c) Desexcitación rápida de los alternadores

Dispositivos especiales reducen rápidamente la excitación de un alternador, evitando los daños de un cortocircuito interno, pero debido a que producen la salida inmediata del servicio de la unidad, no es aconsejable su empleo, sino con las precauciones necesarias y únicamente con el objeto de evitar mayores consecuencias.

d) Fusibles

Están constituidos por un hilo o por una lámina metálica y se insertan en el circuito a proteger.

Debido al paso de la corriente se calientan por el efecto Joule; sin embargo la temperatura de régimen existente al paso de la corriente nominal la soportan sin sufrir calentamiento excesivo. En cambio se funden con el paso de sobrecorrientes mayores en un tiempo tanto menor cuanto mayor es la intensidad de sobrecarga o de cortocircuito.

Para pequeñas intensidades se emplean fusibles contruidos con plomo, estaño, o aleaciones de metales de bajo punto de fusión. En intensidades

mayores o en fusibles de calidad se emplea la plata o aleaciones de plata-platino.

Los fusibles son medios de protección automática más económica, pero presentan la desventaja de tener que cambiarlos manualmente para volver al circuito a sus condiciones normales de funcionamiento.

e) Interruptores.

Al igual que los fusibles, son dispositivos para cortar la corriente en general y de modo particular los cortocircuitos. Dado que no es posible despejar una falla con un dispositivo de protección provisto de partes móviles, es inevitable que en los circuitos protegidos por interruptores se hagan presentes fuerzas electrodinámicas -- muy grandes, las cuales alcanzan su máximo valor -- durante la primera semionda de corriente, luego de producida la avería. Por esta razón los elementos posteriores al interruptor (barras, aisladores, etc.) deben dimensionarse para que puedan soportar la -- máxima sollicitación debida al cortocircuito.

Cuando el mando para la maniobra del in-

terruptor no se realiza manualmente, se trata de un interruptor automático, siendo el órgano del automatismo el "relé", aparato sensible a determinada magnitud (intensidad, tensión, impedancia).

El empleo de los fusibles y de los interruptores tiene su campo delimitado, mientras los primeros - se emplean para protección de transformadores o pequeñas líneas, los interruptores se utilizan en todos los circuitos importantes.

1.4. CAUSAS Y TIPOS DE LOS CORTOCIRCUITOS.-

1.4.1. Causas de los cortocircuitos.

Se producen los cortocircuitos cuando hay contacto entre conductores o entre conductores y tierra o cualquier pieza metálica unida a ella. Las varias causas que pueden suscitar estos defectos son:

- a) De origen eléctrico: Debido a la alteración de un - aislante que resulta incapaz de soportar la tensión.
- b) De origen mecánico: Se deben a las roturas de aisladores o de conductores, a la caída de un cuerpo extraño sobre éstos, en líneas aéreas, al golpe de un pico en un cable subterráneo, etc.
- c) De origen atmosférico: Son entoces ocasionados por

un rayo que alcanza los conductores de una línea o cae en sus proximidades, o bien por el viento, la niebla, el hielo que producen efectos mecánicos de a cercamiento entre los conductores, o efectos eléctricos como la alteración de la superficie de un aislamiento.

- d) Consecuencias de un régimen transitorio que produce sobretensiones elevadas y causa la perforación de los aislantes. Si bien por lo general las sobreintenssidades debidas a los regímenes transitorios no exceden de tres veces la tensión normal, ciertos fenómenos complejos pueden causar sobreelevaciones mucho más graves.
- e) Pueden por último ser causados por falsas maniobras como por ejemplo la apertura de un seccionador bajo carga.

Estos contactos accidentales no afectan a todos los conductores en forma simultánea. En las redes trifásicas, a las que nos limitaremos, la experiencia muestra que la gran mayoría de cortocircuitos (talvez un 70%) se producen, o al menos empiezan entre una fase y tierra.; sinembargo, si el defecto no se elimina con la rapidez necesaria, el arco puede extender la fa

lla a una o aún a ambas fases sanas.

1.4.2. Tipos de cortocircuitos en redes trifásicas.

Se pueden clasificar en:

- Falla de fase a tierra;
- Falla de fase a fase;
- Falla de dos fases a tierra; y
- Falla trifásica o entre las tres fases.

Los tres primeros tipos son comunes a sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos, y el cuarto puede producirse sólo en estos últimos.

a) Falla de fase a tierra:

Se produce cuando un conductor de fase se cortocircuita a tierra o al neutro de un sistema. En sistemas con el neutro aislado la puesta a tierra simple no produce corrientes comparables a las de cortocircuitos sino una corriente a tierra de orden mucho menor. En la figura 1.2. se indican las posibilidades de falla de este tipo en un sistema trifásico con neutro puesto a tierra.

b) Falla de fase a fase:

Las fallas entre dos conductores o de fase a fase tienen lugar cuando se cortocircuitan dos conductores

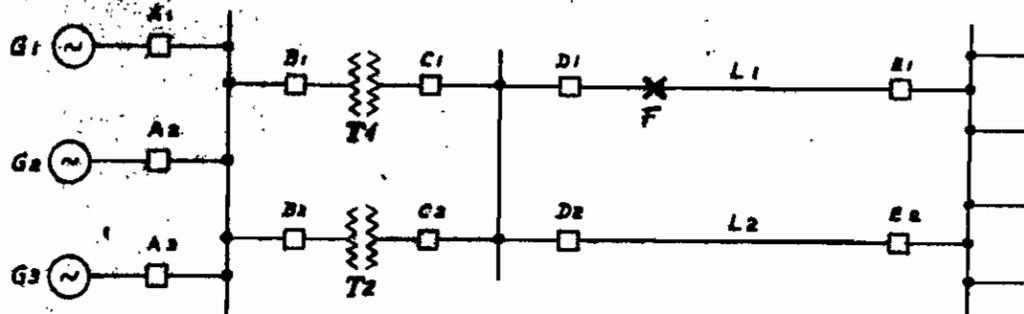


FIG. 1.1
SELECTIVIDAD DE UN SISTEMA DE PROTECCION

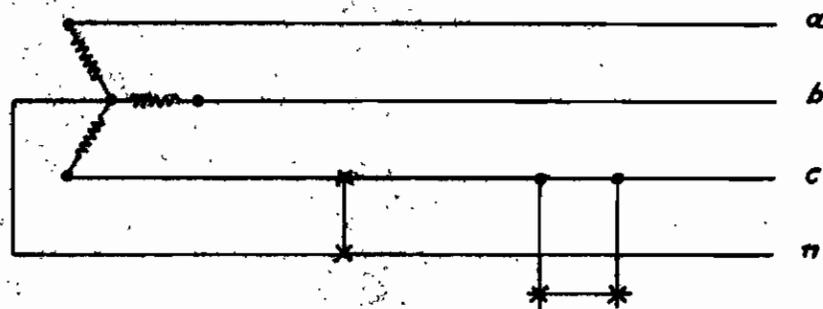


FIG. 1.2
FALLAS DE FASE A TIERRA

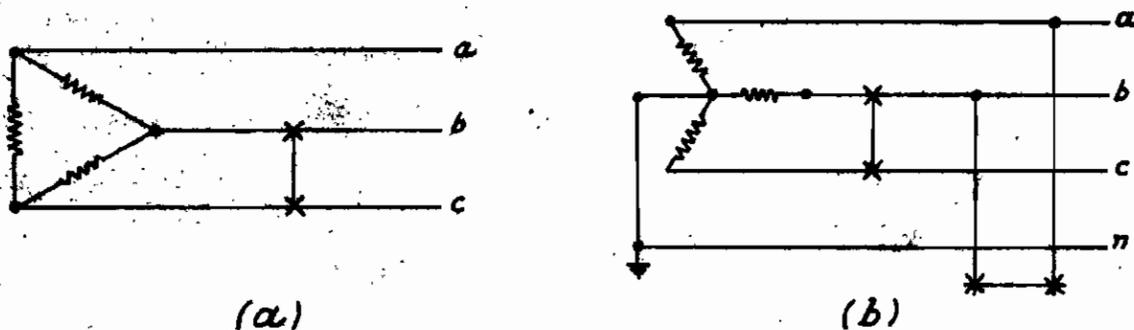


FIG. 1.3
FALLAS DE FASE A FASE

de fase de un sistema bifásico o trifásico. En los sistemas trifásicos que son los que nos interesan esta falla puede producirse ya sea que el sistema esté conectado en delta o en estrella. La figura 1.3. muestra este tipo de cortocircuito.

c) Falla de dos fases a tierra:

La falla entre dos conductores y tierra se produce cuando se cortocircuitan a través de tierra o cuando se unen al neutro de un sistema bifásico o trifásico --- puesto a tierra. En la figura 1.4. se indica este tipo de falla.

Tanto esta falla como la anterior producen el mismo efecto. En el punto de alimentación el triángulo de tensiones permanece indeformado teóricamente (en la práctica no es así debido a la inductancia del generador). Si suponemos que la fase sana es la U, la tensión entre V y W desciende hasta cero a medida que nos desplazamos hasta el punto del cortocircuito, mientras la tensión de la fase U permanece invariable. (Fig. 1.5.)

d) Falla trifásica:

Es quizá la menos frecuente. Se puede producir -- porque los tres conductores fallen a tierra o porque se produzca el arco o porque algún cuerpo extraño caiga so-

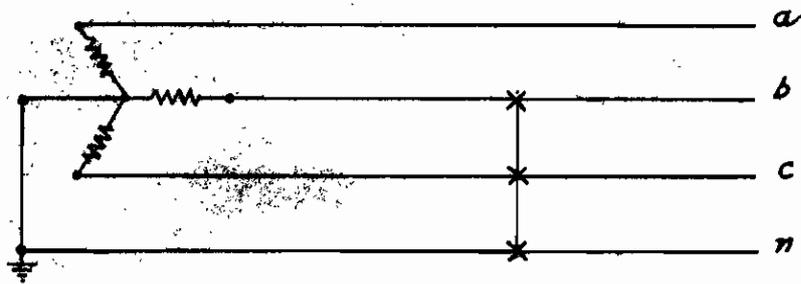


FIG. 1.4
FALLA DE DOS FASES A TIERRA

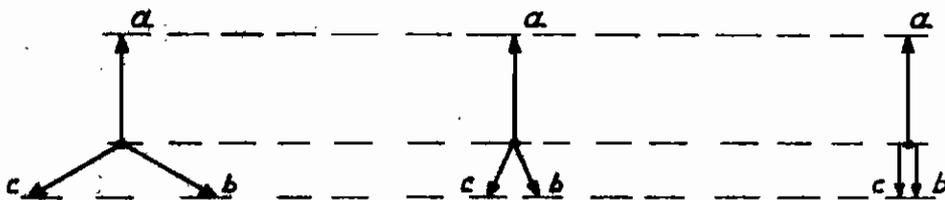


FIG. 1.5
VARIACION DE TENSIONES EN UNA FALLA DE FASE A TIERRA O DE DOBLE FASE A TIERRA

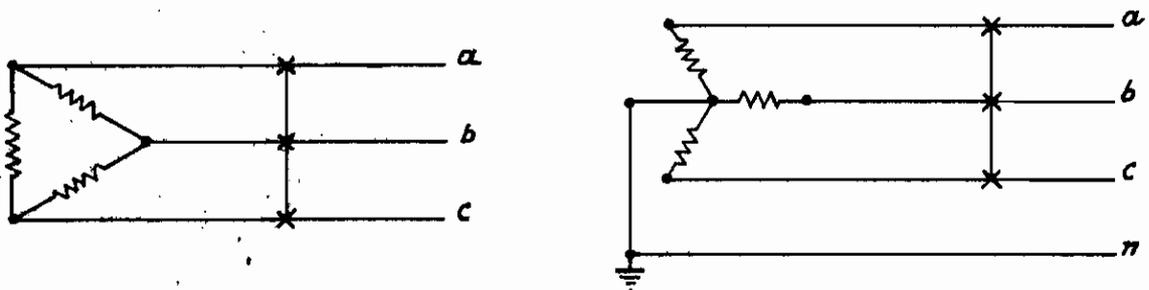


FIG. 1.6
FALLAS TRIFASICAS

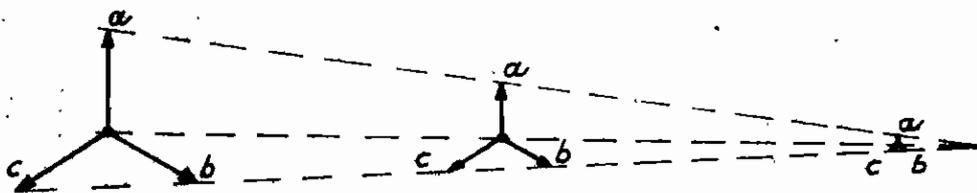


FIG. 1.7
VARIACION DE TENSIONES EN UNA FALLA TRIFASICA

bre los tres conductores (Fig. 1.6.). En este caso el --- triángulo de tensiones varía como se indica en la Fig. - 1.7.: En el sitio de la avería la tensión entre fases se reduce a cero y aumenta hacia el punto de alimentación.

El cortocircuito trifásico y el de fase a tierra dan lugar a intensidades mayores que las producidas en - los otros casos; por ello se ha de dimensionar los aparatos de protección de acuerdo a la corriente de cortocircuito obtenida para el caso de falla trifásica o de fase a tierra (la máxima).

1.5. EFFECTOS DE LOS CORTOCIRCUITOS.-

1.5.1. Calentamiento:

Las corrientes de cortocircuito producen calentamiento brusco en los devanados de los alternadores y --- transformadores y en los cables, calentamiento que incide directamente en la conservación del aislante, pues si bien puede no producirse la carbonización total, ya que el tiempo de duración del cortocircuito es pequeño, en - cambio disminuye el poder dieléctrico del aislante, debido al calor desarrollado por el efecto Joule.

Habría pues que examinar si el calentamiento producido por un cortocircuito está dentro del límite admisi-

ble para las diversas partes de una instalación. Para resolver el problema se parte de los valores de la corriente de cortocircuito estacionario y del tiempo transcurrido entre la iniciación y la interrupción del cortocircuito, pero más exactamente debería tomarse en cuenta el valor de la corriente de choque, pues para el valor estacionario se amortigua; por ello se toma un tiempo adicional Δt . Con miras a simplificar el cálculo - admiraremos:

- que es despreciable la cesión del calor de los conductores al medio ambiente, dada la brevedad del tiempo del cortocircuito.

↓ que el calor específico del material permanece constante a pesar del aumento de temperatura.

Aceptadas estas condiciones, se puede proceder de varias maneras para el cálculo del calentamiento producido. Nos limitaremos a exponer el más sencillo.

Conocido el aumento de temperatura Δt admisible para un conductor determinado, se puede encontrar la corriente de cortocircuito que puede soportar, mediante la fórmula (Estaciones Transformadoras y de Distribución, Zoppetti):

$$I_{cc} = k \cdot s \cdot \sqrt{\Delta t / t} \quad (1)$$

donde:

I_{cc} es el valor efectivo de la corriente de cortocircuito durante el tiempo t , en amperios.

k es una constante que depende del material:

para el cobre 13

para el aluminio 8,4.

s es la sección del conductor en milímetros cuadrados.

t es el tiempo de duración del cortocircuito, desde su iniciación hasta su apertura.

Δt elevación de temperatura admisible. en ° C.

Las temperaturas admisibles para el caso de un cortocircuito son:

para conductores desnudos de aluminio: 180° C.

para conductores desnudos de cobre: 200° C.

Para cables de baja tensión se puede admitir por un breve tiempo (algunos segundos) hasta unos 150 °C. - En cables de alta tensión se debe tener especial cuidado de la buena conservación del medio eléctrico, por ello se reducen los calentamientos admisibles con el aumento de tensión:

Para 6 KV 120 ° C.

10 115

Para 20 KV 110 ° C.

Cuando en cables de alta tensión, debido a un cortocircuito se produce calentamiento es necesario que a éste siga una pausa para refrigeración, antes de ponerlo en servicio, ya que de lo contrario se corre el peligro de perforación por falta de resistencia térmica.

Cuando se desee reducir la sección de un conductor por economía, será preciso reducir en lo posible el tiempo de desconexión de la falla.

1.5.2. Esfuerzo Electrodinámico:

El esfuerzo electrodinámico máximo se presenta en la iniciación del cortocircuito, con el primer golpe de corriente, y tiene un valor tan grande que en centrales de magnitud considerable puede ocasionar serias averías si no se toman las providencias del caso.

Este esfuerzo se puede calcular mediante la fórmula (Manual "AEG" para Instalaciones Eléctricas de Alumbrado y Fuerza Motriz):

$$F = 2,04 \times \frac{l \cdot I_a \cdot I_b}{d} \times 10^{-8} \quad (2)$$

donde:

F es la fuerza producida en kilogramos.

l es la longitud del conductor en centímetros.

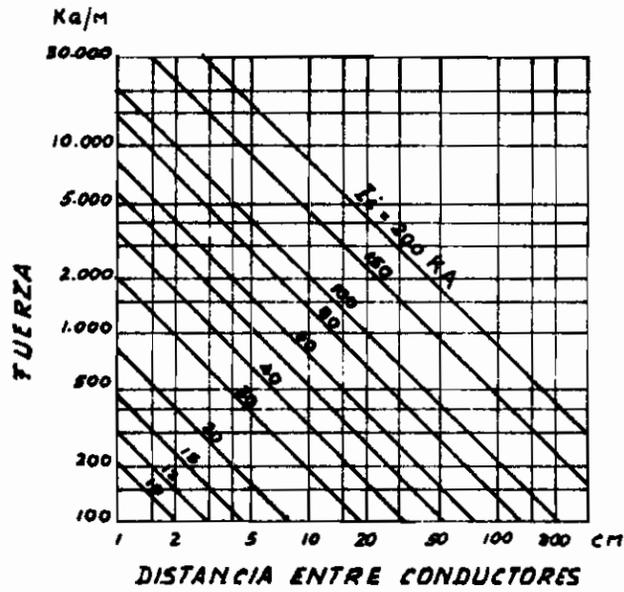


FIG. 1.8
FUERZA ENTRE DOS CONDUCTORES
RECORRIDOS POR IGUAL CORRIENTE
Y EN FASE

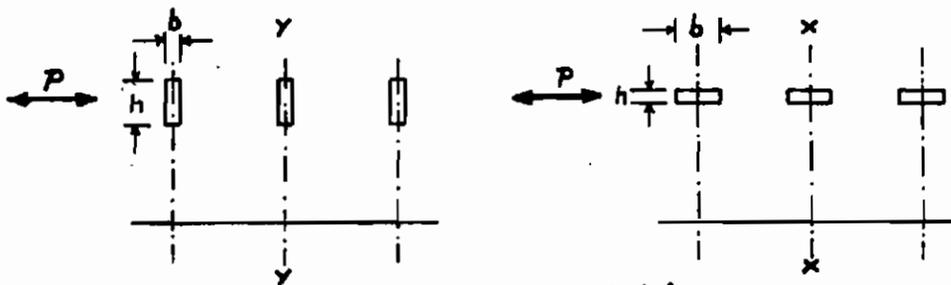


FIG. 1.9
MOMENTO RESISTENTE DE BARRAS PLANAS
REFERIDO A LA DIRECCION DE LA FUERZA P.

- Ia es la intensidad en el conductor a, en amperios.
Ib es la intensidad en el conductor b, en amperios.
d es la distancia entre conductores, en centímetros.

El esfuerzo en kilogramos entre dos conductores referido a la corriente de choque Ii en kA y por cada metro de longitud es { Manual "AEG" para Instalaciones Eléctricas de Alumbrado y Fuerza Motriz }:

$$F = 2,04 \frac{I i}{3} \quad (3)$$

Cuando las distancias son desiguales conviene tomar la menor de ellas. De la Fig. 1.8. se puede deducir el valor de la fuerza por metro de longitud de conductor en función de la corriente de cortocircuito de choque y de la distancia entre conductores.

Hay que considerar que en caso de barras rectangulares, el esfuerzo de rotura del aislador de apoyo se refiere al esfuerzo que se aplica en la cabeza del aislador por ser éste el punto de apoyo. La resistencia mecánica de las barras se determina a base del momento resistente { Manual "AEG" para Instalaciones Eléctricas de Alumbrado y Fuerza Motriz }:

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6} \text{ cm}^3 \quad (4)$$

(para barras rectangulares)

En la Fig, 1.9. se indica la aplicación de a y b según la posición de las barras adoptada.

Las barras se consideran como vigas sometidas - a carga uniformemente repartida. Su momento de flexión según el montaje es:

$$\text{Para barras colectoras: } M f = \frac{F \cdot l}{16} \quad (\text{Kg.cm.}) \quad (5)$$

$$\text{Para derivaciones: } M f = \frac{F \cdot l}{10} \quad " \quad (6)$$

Siendo la carga admisible $K f$ el momento resistente se calcula:

$$W f = M f / K f \quad (\text{cm}^3) \quad (7)$$

$K f$ para el cobre: 1.000 a 1.200 Kg./cm.³

para el aluminio: 400 a 600 "

El valor que se obtenga mediante (7) no debe ser mayor - al obtenido con (4).

1.5.3. Efectos producidos por los arcos:

Los arcos ocasionan frecuentemente desperfectos graves, debido a las tensiones altas que se producen, unidas a los efectos térmicos y a la influencia de los efectos electrodinámicos. Debido al arco, un cortocircuito - entre fase y tierra puede convertirse en cortocircuito - entre dos o más conductores entrañando así un serio peligro.

Los arcos que contornean las cadenas de aisladores en las líneas aéreas pueden causar la destrucción de los mismos; por este motivo se suele dotar a las cadenas de cuernos o anillos metálicos que separen el arco de los aisladores. Los arcos que se producen en cables subterráneos, debido a su perforación, pueden producir la fusión del cobre y del plomo y del plomo en varios centímetros y aun decímetros si no ^{se} despeja el defecto con la rapidez suficiente.

1.5.4. Accidentes en los Interruptores:

Las intensidades en el caso de cortocircuito alcanzan valores tan grandes que hacen muy difícil la interrupción de los circuitos por parte de los interruptores encargados de aislar la falla. En casos extremos hasta puede producirse la explosión del interruptor.

Esto debe tomarse muy en cuenta para el caso de interconexión de redes, pues el peligro es evidente en aparatos antiguos instalados en redes de tensión media unidas a redes de gran potencia, a causa de las corrientes de cortocircuito.

1.5.5 Perturbaciones en circuitos de telecomunicaciones:

Cuando recorren paralelamente una línea de energía y otra de telecomunicaciones, sean aéreas o sub-

terráneas, un cortocircuito asimétrico entre una o dos fases y tierra que se presente en la primera, induce -- una fuerza electromotriz en el circuito constituido -- por la tierra y la línea de telecomunicaciones; si ésta se encuentra puesta a tierra o está mal aislada en uno de sus puntos, se hará presente una tensión en el extremo de esta línea, la cual puede alcanzar valores peligrosos para el personal y la instalación telefónica.

1.5.6. Influencia del cortocircuito en la estabilidad:

Las corrientes de cortocircuito al atravesar los varios elementos de una red provocan caídas de ten sión con el consiguiente riesgo de originar el desen-- ganche de las máquinas y poner en peligro la estabilidad de las redes por pérdida de sincronismo.

Efectivamente, al producirse la perturbación -- las magnitudes eléctricas cambian rápidamente de sus -- valores iniciales a otros que corresponden al nuevo -- estado, mientras los pares mecánicos en el mismo perío do de tiempo no pueden modificarse dando como resulta-- do un desequilibrio entre el par motor y el par resisten te de una máquina, con lo cual el rotor del alternador sufre una aceleración o deceleración.

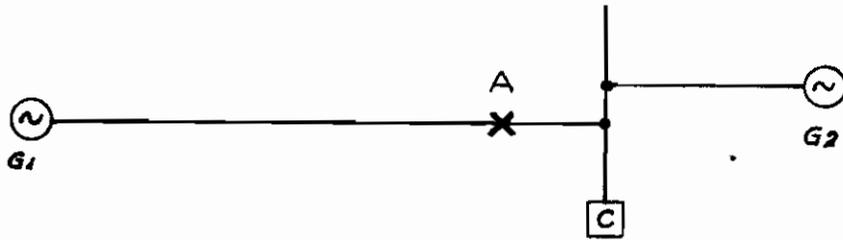


FIG. 1.10

INFLUENCIA DEL CORTOCIRCUITO EN LA ESTABILIDAD

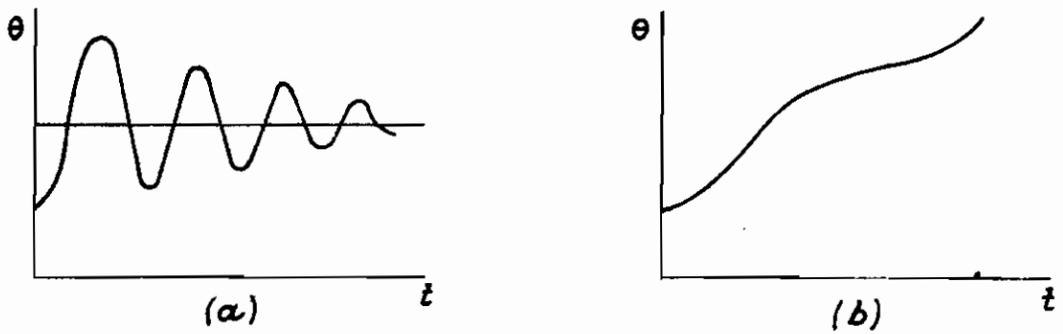


FIG. 1.11

VARIACION DEL ANGULO ENTRE LOS EJES DE DOS ROTORES AL PRODUCIRSE CORTOCIRCUITO



FIG. 1.12

LIMITACION DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO POR AUMENTO DE LA IMPEDANCIA

Consideremos por ejemplo el sistema de la Fig. 1.10.: La carga C alimentada desde dos generadores G1 y G2. - Supongamos que se produce una falla en el punto A, con tigo a las barras de C; esta falla obstaculiza la --- transmisión de la potencia, especialmente reduce la de G1. Como los pares motores no han podido variar, las - máquinas se aceleran. El defasaje eléctrico medido entre los ejes de los rotores, comienza a crecer retar-- dando el movimiento relativo de G1, con relación a G2. Se pueden presentar dos casos:

- Después de una serie de oscilaciones, el ángulo θ toma un nuevo valor θ_1 , mayor que el inicial θ_0 y se produce un nuevo equilibrio de la red. Para el caso, el movimiento relativo de los rotáres es oscilatorio amortiguado y se conserva el sincronismo (Fig.1.11.a)
- El ángulo de defasaje θ crece continuamente con el tiempo, el movimiento relativo de los rotores es de revolución y se pierde el sincronismo (Fig. 1.11.b).

Estos resultados pueden extenderse a redes de configuración complicada, con varios grupos de generadores y varios centros de consumo. Cuando se produce la perturbación las máquinas pueden permanecer en sincronismo en el interior de un mismo grupo, pero ocurre que los diferentes grupos han perdido el sincronismo -

entre sí y funcionan a diversas frecuencias.

1.6. LIMITACION DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.-

Una instalación eléctrica puede considerarse - como segura contra los cortocircuitos cuando su capacidad de ruptura, así como su resistencia mecánica, pueden soportar los máximos esfuerzos que se hacen presentes en casos de cortocircuito . Es problema económico si conviene más invertir en un adecuado sistema apropiado para resistir los esfuerzos, o si es preferible disminuir la potencia de cortocircuito para reducir - sus efectos. Puede ser medio apropiado para limitar - las corrientes de cortocircuito el subdividir las redes y potencias de las centrales, pero nos ocuparemos a continuación de los medios más adecuados para reducir los efectos de las sobrecorrientes de cortocircuito sin dividir las potencias.

1.6.1. Elección de una tensión de servicio la más alta posible:

Es sabido que la reactancia puede reducirse de una tensión a otra mediante la fórmula:

$$X_2 = X_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (8)$$

La reactancia varía con el cuadrado de la tensión de servicio. La componente alterna de la corriente de choque de cortocircuito (sobre esta se hablará en

el siguiente punto) se reduce al aumentar la reactancia, y con ello se reducen también los valores de la corriente total de choque, de la corriente de ruptura simétrica y de la corriente de cortocircuito estacionaria. De aquí que será recomendable elegir, para alternadores y transformadores., las tensiones más altas posibles y sus tensiones de dispersión tan elevadas - como lo permitan las caídas de tensión admisibles para un servicio normal.

1.6.2 Impedancia de cortocircuito lo más elevada posible:

Para moderar la potencia de cortocircuito si no es posible el paso a una tensión muy alta, se puede aumentar la impedancia de cortocircuito. Para el objeto se aumenta la reactancia mediante la inclusión de bobinas limitadoras de las corrientes de cortocircuito, de las cuales se habló ya anteriormente. En estas bobinas, la reactancia (mucho mayor que R) produce una caída de tensión V_x , defasada 90° con respecto de la corriente de servicio (ver Fig. 1.12), y que se suma geométricamente a las caídas de tensión producida por la resistencia óhmica V_r . El ángulo de decaje entre tensión y corriente φ aumenta al aumentar la reactancia del circuito; con ello aumenta el efecto limitador de la bobina intercalada en la --

trayectoria del cortocircuito.

Se puede instalar una sola bobina general entre la alimentación y las barras, o una para cada una de las salidas de estas. Un cálculo de las corrientes de cortocircuito y de rentabilidad lleva a la conclusión de que es preferible lo segundo en parte porque las bobinas de menor potencia presentan mayor resistencia al paso de la corriente de cortocircuito. Sin embargo por economía de espacio y para proteger una zona completa, puede ser ventajoso incluir una bobina en la línea de alimentación; en tal caso los interruptores de las derivaciones de la barra pueden ser de menor potencia de ruptura.

En ocasiones se puede instalar una bobina protectora separando grupos de máquinas o de transformadores. Estas bobinas se prevén para una tensión de cortocircuito elevado. En servicio normal sólo pasa por ellas una débil corriente de compensación y las pérdidas permanentes son muy pequeñas. La bobina se instala en paralelo con el interruptor de potencia.

1.6.3. Apertura rápida:

Indudablemente que los fusibles para alta tensión y potencia son los más eficaces medios de inte -

rumpir la corriente de cortocircuito en breve tiempo, - tanto que no le permite alcanzar su pleno valor. Su efecto protector consiste en la limitación de los efectos - del cortocircuito en los puntos posteriores de éste.

A causa de la gran sensibilidad contra sobre - corrientes que poseen los fusibles de pequeñas intensida des, es recomendable adoptar un tipo de intensidad algo sobredimensionado en derivaciones sometidas a corrientes de choque. La protección contra sobrecargas se realiza - en este caso por medio de relés.

1.7. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.-

1.7.1 Corrientes de cortocircuito simétricas y asimétricas:

Estos términos se emplean para describir la si metría de las ondas de corriente alterna al rededor del eje cero. Cuando las crestas de dichas ondas son simétri cas con respecto al eje cero, la corriente se llama simé trica (Fig. 1.13.). Si las crestas de las ondas no son - simétricas con respecto al eje cero, la corriente será asimétrica. (Fig. 1.14.)

En los circuitos reales la asimetría decrece - rápidamente después de la ocurrencia de la falla. En el instante de producido el cortocircuito la corriente lle ga a su máxima desimetría para luego gradualmente con--

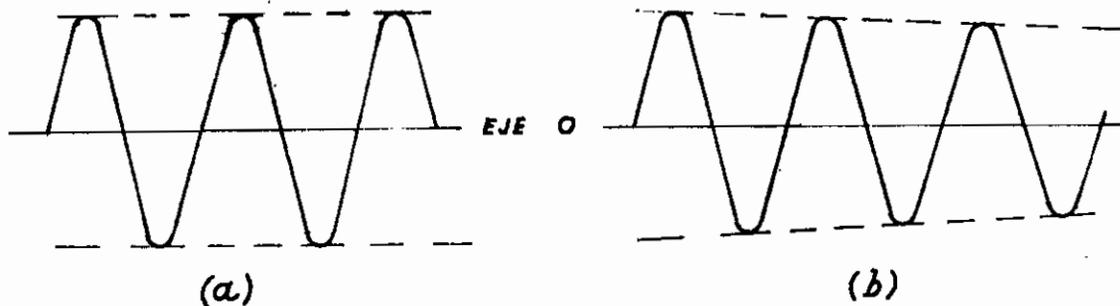


FIG. 1.13

ONDA DE CORRIENTE ALTERNA SIMETRICA

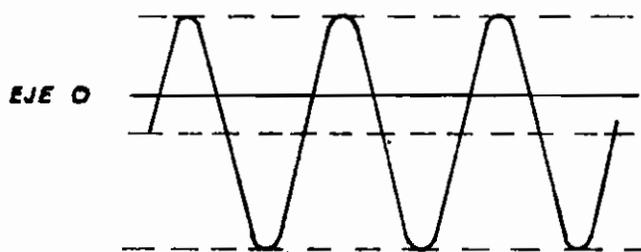


FIG. 1.14

ONDA ASIMETRICA DE CORRIENTE ALTERNA

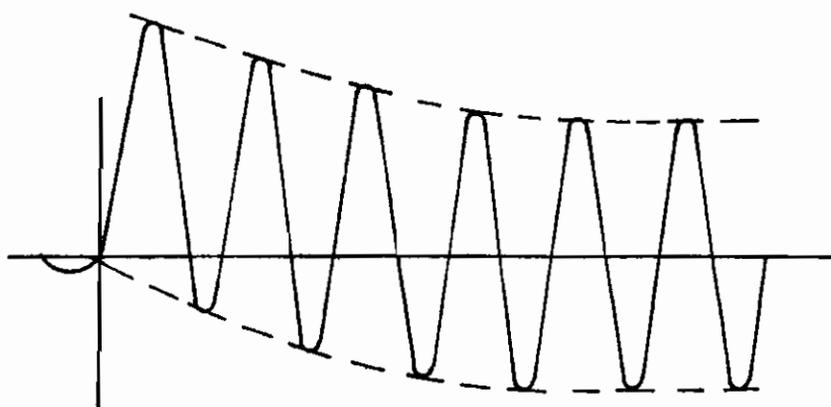


FIG. 1.15

VARIACION DE LA ONDA EN UN CORTOCIRCUITO

vertirse en corriente simétrica al cabo de unos pocos ciclos. (Fig. 1.15).

En los sistemas eléctricos generalmente los voltajes generados son alternos de onda sinusoidal. Por lo mismo, también las corrientes de cortocircuito son de la misma forma.

En circuitos ordinarios de los sistemas la resistencia es prácticamente despreciable en relación con la reactancia, por eso la corriente de cortocircuito generalmente está defasada casi 90° con respecto al voltaje interno del generador. (Fig.1.16).

Si ocurre una falla en un circuito de resistencia despreciable, en el momento en que el voltaje es máximo, la corriente de cortocircuito se iniciará en cero y trazará una onda sinusoidal simétrica. (Fig. 1.17). Si en el mismo circuito la falla tiene lugar cuando el voltaje es cero, la corriente de cortocircuito se inicia también en cero pero en este caso la onda sinusoidal será asimétrica, retrazada 90° con respecto al voltaje (Fig. 1.18).

En circuitos en los cuales la resistencia no es despreciable, la variación se realiza en forma semejante dentro de los mismos límites; sin embargo el punto sobre la onda de voltaje para que la corriente de cortocircuito deba ocurrir para producir la máxima desimetría depende de la relación R/X . Se tiene la máxima asimetría cuando el

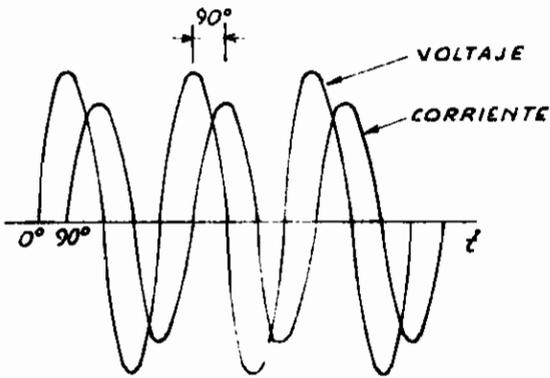


FIG. 1.16
RELACION DE FASE ENTRE EL
VOLTAJE Y LA CORRIENTE

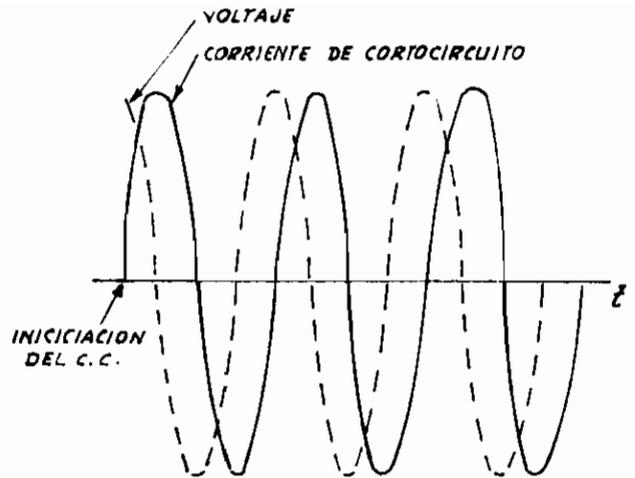


FIG. 1.17
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO
SIMETRICO Y VOLTAJE EN UN
CIRCUITO DE FACTOR DE POTENCIA
CERO

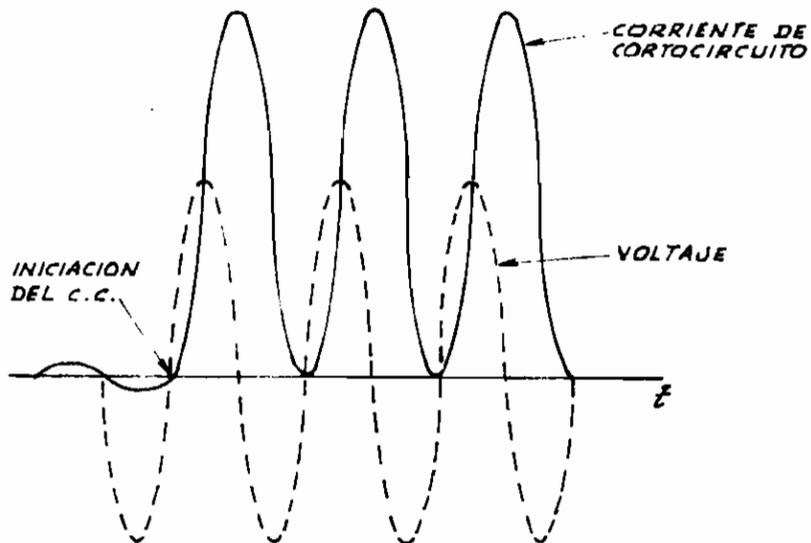


FIG. 1.18
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ASIMETRICO
Y VOLTAJE EN UN CIRCUITO DE FACTOR DE
POTENCIA CERO

cortocircuito se produce a un tiempo con un ángulo igual a $90^\circ + \theta$ (medido hacia adelante en grados desde el punto cero de la onda de voltaje) donde $\text{tag. } \theta = X/R$. La corriente será simétrica cuando la falla ocurre 90° desde aquel punto sobre la onda de voltaje. En la Fig. 1.19. se ilustra las ondas de corriente de cortocircuito y voltaje generado para un circuito de valores de reactancia y resistencia iguales.

1.7.2. Componente de corriente directa de las corrientes asimétricas de cortocircuito:

Al considerar las corrientes asimétricas de cortocircuito como simples ondas asimétricas, se hace difícil la interpretación a fin de aplicar disyuntores y con el propósito de instalar relés; por esto, la corriente asimétrica se la considera dividida en dos componentes, simples: una asimétrica de corriente alterna y otra de corriente directa. La suma de las dos en cualquier instante da la magnitud de la onda asimétrica total para ese instante. (Fig. 1.20.) Esta figura como las anteriores se han elaborado con fines de ilustración, pero en la práctica la asimetría que se produce es diversa, ya que la componente de corriente directa decae rápidamente.

La magnitud de la componente de corriente directa depende del instante en el cual se inicie el corto circuito y varía desde cero (Fig. 1.17.) hasta un valor inicial máximo igual al pico de la componente simétrica de C.A. (Figs. 1.18 y 1.19.) En general cualquiera que

sea el instante en que ocurre el cortocircuito, la magnitud inicial de la componente de C. D. es igual al valor de la componente simétrica de C. A. en el instante del cortocircuito. Los límites indicados para el valor inicial de la componente de C. D. son valederos para un sistema sin considerar los valores de la resistencia y reactancia. Sin embargo esta componente no continúa fluyendo a un valor constante, a menos que exista un sistema con resistencia nula en el circuito.

No hay voltaje de C. D. que pueda mantener el flujo de la componente de esta naturaleza, por lo mismo la energía que produce esta corriente será disipada como $I^2 \cdot R$ a través de la resistencia del circuito. Si esta tuviera valor cero, la componente de C. D. fluiría con un valor constante, pero en los circuitos reales esto es hipotético y la componente decae progresivamente. El grado de disminución se llama "decremento".

1.7.3. Relación X/R

El decremento o disminución de la componente de C. D. de cortocircuito es proporcional al cociente reactancia/resistencia del circuito completo hasta el punto de falla. La teoría para el caso es la misma que explica el fenómeno que se produce al abrir un circuito consti-

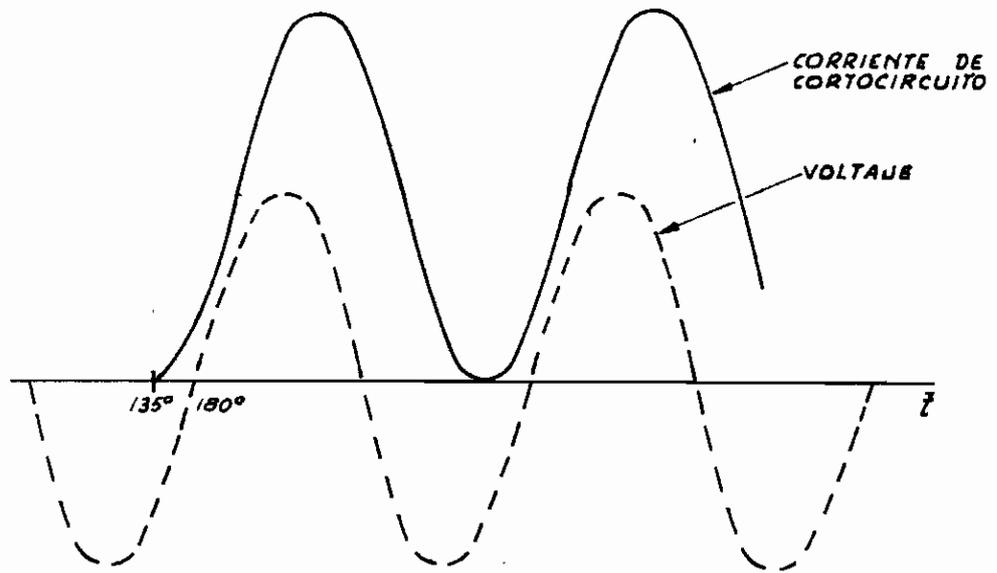


FIG. 1.19
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO Y VOLTAJE
EN UN CIRCUITO EN EL CUAL $R = X$

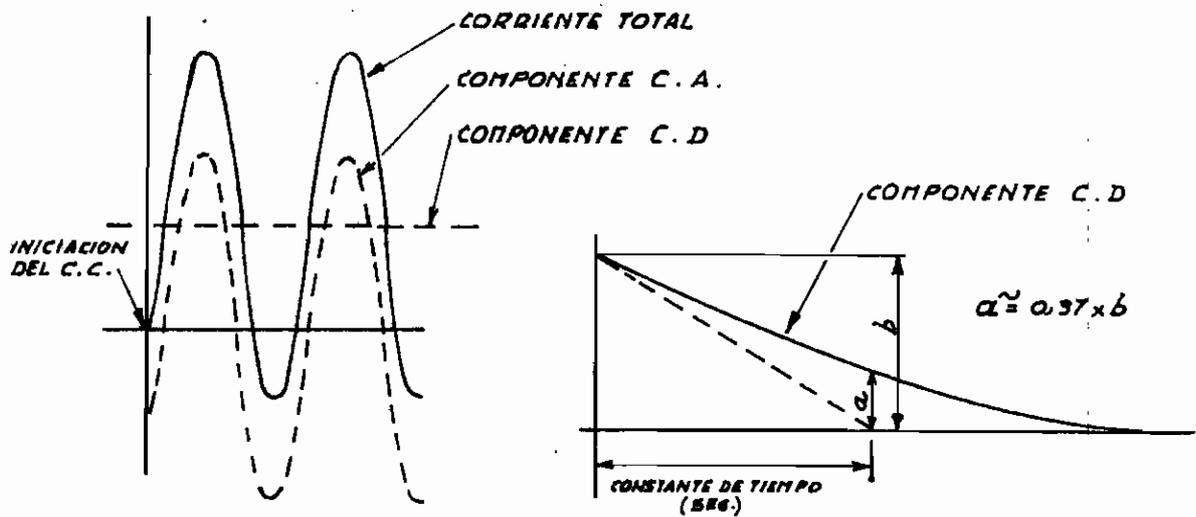


FIG. 1.20
COMPONENTES DE UNA ONDA
ASIMETRICA DE CORTOCIRCUITO

FIG. 1.21
CONSTANTE DE TIEMPO

tuído por una batería y una bobina inductiva.

Si $X/R \rightarrow \infty$, $R = 0$ y la componente de C. D. se mantiene constante. Si $X/R = 0$, $R \rightarrow \infty$, la componente decae instantáneamente. Para un valor intermedio entre 0 e ∞ , la componente de C. D. toma un tiempo definido en decrecer sustancialmente hasta cero.

Mientras más alta es R en relación a X , la pérdida $I^2 \cdot R$ es mayor y la energía de la corriente continua es disipada más rápidamente. En los generadores - la reactancia subtransitoria es aproximadamente unas 70 veces la resistencia, por ello la componente de C. D. tarda algunos ciclos en desaparecer. En circuitos alejados del generador, X/R es menor y por lo tanto la componente decaerá más rápidamente.

1.7.4. Constante de tiempo de la Componente Directa

Se dice que los generadores, motores o circuitos tienen una cierta constante de tiempo. Esto se refiere al grado de disminución de la C. D. de la corriente de cortocircuito y es el tiempo en segundos requerido para que dicha componente se reduzca a un 37 % del valor original en el instante del cortocircuito. Se obtiene como la relación entre la inductancia en henrios y - la resistencia en ohmios de la máquina o circuito. Este

valor es simplemente una guía que nos indica cuan rápidamente disminuye la componente de C. D. (Fig. 1.21.)

1.7.5. Valor RMS de las corrientes de cortocircuito:

El valor RMS (medio cuadrático) de las ondas de C.A. es muy significativo para el caso de las corrientes de cortocircuito puesto que los disyuntores, los fusibles, etc. se especifican en términos de valores RMS de corriente o sus equivalentes en MVA.

El máximo valor de RMS de la corriente de cortocircuito se tiene luego de un tiempo de más o menos un ciclo después de iniciado el cortocircuito. El valor RMS aproximado de una onda asimétrica es:

$$a = \sqrt{b^2 + c^2} \quad (9)$$

donde:

a es el valor RMS de la onda de corriente asimétrica en 1 ciclo.

b es el valor RMS de la componente de C. A.

c es el valor de la componente de C.D. en 1/2 ciclo.

1.7.6. Factor de Multiplicación:

El cálculo del valor RMS preciso de una corriente asimétrica a cualquier tiempo después de la inicia-

ción de un cortocircuito resulta muy complicado, por ello se ha ideado un método para simplificarlo, el cual utiliza simples factores de multiplicación. El factor de multiplicación convierte el valor RMS de la onda de C. A. simétrica en amperios RMS de la onda asimétrica, incluida la componente de C. D. Para la aplicación de aparatos de protección se considera el valor máximo de la C. D. ya que se deben diseñar para hacer frente a la corriente máxima de cortocircuito.

El factor de multiplicación varía entre 1,0 y 1,6, dependiendo de si el cálculo de la corriente de cortocircuito está hecho para determinar la capacidad de interrupción o mecánica de choque ("momentary duty") de los dispositivos de protección. Más adelante hablaremos sobre los factores de multiplicación generalmente usados para determinar aparatos de protección. Para algunos cálculos en que sólo interesa una evaluación del valor RMS de la corriente al cabo de 3 a 8 ciclos - después de producido el cortocircuito es suficiente el gráfico de la Fig. 1.22.

CAPITULO 2

COMPONENTES SIMETRICAS Y SU APLICACION EN EL

CALCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

2.1. REPRESENTACION DE SISTEMAS ELECTRICOS. MAGNITUDES EN TANTO POR UNO

2.1.1. Diagrama Unifilar

Es una representación simple y concisa de un sistema y que por lo mismo permite un estudio del conjunto con facilidad. Las líneas se representan con un solo trazo; las máquinas y aparatos se remplazan por símbolos - gráficos convencionales, ya normalizados (por ejemplo: ASA Z 32.12.1947) y se añaden los datos técnicos y numéricos que hagan falta. Para un estudio de fallas, en un diagrama de este tipo, se incluirán todas las fuentes de corriente de cortocircuito: generadores, motores sincrónicos y de inducción, condensadores sinorónicos, convertidores rotativos y todos los elementos significativos - del circuito, tales como transformadores, cables, disyuntores, etc. En la fig. 2.1 se indica el diagrama unifilar de un pequeño sistema eléctrico, con generadores, - disyuntores, juego de barras, subdisyuntor de partida, transformadores, línea.

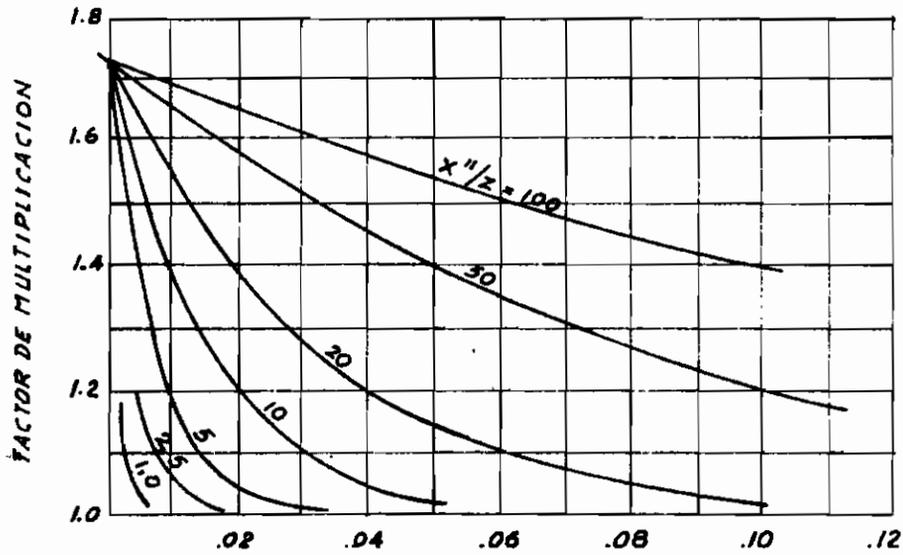
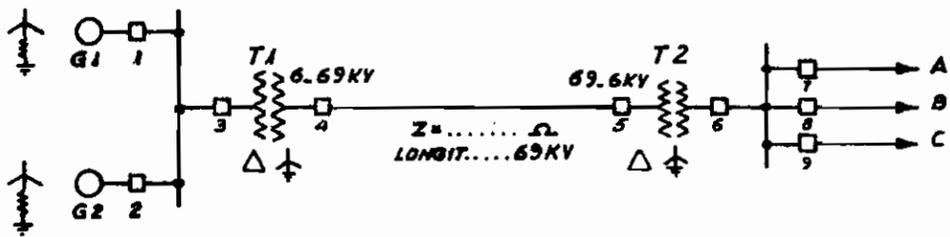


FIG. 1.22

FACTOR DE MULTIPLICACION PARA VARIAS RELACIONES X/R



GENERADORES

2.500 KW %/u.
6 KV
f. p. 0,9

TRANSFORMADORES

5.000 KVA %/b.
69,6 KV
X_T

CARGAS

A: 2.000 KW, f. p. 0,8
B: 1.000 KW, f. p. 0,8
C: 1.000 KW, f. p. 0,8

FIG. 2.1

DIAGRAMA ELECTRICO UNIFILAR. EJEMPLO.

2.1.2. Diagrama monofásico de impedancias:

Es el que finalmente sirve para el cálculo de fallas; se obtiene partiendo del diagrama unifilar mediante la representación de todas las resistencias y reactancias de valores línea - neutro de una falla de todos los elementos en un sistema eléctrico. El método de representación sólo sirve para sistemas equilibrados de modo es-tricto, aunque en la práctica se lo utiliza para cual---quier sistema aunque no sea equilibrado, sin cometer e---rror apreciable, a menos se quiera hacer un estudio de -desequilibrio.

Se representa cada generador, transformador, etc. por reactancias conectadas a una barra de impedancia ce-ro con su localización propia dentro del sistema. En las máquinas pesadas, por ser el valor de R bastante reduci-do en relación con el de X se desprecia el primero y se grafiza únicamente la reactancia. Para el sistema de la Fig. 2.1. el correspondiente diagrama monofásico de im--pedancias (estricto) se representa en la figura 2.2. pe-ro en la práctica se tendrán en cuenta las siguientes --consideraciones:

- Generadores se representan con solo X ya que R es despreciable.
- Líneas: Si se trata de una línea gruesa no se conside

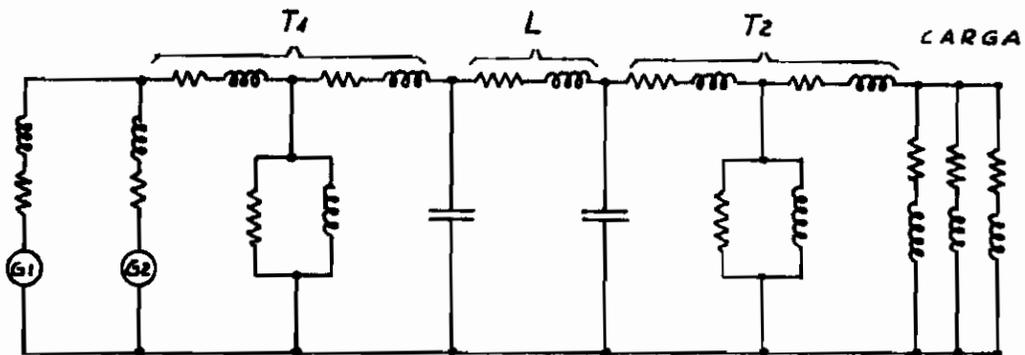


FIG. 2.2
 DIAGRAMA MONOFASICO DE IMPEDANCIAS (EXACTO), REF. AL
 SISTEMA DE LA FIG. 2.1

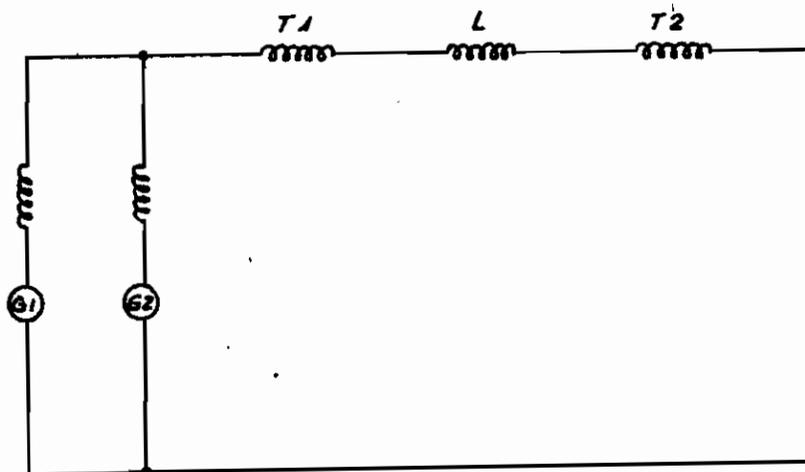


FIG. 2.3
 DIAGRAMA MONOFASICO DE IMPEDANCIAS (SIMPLIFICADO)
 REF. AL SISTEMA DE LA FIG. 2.1

ra R sino únicamente X (inductiva). La capacitancia no influye en líneas cortas (de hasta 80 Km.)

- Transformadores: Se desprecia la impedancia en paralelo por ser tan grande que prácticamente no permite el paso de la corriente (la de magnetización); así mismo se desprecia la resistencia de los bobinados.
- Cargas: En sistemas de distribución son lo principal, pero para el estudio de fallas en sistemas de transmisión se prescinde de ellas a menos que sean cargas rotativas como por ejemplo un motor sincrónico.

Con las simplificaciones anotadas el diagrama monofásico de impedancias del sistema de la Fig. 2.1. se indica en la Fig. 2.3.

Una vez grafizadas todas las impedancias se procede a reducirlas a un solo nivel de KVA y de voltaje mediante transformaciones que se explicarán más adelante, y, con el objeto de facilitar el cálculo, se simplifica el diagrama mediante la utilización de circuitos equivalentes.

2.1.3. Magnitudes en tanto por uno:

Expresar una magnitud en tanto por uno es relacionarla con respecto a otra que la consideramos como base o referencia. Estas magnitudes pueden ser de voltaje, de corriente, de potencia, de impedancia. La misma expresión -

multiplicada por 100 nosa da la magnitud expresada en tan to por ciento. Hay que notar que elegidas dos bases independiente y arbitrariamente, las otras resultan automáticamente fijadas, por aplicación de la ley de OHM; por ejemplo si se elige voltios base y amperios base, se tiene (por la ley de Ohm: $Z = E/I$):

$$\text{ohmios base} = \text{voltios base/amperios base} \quad (10)$$

Empleando estos valores base todas las magnitudes puede ser expresadas en términos "Por unidad" (p.u.):

$$\text{voltios p.u.} = \text{voltios/voltios base} \quad (11)$$

$$\text{amperios p.u.} = \text{amperios/amperios base} \quad (12)$$

$$\text{ohmios p.u.} = \text{ohmios/ohmios base} \quad (13)$$

En la práctica se suele elgir como magnitudes ba se el voltaje y la potencia (KV base y KVA base). Elegidas estas, las otras se obtienen como consecuencia:

En sistemas monofásicos:

Corriente de base:

$$I_{\text{base}} = \text{KVA base/KV base} \quad (A) \quad (14)$$

Impedancia de base:

$$Z_{\text{base}} = (\text{KV base})^2 \cdot 10^3 / \text{KVA base} \quad (\text{ohm.}) \quad (15)$$

Impedancia en p. u.:

$$Z \text{ p.u.} = \text{KVA base} / (\text{KVb})^2 \cdot 10^3 \times z(\text{ohm.}) \quad (16)$$

En sistemas trifásicos:

- Forma monofásica:

Corriente de base:

$$I \text{ base} = \frac{\text{KVA base (1 fase)}}{\text{KV base (fase-neutro)}} \quad (\text{A}) \quad (17)$$

Impedancia de base:

$$Z \text{ base} = \frac{\text{KV base}^2 (\text{fase-neutro}) \cdot 10^3}{\text{KVA base (1 fase)}} \quad (\text{Ohm.}) \quad (18)$$

- Forma trifásica:

Corriente de base:

$$I \text{ base} = \frac{\text{KVA base (3 fases)}}{\sqrt{3} \cdot \text{KV base (fase-fase)}} \quad (\text{A}) \quad (19)$$

Impedancia de base:

$$Z \text{ base} = \frac{\text{KV base}^2 (\text{fase-fase}) \cdot 10^3}{\text{KVA base (3 fases)}} \quad (\text{ohm}) \quad (20)$$

En un sistema más o menos complejo, sus partes (transformadores, líneas, generadores) tienen distintos voltajes y potencias, de tal suerte que será necesario reducir las amplitudes en tanto por uno a una base común.

Para el objeto nos sirve la fórmula :

$$Z \text{ p.u. } 2 = Z \text{ p.u. } 1 \times \frac{KVAb2 \times (KVb1)^2}{KVAb1 \times (KVb2)^2} \quad (20a)$$

En donde las magnitudes con subíndice 1 son las correspondientes a las bases originales y las magnitudes con subíndice 2 son las que corresponden a las nuevas bases escogidas.

Con las magnitudes en tanto por uno se puede efectuar la aplicación de la leyes de la Electrotecnia (Ohm, - Kirchoff, etc.) en la misma forma que con las magnitudes - propias.

2.2. COMPONENTES SIMETRICAS.-

Es muy importante para el cálculo de líneas en funcionamiento irregular la representación de corrientes y tensiones asimétricas, mediante grupos de vectores simétricos. Para el objeto se utilizan las componentes simétricas introducidas por Fortescue.

Teorema de Fortescue:

Todo sistema de "n" fasores asimétricos puede descomponerse en "n" sistemas de "n" fasores simétricos. En - el caso que estudiamos de sistemas trifásicos, los vecto--res correspondientes a tensiones y corrientes asimétricas

pueden descomponerse en tres ternas de vectores simétricos, de modo que las componentes de cada vector asimétrico constituyan un sistema simétrico.

2.2.1. Componentes simétricas en un sistema trifásico:

Las componentes simétricas en un sistema trifásico se denominan:

- de secuencia positiva o directa;
- de secuencia negativa o inversa;
- de secuencia cero u homopolar.

Antes de estudiar las anotaciones generales y el método para calcular las componentes, definiremos lo que son las ternas vectoriales de cada una de las secuencias.

Secuencia positiva y negativa:

Supongamos que la carga aplicada a un sistema trifásico es un motor asíncrono (Fig. 2.4.); el sentido de giro de este será igual al del generador pero si se cambia entre sí los bornes de las fases b y c, cambia el sentido de giro del motor. Este cambio puede interpretarse como cambio de la secuencia temporal de los vectores a - b - c en a - c - b, lo cual no implica, sin embargo, cambio en el sentido de rotación de la terna vectorial, pues éste será siempre el antihorario.

Se denomina terna de secuencia positiva o directa

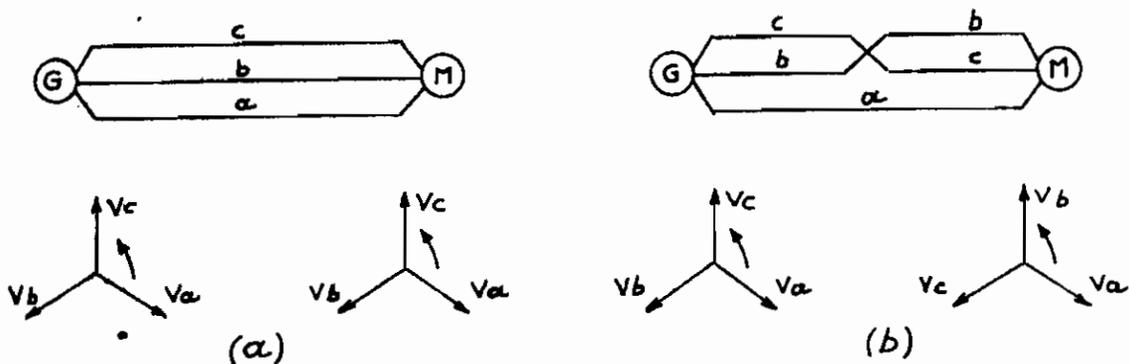


FIG. 2.4

VARIACION DE SECUENCIA



FIG. 2.5

SISTEMAS VECTORIALES DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA

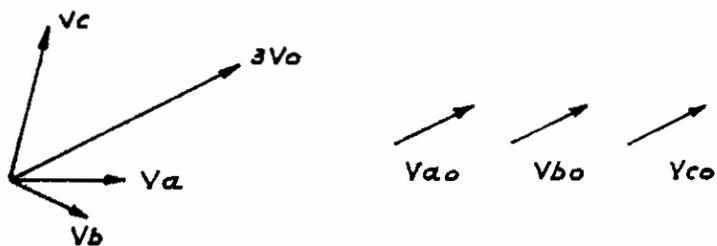


FIG. 2.6

COMPONENTES DE SECUENCIA CERO U HOMOPOLAR

al sistema de vectores representativo de un campo giratorio que rota en aquel sentido ; y, la terna de vectores que representa la rotación del campo giratorio en sentido contrario, se llama de secuencia negativa o inversa. Los vectores de secuencia positiva llevan el subíndice 1 y los de secuencia negativa el subíndice 2. (Fig. 2.5.)

Secuencia Cero:

Durante el funcionamiento normal de un sistema con cargas simétricas los vectores correspondientes a las tensiones y corrientes están en equilibrio; pero al momento en que la carga pierde su simetría aparecen en el punto neutro una tensión y una corriente, que pueden representarse por la suma de los vectores de tensión y corriente, respectivamente:

$$\begin{aligned} V_a + V_b + V_c &= 3 V_o \\ I_a + I_b + I_c &= 3 I_o \end{aligned} \tag{21}$$

Indicamos las resultantes con los símbolos $3V_o$ y $3I_o$ porque podemos imaginarlas producidas por tres componentes de igual magnitud y ángulo, es decir, del mismo módulo y argumento. Son estas las componentes simétricas de secuencia cero u homopolar, pues las tres fases tienen entre sí un defasaje nulo. La notación para los vectores de esta secuencia es el subíndice 0 (Fig. 2.6.)

Anotaciones:

Secuencia positiva:

Tensiones: V_{a1} , V_{b1} , V_{c1} .

Corrientes: I_{a1} , I_{b1} , I_{c1} .

Secuencia negativa:

Tensiones: V_{a2} , V_{b2} , V_{c2}

Corrientes: I_{a2} , I_{b2} , I_{c2} .

Secuencia cero:

Tensiones: V_{a0} , V_{b0} , V_{c0} .

Corrientes: I_{a0} , I_{b0} , I_{c0} .

Esta anotación se extiende también a las impedancias: Z_1 , Z_2 y Z_0 , según estén atravesadas por corrientes de secuencia positiva, negativa o cero, respectivamente.

Puesto que los fasores asimétricos se descomponen en los tres sistemas de fasores simétricos secuenciales, tenemos:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (22)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (23)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (24)$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (25)$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (26)$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \quad (27)$$

2.2.2. Operador "a":

Es un número complejo con función similar a la de "j", viene expresado con un valor absoluto y un ángulo. El operador j tiene valor $1 \angle 90^\circ$, es decir que multiplicar un vector por j es hacerlo girar 90° . El operador ^a tiene valor absoluto 1 y el ángulo 120° , o sea que al multiplicar un vector por "a", gira 120° conservando la misma magnitud. En la tabla 2.I se indican algunos valores de las expresiones más frecuentes en que aparece el vector "a".

2.2.3. Componentes simétricas de fasores asimétricos:

a) Componentes de secuencia cero:

En las figuras 2.5 y 2.6, que representan las componentes de las diferentes secuencias podemos observar:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 \cdot V_{a1} & V_{c1} &= a \cdot V_{a1} \\ V_{b2} &= a \cdot V_{a2} & V_{c2} &= a^2 \cdot V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (28)$$

Sustituyendo(28) en (22), (23) y (24) se obtiene:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (29)$$

$$V_b = a^2 \cdot V_{a1} + a \cdot V_{a2} + V_{a0} \quad (30)$$

$$V_c = a \cdot V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} + V_{a0} \quad (31)$$

Sumando miembro a miembro estas ecuaciones:

T A B L A 2 - I

Operador "a"

$$a = 1 \angle 120^\circ = 1 \cdot e^{2\pi/3} = -0,5 + j 0,866.$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j 0,866.$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 + j 0,0.$$

$$a^4 = 1 \angle 120^\circ = a = -0,5 + j 0,866.$$

$$-a = 1 \angle 300^\circ = 0,5 - j 0,866.$$

$$-a^2 = 1 \angle 60^\circ = 0,5 + j 0,866.$$

$$-a^3 = 1 \angle 180^\circ = -1 + j 0,0.$$

$$-a^4 = 1 \angle 300^\circ = -a = 0,5 - j 0,866.$$

$$1 + a = 1 \angle 60^\circ = -a^2 = 0,5 + j 0,866.$$

$$1 - a = \sqrt{3} \angle 30^\circ = 1,5 - j 0,866.$$

$$1 + a^2 = 1 \angle -60^\circ = -a = 0,5 - j 0,866.$$

$$1 - a^2 = \sqrt{3} \angle 30^\circ = 1,5 + j 0,866.$$

$$a + a^2 = 1 \angle 180^\circ = -a^3 = -1 + j 0,0.$$

$$a - a^2 = \sqrt{3} \angle 90^\circ = 0,0 + j \sqrt{3}.$$

$$1 + a + a^2 = -a^2 + a^2 = 0,0 + j 0,0.$$

$$V_a + V_b + V_c = V_{a1}(1+a+a^2) + V_{a2}(1+a+a^2) + 3V_{ao} \quad (32)$$

Pero de acuerdo a la tabla 2 - I

$$1 - a^3 - a^2 = 0$$

De donde:

$$V_a + V_b + V_c = 3 V_{ao} \quad (33)$$

De donde finalmente obtenemos el valor de las componentes de secuencia homopolar en función de las tensiones asimétricas:

$$V_{ao} = 1/3 (v_a + V_b + V_c)$$

$$V_{ao} = V_{bo} = V_{co}. \quad (34)$$

b) Componentes de secuencia positiva:

A partir de las ecuaciones 30 y 31, multiplicándolas respectivamente por a y por a^2 , obtenemos:

$$a \cdot V_b = a^3 \cdot V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} + a \cdot V_{ao} \quad (35)$$

$$a^2 \cdot V_c = a^3 \cdot V_{a1} + a^4 \cdot V_{a2} + a^2 \cdot V_{ao} \quad (36)$$

Pero según la tabla 2 - I:

$$a^3 = 1$$

$$a^4 = a^3 \cdot a = a$$

Las ecuaciones (29), (30) y (31) :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{ao}$$

$$a \cdot V_b = V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} + a \cdot V_{ao}$$

$$a^2 \cdot Va = Val + a \cdot Va2 + a^2 \cdot Vao. \quad (37)$$

Sumadas miembro a miembro estas ecuaciones:

$$\begin{aligned} Va + a \cdot Vb + a^2 \cdot Vc &= 3Val + Va2 (1+a+a^2) + Vao (1+a+a^2) \\ &= 3Val + Va2 \cdot 0 + Vao \cdot 0 \\ &= 3 Val \end{aligned} \quad (38)$$

Según las ecuaciones (28):

$$Vb1 = a^2 \cdot Val \quad Vc1 = a \cdot Val.$$

De donde: los valores para las componentes simétricas de secuencia positiva:

$$Val = 1/3 (Va + a \cdot Vb + a^2 \cdot Vc) \quad (39)$$

$$Vb1 = 1/3 (Va + a \cdot Vb + a^2 \cdot Vc) a^2 \quad (40)$$

$$Vc1 = 1/3 (Va + a \cdot Vb + a^2 \cdot Vc) a \quad (41)$$

c) Componentes de secuencia negativa:

Multiplicamos ahora las ecuaciones (30) y (31) por a^2 y por a respectivamente:

$$a^2 \cdot Vb = a^4 \cdot Val + a^3 \cdot Va2 + a^2 \cdot Vao \quad (42)$$

$$a \cdot Va = a^2 \cdot Val + a^3 \cdot Va2 + a \cdot Vao \quad (43)$$

Como $a^4 = a$; y $a^3 = 1$, las ecuaciones (29), (30) y (31) quedan como sigue:

$$Va = Val + Va2 + Vao$$

$$a^2 \cdot Vb = a \cdot Val + Va2 + a^2 \cdot Vao. \quad (44)$$

$$a \cdot Vc = a^2 \cdot Val + Va2 + a \cdot Vao.$$

Sumando miembro a miembro las tres ecuaciones:

$$V_a + a^2 \cdot V_b + a \cdot V_c = V_{a1} (1 + a + a^2) + 3V_{a2} + V_{a0} (1 + a + a^2)$$

$$V_a + a^2 \cdot V_b + a \cdot V_c = 3V_{a2} \quad (45)$$

y de acuerdo a las ecuaciones (28) se obtiene:

$$V_{a2} = 1/3 \cdot (V_a + a^2 \cdot V_b + a \cdot V_c) \quad (46)$$

$$V_{b2} = 1/3 (V_a + a^2 \cdot V_b + a \cdot V_c)a \quad (47)$$

$$V_{c2} = 1/3 (V_a + a^2 \cdot V_b + a \cdot V_c)a^2 \quad (48)$$

2.2.4. Componentes simétricas de fasores

asimétricos de corrientes:

De manera análoga a la empleada para las componentes de tensiones asimétricas, obtenemos para las componentes de corriente:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (49)$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (50)$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \quad (51)$$

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c) \quad (52)$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c) \quad (53)$$

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c) \quad (54)$$

$$I_{b1} = a^2 \cdot I_{a1}$$

$$I_{c1} = a \cdot I_{a1}$$

$$I_{b2} = a \cdot I_{a2}$$

$$I_{c2} = a^2 \cdot I_{a2}$$

$$I_{b0} = I_{a0}$$

$$I_{c0} = I_{a0} \quad (55)$$

En el caso de sistemas trifásicos se debe tener presentes las siguientes ecuaciones:

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (56)$$

$$I_n = 3 \cdot I_{a0} \quad (57)$$

2.2.5. Método gráfico para encontrar las componentes simétricas de fasores asimétricos

Sea el sistema trifásico de fasores I_a , I_b e I_c (fig. 2.8), del cual se trata de encontrar las componentes simétricas. Se unen los extremos de I_b e I_c mediante CB . Con la magnitud de CB , a uno y otro lado de la misma se trazan los triángulos equiláteros BCD y BCE . Los vértices E y D de los dos triángulos se unen a A ; DA y EA son iguales, en magnitud y dirección, a $3 \cdot I_{a1}$ y $3 \cdot I_{a2}$, respectivamente. Para encontrar las componentes de secuencia cero se unen los extremos de los tres vectores formando el triángulo ABC ; se trazan las medianas y el punto de intersección M de estas se une con el centro O del sistema de coordenadas; MO es igual, en magnitud y dirección, a la componente de secuencia cero I_{a0} .

Las componentes simétricas de las otras fases (I_{b1} , I_{b2} , I_{b0} , I_{c1} , I_{c2} , I_{c0}) se encuentran al completar los sistemas simétricos de las tres secuencias, tomando en cuenta

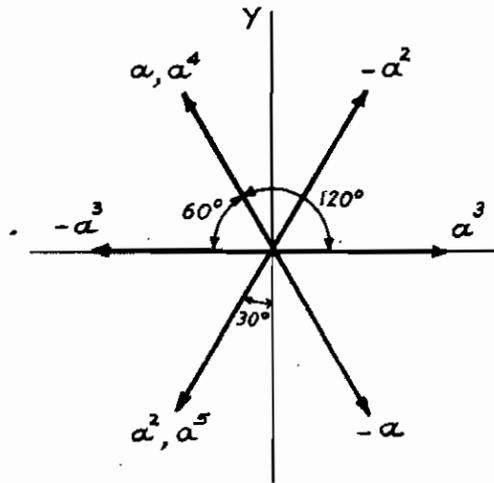


FIG. 2.7
OPERADOR "α" Y SUS POTENCIAS

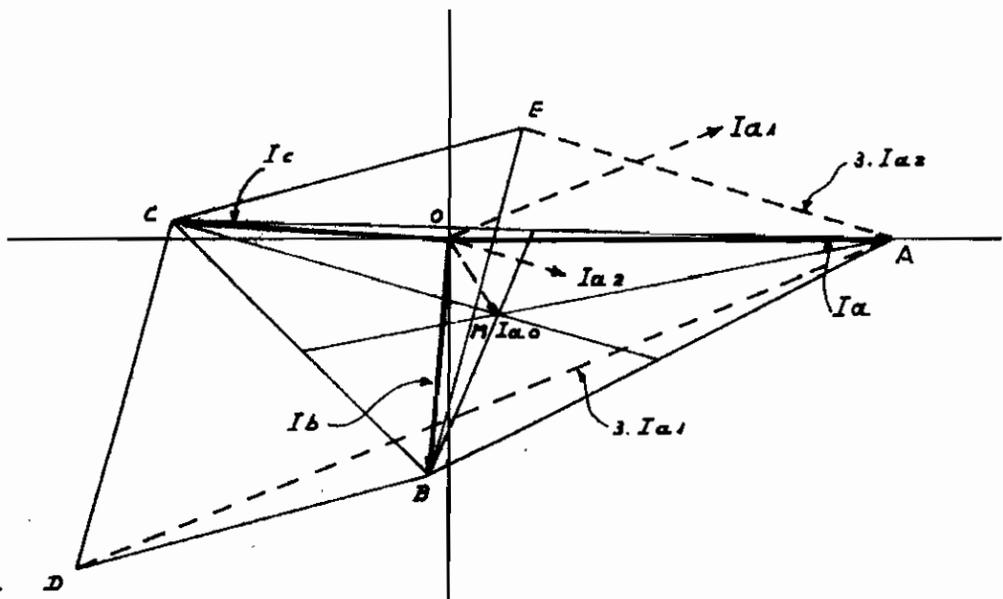


FIG. 2.8
METODO GRAFICO (GEOMETRICO) PARA ENCONTRAR
LAS COMPONENTES SIMETRICAS DE UN SISTEMA.

que dentro de cada sistema trifásico simétrico los vectores están defasados 120° (Fig. 2.10).

Se puede también encontrar las componentes simétricas mediante resolución gráfica - analítica de las ecuaciones 52, 53, 54 (Fig. 2.9).

2.2.6. Resolución analítica de Componentes Simétricas

Resolvemos a continuación, analíticamente, el mismo sistema tratado en las Figs. 2.8 y 2.9:

Tensiones dadas (fase - neutro):

$$I_a = 60,0 \angle 0^\circ$$

$$I_b = 32,4 \angle -94,8^\circ$$

$$I_c = 37,4 \angle 176,5^\circ$$

En coordenadas polares:

$$I_a = 60,0 + j 0$$

$$I_b = -2,7 - j 32,3$$

$$I_c = 37,3 + j 2,3$$

Secuencia positiva:

$$I_{a1} = 1/3(I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c)$$

$$\begin{aligned} &= 1/3(60 + (-0,5 + j0,866)(-2,7 - j32,3) + \\ &\quad + (-0,5 - j0,866)(-37,3 + j2,3)) \end{aligned}$$

$$I_{a1} = 36,66 + j 15,00$$

Secuencia negativa:

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c)$$

$$I_{a2} = 1/3 [60 + (-0,5 - j 0,866)(-2,7 - j 32,3) \\ + (0,5 + j 0,866)(-37,3 + j 2,3)]$$

$$I_{a2} = 16,66 - j 5,00$$

Secuencia cero:

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a0} = 1/3(60 - 2,7 - j 32,3 - 37,3 - j 2,3)$$

$$I_{a0} = 6,66 - j 10,00$$

Las otras componentes (fases b y c) se obtienen a partir de las ya encontradas, mediante aplicación de las fórmulas 55:

Secuencia positiva:

$$I_{b1} = a^2 \cdot I_{a1}$$

$$I_{b1} = (-0,5 - j 0,866)(36,66 + j 15)$$

$$I_{b1} = - 5,33 - j 39,25$$

$$I_{c1} = a \cdot I_{a1}$$

$$I_{c1} = (- 0,5 + j 0,866)(36,66 + j 15)$$

$$I_{c1} = - 31,33 + j 24,25$$

Secuencia negativa:

$$I_{b2} = a \cdot I_{a2}$$

$$I_{b2} = (-0,5 + j 0,866)(16,66 - j 5)$$

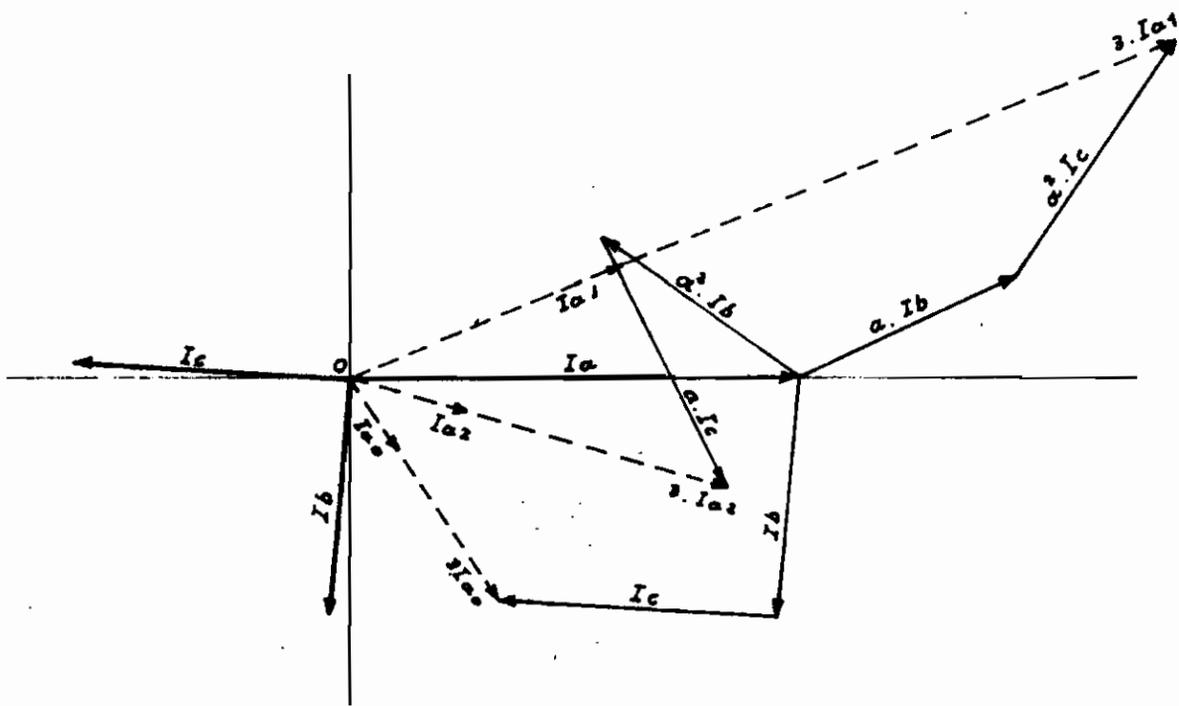


FIG. 2.9
RESOLUCION GRAFICA DEL METODO ANALITICO PARA ENCONTRAR
LAS COMPONENTES SINETRICAS

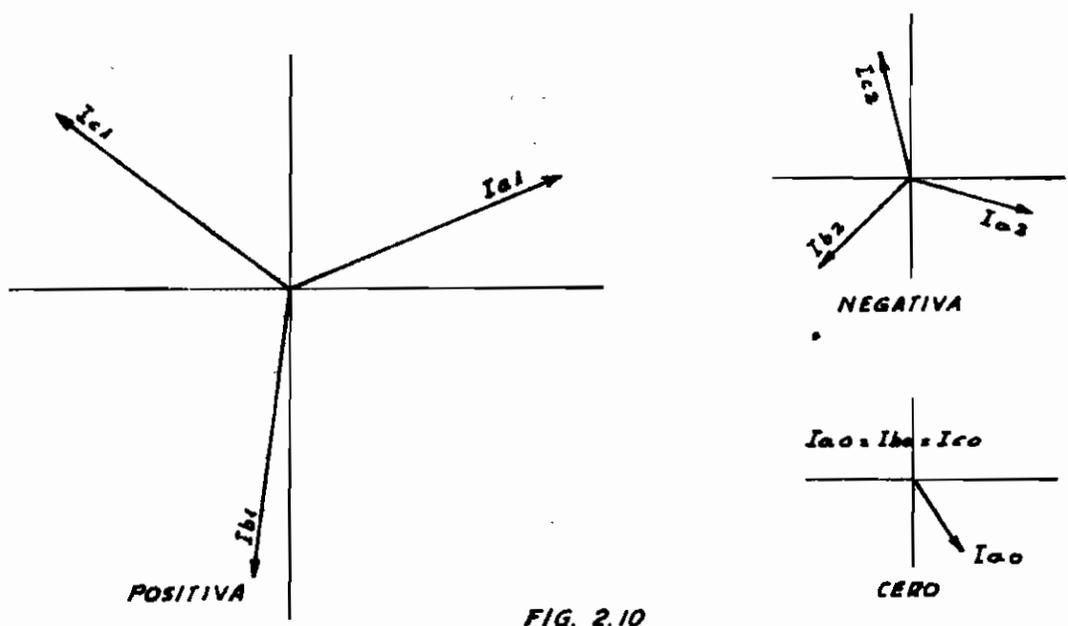


FIG. 2.10
COMPONENTES SINETRICAS DE UN SISTEMA DE FASORES ASIMETRICOS
(REF. FIGS. 2.8 Y 2.9)

$$I_{b2} = - 4,00 + j 16,93$$

$$I_{c2} = a^2 \cdot I_{a2}$$

$$I_{b2} = (-0,5 - j 0,866)(16,66 - j 5)$$

$$I_{c2} = - 12,66 - j 11,93$$

Secuencia cero:

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0}$$

$$I_{b0} = 6,66 - j 10,00$$

$$I_{c0} = 6,66 - j 10,00$$

2.3. CIRCUITOS SECUENCIALES.-

Hemos visto que un sistema trifásico asimétrico - puede descomponerse en sistemas simétricos de secuencias positiva, negativa y cero. Los circuitos de estos tienen iguales impedancias en las tres fases y pueden por lo -- tanto reemplazarse, para fines de cálculo, por un circui to equivalente monofásico que no es otro sino el diagrama de impedancias unifilar.

En el diagrama unifilar de impedancias, cada elemento de un sistema se sustituye por un circuito equivalente. Este circuito equivalente debe representar el aparato o línea con la fidelidad o precisión que el problema lo requiera; por ejemplo un transformador tiene las - diversas formas indicadas en la Fig. 2.11, desde la más

exacta (a) hasta la más simple (e).

Los circuitos secuenciales de secuencia positiva, negativa y cero serán utilizados para indicar circuitos monofásicos en los cuales circulen corrientes de secuencia positiva, negativa y cero, o estén presentes tensiones de las mismas secuencias, respectivamente. En cada circuito secuencial los voltajes de secuencia se refieren a la barra de potencial cero del circuito.

A continuación haremos un estudio sobre las representaciones de circuitos secuenciales de los elementos varios de un sistema.

2.3.1. Máquinas Sincrónicas:

a) Impedancia de secuencia positiva:

La barra de referencia de potencial cero será el neutro de la máquina. La fuerza electromotriz y la reactancia de secuencia positiva están en serie (Fig. 2.12.) En caso de falla trifásica actúa la impedancia de secuencia positiva, pero su valor es diverso según el momento que se considere. Cuando se inicia el cortocircuito y durante el primer décimo de segundo actúa la reactancia subtransitoria de secuencia positiva X''_1 o X''_d . Luego, por el efecto amortiguador de los polos, la reactancia aumen

ta ; su valor corresponde a la reactancia transitoria - $X'1$ o $X'd$ la cual actúa hasta pasado aproximadamente 1 - segundo. Finalmente, cuando el cortocircuito se ha esta blecido se tiene la reactancia sincrónica $X1$.

Para el estudio de las condiciones iniciales de falla se utiliza la reactancia subtransitoria X'' . En el estudio de la capacidad disruptiva de disyuntores se -- puede emplear la reactancia transitoria X' , debido a que el tiempo que transcurre entre el accionamiento y el automatismo y la apertura del disyuntor, difícilmente es menor de 1/10 seg. Hay sin embargo reconectadores america- nos que actúan a los 3 ó 4 ciclos de presentada la falla. En estos se utiliza necesariamente la reactancia subtran- sitoria X'' . Aún se suele emplear esta reactancia X'' en el cálculo general de disyuntores, con lo cual se obtiene -- un coeficiente de seguridad. En el empleo de fusibles, -- siempre convendrá tomar, para su cálculo, el valor de X'' . En disyuntores grandes y más bien lentos (12 ó 15 ciclos), sin lugar a dudas se empleará X' .

Para el cálculo de dispositivos de protección, -- por lo general los americanos emplean el valor de X'' y -- los europeos el valor de X' .

b) Impedancia de Secuencia negativa:

Cuando se hace presente una falla entre dos fases, siendo por consiguiente la sobrecarga no común a las tres, se producen dos campos rotativos en la máquina: uno a velocidad sincrónica y otro al doble de esta. El flujo correspondiente al primero de estos da origen a la reactancia de secuencia positiva y el flujo correspondiente a la velocidad no sincrónica da lugar a la reactancia de secuencia negativa.

Para la representación hay que tener en cuenta que no hay f. e. m. pues ninguna máquina puede engendrar f. e. m. de secuencia negativa. En la Fig. 2.13 se representa el circuito de secuencia negativa para la fase "a". Las otras dos fases, al igual que en el caso de secuencia negativa, son iguales, salvo el desplazamiento angular. También en este caso la resistencia es despreciable y la impedancia queda reducida a sólo reactancia designada como X_2 .

c) Impedancia de secuencia cero:

Cuando por los arrollamientos del estator de la máquina sincrónica circulan corrientes de secuencia cero, estas encontrarán impedancias de secuencia cero. Si

el neutro de una máquina no está conectado a tierra - la impedancia de secuencia cero tiene valor infinito; tal es el caso de la máquina conectada en delta o en estrella sin neutro a tierra. Si hay conexión del neutro a tierra, sea directa o a través de bobinas de --- reactancia, habrá circulación de corriente de secuencia cero a través de los devanados. En el cálculo de fallas se debe considerar esta circulación de corriente a tierra.

Tampoco en el circuito de secuencia cero hay - f.m.e. como se ve en la Fig. 2.14. $3Z_n$ es la impedancia de neutro a tierra, Z_0 es la impedancia de fase de secuencia cero. Si no existe conexión del neutro a tierra, se suprime $3Z_n$.

2.3.2. Máquinas Asíncrónicas:

a) Impedancia de secuencia positiva:

En máquinas asíncrónicas la corriente de cortocircuito en régimen transitorio tiene una duración pequenísima. La reactancia transitoria es del orden del 30%. Este -- régimen transitorio se amortigua muy rápidamente y se - llega al régimen permanente, en el cual la correspondiente reactancia se halla por medio de :

$$\frac{(\text{Tensión normal compuesta})^2}{\text{Potencia nominal}} = \frac{(\text{KV})^2}{\text{MVA}} \quad (58)$$

Las reactancias subtransitorias y transitoria casi no interesan, pues ningún disyuntor es capaz de cortar el circuito en 1 ó 2 ciclos que dura la transitoriedad en estas máquinas.

b) Impedancia de secuencia negativa:

También es del orden del 30%, similar a la reactancia de secuencia positiva.

c) Impedancia de secuencia cero:

Como en toda máquina rotativa existe también en las asincrónicas la reactancia de secuencia cero, pero casi no tiene significado ya que una máquina de esta clase no tiene conexión del neutro a tierra y por lo mismo la reactancia viene a ser infinita. De aquí que tampoco interesa esta reactancia.

Por lo general las máquinas asincrónicas no se toman en cuenta en el cálculo de fallas, salvo el caso en que tengan verdadera importancia frente al sistema todo.

2.3.3. Transformadores:

a) Transformadores de dos devanados:

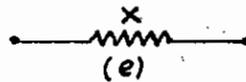
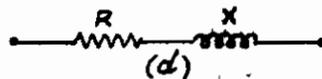
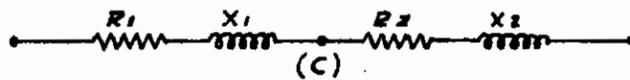
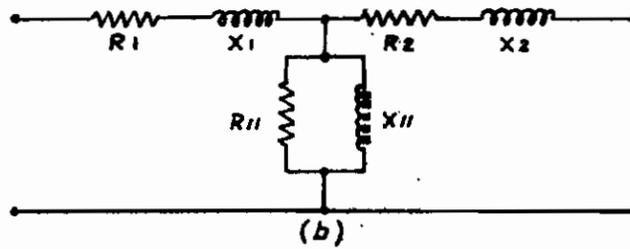
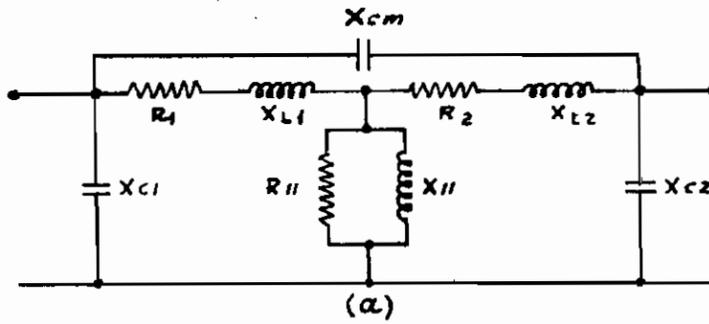


FIG. 2.11 REPRESENTACION DE UN TRANSFORMADOR PARA UN DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS

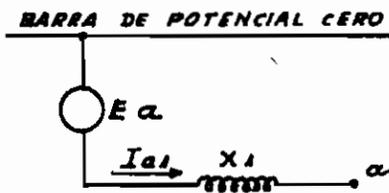


FIG. 2.12 - CIRCUITO DE SEC. POSITIVA DE MAQUINAS SINCRONICAS

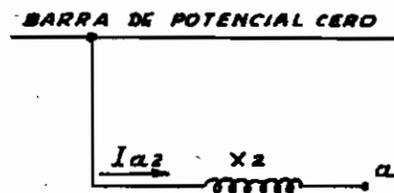


FIG. 2.13 - CIRCUITO DE SEC. NEGATIVA DE MAQUINAS SINCRONICAS

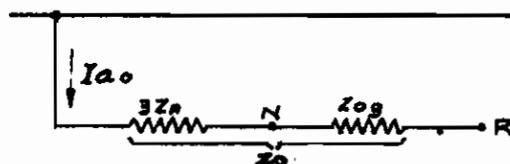


FIG. 2.14 - CIRCUITO DE SECUENCIA CERO DE MAQUINAS SINCRONICAS

El transformador está entre el generador y la carga. De suyo si se quiere representarlo con todos sus elementos habrá que hacerlo como en la Fig. 2.11. (a). Pero, para el cálculo de fallas no interesa la rama de R y X en paralelo ya que resulta una impedancia de un 200% en comparación con la de los devanados primario y secundario que son de un 5 a 8%; tampoco interesan las capacitancias ya que a una frecuencia tan pequeña como la de 60 c/s, su valor será de 2.000% y finalmente en transformadores de potencia R es pequeña en comparación de X y por estar en cuadratura prácticamente no influye. En esta forma el transformador queda reducido a una reactancia que puede ser de secuencia positiva, negativa o cero y se inserta entre el generador y la línea que va a la carga, tal como se indica en la Fig. 2.11. (e).

- Reactancias de secuencia positiva y negativa:

Son iguales y equivalen a la impedancia de cortocircuito. Su valor varía entre 4 y 12%. No hay dificultad para conocer estas reactancias, en cambio si se presenta para encontrar la ^{de} secuencia cero.

- Reactancia de secuencia cero:

Para que haya circulación de corriente de secuencia

cero debe haber conexión del devanado a tierra. Puede haber circulación de corriente de secuencia cero - en el primario del transformador y puede o no haber - al mismo tiempo en el secundario. Es decir que puede pasar corriente del uno al otro devanado o puede haber una reactancia infinita con lo cual no habrá circulación de corriente de secuencia cero. Habrá pues - pues que analizar para cada uno de los casos de diferentes conexiones de un transformador. En la Fig. -- 2.15 se indican los diagramas equivalentes de secuencia cero para algunos de los más comunes tipos de conexión.

b) Transformadores de tres devanados:

Los transformadores de tres devanados enlazan tres sistemas a tensiones diferentes y aún de diferente capacidad. Los devanados son: primario, secundario y terciario (Fig. 2.16.).

- Reactancias de secuencias positiva y negativa:

Las reactancias de secuencia positiva y negativa son iguales. Si cortocircuitamos el primario y el secundario manteniendo abierto el terciario (Fig. 2.16) la reactancia medida desde el primario y secundario:

$$X_{PS} = X_P + X_S$$

La reactancia de cortocircuito entre primario y terciario con el secundario abierto:

$$X_{PT} = X_P + X_T$$

Con el primario abierto, la reactancia entre secundario y terciario:

$$X_{ST} = X_S + X_T$$

Para encontrar el diagrama del circuito equivalente necesitamos los valores X_{PS} , X_{PT} , X_{ST} . Estos vienen tabulados o se los encuentra mediante el ensayo experimental: dos bobinados en cortocircuito manteniendo el tercero abierto. A base de los valores obtenidos se resuelve el sistema de las tres ecuaciones anotadas y se encuentra:

$$X_P = 1/2 \cdot (X_{PS} + X_{PT} - X_{ST}) \quad (59)$$

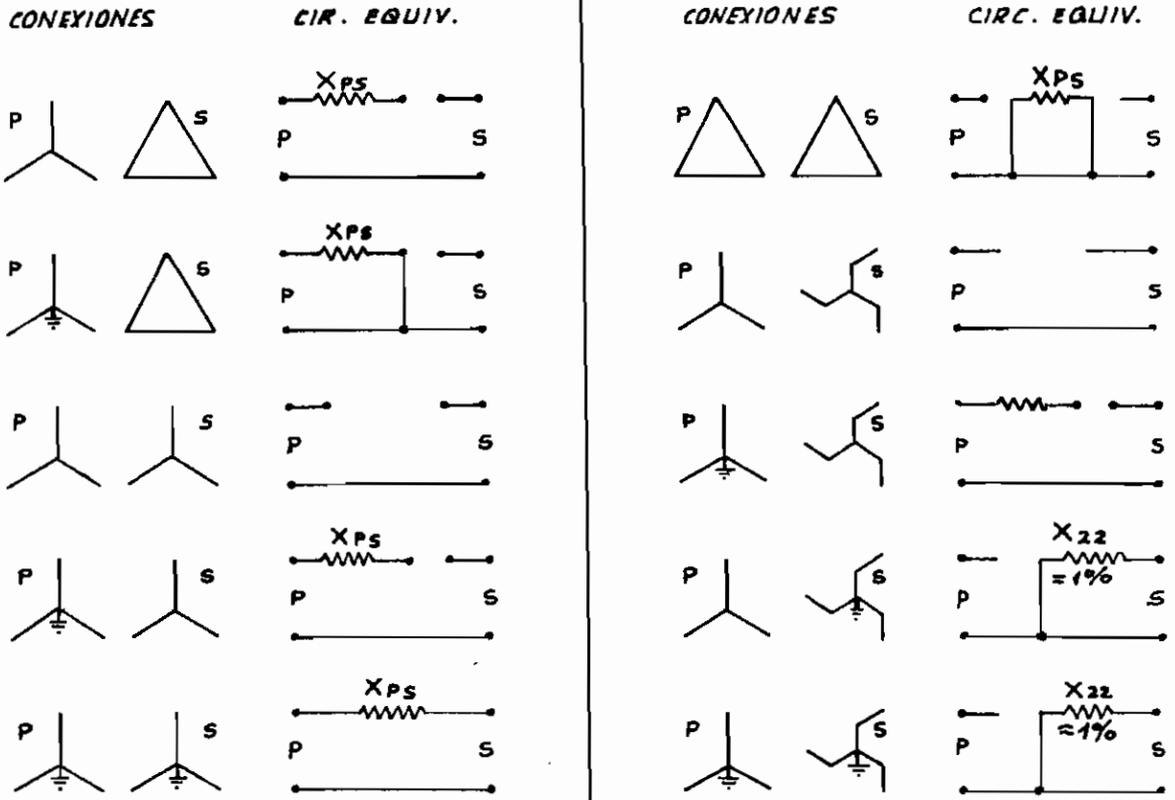
$$X_S = 1/2 \cdot (X_{PS} + X_{ST} - X_{PT}) \quad (60)$$

$$X_T = 1/2 \cdot (X_{PT} + X_{ST} - X_{PS}) \quad (61)$$

- Reactancia de secuencia cero:

Al igual que en los transformadores de dos devanados, la reactancia de secuencia cero depende -

TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS



TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS

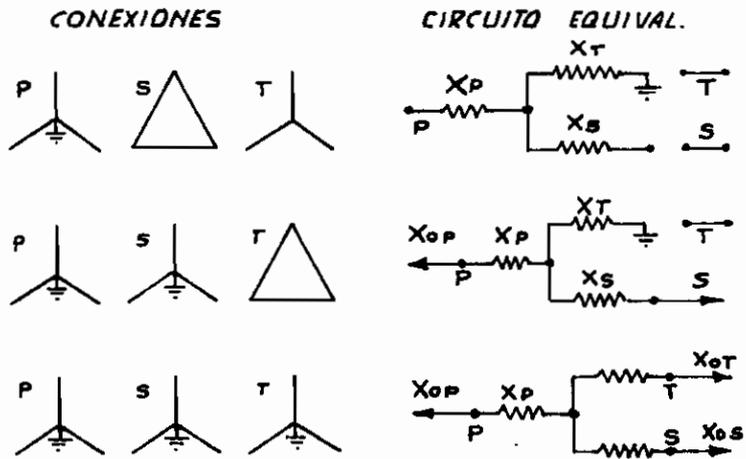


FIG. 2.15

REACTANCIAS DE SECUENCIA CERO DE TRANSFORMADORES
CIRCUITOS EQUIVALENTES

del tipo de conexión y de si el neutro está o no puesto a tierra; por lo mismo habrá que estudiar para cada caso. En la Fig. 2.15 se representan los circuitos equivalentes para algunos tipos de conexiones.

2.3.4. Líneas Aéreas:

a) Impedancias de secuencia positiva y negativa:

Para los diagramas se tomará la impedancia de una fase. Pero, se ha de tener presente que en líneas -- grandes constituidas por conductores gruesos la resistencia es pequeña en comparación de la reactancia. Por ello se puede decir que prácticamente R no pesa desde que X es unas cuatro veces R y por lo mismo se puede despreciar sin incurrir en error considerable. Esto -- sucede en líneas de transmisión a voltajes elevados. En distribución ocurre lo contrario: R da el valor de la impedancia y X es despreciable.

b) Impedancia de secuencia cero:

Tiene valor diferente de las anteriores, entre 2 y -- $3-1/2$ veces. La impedancia de secuencia cero estará -- constituida por la impedancia de los conductores de , de línea más la parte de retorno, la cual es variable: será la tierra y los conductores de protección si es que los hay, si no sólo la tierra.

El camino para las corrientes de secuencia cero lo constituyen los tres conductores que están en paralelo, pues la corriente de secuencia cero va por el conductor de fase y retorna por el neutro o por tierra. El análisis de los valores de la impedancia de secuencia cero, en los varios casos que pueden presentarse, resulta demasiado extenso para incluirlo. Los procesos de cálculo se hallan en el libro "Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse", al cual nos remitimos, anotando a continuación un breve extracto:

c) Líneas trifásicas de un solo circuito

- Líneas sin hilos de tierra:

Se admite que las corrientes de secuencia cero retornan por un conductor ficticio que tiene el GMR - ("geometric Mean Radius" = radio medio geométrico) - de 1 pie y que se halla dentro de la tierra a una profundidad que depende de la resistividad del suelo y de la frecuencia de la corriente. Según J. R. Carson el valor de la resistencia de la tierra se encuentra mediante:

$$R_t = 1,588 \times f \times 10^{-3} \quad \text{Ohm/milla} \quad (62)$$

La impedancia de secuencia cero de la línea:

$$Z_0 = R \text{ conductor} + R \text{ tierra} + X \text{ total} \\ (\text{ohmios/fase/milla}) \quad (63)$$

Se aclara que tanto los valores de resistencia como los de reactancia corresponden a una fase y por consiguiente son tres veces mayores que los del sistema trifásico.

- Línea con hilos de tierra:

La impedancia de secuencia cero:

$$Z_0 = 3(Z_{aa} - Z_{ag}^2/Z_{gg}) \text{ (ohm./fase/milla)} \quad (64)$$

Donde:

Z_{aa} es la impedancia propia del circuito "a" y la tierra.

Z_{gg} es la impedancia propia del circuito de protección "g" y la tierra.

Z_{ag} es la impedancia mutua entre "a" y "g".

d) Líneas trifásicas de doble circuito

- Líneas sin hilos de tierra:

Sea el caso de dos circuitos de iguales características en paralelo. La impedancia de secuencia cero:

$$Z_{o2} = \frac{1}{2} (Z_{o1} + Z_{om}) \text{ (ohmios/fase/milla) (65)}$$

Siendo:

Z_{o2} la impedancia de secuencia cero del doble --
circuito en paralelo.

Z_{o1} la impedancia de secuencia cero del un cir--
cuito.

Z_{om} la impedancia mutua de los circuitos.

- Líneas con hilos de tierra:

Asimismo para el caso de un doble circuito en pa--
ralelo:

$$Z_o = 6 (Z_{aa} - Z_{ag}^2/Z_{gg}) \text{ (ohmios/fase/milla.)} \quad (66)$$

siendo las impedancias Z_{aa} , Z_{ag} y Z_{gg} las mis--
mas que las anotadas para la ecuación (64).

Cabe aclarar que sería diferente el caso de dos -
circuitos que no están en paralelo, es decir que
tienen diferente tensión aunque estén en la misma
o en diferente postera.

2.3.5. Cables.-

También el análisis de las impedancias de se
cuencia cero resulta muy extenso para el objeto del
presente estudio, de modo que nos limitamos a anotar
brevemente algunas referencias:

- Consideremos un cable con aislamiento de papel - impregnado en aceite con funda de plomo, y que - la corriente toda retorna por la funda de plomo - o sea que está se encuentra puesta a tierra en va- rios puntos. El valor de la impedancia de secuen- cia cero:

$$Z_0 = R_c + 3 R_s + X \text{ total (ohm/fase/milla) } \quad (67)$$

Donde:

R_c es la resistencia de un conductor en ohm/ milla.

R_s es la resistencia de la funda de plomo en ohm/ milla.

Z total es la reactancia total considerando los c conductores y la funda metálica.

El valor de la resistencia de la funda metálica viene dado en tablas; de no contar con ellas su valor se encuentra:

$$R_s = 0,2 / (R_o + R_i) (R_o - R_i) \text{ (ohmios/milla) } \quad (68)$$

R_o es el radio exterior de la funda en pulgadas.

R_i es el radio interior de la misma en pulgadas.

- En el caso en el cual la corriente de secuencia cero retorna por tierra como en los conductores -

sin funda metálica y que tienen puesta a tierra en un solo punto la impedancia de secuencia cero es:

$$X_0 = R_c + 3 R_t + X \text{ total} \quad (69)$$

Interviene, en lugar de la resistencia de la funda de plomo, la resistencia de la tierra.

2.4. CALCULO DE LA IMPEDANCIA RESULTANTE EN EL PUNTO DE FALLA.-

Obtenidas todas la impedancias de los elementos en un sistema es probable que resulte tan complicado que sea muy difícil, si no imposible -- calcular la distribución de corriente de cortocircuito por simple aplicación de las leyes de Kirchoff. Habrá pues que echar mano del método de reducción de redes mediante transformaciones. Con este método una red con varias mallas y alimentada desde varios puntos se puede reducir a una línea alimentada desde sus extremos.

Ejecutar una transformación de circuitos e equivalentes significa sustituir configuraciones complicadas de redes por otras más sencillas de modo - que en los puntos límites de los elementos sustituf

dos se conserven todas las funciones y corrientes sin variar en su magnitud y fase. A continuación indicaremos brevemente algunas operaciones que se realizan para efectuar estas transformaciones equivalentes.

2.4.1. Reducción de impedancias en paralelo

En ésta como en las siguientes reducciones nos limitaremos a indicar las fórmulas a utilizar, únicamente, y no sus deducciones. Varias impedancias en paralelo pueden reducirse a una sola mediante:

$$\frac{1}{Z_{total}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n} \quad (70)$$

O se puede trabajar con los valores de las admitancias, en cuyo caso:

$$\begin{aligned} Y_{total} &= Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n & (71) \\ &= (G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n) + \\ &\quad + j (B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n) \\ &= G + j B \end{aligned}$$

Y para pasar el valor de la admitancia al de la impedancia:

$$Z = 1/Y = R + j X$$

Siendo:

$$R = \frac{G}{G^2 + B^2} \quad ; \quad X = \frac{-B}{G^2 + B^2} \quad (72)$$

2.4.2. Transformación Delta - Estrella

En la Fig. 2.17:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_1 &= \frac{\bar{Z}_{12} \cdot \bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \\ \bar{Z}_2 &= \frac{\bar{Z}_{12} \cdot \bar{Z}_{23}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \\ \bar{Z}_3 &= \frac{\bar{Z}_{23} \cdot \bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \end{aligned} \quad (73)$$

2.4.3. Transformación Estrella - Delta

En la misma Fig. 2.17:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{12} &= \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2 + \bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3 + \bar{Z}_3 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_3} \\ \bar{Z}_{23} &= \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2 + \bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3 + \bar{Z}_3 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_1} \\ \bar{Z}_{31} &= \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2 + \bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3 + \bar{Z}_3 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_2} \end{aligned} \quad (74)$$

2.5. CORRIENTES DE FALLA.-

2.5.1. Anotaciones sobre las corrientes de falla:

a) Las corrientes de una determinada secuencia - de fases en un sistema simétrico producen caídas

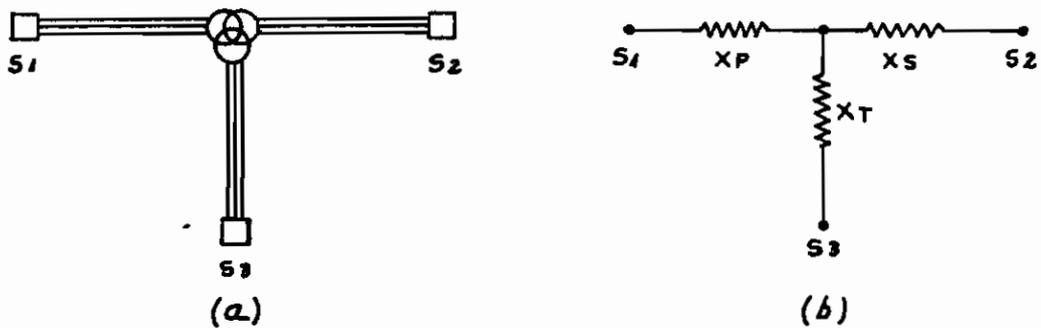


FIG. 2.16
TRANSFORMADOR DE TRES DEVANADOS

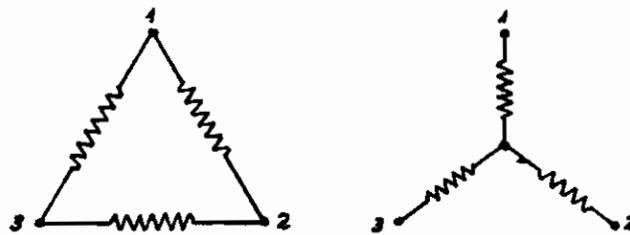


FIG. 2.17
TRANSFORMACION DELTA-ESTRELLA Y VICEVERSA

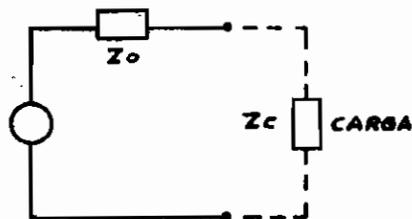


FIG. 2.18
TEOREMA DE THEVENIN

de tensión de la misma secuencia solamente.

b) En cualquier parte de un circuito la caída de tensión resultante de cierta secuencia depende de la impedancia que ofrece aquella parte del circuito a esa corriente.

c) La impedancia de una parte de un circuito equilibrado a una corriente de cierta secuencia -- puede ser diferente de la impedancia que esa misma parte del circuito ofrezca a la corriente de otra secuencia.

d) La impedancia que ofrece un circuito a la corriente de secuencia positiva se llama "impedancia de secuencia positiva"; la que ofrece a la corriente de secuencia negativa se llama "impedancia de secuencia negativa"; y, la impedancia que ofrece a la corriente de secuencia cero se llama "impedancia de secuencia cero"

e) El análisis de una falla asimétrica en un sistema asimétrico consiste en encontrar las componentes simétricas de las corrientes desequilibradas que están circulando. Puesto que las corrientes componentes de una secuencia de fases producen

caídas de tensión de la misma secuencia solamente y son independientes de las corrientes de otras secuencias, en un sistema equilibrado las corrientes de una secuencia cualquiera puede considerarse como que circulan en un circuito independiente compuesto solamente de las impedancias que se ofrecen a las corrientes de esa secuencia.

f) El circuito monofásico equivalente compuesto de las impedancias que se ofrecen a la corriente de una secuencia cualquiera se llama "circuito de secuencia" (de aquella secuencia). Este circuito comprenderá cualquier f. e. m. de — aquella secuencia que se halle presente.

2.5.2. Cálculo de las corrientes de cortocircuito. Proce- dimiento:

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito existen algunos métodos, basados en general en la teoría de las componentes simétricas y en las características que presentan las diferentes partes de una red ante un cortocircuito. Nos ocuparemos únicamente del que se sirve de las magnitudes en tanto por uno, con aplicación en los aparatos auxiliares de cálculo (analizadores de redes);

puesto que será el método a emplear en nuestro estudio.

A continuación haremos una somera descripción del proceso a seguir, con utilización de los conocimientos hasta aquí desarrollados y otros que los vamos a exponer.

- a) Se representa el sistema eléctrico mediante el diagrama unifilar, en la forma indicada en 2.1.1. así pues, se incluirán todos los elementos del sistema: generadores, transformadores, líneas, barras etc. y se anotarán sus características principales. Además se deberá señalar con exactitud el punto o los puntos en los cuales se trata de calcular las fallas.
- b) Se calculan las impedancias secuenciales de todos y cada uno de los elementos del sistema en magnitudes en tanto por uno (Se podría trabajar igualmente con las magnitudes reales), reduciéndolas luego a una sola base. Para el objeto se tomará en cuenta lo anotado en páginas anteriores.
- c) Se establecen los circuitos para las tres secuencias: positiva, negativa y cero, con los valores de impedancias encontrados.

d) Se reduce cada uno de los circuitos secuenciales a su expresión más simple. Para esto nos servimos de los diversos artificios para reducciones de circuitos con varias impedancias.

Si se va a emplear un analizador de redes no hace falta ninguna reducción. Se conformará cada uno de los circuitos secuenciales, de ser posible de manera simultánea, a fin de realizar las interconexiones correspondientes a cada tipo de falla.

e) Se establecen las condiciones en el punto de falla y se interconectan los circuitos secuenciales de acuerdo al tipo de cortocircuito en estudio (se verá más adelante). En esta parte aplicamos el teorema de Thévenin: Dado un dipolo al cual se conecta una carga, la corriente que la atraviesa será igual al cociente de la tensión del generador equivalente V_0 (medida a los bornes del dipolo) sobre la suma de las impedancias internas del mismo generador equivalente, Z_0 , y de la impedancia de la carga, Z_c . (Fig. 2.18).

f) Se calculan la corriente total de cortocircuito y los aportes de cada uno de los ramales, de acuerdo a la configuración de la red. Para el objeto nos servimos de los

métodos de resolución de circuitos, con aplicación de las leyes de Ohm y de Kirchoff, a más de las características típicas del cortocircuito, expresadas en fórmulas como veremos a continuación.

En el caso de efectuar el cálculo en un analizador de redes se pueden obtener, mediante cálculos sencillos aplicados a las lecturas directas, tanto la corriente total de falla como la de cualquier ramal del sistema.

2.5.3. Ecuaciones típicas de los cortocircuitos. Interconexión de circuitos secuenciales

Ecuaciones fundamentales para el estudio de fallas asimétricas:

Para el estudio de los diversos tipos de falla nos sirven las siguientes fórmulas generales, deducidas de los circuitos secuenciales (Figs. 2.12 a 2.14):

$$V_{a1} = E_a - I_{a1}.Z_1 \quad (75)$$

$$V_{a2} = - I_{a2}.Z_2 \quad (76)$$

$$V_{a0} = - I_{a0}.Z_0 = - I_{a0}(Z_{g0} + 3.Z_n) \quad (77)$$

a) Falla de fase a tierra:

Supongamos un cortocircuito entre la fase "a" de un sistema trifásico a-b-c y tierra. Las condiciones -

en el punto mismo de falla vendrían dadas por las ecuaciones:

$$I_b = 0 \quad I_c = 0 \quad V_a = 0 \quad (78)$$

A partir de las ecuaciones 52, 53 y 54 de las componentes simétricas de corriente:

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = 1/3.I_a \quad (79)$$

De donde el valor de la corriente de cortocircuito para la fase 'a' es:

$$I_a = 3.I_{a1} \quad (80)$$

En cuanto a los valores de voltaje:

Según 29 y 78:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 0 \quad (81)$$

$$V_{a1} = - V_{a2} - V_{a0}$$

Sustituyendo 75, 76 y 77:

$$E_a - I_{a1}.Z_1 = I_{a2}.Z_2 + I_{a0}.Z_0$$

y despejando I_{a1} :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (82)$$

Si la fase afectada por el cortocircuito fuera otra ("b" o "c") se tendría la misma cosa, pues las ecuaciones sirven para una falla de cualquiera de las - fases.

Por lo expresado en las ecuaciones 80 a 82 se deduce el modo de interconexión de los circuitos secuencia-

les : en serie (Fig. 2.19.a).

b) Falla de fase a fase:

Supóngase la falla producida entre las fases b y

c. Las condiciones típicas para ésta serían:

$$I_a = 0 \quad V_b = V_c \quad I_b = -I_c \quad (83)$$

Sustituídas 30 y 31 en $V_b = V_c$ obtendremos:

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (84)$$

Igualdad característica de este tipo de falla.

Para hallar el valor de las corrientes sustituimos en

52, 53 y 54 las ecuaciones 83:

$$I_{a1} = 1/3 (0 + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_b)$$

$$I_{a2} = 1/3 (0 + a^2 \cdot I_b - a \cdot I_b)$$

$$I_{a0} = 1/3 (0 + I_b - I_b)$$

y se obtiene:

$$I_{a1} = \frac{j \cdot I_b}{\sqrt{3}} \quad I_{a2} = -\frac{j \cdot I_b}{\sqrt{3}} \quad I_{a0} = 0 \quad (85)$$

$$I_{a1} = -I_{a2} \quad (86)$$

Según 84, 75 y 76:

$$E_a - I_{a1} \cdot Z_1 = -I_{a2} \cdot Z_2$$

Por 86: $E_a - I_{a1} \cdot Z_1 = I_{a1} \cdot Z_2 \quad (87)$

De donde:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \quad (88)$$

En lo que se refiere a los voltajes:

Según 84 y 87:

$$V_{a1} = V_{a2} = I_{a1} \cdot Z_2$$

Sustituyendo I_{a1} de 88:

$$V_{a1} = V_{a2} = E_a \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (89)$$

De acuerdo a 77 y 85:

$$V_{a0} = 0 \quad (90)$$

La interconexión de los circuitos secuenciales se efectuará según 85 ($I_{a0} = 0$), 84, 86, 88. No interviene el circuito de secuencia cero (es obvio puesto que no hay puesta a tierra en el punto de falla) y los otros dos circuitos secuenciales deben conectarse en paralelo (Fig. 2.19.b)

c) Falla entre dos fases y tierra:

Sean las fases b y c las que se cortocircuitan entre sí y se ponen a tierra, quedando libre la fase a. Las ecuaciones que caracterizan este tipo de falla serán:

$$V_b = V_c = 0 \quad I_a = 0 \quad (91)$$

Sustituidos 91 en 39, 46 y 34:

$$\begin{aligned} V_{a1} &= 1/3 (V_a + 0 + 0) \\ V_{a2} &= 1/3 (V_a + 0 + 0) \\ V_{a0} &= 1/3 (V_a + 0 + 0) \end{aligned} \quad (92)$$

y nos da:

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} = \frac{V_a}{3} \quad (93)$$

Ecuación típica de esta clase de falla:

Despejamos los valores de corriente en 76 y 77:

$$I_{a2} = - V_{a2}/Z_2 \quad I_{a0} = - V_{a0}/Z_0 \quad (94)$$

Por la ecuación 93:

$$I_{a2} = - V_{a1}/Z_2 \quad I_{a0} = - V_{a1}/Z_0 \quad (95)$$

Sustituimos V_{a1} según 75:

$$I_{a2} = - \frac{E_a - I_{a1}.Z_1}{Z_2} \quad (96)$$

$$I_{a0} = - \frac{E_a - I_{a1}.Z_1}{Z_0} \quad (97)$$

De acuerdo a 91 y 49:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0$$

Reemplazamos 96 y 97:

$$I_{a1} - \frac{E_a - I_{a1}.Z_1}{Z_2} - \frac{E_a - I_{a1}.Z_1}{Z_0} = 0 \quad (98)$$

De donde:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{Z_2.Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (99)$$

Como las tensiones secuenciales son idénticos los circuitos deben conectarse en paralelo. En efecto con esta interconexión se verifican las ecuaciones 93 y 99 (Fig. 2.19.c).

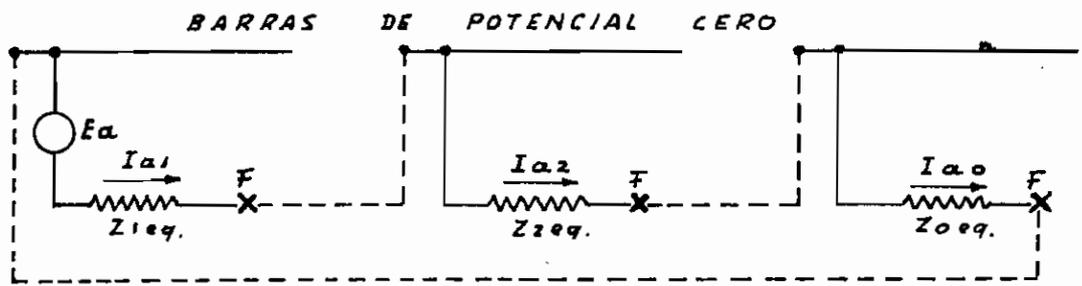
d) Falla Trifásica:

Al producirse un cortocircuito entre las tres fases de un sistema trifásico, la red estará equilibrada en todos sus puntos, incluido el de cortocircuito; por lo mismo sólo circularán por la red corrientes de secuencia positiva y en tal caso podemos prescindir de los circuitos de las otras dos secuencias.

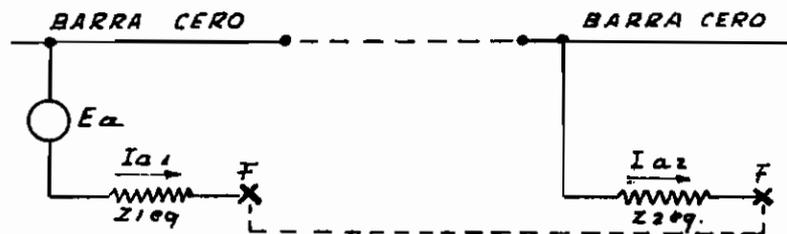
El valor de la corriente de falla para este tipo de cortocircuito se encontrará por la resolución del circuito de secuencia positiva (o por la lectura directa en el caso de emplear analizador de redes).

$$I_a = I_{a1} \quad (100)$$

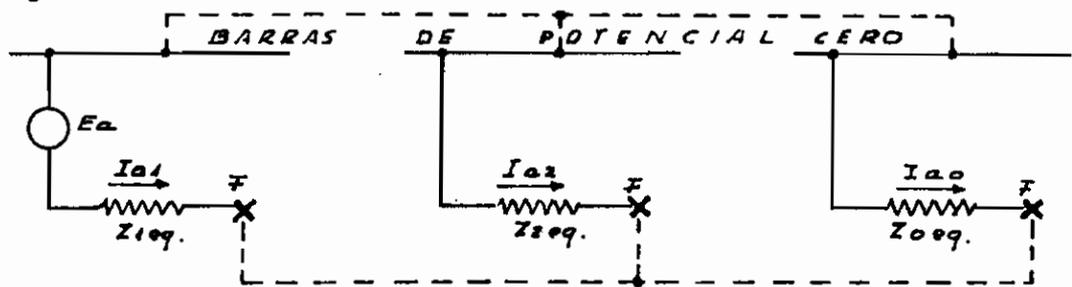
Como la tensión en el punto de cortocircuito tiene que ser nula, bastará cortocircuitar entre sí los dos terminales del circuito de secuencia positiva. (Fig. 2.19.d).



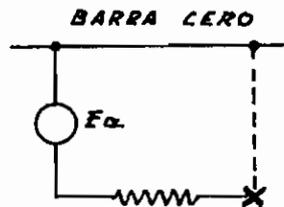
(a) FALLA DE FASE A TIERRA



(b) FALLA ENTRE DOS FASES



(c) FALLA ENTRE DOS FASES Y TIERRA



(d) FALLA TRIFASICA

FIG. 2.19

INTERCONEXION DE CIRCUITOS SECUENCIALES

CAPITULO 3

SISTEMA DE LA EMPRESA ELECTRICA "QUITO" S. A.

GENERACION, TRANSMISION Y SUBTRANSMISION

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Nuestro estudio de fallas se referirá al sistema de transmisión y subtransmisión de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A., considerado en una época para la cual estarían concluidas las obras previstas dentro del proyecto denominado "Segunda Etapa Cumbayá". Por ser esto algo más bien relativo, y puesto que no podríamos precisar el tiempo en el cual se tendría el sistema tal como interviene en nuestro análisis (se estima para 1969), a continuación hacemos algunas anotaciones aclaratorias sobre la conformación del mismo, a más de que, en las páginas siguientes, se describirá con mayor detalle cada parte constitutiva:

1a. Como centrales de generación se incluyen: Cumbayá, Guangopolo, Paschocha, Los Chillos y la tercera o central "Diésel". No se consideran ni Guápulo (Por tratarse de una pequeña y muy antigua central cuya inci

dencia en el sistema, para nuestro cálculo, es prácticamente despreciable) ni Machachi (por no ser de propiedad de la Empresa y estimarse que es posible la finalización del contrato de compra-venta de energía en 1968 o 1969).

2a. La potencia generada en la central Los Chillos - se transmite en la actualidad hasta la Subestación "Gur", mediante una línea de circuito simple a 22 - KV. Esta línea se modificará, básicamente sobre las mismas estructuras, a fin de capacitarla para un voltaje de 46 KV, al cual se llegaría hasta la central de Guangopolo, a un patio de maniobras ubicado en o muy cerca de la central.

3a. La potencia de la central de Guangopolo se transmite, asimismo, a 22 KV hasta la Subestación - Sur, mediante dos líneas de un circuito cada una. Sin embargo, estas líneas están construidas para 46 KV y a este voltaje transmitirán en el futuro, desde el ya citado patio de maniobras de Guangopolo. Es en esta última forma como intervienen las líneas en el presente estudio.

4a. Al excluirse del sistema la central de Machachi, la actual línea de transmisión pasa a constituir una barra de subtransmisión, la Este No. 3, que desde la

Subestación Sur llevaría la energía hasta las subestaciones de Hospitalillo, La Argelia, El Recreo e INIAP.

5a. La central "Diésel", ubicada en "La Carolina", - se considera como se contempla en el proyecto último, vigente a la fecha, esto es, con los generadores de propiedad de la Empresa (se excluyen los que no son de su propiedad) y con los dos grupos a instalarse en - el presente año.

6a. La central Cumbayá está terminada y así interviene en nuestro estudio. Las líneas de transmisión que enlazan esta central con la Subestación Norte, se consideran también concluidas, aunque en la actualidad no - se halla instalada sino la una, compuesta por dos circuitos en paralelo.

7a. Tanto la central como la línea de transmisión de Pasochoa entran en el estudio como si fuesen - existentes, construídas de acuerdo a los proyectos respectivos.

8a. La barra Oeste, cuya construcción está por iniciarse, ha sido incluida en nuestro estudio en la parte cuya realización es inmediata, o sea la nece-

saria para servir las subestaciones 9, 11 y 17.

9a. En la subestación Sur se consideran instalados los dos autotransformadores, es decir que se incluye el existente en la actualidad en la Subestación No. 17, la cual pasará a conformarse de modo similar a la generalidad de subestaciones (Nos. 6, 8, 10, 12, - etc.)

10a. Se dan por construídas la línea de subtransmisión, barra Este No. 1, para servicio de la Subestación No. 16, y la línea de interconexión entre la central "Diésel" y la Subestación No. 11, las cuales seguramente serán instaladas en el transcurso de este año o el próximo. Se ha considerado la interconexión entre - la Central "Diésel" y la Subestación No. 11, por ser este en la actualidad el proyecto de realización inmediata, aunque en el futuro la interconexión se efectuará - con la Subestación No. 13, mas esta, se estima no será montada antes de 1970.

11a. En el estudio intervienen las subestaciones de distribución existentes: Hospitalillo, La Arge-
lia, Nos. 2, 3, 6, 8, 10, 12, 14, 17 (con la modifica-
ción anotada en líneas anteriores); y, las de realiza-

ción inmediata: San Rafael, El Recreo, INIAP y Nos. 9, 11 y 16.

En las páginas siguientes hacemos una descripción más bien somera, de cada una de las partes del sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A., con la anotación de las características principales, aquellas que nos servirán de base para el estudio de las corrientes de cortocircuito (ver planos Nos. PC-01 y PC- 02).

En la descripción particular de cada parte del sistema nos atenemos a las consideraciones anotadas en párrafos anteriores. Hacemos hincapié en este detalle por cuanto en algunos casos las características de los equipos son solamente estimadas.

3.2. CENTRALES DE GENERACION

3.2.1. Los Chillos

a) Descripción General:

La central de Los Chillos está ubicada en las orillas del río San Rafael, en la hacienda Santa Rosa, - cantón Rumifahui. Fue puesta en servicio en el año 1922. Sus características generales son: potencia: 2.200 KVA,

caída bruta: 184 m., caudal: 1,2 metros cúbicos/seg., número de unidades: 2.

b) Características Eléctricas de los Generadores:

- Unidades Nos. 1 y 2:

Marca, año: General Electric, 1922.

Tipo: Eje horizontal, sincrónico, para instalación interior, movido por turbina hidráulica.

KVA: 1.100 c/u.

Factor de potencia: 0,8.

Revoluciones/minuto: 300.

V nominal: 2.300 estrella.

A nominal: 277.

c) Características Eléctricas del transformador de elevación:

(Se estiman por cuanto en la actualidad sólo existe el proyecto de su instalación)

Marca, año: -

Tipo: -

Potencia: 2.200 KVA.

V nominal: 2.300 delta - 46.000 estrella a tierra.

A nominal: 27,60 - 554.

Tensión de cortocircuito: 6,5 %.

3.2.2. Central Térmica o Diésel

a) Descripción General:

Está ubicada en las Avenidas Eloy Alfaro y República. En la actualidad se están ampliando sus instalaciones y se montarán dos nuevos generadores en el transcurso de este año. Para nuestro estudio nos atenemos al plano No. SD - 001 de la Empresa, en el cual se incluyen, además de dos generadores de instalación futura, los dos grupos English Electric de 1.250 KVA cada uno, a instalarse próximamente, los dos grupos MAN-AEG de 1.250 KVA cada uno, los dos grupos Sultzer-Pellizari de 625 KVA c/u y los tres grupos Caterpillar de 406 KVA cada uno, - de propiedad de la Empresa. Los demás grupos instalados en la actualidad y que no son de su propiedad, se estima serán retirados. Así considerada la central genera - 7.468 KVA (3.975 Kw).

b) Características Eléctricas de los Generadores:

- Unidades Nos. 1 y 2:

Marca, año: Sultzer-Pellizari, 1957.

Tipo: Sincrónico, eje horizontal, para interior,
movido por motor a diésel.

KVA: 625 c/u.

Factor de potencia: 0,8.

Revoluciones/minuto: 514.

V nominal: 6.300 estrella.

A nominal: 58.

- Unidades Nos 3 y 4:

Marca, año: MAN-AEG, 1959.

Tipo: sincrónico, eje horizontal, para interior,
movido por motor a diésel.

KVA: 1.250 c/u.

Factor de potencia: 0,8.

Revoluciones/minuto: 300.

V nominal: 6.300 estrella.

A nominal: 114,8.

- Unidades Nos. 5 y 6 (se instalarán en el transcurso
de este año):

Marca, año: English Electric, 1966.

Tipo: Sincrónico, eje horizontal, para interior,
movido por motor a diésel.

KVA: 1.250 c/u.

Factor de potencia: 0,8.

Revoluciones/minuto: 720.

V nominal: 6.300 estrella.

A nominal: 114,5.

- Unidades Nos. 9, 10 y 11:

Marca, año: Caterpillar, 1960.

Tipo: sincrónico, eje horizontal, para interior,
movido por motor a diésel.

KVA: 406 c/u.

Factor de potencia: 0,8.

Revoluciones/minuto: 1.200.

V nominal: 240/480 estrella.

A nominal: 980/490.

c) Características Eléctricas de los Transformadores de

Elevación:

(correspondientes a los generadores Nos. 9, 10 y 11);

Marca, año: Line Material, 1960.

Tipo: Trifásico, sumergido en aceite, para intem
perie.

KVA: 400 c/u.

V nominal: 240 delta - 6.000 delta.

A nominal: 962 - 38,50.

Tensión de cortocircuito: 4,9 %.

3.2.3. Guangopolo

a) Descripción General:

La central hidroeléctrica de Guangopolo se halla ubicada en las márgenes del río San Pedro, frente a la población de Guangopolo. Utiliza las aguas de dicho río, aumentadas con las del río Pita, mediante un canal de desvío. Inicialmente, en el año 1937, su capacidad total fue de 4.000 KVA; años después, en 1946, se instalaron dos grupos de 2.500 KVA cada uno; y, finalmente, en 1953 se instaló otro grupo de 2.500 KVA. Así pues hoy cuenta con cinco generadores y una capacidad total de 11.500 KVA (9.400 Kw). Otras características generales son: - caída bruta: 72,80 metros, caudal: 13 metros cúbicos/seg.

Como ya se dijo en párrafos anteriores, la energía generada se transmite a 22.000 hasta la Subestación Sur. Sin embargo, existe el proyecto de elevar el voltaje a 46 KV, mediante dos transformadores de características similares a las de los transformadores instalados en las subestaciones de distribución Nos. 6, 8, 10, 12, - etc. Es así como se considera en el presente estudio.

b) Características Eléctricas de los Generadores:

- Unidades Nos. 1 y 2:

Marca, año: Westinghouse, 1946.

Tipo: sincrónico, eje horizontal, para instalación interior, movido por turbina hidráulica.

KVA: 2.500 c/u.

Factor de potencia: 0,80.

Revoluciones/minuto: 720.

V nominal: 2.300 estrella.

A nominal: 626.

- Unidades Nos. 3 y 4:

Marca, año: AEG, 1937.

Tipo: sincrónico, eje horizontal, para instalación interior, movido por turbina hidráulica.

KVA: 2.000 c/u.

Factor de potencia: 0,85.

Revoluciones/minuto: 720.

V nominal: 2.300 estrella.

A nominal: 503.

- Unidad No. 5:

Marca, año: AEG, 1953.

Tipo: sincrónico, eje horizontal, para instalación interior, movido por turbina hidráulica.

KVA: 2.500.

Factor de potencia: 0,80.

Revoluciones/minuto: 720.

V nominal: 2.300 estrella.

A nominal: 627.

c) Características Eléctricas de los Transformadores de Elevación:

Marca, año: -

Tipo: -

KVA: 5.000 (OA) / 6.250 (FA).

V nominal: 2.300 delta - 46.000 estrella a tierra.

A nominal: 1.255 / 1.569 - 62,7 / 78,4.

Tensión de cortocircuito: 7 % (estimada).

3.2.4. Cumbayá

a) Descripción General:

La central hidroeléctrica de Cumbayá está ubicada aproximadamente 8 Km. al N. E. de la ciudad capital.- Es prácticamente la base del sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A., con su capacidad total de 44.444 - KVA (40.000 Kw) que representan aproximadamente el 65 % de la capacidad total del sistema, tal como lo estamos considerando para nuestro estudio.

Utiliza las aguas del río San Pedro mediante un

túnel de 8½ Km, cuya bocatoma está en Guangopolo.

Comenzó a funcionar en 1961, cuando se terminó la primera etapa consistente en las obras hidráulicas de Ingeniería Civil y la instalación de dos grupos generadores. Actualmente se encuentra funcionando con su capacidad total, luego de terminados los trabajos comprendidos dentro del proyecto "Segunda Etapa Cumbayá" que consistieron (en lo que se refiere a la Central) en la instalación de dos nuevos grupos generadores y obras anexas (transformadores, tubería de presión, turbinas, tableros de control, etc.).

Las principales características generales son:
capacidad total: 44.444 KVA (40.000 Kw), caída neta: - 133 metros, caudal: 36 metros cúbicos/seg. (admisible en las tuberías de presión y necesario para el trabajo de las cuatro turbinas), número de unidades: 4 generadores con sus respectivos transformadores.

b) Características Eléctricas de los Generadores:

- Unidades Nos. 1 y 2:

Marca, año: AEG, 1966.

Tipo: sincrónico, eje vertical, para interior,

movido por turbina hidráulica.

KVA: 11.111 c/u.

Factor de potencia: 0,90.

Revoluciones/minuto: 514. (930)

V nominal: 4.160 estrella.

A nominal: 1.542.

- Unidades Nos. 3 y 4:

Marca, año: Toshiba, 1959.

Tipo: Sincrónico, de eje vertical, para interior,
movido por turbina hidráulica.

KVA: 11.111 o/u.

Factor de potencia: 0,90.

Revoluciones/minuto: 514.

V nominal: 4.160 estrella.

A nominal: 1.543.

c) Características Eléctricas de los Transformadores de Elevación:

- Unidades Nos. 1 y 2:

Marca, año: ELIN, 1965.

Tipo: Trifásico, servicio intemperie, sumergido
en aceite.

KVA: 10.000 (OA) / 12.500 (FA). c/u

V nominal: 4.160 delta - 46.000 estrella a tierra.

A nominal: 1.735 - 157.

Tensión de cortocircuito: 7,95% - 8,03% - 8,26%.

- Unidades Nos. 3 y 4:

Marca, año: Toshiba, 1959.

Tipo: trifásico, servicio intemperie, sumergido
en aceite.

KVA: 10.000 (OA) / 12.500 (FA).

V nominal: 4.160 delta - 46.000 estrella a tierra/
26.600.

A nominal: 1.390/1.730 - 126/157.

Tensión de cortocircuito: 6,39/7,96% (OA/FA).

3.2.5. Pasochoa

a) Descripción General:

La central hidroeléctrica de Pasochoa se construirá dentro de un programa mixto de aprovechamiento de las aguas de deshielos del Antizana: se captará un caudal de 3 metros cúbicos/seg., el cual, luego de utilizado en la producción de energía eléctrica, será transportado a esta ciudad mediante un canal, con fines de potabilización.

La central estará ubicada a unos 22 KM aproxima-

damente al S. E. de Quito. Se ha iniciado ya el proceso de construcción y se espera poder terminarlo hasta fines del año próximo de 1968.

Las características principales son: caída: 194 metros, caudal: 3 metros cúbicos/seg., número de unidades generadoras; 2, y un transformador para elevación del voltaje; capacidad total: 5.625 KVA (4.500 Kw).

b) Características Eléctricas de los Generadores:

- Unidades Nos. 1 y 2:

Marca, año: -

Tipo: -

KVA: 2.812,5 c/u.

Factor de potencia ϕ 0,80.

Revoluciones/minuto: 450.

V nominal: 4.160 estrella.

A nominal: 390.

c) Características Eléctricas del Transformador de Elevación:

Marca, año: -

Tipo: -

KVA: 5.625.

V nominal: 4.160 delta - 46.000 estrella a tierra.

A nominal: 780 - 71.

Tensión de cortocircuito: 6,5 %.

3.3. LINEAS DE TRANSMISION Y SUBTRANSMISION

En esta parte de nuestro estudio haremos una descripción general de las líneas de transmisión y subtransmisión, tomando nota especial de las características relacionadas con el cálculo de impedancias que efectuaremos en el capítulo siguiente (el número 4).

En la tabla 3 - I se indican, en resumen, las principales características de las líneas y, en las figuras 3.1 a 3.10, la disposición de los conductores, tanto del circuito o circuitos trifásicos, como de la línea de protección.

Las descripciones generales (párrafos siguientes) más bien incluirán datos sobre las partes del sistema que enlazan las líneas, su construcción actual y la existencia de proyectos de construcción o modificaciones (en caso de haberlos).

Para la clasificación en líneas de transmisión y

subtransmisión atendemos la función de cada una de ellas. Las líneas que llevan energía desde una central de generación hasta una subestación de subtransmisión o de distribución, serán incluidas entre las líneas de transmisión. Las líneas que llevan energía desde una subestación de subtransmisión hasta las subestaciones de distribución se describirán como líneas de subtransmisión. Aunque esto puede ser relativo, hemos procedido así con fines de ordenamiento y mejor comprensión. Por este mismo motivo, las derivaciones desde líneas de subtransmisión hasta subestaciones de distribución las hemos catalogado en un tercer grupo, a pesar de que, según el criterio antes expuesto, estas derivaciones estarían dentro del grupo de líneas de subtransmisión.

3.3.1. Líneas de Transmisión

a) Pasochoa - Quito:

Será la línea destinada a transmitir la energía generada en la central de Pasochoa, próxima a construirse, hasta la subestación Sur. Sus características principales (anotadas en la tabla 3 - I) han sido tomadas del respectivo proyecto elaborado para la Empresa Eléctrica - "Quito" S. A.

b) Los Chillos - Guangopolo

De acuerdo a las consideraciones anotadas en páginas anteriores, esta línea (actualmente en proyecto) llevaría la energía desde la central de Los Chillos hasta un patio de maniobras, a construirse en Guangopolo. Se preve la utilización de las estructuras existentes, - con adecuaciones y modificaciones destinadas a conseguir la correcta disposición de conductores para el nuevo voltaje (46 KV) y la debida protección mediante línea de tierra, hoy nada recomendable por ser exagerado el ángulo.

c) Guangopolo - Quito

Para esta transmisión desde el patio de maniobras de Guangopolo, a construirse, hasta la Subestación Sur, se hallan instaladas dos líneas de un circuito trifásico cada una, trabajando en paralelo. Si bien en la actualidad su voltaje de servicio es 22 KV, se han construido - ya como para el voltaje previsto de 46 KV. Para diferenciación se las denomina como Guangopolo - Quito No. 1 y Guangopolo - Quito No. 2.

d) Cumbayá - Quito

Para la transmisión desde la central de Cumabyá hasta la Subestación Norte en esta ciudad se tiene prevista la construcción de dos líneas de características iguales y de dos circuitos cada una. Actualmente sólo está instalada una de las dos líneas, la Cumbayá - Quito No. 2, con su doble circuito. En nuestro estudio intervienen las dos líneas completas, es decir, con los dos circuitos cada una y con características idénticas.

e) Diésel - Subestación No. 11

El proyecto definitivo, según se preve al momento, llevará la energía generada en la central Diésel hasta las subestaciones Nos. 13 y 14. El proyecto de realización próxima preve la transmisión de energía a la Subestación No. 11, de manera provisional, hasta que sea montada la Subestación No. 13. Como esto último no se incluye dentro del programa de realizaciones hasta antes de 1970, nosotros consideramos la transmisión desde la central Diésel a la Subestación No. 11 y las características anotadas en la tabla 3 - I son calculadas de acuerdo a estimaciones del Departamento de Ingeniería Eléctrica.

f) Diésel - Subestación No. 14

Actualmente existe un circuito de interconexión entre la central Diésel y la subestación No. 14, pero las características para nuestro estudio, las consideramos idénticas a las de la línea a la Subestación No. 11, de la cual se habló en el párrafo anterior.

3.3.2. Líneas de Subtransmisión

a) Barra Este No. 1

Esta línea se construirá dentro del programa de realizaciones próximas, desde la subestación Norte hasta la subestación No. 16, a instalarse en el transcurso del presente año. Las características son estimadas de acuerdo a informaciones del Departamento de Ingeniería Eléctrica.

b) Barra Este No. 2

Interconecta las dos subestaciones de subtransmisión (Norte y Sur) con un recorrido por el perímetro urbano, por el lado oriental de la ciudad. Alimenta las Subestaciones Nos. 6, 8, 10, 12 y 14, existentes todas, y forma el anillo circundante de la zona central de Quito, junto con la barra Oeste No. 2 que se instalará paralelamente y por el costado occidental. Por ser una línea to-

talmente construída, las características y los valores de impedancia se tomarán de los correspondientes Archivos de la Empresa.

c) Barra Este No. 3

Como ya dijéramos en las consideraciones generales, la función y el nombre de esta línea se asignan para la actual línea de transmisión Machachi - Quito, bajo el supuesto caso de que la Empresa Eléctrica "Quito" S. A. dejara de comprar energía a Machachi. De acuerdo a esto, la barra se alimentaría desde la Subestación Sur y serviría a las subestaciones de Hospita₁illo y La Argelia, existentes, y a las subestaciones de servicio particular de "El Recreo" y de INIAP.

En la parte inicial y en una longitud de 2.721 m. está tendida paralelamente con la barra Oeste No . 3, sobre las mismas estructuras. Desde este punto y en una longitud adicional de 3.357 metros se tiene la variante de la línea Machachi - Quito, es decir que se trata de un tramo nuevo en reemplazo de dicha línea, hasta empalmarla, para continuar, sobre la misma construcción existente, hasta la subestación de INIAP, a instalarse. El resto de la línea, hasta la central de Machachi, sería pues

to fuera de servicio, y quizá levantado.

d) Barras Oeste No. 1 y Oeste No. 2

A partir de la subestación Norte se tenderá un tramo de línea que atraviese la ciudad de Oriente a Occidente a la altura de la Avenida de Los Estadios. Esta línea llevará la energía desde la mencionada subestación - hasta la Barra Oeste, constituyendo esta la barra Oeste No. 1, hacia el Norte, hasta la Subestación No. 17; y, - la barra Oeste No. 2, hacia el Sur hasta la derivación a la Subestación No. 9. Es así como esta barra de subtransmisión se considera en nuestro estudio, aunque en el futuro la barra Oeste No. 2 servirá también a las subestaciones Nos. 13, 7 y 5 e interconectará las subestaciones Norte y Sur, formando, como ya queda dicho, con la barra Este No. 2, el anillo de circunvalación de la zona céntrica de la ciudad.

e) Barra Oeste No. 3

Alimenta, desde la subestación Sur a las subestaciones de distribución Nos. 2 y 3. Como se dijo antes, en su primera parte, está tendida sobre las mismas estructuras de la barra Este No. 3, hasta una longitud de 2.726 m.

3.3.3. Derivaciones a Subestaciones:

a) A Subestaciones Nos. 6, 8, 10, 12 y 14

Sirven para la alimentación a las subestaciones del costado oriental de la ciudad, desde la barra Este No. 2. Son de características iguales entre sí e iguales a las de dicha barra. La derivación a las subestaciones Nos. 6 y 8 es común hasta un punto tal en que se bifurca para llegar a las dos subestaciones, separadamente.

b) A Subestación La Argelia

Es un tramo corto de línea que alimenta la nueva subestación "La Argelia", desde la barra Este No. 3, hoy línea de transmisión Machachi - Quito. Las características se han tomado del proyecto correspondiente.

c) A Subestación No. 2

Es asimismo una línea de pequeño recorrido (aproximadamente 730 metros) que alimenta la antigua Subestación No. 2, desde la barra Oeste No. 3.

d) A Subestaciones Nos. 9 y 11:

Las derivaciones a las subestaciones Nos. 9 y 11

alimentarán dichas subestaciones desde la Barra Oeste No.

2. Las longitudes de recorrido se han tomado de los levantamientos topográficos existentes en archivos de la Empresa y las características, de estimaciones básicas para el proyecto.

3.4. SUBESTACIONES NORTE Y SUR

3.4.1. Subestación Norte

a) Descripción General

Es una subestación de maniobras que recibe la potencia generada en Cumbayá y la "subtransmite", a través de los respectivos disyuntores, a las diversas barras de subtransmisión, al mismo voltaje de 46 KV, para llegar a las subestaciones de distribución.

Actualmente llega a la subestación la línea Cumbayá - Quito No. 2 y salen las barras Este No. 2 y Oeste No. 1, esta última para alimentación de la subestación No. 17. En nuestro estudio incluimos la llegada de las dos líneas Cumbayá y además la salida de la barra Este No. 1 que suministrará alimentación a la subestación No. 16, próxima a construirse. Asimismo damos por existente la línea μ que sale de la subestación Norte y alimenta -

a la barra Oeste.

b) Características Eléctricas de los Disyuntores:

Marca, año: Oerlikon, 1960.

Tipo: En aceite (volumen reducido), para intempe-
rie.

Voltaje de servicio: 46.000 V.

Corriente de servicio continuo: 600 A.

Corriente momentánea: 12.000 A.

Corriente de 4 seg.: 7.200 A.

Capacidad de desconectar (trifásica): 500 MVA.

Corriente de máxima interrupción: 7.200 A.

Corriente normal de interrupción (a 46 KV):

6.300 A.

Tiempo de desconexión: 8 ciclos.

3.4.2. Subestación Sur

a) Descripción General:

Es esta una subestación de maniobras y de reducción. Tiene dos barras denominadas No. 1 (la Norte) y No. 2 (la Sur). Existen dos autotransformadores en paralelo para la reducción de voltaje de 46 a 22 KV (se incluye el hoy instalado en la Subestación No. 17).

Para nuestro estudio consideramos como ya realizadas las modificaciones a que nos hemos referido en páginas anteriores: de voltaje (46 en lugar de 22 KV) para las dos líneas de Guangopolo, de línea de transmisión a línea de subtransmisión la actual línea Machachi - Quito, etc. De acuerdo a esto, a las barras de la Subestación - estarían conectadas las siguientes líneas:

Pasochoa - Quito, a 46 KV (transmisión);
Guangopolo - Quito No. 1, a 46 KV (transmisión);
Guangopolo - Quito No. 2, a 46 KV (transmisión);
Barra Este No. 2, a 46 KV (subtransmisión);
Barra Este No. 3, a 22 KV (subtransmisión); y,
Barra Oeste No. 3, a 22 KV (subtransmisión).

Los disyuntores para las líneas son del tipo de volumen reducido de aceite, para intemperie, y tienen - sistemas de enclavamiento para la conexión o desconexión, en correspondencia con los respectivos suiches. Son de - marca DELLE, tipo HPGE 7-8, 600 A, 36 KV, para las barras de 22 KV; y, tipo HPGE 9-12, 800 A y 70 KV, para las de 46 KV. Los primeros tienen una capacidad de interrupción de 250 MVA y los segundos de 1.600 MVA.

b) Características Eléctricas de los Autotransformadores

Marca, año: Savoisiennne, 1960.

Tipo: trifásico, sumergido en aceite, para inter
perie.

KVA: Prim. y Sec.: 6.000 (OA) / 7.500 (FA);

Terc.: 2.000 (OA) / 2.500 (FA).

V nominal: 46.000 estrella a tierra - 22.000 es-
trella a tierra - 6.300 delta.

A nominal: (a capacidad FA): Prim: 94 - Sec: 197

Terc.: 687.

Tensión de cortocircuito (a capacidad FA):

Prim./Sec.: 6,40 %

Prim./Terc.: 21,63 %

Sec./Terc.: 12,84 %.

3.5. SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION

3.5.1. Subestación No. 6

a) Descripción General:

Se halla ubicada en la intersección de las calles Silva y Montúfar. Recibe la alimentación de la Barra Este No. 2 a 46 KV y distribuye la energía a 6,3 KV en los sectores 5 y 6, pues la construcción de la subestación No. 5 ha sido diferida para una fecha posterior.

En la terminación de la línea a 46 KV se hallan - los protectores de sobretensión, un juego de seccionadores de cuchilla (operados en grupo y con enclavamiento) y un juego de portafusibles unipolares para 46 KV y 200 A con elementos para 100 A (ver subestación tipo en el plano No. PC-02).

Desde el secundario del transformador de fuerza - (sus características se anotarán luego) se alimenta a un grupo de cabinas metálicas de intemperie para la distribución primaria a 6,3 KV. Esta distribución se realiza mediante cuatro circuitos primarios, denominados A, - B, C y D, cada uno de los cuales sale de la subestación a través de su respectivo disyuntor. Además de estos circuitos hay otro, el llamado "Expreso" que deberá interconectar esta subestación con la No. 5, cuando esta sea construída. Los disyuntores son del tipo de expansión, - para instalación interior, tensión nominal 10 KV, intensidad nominal 1.000 A y capacidad nominal de ruptura - 200 MVA.

Más o menos la misma conformación tienen las subestaciones Nos. 8, 10, 12 y 14 y tendrán las Nos. 9, - 11 y 16.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: Siemens, 1960.

Tipo: Trifásico, sumergido en aceite, OA/FA, para intemperie.

KVA: 5.000 (OA) / 6.250 (FA).

V nominal: 43.800/21.900 delta - 6.300 estrella a tierra.

A nominal: 66/132 - 458 (OA); 82,5/165 - 573 (FA)

Tensión de cortocircuito: 6,7 % (a 5.000 KVA).

3.5.2. Subestación No. 8

a) Descripción General:

Se halla ubicada en Pedro Fermín Cevallos y Riquelme. También se alimenta de la Barra Este No. 2 a 46 KV y distribuye la energía en los sectores 7 y 8, pues el primero de estos no contará con la subestación propia sino después de 1970. Los elementos constitutivos de la subestación son similares a los de la No. 6: estructura, protectores de sobretensión, fusibles, etc.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: Savoisiennne, 1959.

Tipo: trifásico, sumergido en aceite, autoenfria
do, para intemperie.

KVA: 6.250.

V nominal: 43.800/21.900 delta - 6.300 estrella
a tierra.

A nominal: 82,5/165 - 572.

Tensión de cortocircuito: 9,3 %.

3.5.3. Subestación No. 10

Está situada en la calle Queseras del Medio, entre Toledo y Equinoccio. En igual forma se alimenta de la barra Este No. 2 a 46 KV. Su zona de carga es la No. 10, pues si bien en la actualidad sirve los sectores 9 y 10, la subestación No. 9 está por construirse y cuando esto suceda tomará la carga correspondiente. Su conformación y las características del equipo son iguales a las de la subestación No. 6, ya que pertenece al grupo de las llamadas subestaciones "Siennes" que está constituido por las Nos. 6, 10, 12 y 14.

3.5.4. Subestación No. 12

Está ubicada en la intersección de las calles Co
ruña y Vizcaya. Su zona de carga, con el próximo montaje

de la Subestación No. 11, quedará reducida al sector No. 12. También se alimenta desde la barra Este No. 2 a 46 KV. y distribuye la potencia a 6,3 KV. Las características, para nuestro estudio, son equivalentes a las de las Subestaciones Nos. 6 y 10.

3.5.5 Subestación No. 14

Es la cuarta de las subestaciones "Siemens", de características idénticas a las anteriores (Nos. 6, 10 y 12). Se encuentra ubicada en la Av. Seis de Diciembre, entre Bossano y Eloy Alfaro. Su zona de carga será la) No. 14 en cuanto entre en servicio la subestación No. 16, pues esta deberá tomar varias cargas hoy servidas por la No. 14. La interconexión, mediante el circuito "expreso", en el caso de esta subestación, se realiza con la central térmica.

3.5.6. Subestación No. 9

a) Descripción General:

Es una de las subestaciones de montaje muy próximo, pues se encuentra ya en bodegas el equipo correspondiente, al igual que para las subestaciones Nos. 11 y 16.

Se ubicará entre la calle Manuel García y quebrada El - Armero y servirá al sector comprendido como zona de carga No. 9, al voltaje general de distribución primaria: 6,3 KV. Se alimentará desde la Barra Oeste No. 2, a 46 KV y se interconectará con la subestación No. 8.

En cuanto a la conformación será similar a todas las descritas anteriormente, pues a excepción de unas pocas que se describirán más adelante (servidas a 22 KV), la generalidad de subestaciones de distribución obedece a un tipo común, como el indicado en el plano No. PC-02.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: ASEA, 1966.

Tipo: trifásico, sumergido en aceite, OA/FA, para intemperie.

KVA: 5.000 (OA) / 6.250 (FA).

V nominal: 43.800 delta - 6.300 estrella a tierra.

A nominal: 82,4 - 573. (FA).

Tensión de cortocircuito (a 6.250 KVA): 9 %.

3.5.7. Subestación No. 11

Al igual que la subestación No. 9 se instalará a corto plazo, para servicio de la zona correspondiente, -

en este caso la No. 11. Estará ubicada en la intersección de las calles Utreras y Cuba. También se alimentará de la barra Oeste No. 2 a 46 KV y realizará la distribución primaria a 6,3 KV. Sus características son iguales a las de la Subestación No. 9, ya que el equipo es idéntico. La interconexión mediante el circuito "Expreso", - del mismo modo que para la subestación No. 14, se efectuará con la central térmica de La Carolina.

3.5.8. Subestación No. 16

Es del tipo y marca de las subestaciones anteriores (Nos. 9 y 11), y por lo mismo, de características equivalentes. Se ubicará en la prolongación de la calle Río Coca, junto a la Avenida Seis de Diciembre, para servir la zona de carga No. 16, hoy alimentada desde las subestaciones Nos. 14 y 17. Recibirá suministro de energía directamente de la Subestación Norte, a través de la Barra Este No. 1, cuyo montaje se incluye en el programa de construcciones próximas.

3.5.9. Subestación No. 17

a) Descripción General:

Está ubicada en la intersección de las calles Gon

zalo Benítez y Gonzalo Gallo, en la Urbanización "Andalucia". En la actualidad está constituida por un autotransformador perteneciente a la Subestación Sur, el cual reduce el voltaje de 46 a 22 KV, y de un banco de tres - transformadores monofásicos de 1.333 KVA cada uno, conectados en delta para obtener la transformación de voltaje de 22 a 6,3 KV. Para nuestro estudio, sin embargo, consideraremos la subestación conformada como se proyecta: - con equipo de características similares a las de las - subestaciones "tipo" (Nos. 6, 8, 10, etc.) y la inclusión de un transformador de 1.000 KVA para distribución primaria a 13,8 KV. La alimentación la seguirá recibiendo a través de la Barra Oeste No. 1, a 46 KV.

b) Características Eléctricas de los Transformadores:

- Unidad No. 1:

Iguals a las características anotadas para los transformadores de las Subestaciones Nos. 6, 10 12 y 14, pues será similar.

- Unidad No. 2:

Marca, año: -

Tipo: -

KVA: 1.000.

V nominal: 46.000 delta - 13.800 estrella a -
tierra.

A nominal: 125,5 - 418,3.

Tensión de cortocircuito: 5,5 % (estimada).

3.5.10. Subestación No. 2

a) Descripción General:

Ubicada en la intersección de las calles Maldonado y El Sena, se trata de una subestación tipo interior. Se alimenta a 22 KV desde la barra Oeste No. 3 y su distribución primaria se realiza a 6,3 y a 4 KV.

En la llegada de la línea a 22 KV se hallan instalados un juego de protectores de sobretensión, un juego de seccionadores y un disyuntor en aceite para 23 KV, 600 A. La reducción de voltaje se efectúa mediante un banco de tres transformadores monofásicos conectados en delta. Actualmente existen tres circuitos primarios a 6,3 KV y dos a 4 KV, pero se estima que próximamente estos últimos serán retirados de servicio. Estos circuitos salen a través de disyuntores en aceite para 15 KV, 600 A. Hay un disyuntor común para los dos circuitos a 4 KV, otro para dos circuitos a 6,3 KV y un tercero para el último circuito a 6,3 KV.

b) Características Eléctricas de los Transformadores:

Marca, año: Westinghouse, -

Tipo: monofásico, sumergido en aceite, autoenfria
do.

KVA: 1.333 c/u (Total: 4.000).

V nominal: 22.000 delta - 6.300/4.000 delta.

A nominal: 60,6 - 212.

Tensión de cortocircuito: 6,3 %.

3.5.11. Subestación No. 3

a) Descripción General:

La nueva subestación No. 3, también del tipo interior, está situada en la intersección de la Avenida - Teniente Hugo Ortiz y calle Iturralde, en la ciudadela e "Atahualpa". Se alimenta a 22 KV desde la subestación Sur a través de la barra Oeste No. 3 y distribuye la energía a 6,3 KV en el sector, mediante un banco de transformadores monofásicos conectados en delta.

En general está constituida por el equipo de la - antigua y hoy inexistente Subestación No. 1. En la acometida a 22 KV están instalados un juego de protectores de sobretensión, otro de seccionadores para 20 KV, 200 A y

un disyuntor en aceite para 20 KV, 350 A y capacidad - máxima de desconexión 250 MVA. Los disyuntores de salida de los circuitos primarios son del tipo en aceite, para 6 KV y 200 A.

b) Características Eléctricas de los Transformadores:

Marca, año: AEG, -

Tipo: monofásico, sumergido en aceite, autoenfriado.

KVA: 1.333 c/u (Total: 4.000).

V nominal: 22.000 delta - 6.300 delta.

A nominal: 60,6 - 212.

Tensión de cortocircuito: 6,4 %.

3.5.12. Subestación "Hospitalillo"

a) Descripción General:

Se halla ubicada en la hacienda "Hospitalillo", en Guajaló, para servicio de esa zona, cuyo crecimiento de demanda ha sido notable desde unos pocos años atrás, - debido a la instalación de varias industrias. La alimentación la recibe a 22 KV desde la barra Este No. 3 (actual línea de transmisión Machachi - Quito), y transforma el voltaje al normal de distribución primaria, mediante un

transformador trifásico de 1.000 KVA .

Para su protección se han instalado, en el lado de 22 KV, un juego de protectores de sobretensión y un portafusible - seccionador tripolar para 30 KV, 200 A, con elementos fusibles de 25 A; y, en el lado de 6,3 KV, un disyuntor tripolar en reducido volumen de aceite, para 10 KV, 600 A, 300 MVA, a más de un seccionador tripolar de 10 KV, 400 A. También esta subestación es de tipo interior.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: Schorch, 1959.

Tipo: trifásico, sumergido en aceite, autoenfriado, para interior.

KVA: 1.000.

V nominal: 21.998 delta - 6.300 estrella a tierra.

A nominal: 26,25 - 91,7.

Tensión de cortocircuito: 5,55 %.

3.5.13. Subestación "La Argelia"

a) Descripción General:

De muy reciente construcción, fue planificada y montada para servir la creciente carga industrial del sector Sur de la ciudad, pues la anterior subestación - ("Hospitalillo") ha venido siendo cada vez más insuficiente. A pesar de esto, por tratarse de una subestación de capacidad más bien reducida (1.500 KVA), los establecimientos industriales de reciente o próxima construcción, cuya carga es considerable, se deben alimentar - (así se viene haciendo) a 22 KV, directamente a a través de la barra Este No. 3. La subestación "La Argelia" está ubicada en el Km 7 de la carretera Panamericana - Sur, frente a la fábrica "Fosforera Ecuatoriana".

Su instalación comprende (a más del transformador de fuerza, cuyas características se anotarán más adelante): un juego de tres protectores de sobretensión para 25 KV; tres seccionadores para 23 KV, 600 A; y, tres portafusibles para 25,8 KV y 200 A con elementos fusibles de 40 A; esto en lo que se refiere al lado de 22 KV. En el lado de 6,3 KV hay un reconectador para a 14,4 KV y 400 A y también los correspondientes protectores de sobretensión.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: Ercole Marelli, 1964.

Tipo: Trifásico, sumergido en aceite, autoenfria
do, para instalación a la intemperie.

KVA: 1.500.

V nominal: 22.000 delta - 6.300 estrella a tie-
rra.

A nominal: 39,4 - 155,5.

Tensión de cortocircuito: 5,55 %.

3.5.14. Subestación "San Rafael"

a) Descripción General:

Para atender la demanda progresiva del sector - del valle de Los Chillos se ha previsto el montaje de - esta subestación en San Rafael, para el año de 1968. La alimentación la recibirá q a través de la línea de transmisión Los Chillos - Guangopolo, a 46 KV, para reducir - el voltaje a 13,8 KV y a este distribuir la potencia en la zona. En la actualidad existe el proyecto pero no se han efectuado aún estudios sobre el equipo a instalar, por lo cual las características siguientes son estimadas.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: -

Tipo: -

KVA: 2.000.

V nominal: 46.000 delta - 13.800 estrella a tierra.

A nominal: 25,1 - 83,7.

Tensión de cortocircuito: 6 %.

3.5.15. Subestación "El Recreo"

a) Descripción General:

La fábrica textil "La Internacional", ubicada al Sur de la ciudad, se venía alimentando a 4.160 voltios - desde la Subestación No. 2. Hoy ha incrementado considerablemente su carga y lo seguirá haciendo en tal forma - que, para la época a la cual se refiere nuestro estudio, necesitará aproximadamente el suministro de energía para 4.000 KVA. En vista de ello se ha planeado, para servicio particular de la fábrica, el montaje de una subestación que estará constituida fundamentalmente por un banco de transformadores monofásicos conectados en delta, los cuales serán alimentados desde la subestación Sur, a través de la Barra Este No. 3.

b) Características Eléctricas de los Transformadores:

Marca, año: -

Tipo: monofásico, sumergido en aceite, autoenfriado.

KVA: 1.333 c/u (Total: 4.000).

V nominal: 22.000 delta - 4.000 estrella a tierra.

A nominal: 105 - 577.

Tensión de cortocircuito: 6,4 %.

3.5.16. Subestación de INIAP

a) Descripción General:

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha anticipado la necesidad de servicio eléctrico, en el sector de Tambillo, para una carga de 750 KVA. Con este fin se preve instalar una subestación para satisfacer dicha demanda. Tal subestación estará servida de la Barra Este No. 3 (actual línea de transmisión Machachi - Quito) a 22 KV. Se incluye en nuestro estudio con las principales características estimadas, por no existir todavía un proyecto definitivo.

b) Características Eléctricas del Transformador:

Marca, año: -

Tipo: -

KVA: 750.

V nominal: 22.000 delta - 13.800 estrella a tierra.

A nominal: 19,7 - 31,4.

Tensión de cortocircuito: 6 %.

En el plano No. PC-01 se indica la ubicación de las centrales de generación y subestaciones de distribución, así como el recorrido de las líneas de transmisión y subtransmisión. El plano No. PC-02 que corresponde al diagrama eléctrico unifilar del sistema, contiene las principales características eléctricas de centrales, líneas y subestaciones.

CAPITULO 4

CALCULO DE IMPEDANCIAS

CIRCUITOS SECUENCIALES

A fin de contar con los circuitos secuenciales necesarios para el estudio de fallas en el sistema de transmisión y subtransmisión, procederemos a calcular los valores de impedancias de sus diversas partes, teniendo en cuenta la descripción realizada en el capítulo 3 y lo anotado en el capítulo 2, relacionado con - reactancias secuenciales de generadores sincrónicos, - transformadores y líneas.

Para los cálculos nos servirán las características del equipo según queda descrito en el capítulo 3, y el plano No. PC - 02 correspondiente al diagrama eléctrico unifilar.

Los valores de impedancias se establecerán en magnitudes p. u. referidas a las bases de 20.000 KVA y KV nominales para cada elemento. Adicionalmente, en el cálculo nos servirán las fórmulas 15, 16, 18, 20 y 20a.

4.1. CENTRALES DE GENERACION

Como no serán objeto de nuestro estudio los cortocircuitos que pueden presentarse dentro de las par-

tes constitutivas de cada central, analizaremos sus valores de reactancias (no intervienen los valores de R por ser prácticamente despreciables) en forma global, es decir, atendiendo al conjunto de unidades generadoras y transformadoras, anteriores al disyuntor o disyuntores de salida de la línea o las líneas de transmisión.

Se ha tratado de llegar a los datos reales para obtener los valores de reactancias, pero en los ca sos en los cuales esto no ha sido posible, hemos acudido a tablas de libros como "Electrical Transmission and Distribution Reference Book - Westinghouse Electric Corporation", "Industrial Power Systems Handbook-Beeman" y "Standard Handbook for Electrical Engineers-Knowlton".

En los valores de reactancias de generadores u tilizaremos la siguiente nomenclatura:

- $X''d$ Reactancia directa subtransitoria.
- $X'd$ Reactancia directa transitoria .
- $X2$ Reactancia de secuencia negativa.
- Xo Reactancia de secuencia cero.

4.1.1. Los Chillos.

El disyuntor de salida de la línea de --- transmisión Los Chillos - Guangopolo estará ubicado - antes del transformador de elevación, de manera que - nos será necesario obtener el valor de la reactancia equivalente de los generadores por una parte, y separadamente , el de la reactancia del transformador.

En la tabla 4 - I se indican los valores de las reactancias secuenciales para esta central, - valores obtenidos de las características del equipo - y mediante transformación de valores porcentuales a - magnitudes en tanto por uno, y de estas, referidas a - una base, a magnitudes referidas a otra base.

T A B L A 4 - I

CALCULO DE REACTANCIAS
CENTRAL LOS CHILLOS

Reactancia de	KVA base	X ^{"d} p.u	X ^{'d} p.u.	X ₂ p.u.	X ₀ p.u.
G1 y G2 (c/u)	1.100	0,34	0,34	0,25	
T	2.200	0,065	0,065	0,065	
G1 y G2 (c/u)	20.000	6,181	6,181	4,545	
G1 y G2 (equiv.)	"	3,091	3,091	2,273	
T	"	0,591	0,591	0,591	0,591

NOTAS:

- 1.- Los valores de las reactancias directas, tanto transitorias como subtransitorias, se han obtenido de los archivos de la Empresa Eléctrica "Quito" S.A.
- 2.- Los valores de la reactancia del transformador y de las reactancias negativas de los generadores se han estimado.
- 3.- No se incluye el cálculo de las reactancias de secuencia cero de los generadores, por no ser necesario, pues dichas reactancias no intervienen en el circuito de tal secuencia, ya que la conexión delta - estrella del transformador de elevación constituye circuito abierto para las corrientes de secuencia cero (Fig. 4.1.).

4.1.2. Diesel.-

En el caso de esta Central los disyuntores de salida de las líneas se encuentran a continuación de las barras colectoras a 6,3 KV; de manera que, para los circuitos secuenciales de nuestro estudio solamente necesitaremos los valores de las reactancias equivalentes de la central.

CIRCUITOS DE SECUENCIA CERO
CENTRALES DE GENERACION

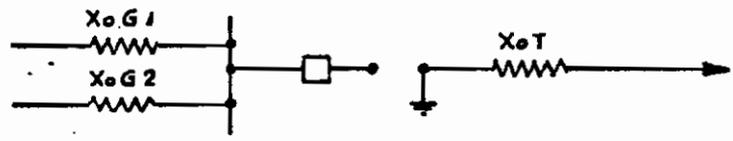


FIG. 4.1
LOS CHILLOS

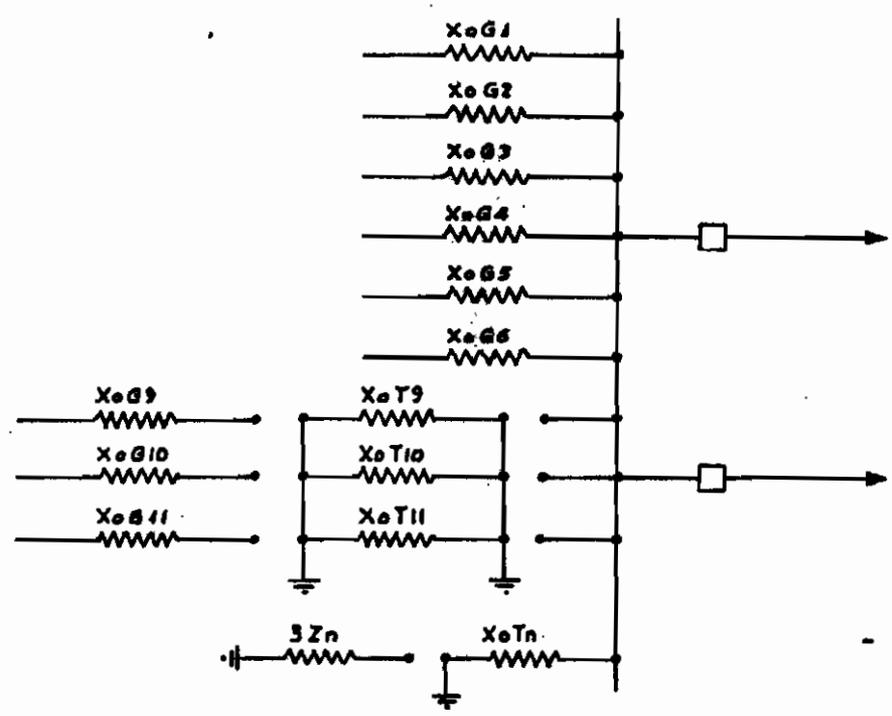


FIG. 4.2
DIESEL

CIRCUITOS DE SECUENCIA CERO
CENTRALES DE GENERACION (CONT)

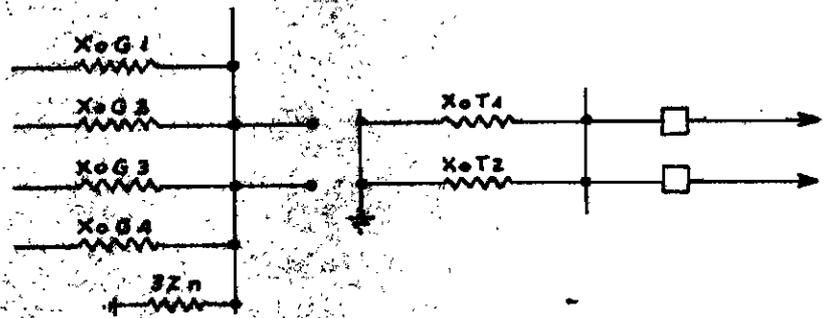


FIG. 4.3
GUANGOPOLDO

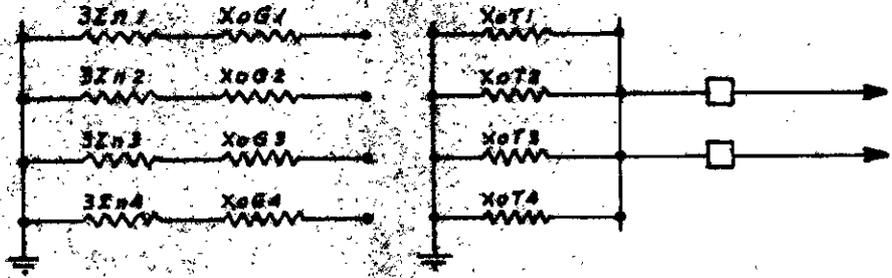


FIG. 4.4
CUMBAYA

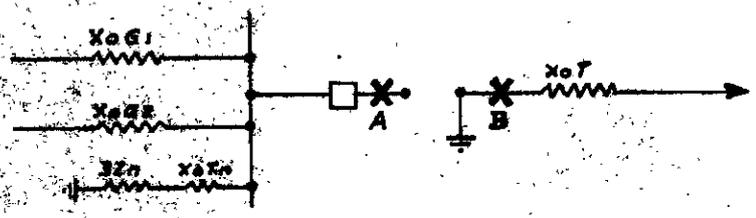


FIG. 4.5
PASOCHOA

De acuerdo a esto, en lo que corresponde al dia grama de secuencia cero (ver planos Nos. PC-02 y PC-06), únicamente se incluirá el transformador de puesta a tierra con su reactancia entre esta y las barras a 6,3 KV, pues el resto del equipo (generadores y transformadores) no se halla intercalado entre la barra de potencial cero o de tierra y dichas barras colectoras a 6,3 KV (Fig. 4.2.).

En la tabla 4 - II se indican en detalle los va lores de las reactancias, obtenidos según el cálculo ya mencionado de transformar reactancias en valores unitarios de una base a valores de base 20.000 KVA.

T A B L A 4 - II
CALCULO DE REACTANCIAS

Reactancia de	KVA base	<u>CENTRAL DIESEL</u>			
		X ^{"d} p.u.	X' ^d p.u.	X ₂ p.u.	X ₀ p.u.
G1 a G11 (c/u)	Nomin.	0,22	0,32	0,25	
T9 a T11 (c/u)	"	0,049	0,049	0,049	
G1 y G2 (c/u)	20.000	7,04	10,24	8,00	
G3 # G6 (c/u)	"	3,52	5,12	4,00	
G9 # G11 (c/u)	"	11	16	12,5	
T9 a T11 (c/u)	"	2,45	2,45	2,45	2,45
CENTRAL (equiv.)	"	0,608	0,878	0,689	8,40

NOTAS:

- 1.- Todos los valores de las reactancias de los generadores son estimados.
- 2.- Los valores de las reactancias de los transformadores han sido obtenidos de las placas respectivas.
- 3.- El valor obtenido para la reactancia equivalente de secuencia cero corresponde a la del banco de transformadores de puesta a tierra únicamente. No se incluyen los generadores -- por no tener conexión a tierra, ni los tres transformadores de elevación T9 a T11 debido a su conexión (delta - delta), ni la resistencia de puesta a tierra, dada la conexión delta - estrella a tierra del banco de transformadores (ver Fig. 4.2.).

4.1.3. Guangopolo:

Esta central tendrá, a continuación de los generadores y transformadores de elevación, un patio de maniobras al cual llegará la potencia generada en la propia central y en la de Los Chillos, y de la cual saldrán las dos líneas Guangopolo - Quito, a través de sus respectivos disyuntores. Dado que, como ya hemos anotado, -

sólo estudiaremos las fallas en el sistema de transmisión y subtransmisión, sólo nos convendrá obtener los valores de las reactancias secuenciales equivalentes de la central, incluidos los cinco generadores y los dos transformadores de elevación

En la tabla 4 - III se anotan los valores de reactancias calculados en la forma que ya la hemos utilizado para las dos centrales anteriores.

T A B L A 4 - III
CALCULO DE REACTANCIAS

CENTRAL GUANGOPOLO

Reactancia de	KVA base	X''d p.u.	X'd p.u.	X2 p.u.	Xo p.u.
G1 y G2 (c/u)	2.500	0,34	0,34	0,25	
G3 y G4 (c/u)	2.000	0,21	0,31	0,25	
G5	2.500	0,175	0,26	0,25	
T1 y T2 (c/u)	5.000	0,07	0,07	0,07	0,07
G1 y G2 (c/u)	20.000	2,72	2,72	2,00	
G3 y G4 (c/u)	"	2,10	3,10	2,50	
G5	"	1,40	2,08	2,00	
T1 y T2 (c/u)	"	0,28	0,28	0,28	0,28
G1 a G5 (equiv.)	"	0,418	0,537	0,435	
T1 y T2 (equiv.)	"	0,14	0,14	0,14	0,14
CENTRAL (equiv.)	"	0,558	0,677	0,575	0,14

NOTAS:

- 1.- Los valores de X''_d y X'_d de los generadores - se han tomado de archivos de la Empresa Eléctrica "Quito" S.A.
- 2.- Los valores de X_2 y de las reactancias de -- los transformadores se han estimado.
- 3.- En el sistema de secuencia cero sólo inter-- vienen las reactancias de los transformado-- res, debido a la conexión delta - estrella - de los mismos (Fig. 4.3.).

4.1.4. Cumbayá

De esta Central nos interesa, en la misma forma, sólo las reactancias totales equivalentes, incluidas las de los generadores y las de los transformadores de elevación. Como a cada generador corresponde su respectivo transformador en serie, la reactancia total será la equivalente de los cuatro grupos de generador y transformador en paralelo. Esto para las secuencias positiva y negativa; en cambio, para la secuencia cero, - la conexión delta - estrella a tierra de los transformadores sólo establecerá continuidad entre tierra y el -- sistema de transmisión a través de los transformadores,

excluyendo los generadores.(Fig. 4.4).

La tabla 4 - IV trae el detalle de los cálculos realizados para encontrar los valores de las reactancias en magnitudes p.u. para la base propuesta de 20.000 KVA, tal como lo hemos realizado para las anteriores centrales.

T A B L A 4 - I V
CALCULO DE REACTANCIAS

CENTRAL CUMBAYA

Reactancia de	KVA base	X ^{''} d p.u.	X ['] d p.u.	X _o p.u.	
G1 a G4 (c/u)	11.111	0,178	0,218	0,179	
T1 y T2 (c/u)	12.500	0,0803	0,0803	0,0803	
T3 y T4 (c/u)	10.000	0,0639	0,0639	0,0639	
G1 a G4 (c/u)	20.000	0,320	0,392	0,322	
T1 y T2 (c/u)	"	0,1285	0,1285	0,1285	
T3 y T4 (c/u)	"	0,1278	0,1278	0,1278	
CENTRAL (equiv.)	"	0,112	0,131	0,112	0,032

NOTAS:

- 1.- Los valores de las reactancias de los generadores son los obtenidos en los archivos de la Empresa Eléctrica "Quito" S.A. para las unidades Nos. 1 y 2.

Se han adoptado iguales valores para las unidades Nos. 3 y 4 por cuanto no ha sido posible localizar la información propia para éstas.

2.- Los valores de las reactancias de los transformadores se han tomado de las placas de características de cada uno de ellos.

3.- Para nuestro estudio sólo intervienen en el circuito de secuencia cero los transformadores de elevación, ya que su tipo de conexión delta - estrella a tierra no permite la continuidad con los generadores y el equipo de puesta a tierra (Fig. - 4.4.).

4.1.5. Pasochoa.

El caso de esta central es similar al de la Central de Los Chillos: el disyuntor está ubicado antes del transformador de elevación y por lo tanto necesitamos tener separadamente las reactancias equivalentes de los dos generadores y la reactancia del transformador.

Para este caso el circuito de secuencia cero se cierra entre tierra y las líneas de transmisión a través del equipo de puesta a tierra. Pero se ha de te

ner en cuenta el valor de la reactancia del transformador y el de la resistencia de puesta a tierra, aunque estos por dar una impedancia exagerada reducen considerablemente las corrientes de cortocircuito de fase a tierra. (Fig. 4.5.).

En la tabla 4-V se anotan los cálculos realizados, en la forma conocida, para encontrar las reactancias equivalentes de la central.

T A B L A 4 - V

CALCULO DE REACTANCIAS

CENTRAL PASOCHOA

Reactancia de	KVA base	X"d p.u.	X'd p.u.	X2 p.u.	Xo p.u.
G1 y G2 (c/u)	2.812,5	0,22	0,32	0,25	
T	5.625	0,065	0,065	0,065	
G1 y G2 (c/u)	20.000	1,564	2,275	1,778	
G1 y G2 (equiv.)	"	0,782	1,138	0,889	
T	"	0,231	0,231	0,231	0,231

NOTAS:

- 1.- Los valores de reactancias tanto de los generadores como del transformador se han estimado, de acuerdo a las especificaciones del equipo pedido.

2.- En el cálculo de secuencia cero no intervienen las reactancias de los generadores debido a que no se hallan puestos a tierra directamente. Sin embargo en el circuito de esta secuencia se deberá considerar el equipo de puesta a tierra (Fig. 4.5.) cuyas características son las siguientes:

Transformador : trifásico, 4,16 KV, conexión zig - zag, corriente en el neutro 1.200 A, T cortocircuito 7%.

Resistencia de puesta a tierra: 2,4 KV, 1.200 A.

El valor de la reactancia correspondiente se encontrará mediante:

$$Z_0 = Z_{0T} + 3.Z_n$$

Donde:

Z_0 es la reactancia equivalente de secuencia cero (correspondiente al equipo de puesta a tierra).

Z_{0T} es la reactancia de secuencia cero del transformador.

Z_n es la reactancia de la bobina de puesta a tierra.

Reactancia del Transformador para base 20.000 KVA:

$$\text{KVA} = 1,732 \times 4,16 \times 1.200 = 8.650$$

$$\text{ZoT} = 0,07 \times 20.000/8.650 = 0,162 \text{ p.u.}$$

Reactancia de la bobina de puesta a tierra para la base de 20.000 KVA:

$$\text{Zn} = \frac{E}{I} = \frac{2.400}{1.200} = 2 \text{ Ohmios}$$

Según la fórmula 16:

$$\text{Zn} = \frac{2 \times 20.000}{1.000 \times 2,4 \times 2,4} = 6,944 \text{ p.u.}$$

Valor de la reactancia total para la base 20.000 KVA:

$$\text{Zo} = 0,162 + 3(6,944) = 20,994 \text{ p.u.}$$

De acuerdo al plano No. PC-06 y a la Fig. 4.5. el circuito de secuencia cero se abre a continuación del disyuntor, con lo cual no permite el paso de corrientes de dicha secuencia. La posibilidad de falla en el punto A trae consecuencias menos graves que la falla en B, dado el alto valor de la reactancia de puesta a tierra, como ya se indicó. Por esta razón, incluiremos en nuestro estudio la falla en B (que resulta más importante) y no la falla en A.

4.2. LINEAS DE TRANSMISION Y SUBTRANSMISION.-

El cálculo de las impedancias de las líneas de

transmisión y subtransmisión está basado en las características anotadas en el capítulo anterior (tabla 3 - I) así como también en el breve estudio referente a impedancias secuenciales realizado en el capítulo 2, sección 3. Por otro lado nos hemos servido de tablas y métodos contenidos en el libro "Electrical Transmission and Distribution Reference Book - Westinghouse" (T. & D.).

Los valores de las impedancias de secuencia positiva y negativa son iguales, no así el de la impedancia de secuencia cero, como se vió en 2.3. Por esta razón el cálculo de las impedancias secuenciales de las líneas se reducirá a encontrar los valores de las impedancias de secuencias positiva y cero.

Por ser los cálculos demasiado extensos para incluirlos en el presente estudio, únicamente indicaremos el proceso seguido para una de las líneas y anotaremos un resumen de valores para todas.

En vía de ejemplo, a continuación calcularemos las impedancias secuenciales de la línea Paschoa - Quitto, anticipándonos en aclarar que el método ha servido para todas las líneas de transmisión y subtransmisión.

Línea Pasochoa - Quito

Las características principales son: (tabla -
3-I):

KV = 46

Número de circuitos: 1

Longitud: 23.412 metros

Conductores de fase: No. 3/0 AWG, ACSR.

Línea de protección: 3/8" diámetro, acero.

a) Secuencia Positiva:

De la tabla 2A, Pág. 50 del libro T. & D:

$$R_a = 0,723 \text{ ohmios/milla}$$

$$X_a = 0,621 \quad "$$

La distancia equivalente entre los conductores
de fase del circuito trifásico:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{(D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca})} \quad (101)$$

Siendo D_{ab} , D_{bc} y D_{ca} las distancias entre ---
los conductores a y b, b y c y c y a, respectivamente .

$$D_{ab} = 4,59'$$

$$D_{bc} = 5,90'$$

$$D_{ca} = 7,47'$$

$$D_{eq.} = 5,87' = 5' 10,5''$$

La reactancia inductiva de la línea se obtiene a partir de:

$$X_l = X_a + X_{dl} \quad (102)$$

El valor de X_a es el anotado ya en líneas anteriores. El valor de X_{dl} , para la distancia equivalente obtenida, se encuentra en la tabla 6, Pág. 54 de T & D.:

$$X_{dl} = 0,21468 \text{ ohmios/milla}$$

El valor de la impedancia de secuencia positiva:

$$R_l = R_a = 0,723 \text{ ohmios/milla}$$

$$X_l = X_a + X_{dl} = 0,8357 \text{ ohmios/milla}$$

$$Z_l = 0,723 + j 0,8357 \text{ ohmios/milla.}$$

Los valores unitarios por kilómetro de longitud:

$$R_l = 0,4493 \text{ ohmios/km.}$$

$$X_l = 0,5183 \quad "$$

$$Z_l = 0,4493 + j0,5183 \text{ ohmios/Km.}$$

Para obtener en magnitudes en tanto por uno de bases - 20.000 KVA y KV nominales (46), acudimos a la fórmula 16:

$$\begin{aligned} Z \text{ p.u.} &= \frac{20.000}{10 \times 10 \times 10 \times 46 \times 46} \times Z \text{ ohmios} \\ &= 0,00945 \times Z \text{ ohmios} \end{aligned}$$

Valores unitarios en magnitudes p.u.:

$$R1 = 0,00945 \times 0,4493 = 0,00425 \text{ p.u./Km.}$$

$$X1 = 0,00945 \times 0,519 = 0,00490 \quad "$$

$$Z1 = 0,00425 + j 0,00490 \quad "$$

La impedancia de la línea en ohmios:

$$R1 = 23,4 \text{ Km.} \times 0,4493 \text{ Ohm/Km.} = 10,519 \text{ Ohmios}$$

$$X1 = 23,4 \quad " \quad \times 0,5183 \quad " = 12,134 \quad "$$

$$Z1 = 10,519 + j 12,134 \text{ ohmios}$$

La impedancia de la línea en p.u.

$$R1 = 23,4 \text{ Km.} \times 0,00425 \text{ p.u./Km} = 0,0995 \text{ p.u.}$$

$$X1 = 23,4 \quad " \quad \times 0,0049 \quad " = 0,1147 \quad "$$

$$Z1 = 0,0995 + j 0,1147 \text{ p.u.}$$

b) Secuencia cero:

La impedancia de secuencia cerola obtendremos a par

tir de la siguiente fórmula (tomada del libro T & D.):

$$Z_0 = Z_0(a) - \frac{Z_0(ag)^2}{Z_0(g)} \quad (103)$$

En la cual:

$$Z_0(a) = R_a + R_e + j(X_e + X_a - 2X_{d1}) \quad (104)$$

$$Z_0(g) = 3R_{ag} + R_e + j(X_e + X_{ag}) \quad (105)$$

$$Z_0(ag) = R_e + j(X_e - 3X_{d0}) \quad (106)$$

Siendo:

Zo la impedancia de secuencia cero de la línea.

Zo(a) la impedancia de secuencia cero del circuito trifásico,

o conductor compuesto (a) y tierra.

Zo(g) la impedancia de secuencia cero de la línea de protección y tierra.

Zo(ag) la impedancia mutua entre el conductor compuesto (a) y la línea de protección (g)

Ra la resistencia del conductor compuesto (a)

Re valor de resistencia deducido de las fórmulas de J.R. Carson:

$$Re = 0,00477 \times \text{frec. (Ohmios por fase por milla)}. \quad (107)$$

Re = 0,286 ohmios por conductor por milla.

(Valor general para el cálculo de las impedancias de todas las líneas, obtenido de la tabla 7, Pág. 54 del libro T & D.)

Xe valor de reactancia inductiva, deducida a sí mismo, de las fórmulas Carson:

$$Xe = 0,006985 \times \text{Frec.} \times \log \frac{\text{resistividad}}{\text{frecuencia}} \quad (108)$$

El valor de la resistividad en ohmios/metros

depende de la tierra. A falta de información -

se utiliza el valor 100. De acuerdo a esto y según la tabla 7, Pág. 54 de T & D., para frecuencia 60 cic./seg.:

$X_e = 2,888$ Ohmios por conductor por milla.

Este valor también será aplicable a todas las líneas de transmisión y subtransmisión.

X_a y X_d valores de reactancias inductivas ya encontrados en el cálculo anterior de la impedancia de secuencia positiva.

R_{ag} la resistencia del cable de protección.

X_{ag} la reactancia inductiva del mismo.

X_{do} la reactancia inductiva para la distancia equivalente entre los conductores del circuito y la línea de tierra.

Los valores de R_a , X_a y X_{d1} son los mismos del cálculo anterior.

Los valores R_e y X_e son los ya anotados.

El valor de la impedancia del conductor compuesto:

$$R_o(a) = R_a + R_e \quad (109)$$

$$X_o(a) = X_e + X_a - 2X_{d1} \quad (110)$$

$$R_o(a) = 0,723 + 0,286 \text{ Ohm./milla} = \\ 1,009 \text{ ohm./milla.}$$

$$\begin{aligned} X_o(a) &= 2,888 + 0,621 - 0,429 \text{ ohmios/milla} \\ &= 3,08 \text{ ohmios/milla.} \end{aligned}$$

$$Z_o(a) = 1,009 + j 3,08 \text{ ohmios/milla}$$

Para obtener el valor de la impedancia de la línea de protección acudimos al libro T. & D.: la resistencia a partir de las curvas de la Fig. 8, Pág. 34; la reactancia, del ejemplo resuelto en la parte X del Capítulo 2 (Pág. 57) del mismo libro:

$$R_{ag} = 4,5 \text{ ohmios/milla}$$

$$X_{ag} = 2,79 \quad "$$

$$R_o(g) = 3R_a + R_e. \quad (111)$$

$$X_o(g) = X_e + X_{ag} \quad (112)$$

$$\begin{aligned} R_o(g) &= 3(4,5) + 0,286 \text{ ohmios/milla} \\ &= 13,786 \text{ ohmios/milla} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_o(g) &= 2,89 + 8,37 \text{ ohmios/milla} \\ &= 11,26 \text{ ohmios/milla} \end{aligned}$$

$$Z_o(g) = 13,786 + j 11,26 \text{ ohmios/milla}$$

La impedancia mutua entre los conductores de fase y la línea de protección (según la fórmula 106):

$$R_o(ag) = R_e \quad (113)$$

$$X_o(ag) = X_e - 3X_{do}. \quad (114)$$

El valor de X_{do} lo encontramos para la distancia equivalente entre los conductores de fase y el hilo -

de tierra (según la Fig. 3.1):

$$D_{eq} = \sqrt[3]{(D_{ag} \cdot D_{bg} \cdot D_{cg})}$$

siendo D_{ag} , D_{bg} y D_{cg} las distancias entre a y g, b y g y c y g, respectivamente:

$$D_{ag} = 5,18'$$

$$D_{bg} = D_{cg} = 9,34'$$

$$D_{eq} = 7,67' = 5'8''$$

Xdo según la tabla 6, Pág.54 de T. & D.:

$$X_{do} = 0,2474$$

El valor de la impedancia mutua entre conductores de fa se y de tierra, según 113 y 114 y los valores obtenidos:

$$R_o(ag) = 0,286 \text{ ohmios/milla}$$

$$X_o(ag) = 2,89 - 0,74 \text{ ohm./milla} = 2,16 \text{ ohm./milla}$$

$$Z_o(ag) = 0,286 + j 2,16 \text{ ohmios/milla}$$

Una vez calculados los valores parciales volvemos a la fórmula 103 para obtener el valor de la impedancia de secuencia cero de la línea:

$$Z_o = 1,009 + j3,08 - \frac{(0,286 + j2,15)^2}{13,786 + j11,26}$$

$$= 1,165 + j 2,863 \text{ ohmios/milla}$$

$$R_o = 1,165 \text{ ohmios/milla}$$

$$X_o = 2,863 \quad "$$

Valores por Km. de longitud:

$$R_o = 0,724 \text{ ohmios/Km.}$$

$$X_o = 1,779 \quad "$$

$$Z_o = 0,724 + j 1,779 \text{ ohmios/Km.}$$

Para reducir a magnitudes p.u. de bases 20.000 KVA y KV nominales:

$$R_o = 0,00945 \times 0,724 \text{ p.u./Km.} = 0,00684 \text{ p.u./Km.}$$

$$X_o = 0,00945 \times 1,779 \text{ p.u./Km.} = 0,0168 \quad "$$

$$Z_o = 0,00684 + j 0,0168 \text{ p.u./Km.}$$

El valor de la impedancia de secuencia cero en ohmios:

$$R_o = 23,4 \text{ Km.} \times 0,724 \text{ ohm./Km.} = 16,942 \text{ ohmios.}$$

$$X_o = 23,4 \quad " \times 1,779 \quad " = 41,629 \quad "$$

$$Z_o = 16,942 + j 41,629 \text{ ohmios.}$$

El valor de la impedancia de secuencia cero en p.u.

$$R_o = 23,4 \text{ Km.} \times 0,00684 \text{ p.u./Km.} = 0,1600 \text{ p.u.}$$

$$X_o = 23,4 \quad " \times 0,0168 \quad " = 0,3931 \quad "$$

$$Z_o = 0,1600 + j 0,3931 \text{ p.u.}$$

Mediante el empleo del mismo método aquí detallado hemos calculado los valores de las impedancias — de las demás líneas de transmisión y subtransmisión, va lores que se encuentran resumidos en la tabla 4-VI.

tor/milla del conductor compuesto por los cables del circuito o los circuitos trifásicos y tierra. Se obtiene mediante $R_o(a) = R_a + R_e$ (109).

$X_o(a)$ Reactancia inductiva de secuencia cero en ohmios/conductor/milla del conductor compuesto por los cables del circuito o los circuitos trifásicos y tierra. Se obtiene mediante $X_o(a) = X_e + X_a - 2 \cdot X_{d1}$ (110).

$R_o(g)$ Resistencia de secuencia cero en ohmios/conductor/milla del cable de protección y tierra. Se obtiene mediante $R_o(g) = 3 R_a + R_e$ (111).

$X_o(g)$ Reactancia inductiva de secuencia cero en ohmios/conductor/milla del cable de protección y tierra. Se obtiene mediante $X_o(g) = X_e + X_{ag}$ (112).

$R_o(ag)$ Resistencia mutua (debida al acoplamiento) en ohmios/conductor/milla entre el circuito o los circuitos trifásicos (a) y la línea de tierra (g). Su valor es igual al de R_e .

$X_o(ag)$ Reactancia inductiva en ohmios/conductor/milla, mutua entre el circuito o los circuitos trifási-

cos (a) y la línea de tierra (g). Se obtiene mediante $X_o(ag) = X_e - 3 X_{do}$ (114).

- R1 Resistencia de secuencia positiva de la línea - (igual valor tiene la resistencia de secuencia negativa R2). Es equivalente a Ra.
- X1 Reactancia inductiva de secuencia positiva de la - línea (igual valor tiene la reactancia de secuen-
cia negativa X2). Se obtiene de $X1 = X_a + X_{d1}$ -
(102).
- R0 Resistencia de secuencia cero de la línea. De la fórmula 103.
- X0 Reactancia inductiva de secuencia cero de la lí-
nea. De la fórmula 103.

4.3. SUBESTACIONES

Las subestaciones intervienen en nuestro cálculo de fallas con las reactancias de los respectivos transformadores. Como ya anotáramos en el capítulo 2, para el fin que nos proponemos, el circuito equivalente del transformador puede representarse por sólo una reactancia inductiva.

Los valores de esta reactancia, para cada uno de los transformadores de las subestaciones, se indicaron ya en el capítulo anterior (en la parte 3.5) en magni-

nitudes en tanto por ciento para las potencias y voltajes nominales. Unicamente nos faltaría reducir esos valores a magnitudes en tanto por uno de bases 20.000 KVA y KV nominales. Bastará, para ello, multiplicar la impedancia dada por la relación entre la nueva base (20.000 KVA) y la base nominal, aplicando la fórmula 20a.

A continuación se indican las impedancias para todas y cada una de las subestaciones. Hemos de aclarar que las tres impedancias secuenciales son equivalentes entre sí, para el caso que nos ocupa; de aquí que sólo incluímos un valor de X como general, siendo este valor el que se incluirá indistintamente en los circuitos de las tres secuencias: positiva, negativa y cero.

T A B L A 4-VII

CALCULO DE REACTANCIAS

SUBESTACIONES

No. ORDEN	DENOMI NACION	KVA NOMIN. para Xp.u.	X p. u. (base: KVA nom.)	X p.u. (base: 20.000 KVA)
1	Sur	7.500	0,0064	0,1707
2	No. 6	5.000	0,0670	0,2680
3	No. 8	6.250	0,0930	0,2976
4	No. 10	5.000	0,0670	0,2680
5	No. 12	5.000	0,0670	0,2680
6	No. 14	5.000	0,0670	0,2680
7	No. 9	6.250	0,0900	0,2880
8	No. 11	6.250	0,0900	0,2880
9	No. 16	6.250	0,0900	0,2880
10	No.17, 6,3 KV.	5.000	0,0670	0,2680
11	13,8 KV.	1.000	0,0550	1,1000
	total			0,2150
11	No. 2	4.000	0,0630	0,3150
12	No. 3	4.000	0,064	0,3200
13	Hospitalillo	1.000	0,0555	1,1100
14	La Argelia	1.500	0,0555	0,7400
15	San Rafael	2.000	0,0600	0,6000
16	El Recreo	4.000	0,0640	0,0320
17	Iniap	750	0,0600	1,6000

4.4. CIRCUITOS SECUENCIALES.-

A fin de calcular las corrientes o ^{las} potencias de cortocircuito en los diferentes puntos del sistema de transmisión hemos de establecer los cir

cuitos de las tres secuencias: positiva, negativa y cero, de acuerdo al estudio realizado en el Capítulo 2 y a los valores de reactancias obtenidos en páginas anteriores.

En los diagramas secuenciales incluiremos -- los valores de las reactancias únicamente, pues el cálculo de fallas lo realizaremos en un aparato analizador de redes provisto de elementos resistivos y en el cual, por dicha razón, no se pueden introducir -- los ángulos de impedancias. Al despreciar los valores de las resistencias en sistemas de transmisión (cual es nuestro caso), como ya se anotó en las secciones 2.1 y 2.3, no se comete error apreciable, pues de -- modo general, en alternadores, transformadores y líneas constituidas por conductores de grueso calibre, se prescinde del valor de R.

Los circuitos secuenciales serán pues los -- diagramas monofásicos representativos del sistema de generación, transmisión y subtransmisión para cada -- una de las secuencias. Los valores incluidos son los correspondientes a las reactancias en magnitudes en tanto por uno para las bases 20.000 KVA y KV nomina-- les.

Los planos Nos. PC-04 a PC-06 contienen los diagramas de reactancias para las secuencias positiva, negativa y cero, respectivamente, deducidas del diagrama general de impedancias representado en el plano No. PC-03.

CAPITULO 5

CALCULO DE FALLAS

5.1. INTRODUCCION

5.1.1. Consideraciones Generales

En el capítulo anterior se llegaron a establecer los valores de las impedancias de centrales, líneas y subestaciones y los diagramas correspondientes a los circuitos secuenciales. Señalamos, en estos últimos, los puntos en los cuales se efectuará el cálculo de fallas y los numeramos con F1, F2, F3, etc. Para el objeto tomamos en cuenta las siguientes partes del sistema:

- Barras de las centrales de generación;
- barras de las subestaciones Norte y Sur; y,
- lados primario y secundario de los transformadores de subestaciones.

Como ya se anotó anteriormente (4.4), para el análisis de los cortocircuitos emplearemos únicamente valores de reactancias (se desprecia R), ya que el aparato analizador de redes (nos referiremos a él más adelante) que nos servirá para el cálculo, no nos permite

introducir ángulos de impedancias. Los valores de - reactancias de secuencia positiva a utilizarse serán los de las subtransmisorías, en lo que se refiere a generadores de las centrales.

5.1.2. Analizador de Redes

Los cálculos numéricos para determinar el valor de la impedancia resultante en el punto de falla y el reparto de las corrientes de cortocircuito en los diferentes ramales, resultan demasiado largos y fastidiosos en un sistema de configuración compleja como el de nuestro estudio. Para obviar esta dificultad se recurre a la reproducción, en modelo reducido, de la red y de las condiciones de falla, mediante el empleo de un analizador de redes.

El aparato analizador que nos servirá para los cálculos se puede conectar directamente a la red de baja tensión (su voltaje nominal es de 115 voltios) y está dotado de las siguientes partes principales:

- a) La fuente de alimentación de corriente directa, regulable hasta 25 voltios;
- b) un estabilizador de voltaje que mantiene el de entrada al aparato en $115 \pm 1\%$ voltios para variacio-

- nes del voltaje de la red entre 95 y 130 voltios;
- c) un rectificador de óxido de cobre;
 - d) un transformador;
 - e) un miliamperímetro con los suiches de control;
 - f) un voltímetro con los suiches de control;
 - g) una barra para salidas de fuentes de alimentación (generadores) del sistema en estudio;
 - h) barras y elementos resistivos variables para reproducir, mediante interconexiones entre los mismos, - el sistema real de la red; e
 - i) cables aislados con terminales adecuados para acoplarse a las barras o a las resistencias.

Los reóstatos son de tipo helicoidal y sus terminales son accesibles desde el exterior a fin de facilitar las conexiones. Incluidos en el modelo del sistema en estudio, representarán las reactancias de sus diversas partes. Como están constituidos por resistencias de diferentes valores, permiten obtener magnitudes p. u. entre las siguientes escalas: de 0,00001 a 0,01; de 0,0001 a 0,1; de 0,001 a 1,0 y de 0,005 a 5,0.

Las unidades p. u. de tensión y de corriente - son, respectivamente, 10 voltios y 0,001 A (1 miliam-

perio), resultado de las bases para las cuales ha sido diseñado el analizador: 10.000 ohmios y 0,01 volt-amperios.

Puesto que a más del aparato analizador contamos con otros auxiliares constituidos por reóstatos y barras en número suficiente, nos es posible la conformación simultánea de los tres circuitos secuenciales del sistema. Para el objeto nos atenemos a los planos Nos. PC-04 a PC-06.

5.1.3. Tipos de falla a calcular

En el texto de "Interconexión de Centrales y - Redes Eléctricas", 3a. parte, de Eusebio Paradinas, se indica la proporción con la cual ocurren los diversos tipos de falla, en porcentajes deducidos para sistemas norteamericanos. Si bien estos valores no deben considerarse generales, nos dan al menos una idea aproximada del asunto:

- Falla de fase a tierra	65 %
- Falla de dos fases a tierra	20 "
- Falla entre dos fases	10 "
- Falla trifásica	5 "

Es obvio que el cortocircuito entre fase y tierra resulta ser de los más frecuentes. Si por otro lado anotamos que es de las fallas en que la corriente alcanza mayores magnitudes, tendremos que afirmar que es el tipo de falla que obligatoriamente debe analizarse.

Ahora bien, en la publicación ASA C37.5-1953 - "American Standards Methods for determining the rms value of a Sinusoidal Current Wave and a Normal-Frequency Recovery Voltage and for Simplified Calculation of Fault Currents", se establece comparación entre las corrientes de cortocircuito para los diversos tipos de falla, en función de valores de voltaje fase-neutro y de reactancias secuenciales. Se anota, además, que el cálculo de las fallas de fase a tierra (realizado mediante el método simplificado allí expuesto) es suficiente para determinar la corriente a través de un conductor en cualquiera de los dos tipos de falla: puesta a tierra de una o de dos fases.

Con este antecedente, no creemos del caso calcular las corrientes de cortocircuito para las fallas del tipo "dos fases a tierra".

Sin embargo, hemos de considerar que en el sistema de nuestro estudio, la conexión (casi general) de la - estrella de los transformadores, no permite el paso de corrientes de secuencia cero de uno a otro lado de los mismos, interrumpiéndose por tal motivo el circuito para la intensidad de esa secuencia. Esto da lugar a que en algunos tramos, o más claramente a través de algunos disyuntores, en el caso de fallas a tierra, la corriente total de cortocircuito sea únicamente la suma de las corrientes de secuencias positiva y negativa (tal sucede en los casos de cortocircuito en el lado primario de la mayoría de los transformadores).

Por este motivo hemos juzgado necesario analizar también las fallas trifásicas, aunque estas sean - las menos frecuentes según el estudio de Paradinas ya mencionado. Así pues, creemos que el cálculo completo de los dos tipos de falla (fase - tierra y trifásica) en los varios puntos que hemos señalado, dará valores suficientes como para diseñar un sistema de protección adecuado.

Por otra parte, el método simplificado de calcular las corrientes de cortocircuito de la ya citada -

publicación ASA determina que sus valores para la falla entre dos fases muy rara vez son mayores al 86 % de los valores de las corrientes para una falla de fase a tierra (tomando en cuenta la similitud entre los valores de reactancias de las secuencias positiva y negativa). Se establece así que es el tipo de falla que regularmente produce menores valores de corriente.

En consideración a esto completaremos nuestro estudio con el análisis de las fallas de fase a fase para el sistema de generación mínima (aplicable en las horas de mínima carga), a fin de obtener las mínimas potencias de cortocircuito que pueden ocurrir en el sistema en los casos de falla en los mismos sitios señalados para el estudio de las fallas fase - tierra y trifásica.

De manera que, en los puntos señalados en los planos Nos. PC-03 a PC-06 como "fallas a calcular", estudiaremos los tres siguientes casos:

- Cortocircuito entre fase y tierra; sistema con generación total.
- Cortocircuito trifásico; sistema con generación total.

- Cortocircuito entre dos fases; sistema con generación mínima.

5.1.4. Modalidad del Cálculo de Fallas

El empleo del analizador de redes nos permite realizar el cálculo de las potencias de cortocircuito en cualquier punto, con relativa facilidad.

El análisis consiste en simular la producción del cortocircuito mediante la adecuada interconexión entre los circuitos secuenciales, según lo expuesto en 2.5.3. Se aplica a la barra de generación o alimentación de los generadores (en el circuito de secuencia positiva) un voltaje unitario en magnitudes p. u. Como todos los valores de las reactancias están expresados también en magnitudes de esa clase, las lecturas que efectuemos en el miliamperímetro corresponderán a magnitudes p. u. de potencia.

Para la obtención de las potencias de cortocircuito a partir de las lecturas secuenciales (tomadas en cada circuito secuencial) nos atenemos también a lo anotado en 2.5.3. sobre las ecuaciones fundamentales para el estudio de fallas:

1c. En el caso de las fallas de fase a tierra,

de acuerdo a la ecuación 80, la potencia total de cortocircuito en p. u. será el triple de la lectura directa ($I_a = 3 \cdot I_{al}$). Sin embargo, las aportaciones parciales a la falla, desde cada uno de los ramales, se encontrarán sumando las tres lecturas obtenidas para el mismo punto en los tres diferentes circuitos secuenciales, ya que tales lecturas no son coincidentes debido a la diferencia entre los circuitos de secuencias positiva, negativa y cero.

2o. En el caso de fallas trifásicas interviene únicamente el circuito de secuencia positiva, pues se trata de una falla simétrica. Por lo mismo el valor de la potencia de cortocircuito en p. u. será directamente la lectura efectuada en el miliamperímetro (ecuación 100: $I = I_{al}$).

3o. El cálculo de fallas de fase a fase incluye los circuitos de secuencias positiva y negativa interconectados según se vió en 2.5.3. El valor de la potencia de cortocircuito en p. u. se obtiene mediante aplicación de la fórmula 85 ($I = \sqrt{3} \times I_{al}$).

De este modo las potencias de cortocircuito se

rán obtenidas en p. u. para la base seleccionada de - 20 MVA (20.000 KVA). Para reducir tales magnitudes a valores reales en MVA, bastará multiplicar por dicha - base (20) y se establecerán así las potencias de cortocircuito en MVA.

5.2. FALLAS DE FASE A TIERRA. GENERACION TOTAL

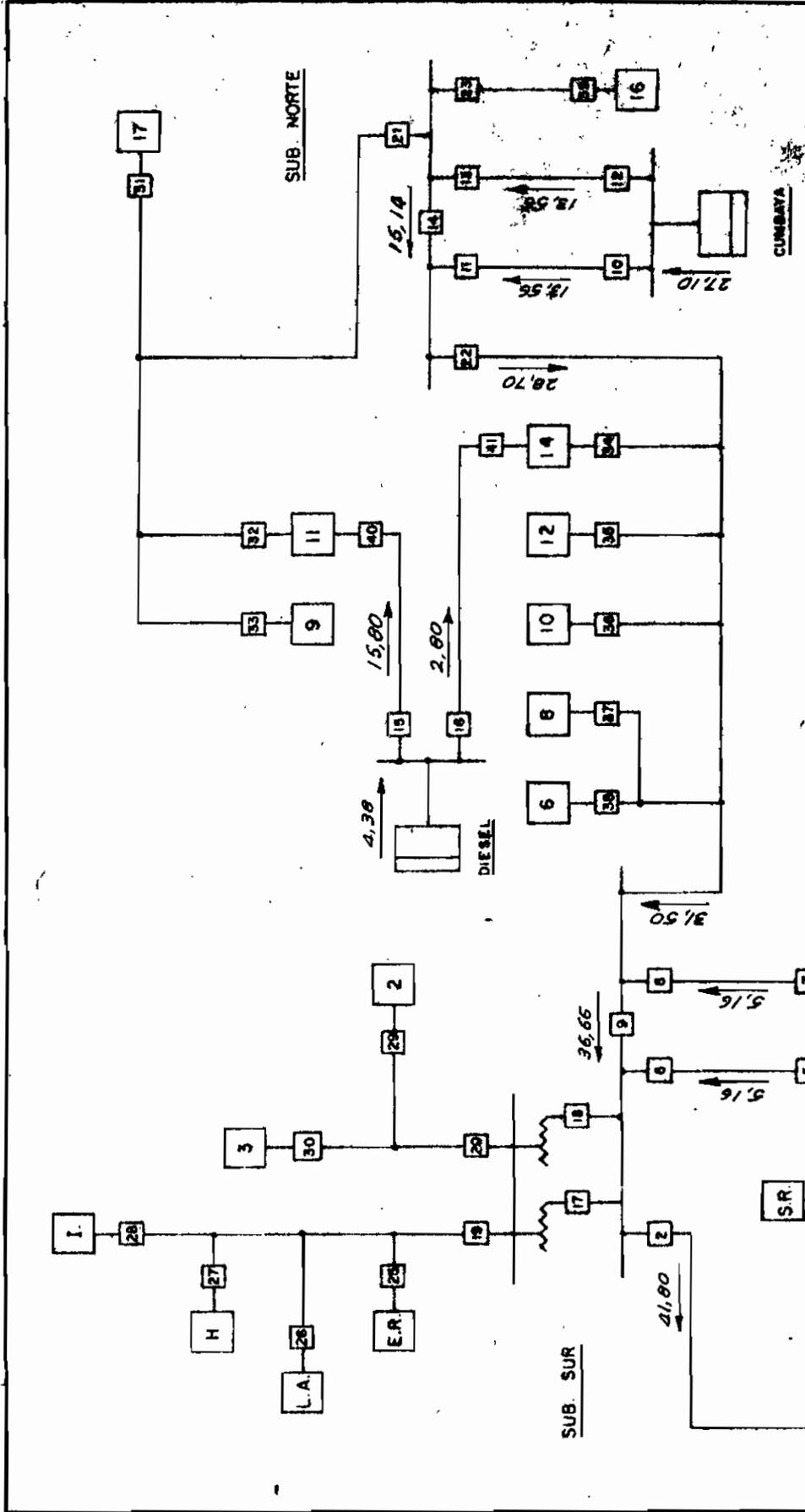
De acuerdo a 2.5.3. realizamos las conexiones de los tres circuitos secuenciales en serie, es decir, del punto de ubicación de la falla en el circuito de - secuencia positiva, a la barra de potencial cero del - circuito secuencial negativo; del punto de la falla en este a la barra de potencial cero del circuito de se--cuencia cero; y, del punto de ubicación de la falla en este, al negativo de la fuente de alimentación (barra de generadores) en el analizador. De este modo queda cerrado el circuito, pues el polo positivo se conecta a los generadores en el circuito de secuencia positi--va (ver fig. 2.19).

Repetiendo la operación para cada una de las - fallas se toman las lecturas de las potencias de corto circuito, separadamente para cada secuencia y en las -

diversas partes del sistema, a fin de establecer tanto la potencia total de cortocircuito como las contribuciones de los varios ramales que aportan a la falla.

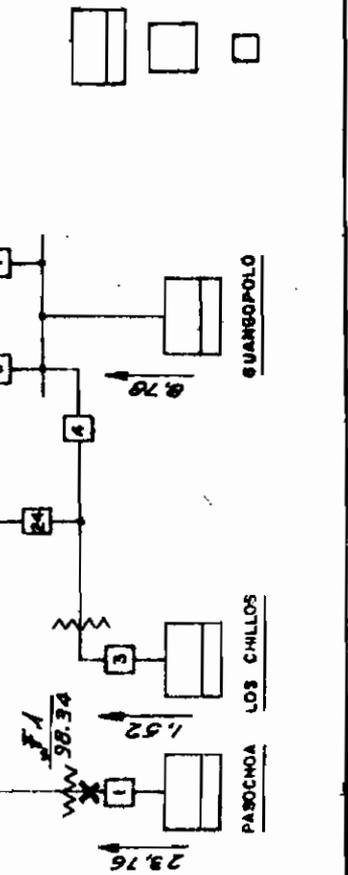
Se ha de tomar en cuenta el estudio realizado para este caso en 2.5.3, en lo que se relaciona con la obtención de valores de las corrientes de cortocircuito (no varía para el caso de tratar con MVA de cortocircuito, pues estamos trabajando con valores p. u. de reactancias y aplicamos al sistema un voltaje unitario). Como ya se dijera en líneas anteriores, se suman los valores secuenciales leídos en el miliamperímetro, para tener el valor total de la corriente o la potencia de cortocircuito que corresponda a un elemento dado del sistema.

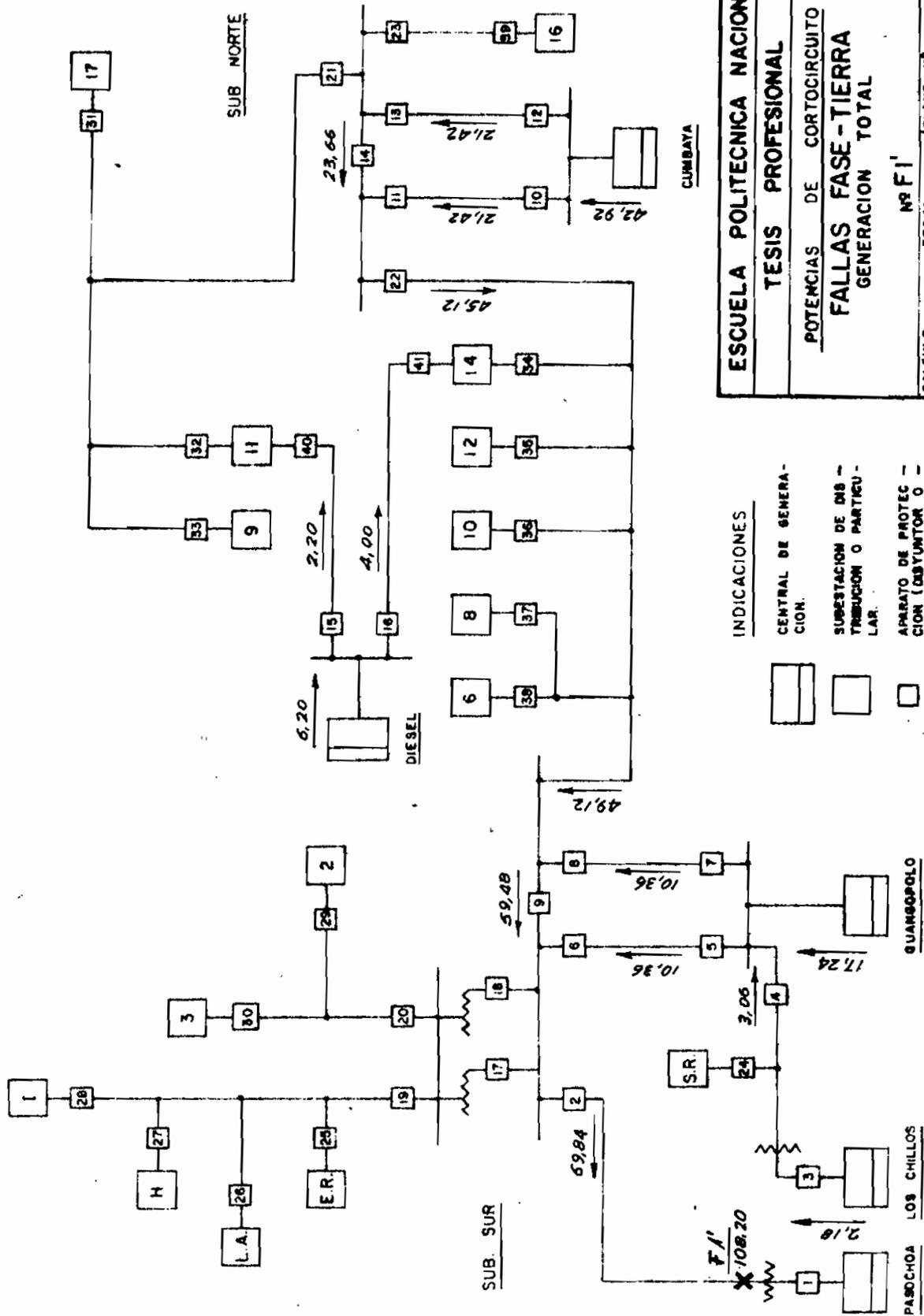
En las hojas Nos. 1 a 58 del plano No. PC-07 se anotan los valores de las potencias de cortocircuito para cada uno de los puntos señalados y numerados - en los planos Nos. PC-04 a PC-06. Los MVA se han obtenido de reducir los valores p. u. encontrados mediante lecturas en el analizador, multiplicándolos por 20, ya que 20 MVA es la base de nuestros cálculos en magnitudes p. u.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº FI
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR-87 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 1

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION.
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULA.
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 VALORES EN MVA





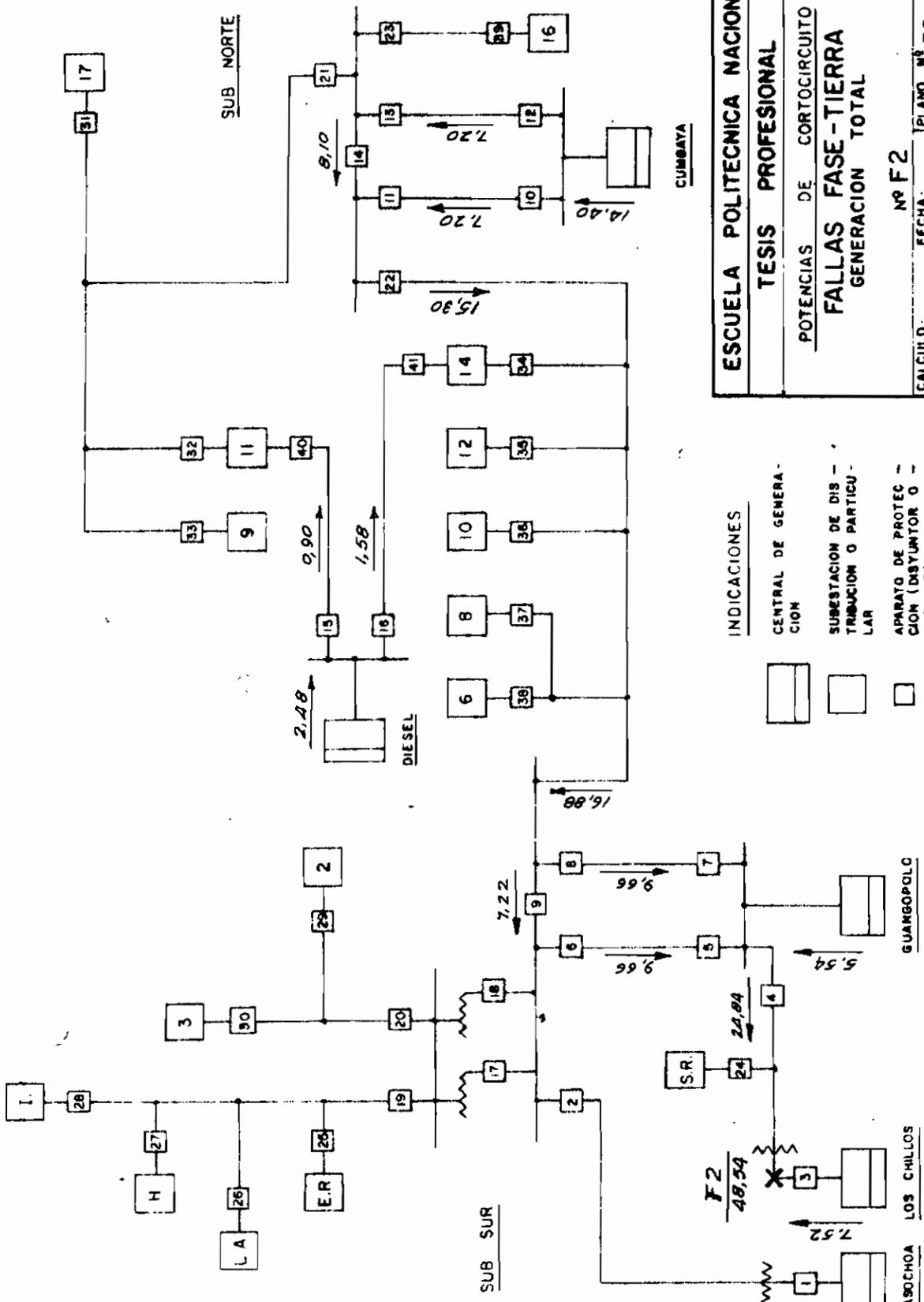
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
GENERACION TOTAL
 Nº F1'
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB-MAR-87 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 2

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)...
- VALORES EN MVA

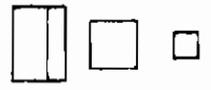
GUANOPOLO

PASOCHOA LOS CHILLOS



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F2
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR-67 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 3

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



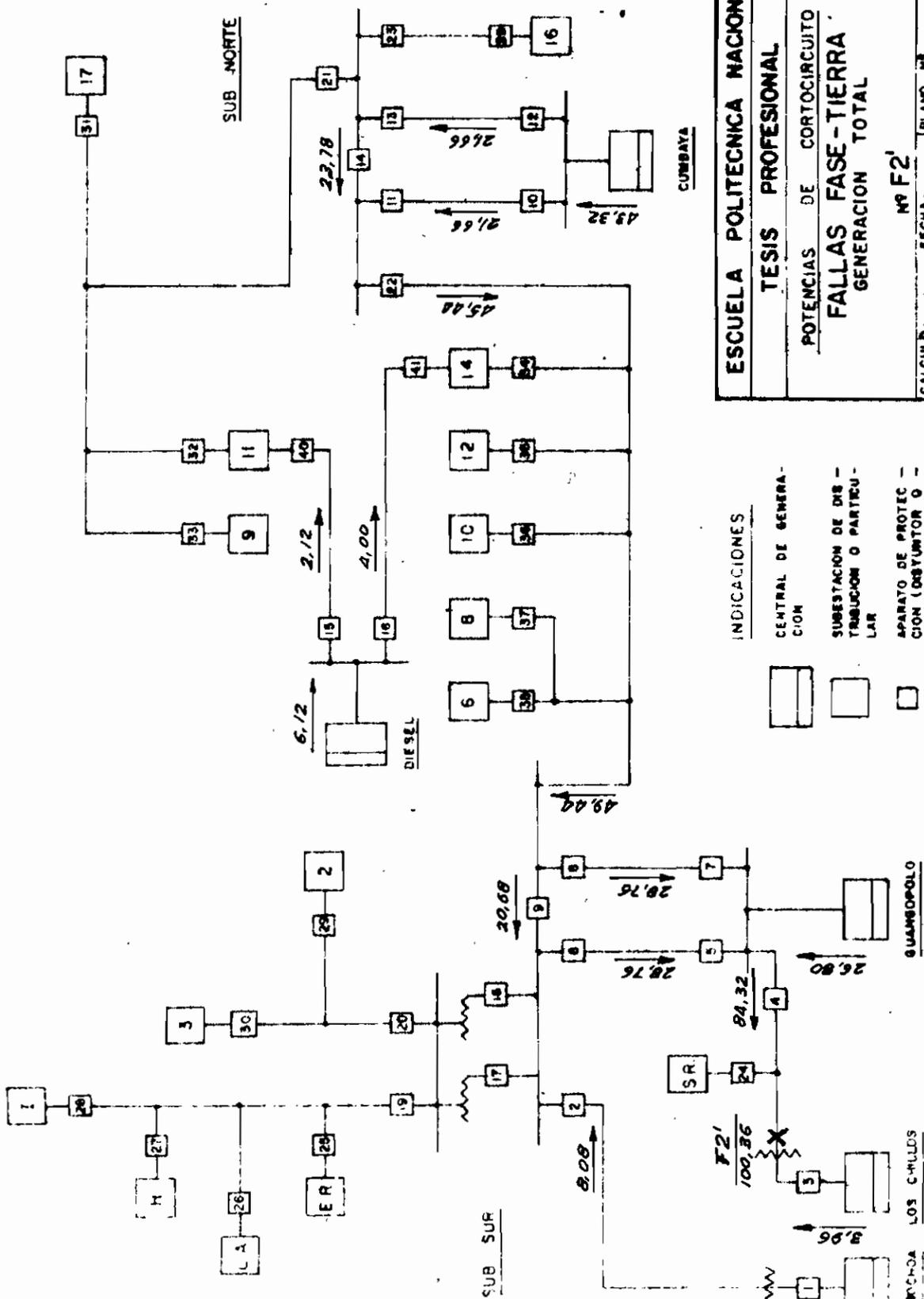
PASOCHOA LOS CHILLOS

GUARAGOPOLC

CUMBAYA

SUB NORTE

SUB SUR

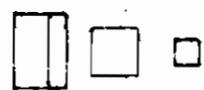


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F2'

CALCULO: G.S.
 FECHA: FEB-MAR-67
 REVISION: FECHA:
 PLANO Nº PC-07
 HOJA Nº 4

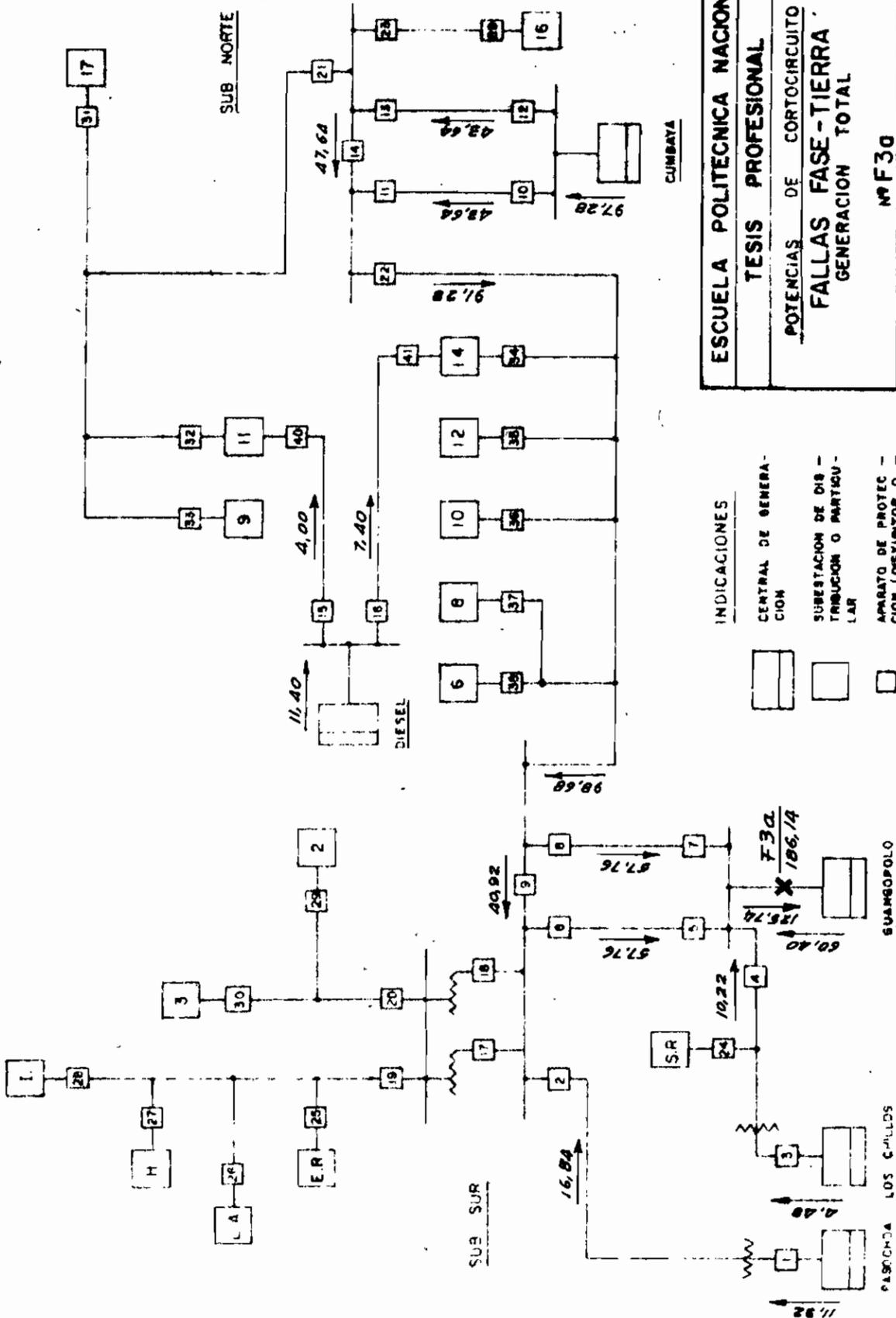
INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTI-DALAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



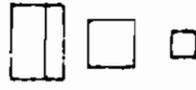
GUAMBOPOLO

PARC-DA LOS CHILLOS

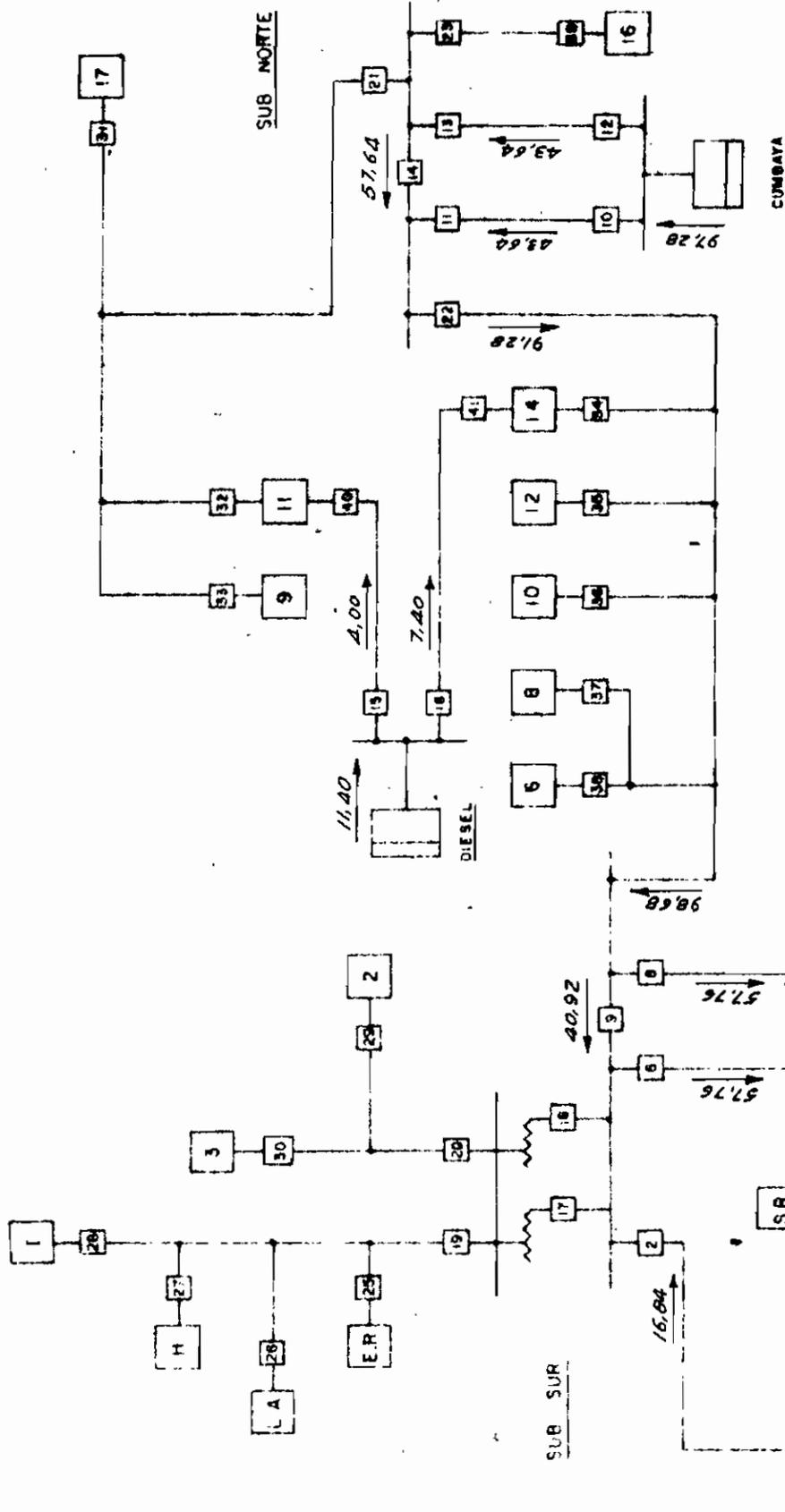


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F30
 FECHA: FEB - MAR - 67
 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 5

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

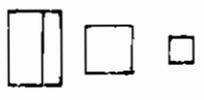


PASOCHA LOS CHILLOS
 SUAMPOPOLO



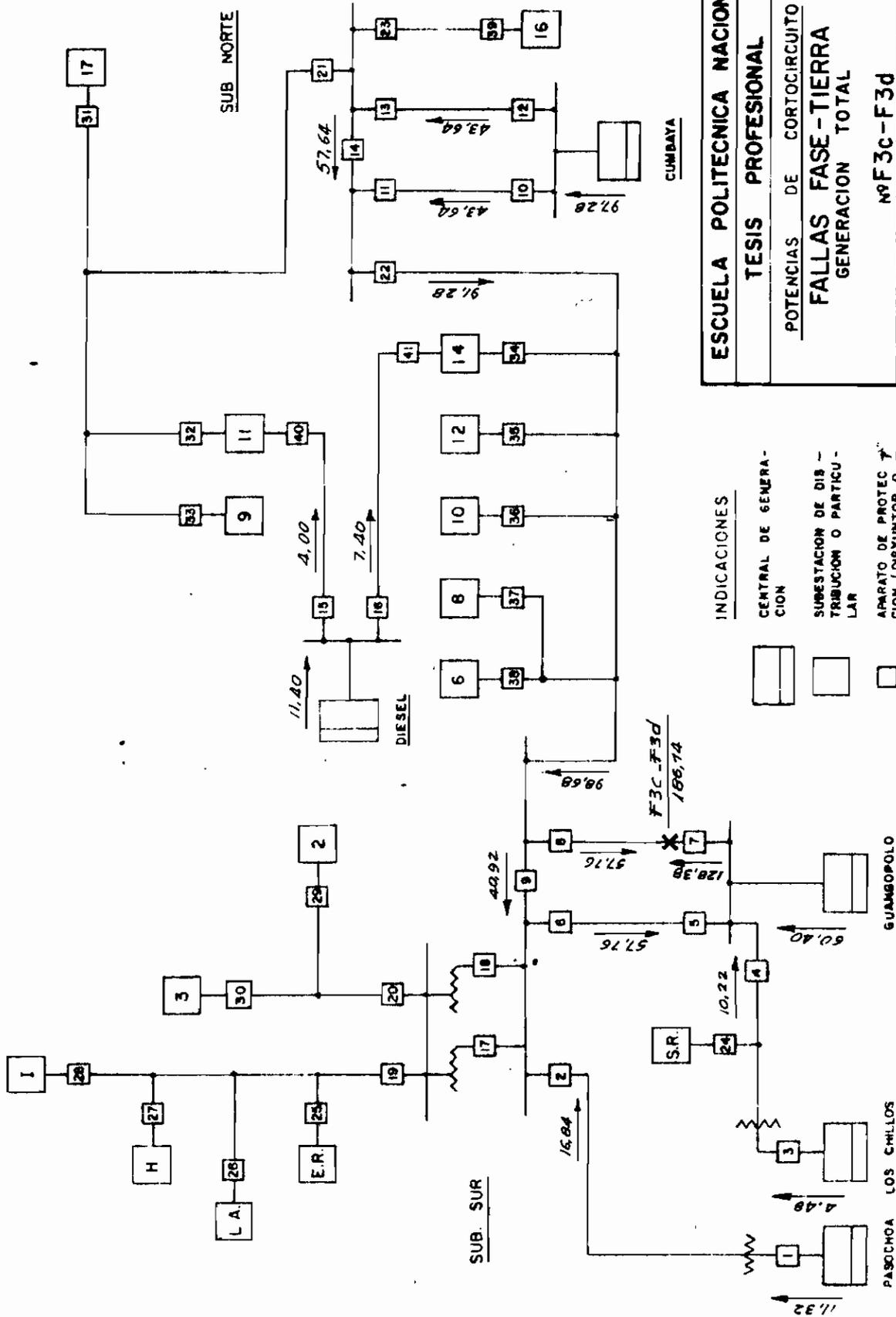
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F3b
 CALCULO: G.S.
 FECHA: FEB - MAR - 97
 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 6

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



GUANOPOLO
 LOS CUMBLOS

PASOCHOA

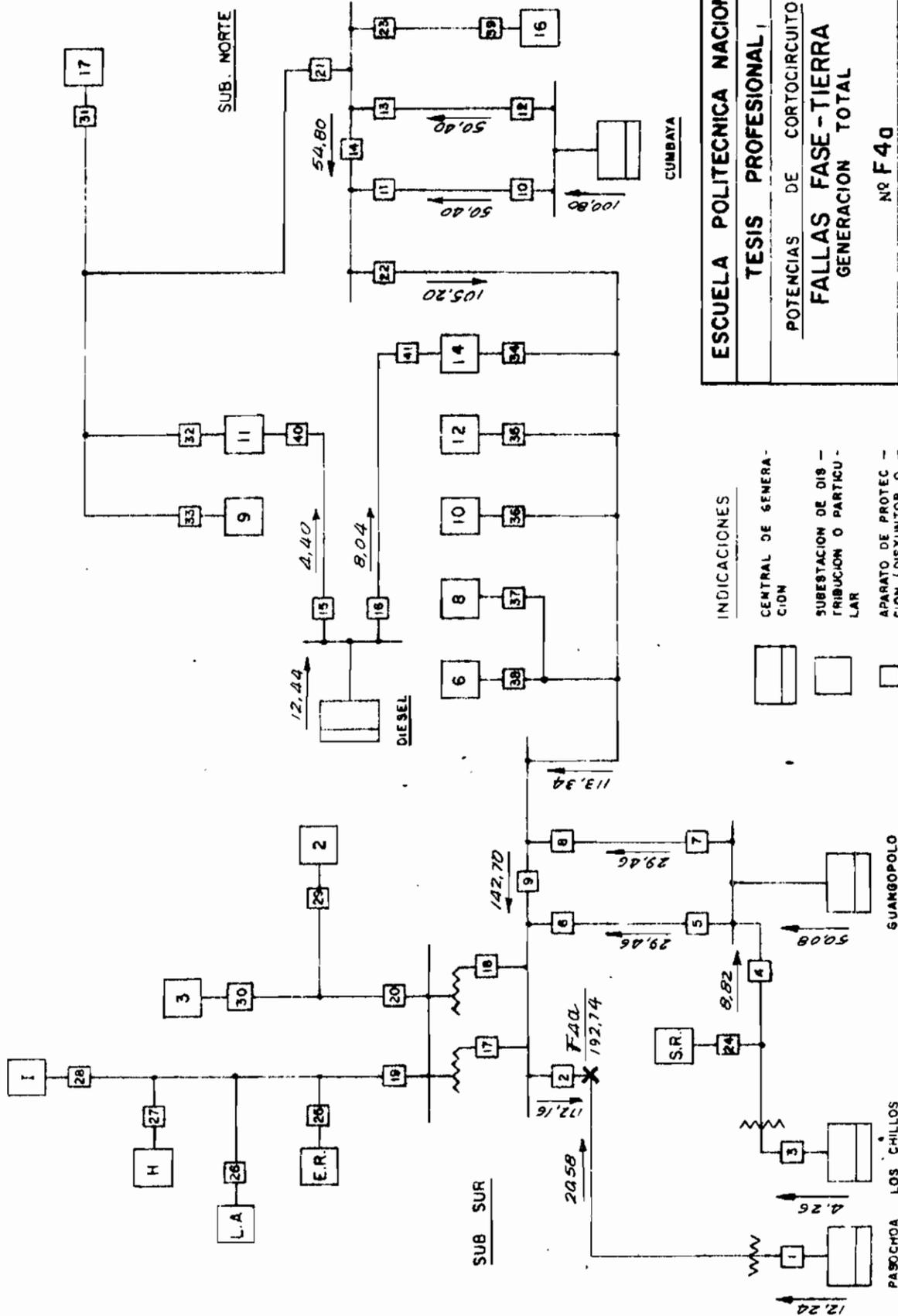


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F3C-F3d	
CALCULO: G. S.	FECHA: FEB - MAR-67
REVISION	FECHA:
	PLANO Nº PC-07
	HOJA Nº 7

INDICACIONES

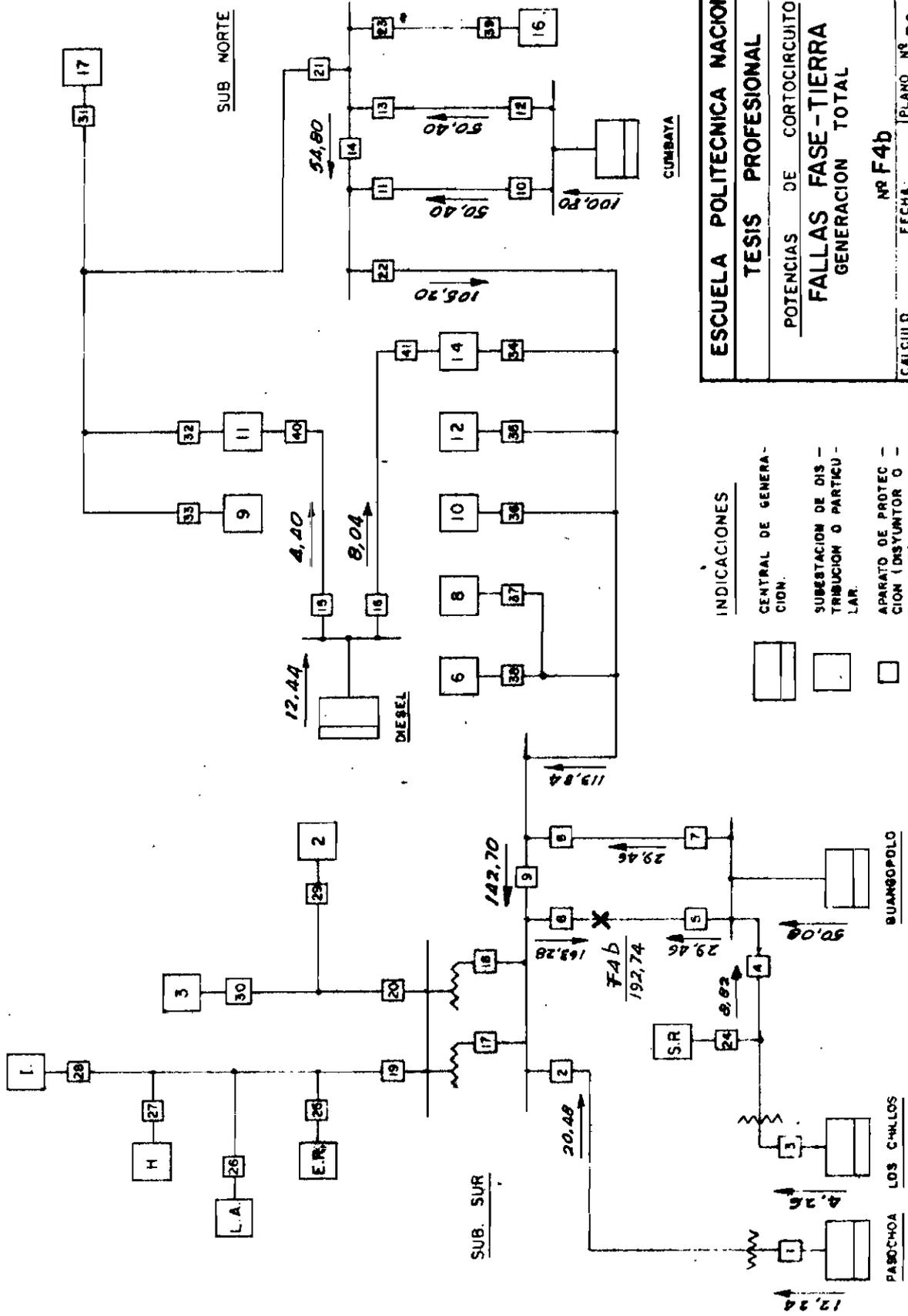
CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS
GUMBOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL I
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F40
 CALCULO: G.S.
 FECHA: FEB - MAR-87
 REVISION: FECHA:
 PLANO Nº PC-07
 HOJA Nº 8

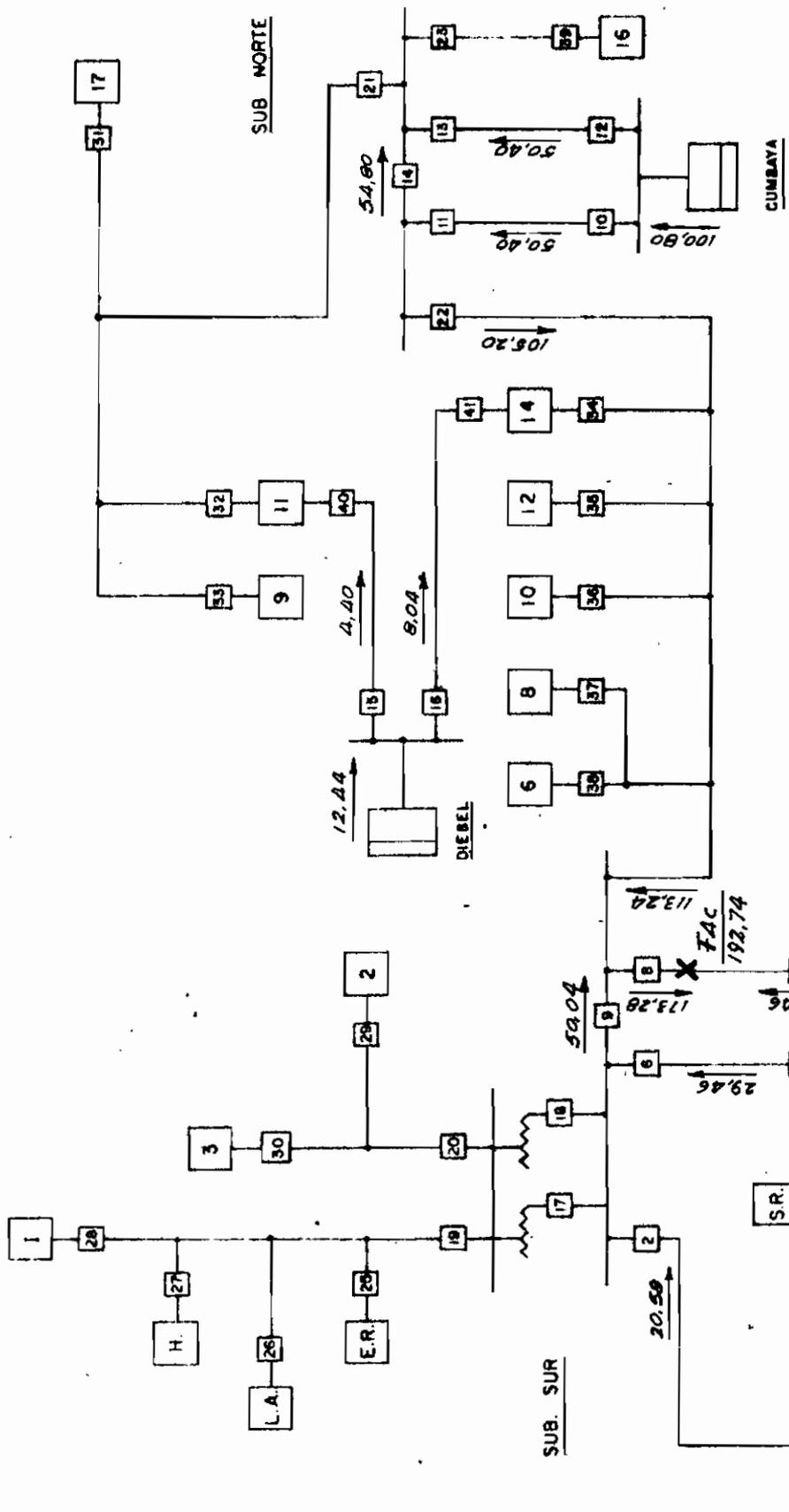
INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F4b
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR-87 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 9

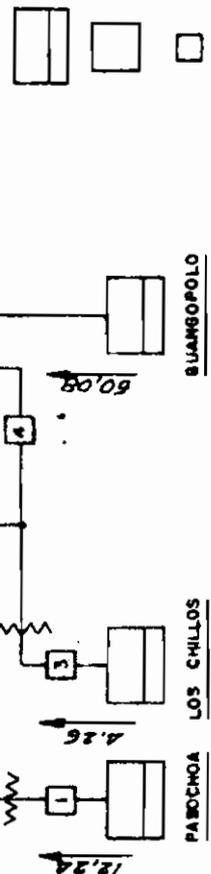
INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION.
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULARES.
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 VALORES EN MVA

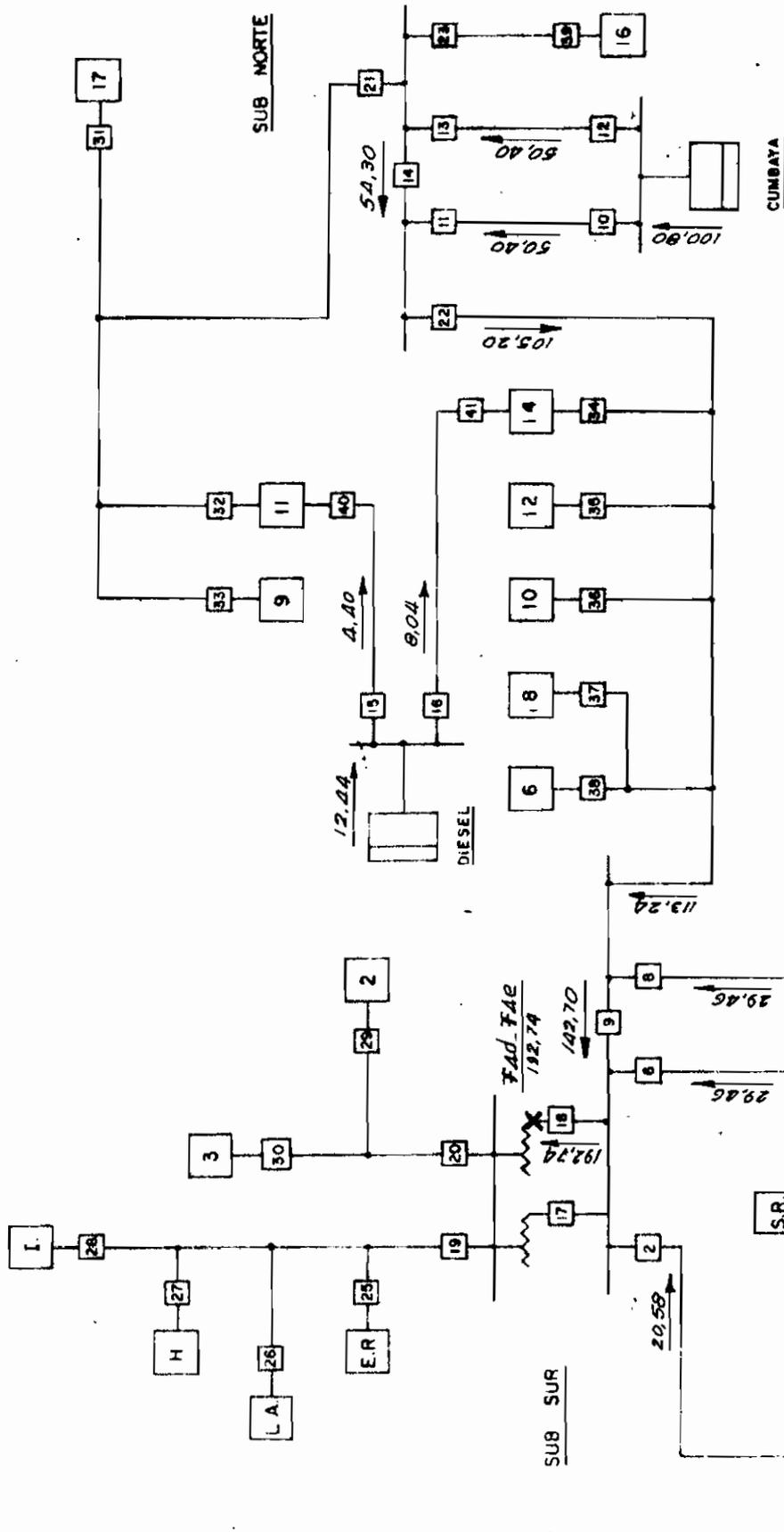
PASOCHOA LOS CHILLOS
 BUANGOPOLLO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F4C
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR-87 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 10

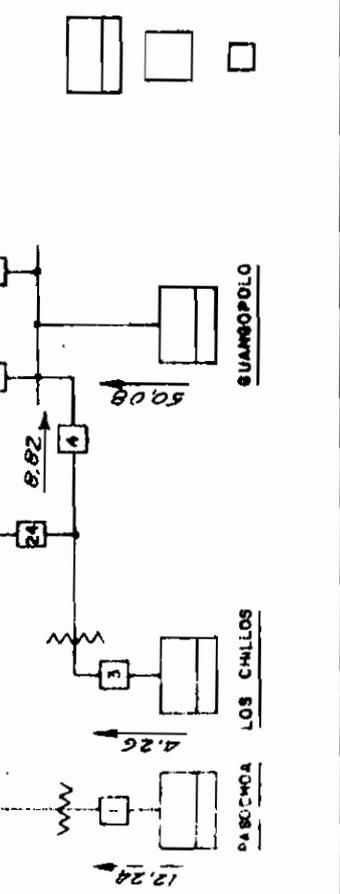
INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

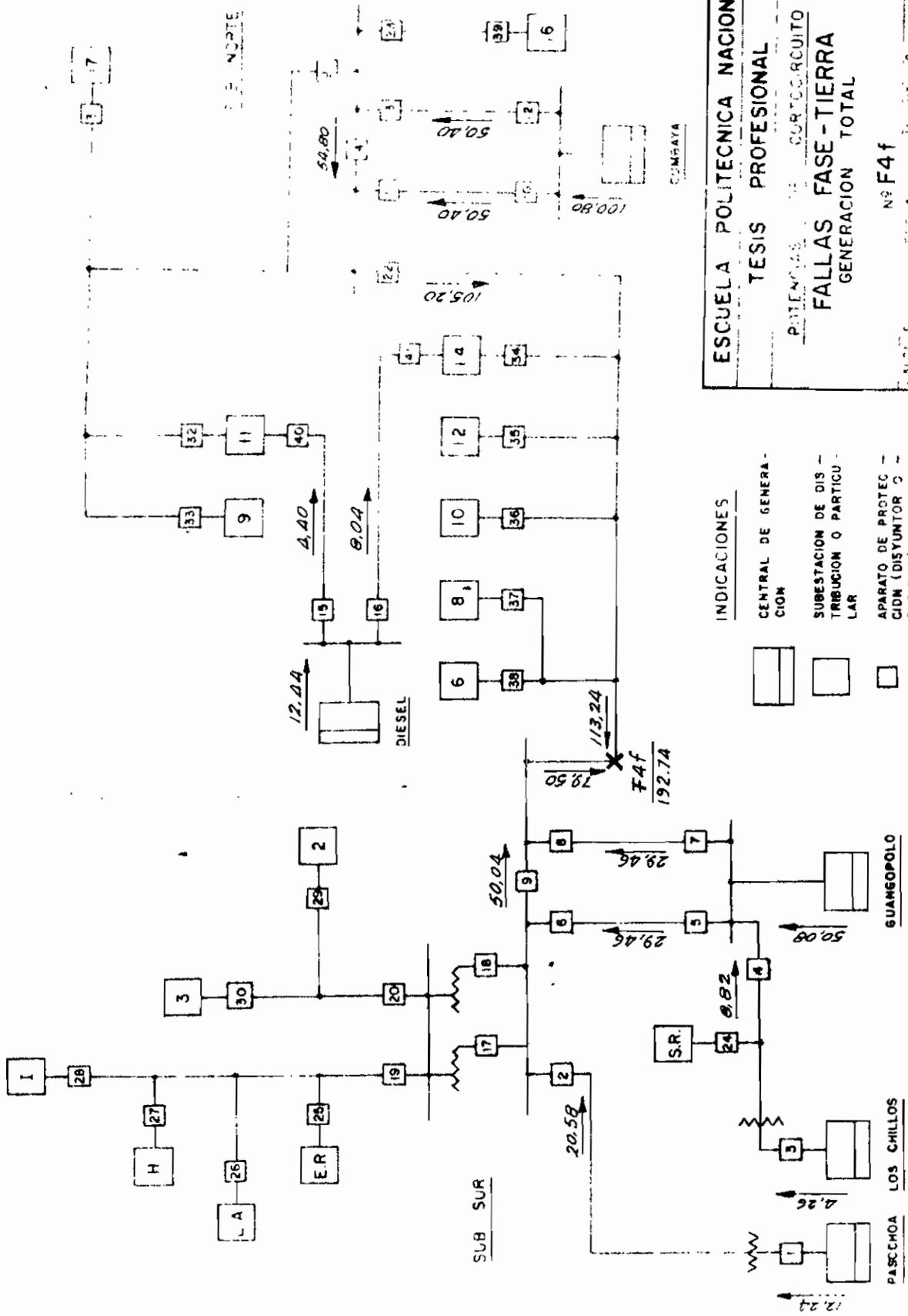




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
NºF4d-F4e
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR - 67 PLANO Nº PC - 07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 11

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

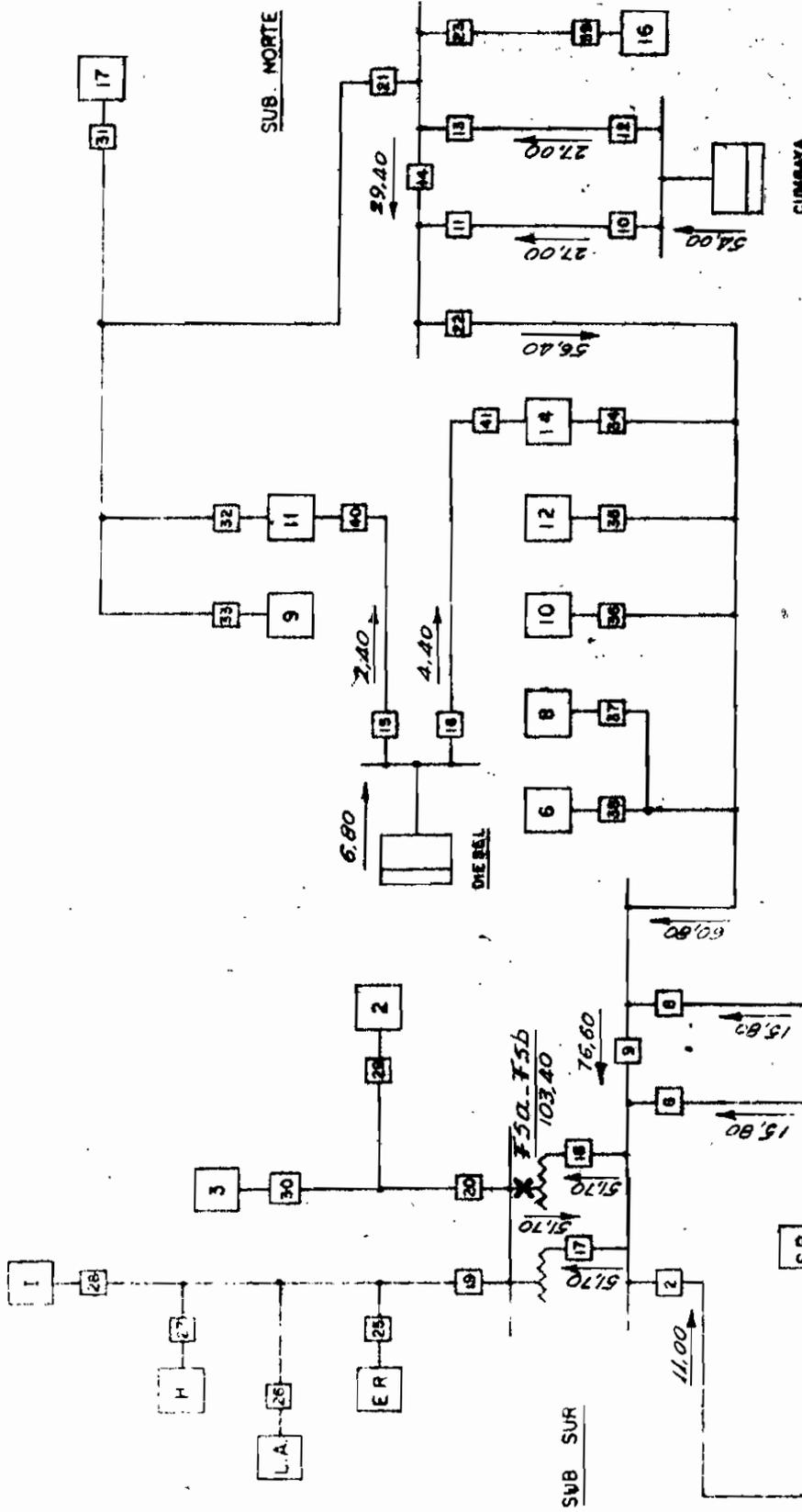




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 PATENTE DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 No F4f
 FEB - MAR - 67
 G.S.
 PC-07
 12

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

PASCHOA
 LOS CHILLOS
 GUANGO POLO

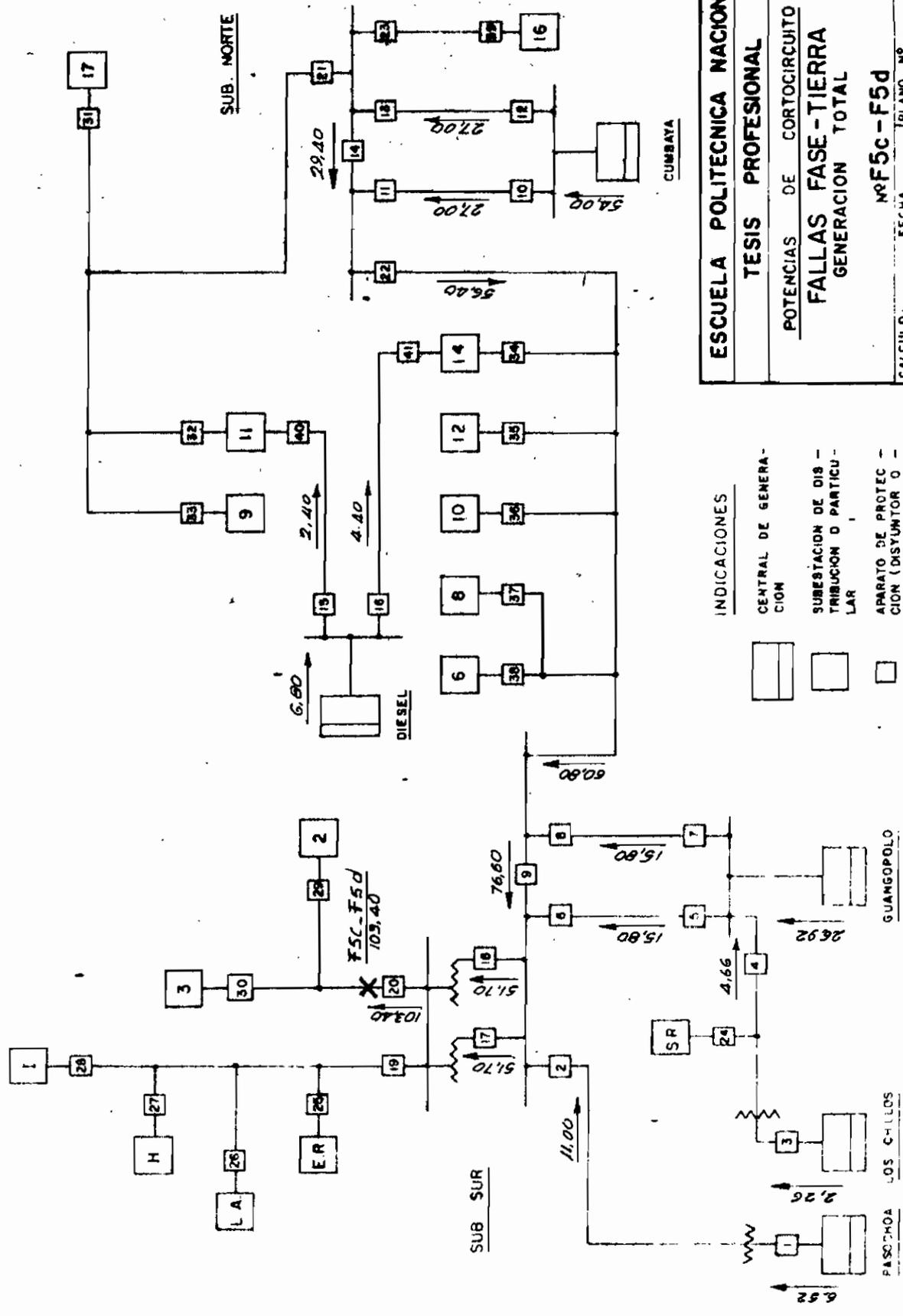


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F50-F5b
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB--MAR-67 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: MOJA Nº 13

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION.
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUEBLE).
- VALORES EN MVA.

PASOCHOA
LOS CAILLOS
GUAMBOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS FASE-TIERRA

GENERACION TOTAL

№F5C-F5d

PLANO Nº PC-07

FECHA FEB-MAR-67

FECHA

REVISION

HOJA Nº 14

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

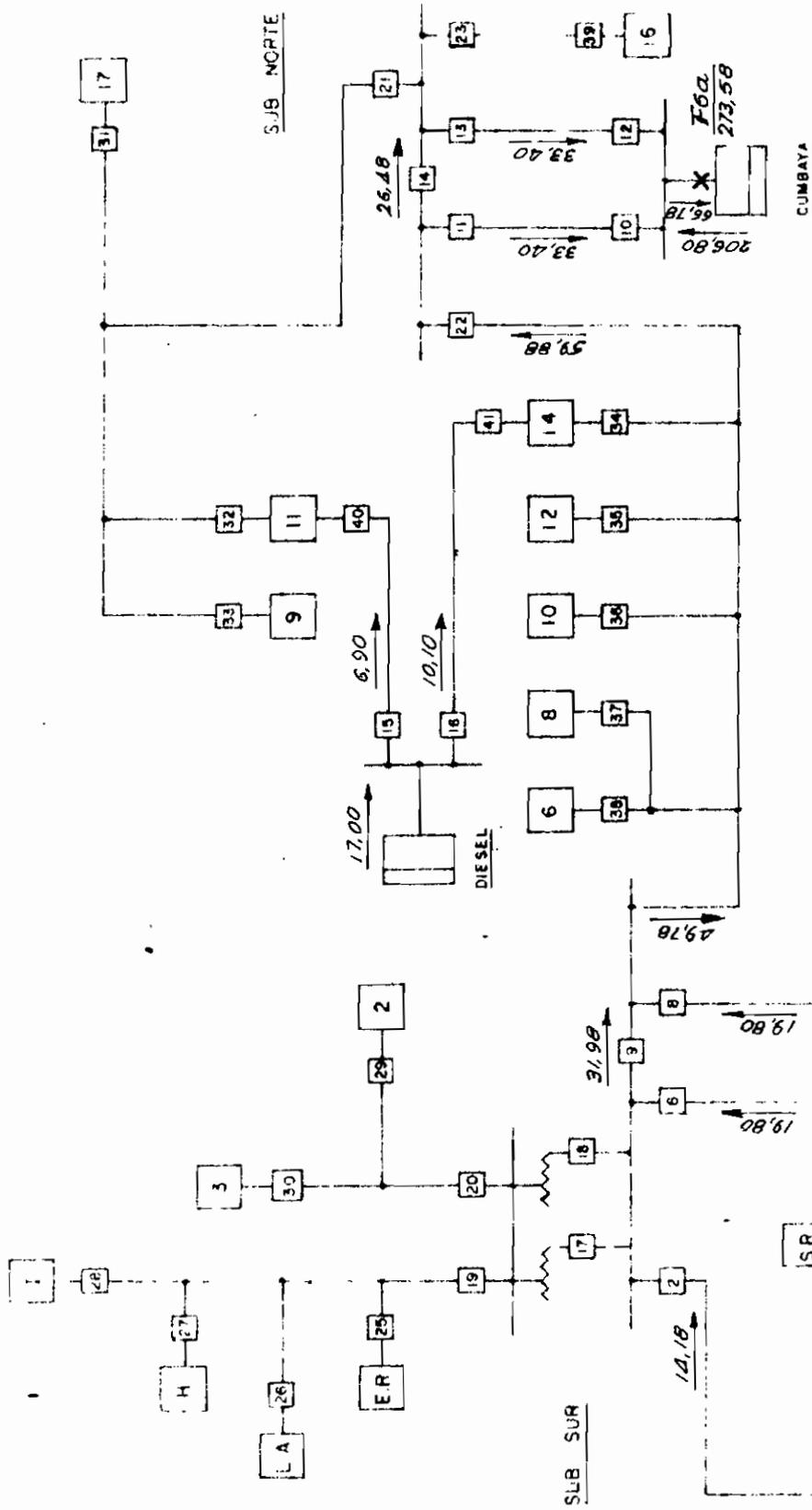
CUMBAYA

SUB. MORTE

SUB SUR

DIESEL

F5C-F5D
103.40



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN M.A.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORRIENTES

FALLAS FASE-TIERRA

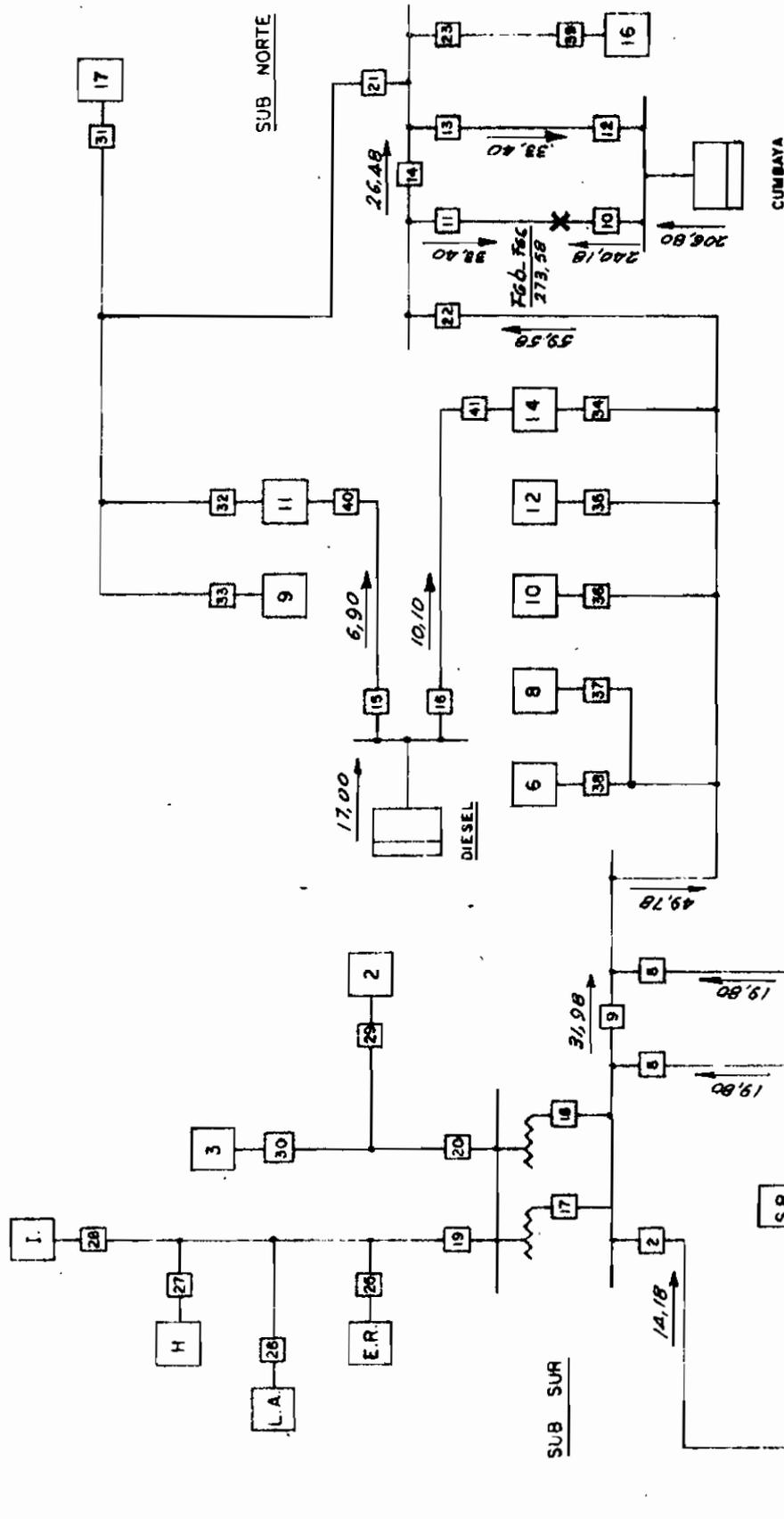
GENERACION TOTAL

Nº F60

FECHA: FEB-MAR-67

PC-07

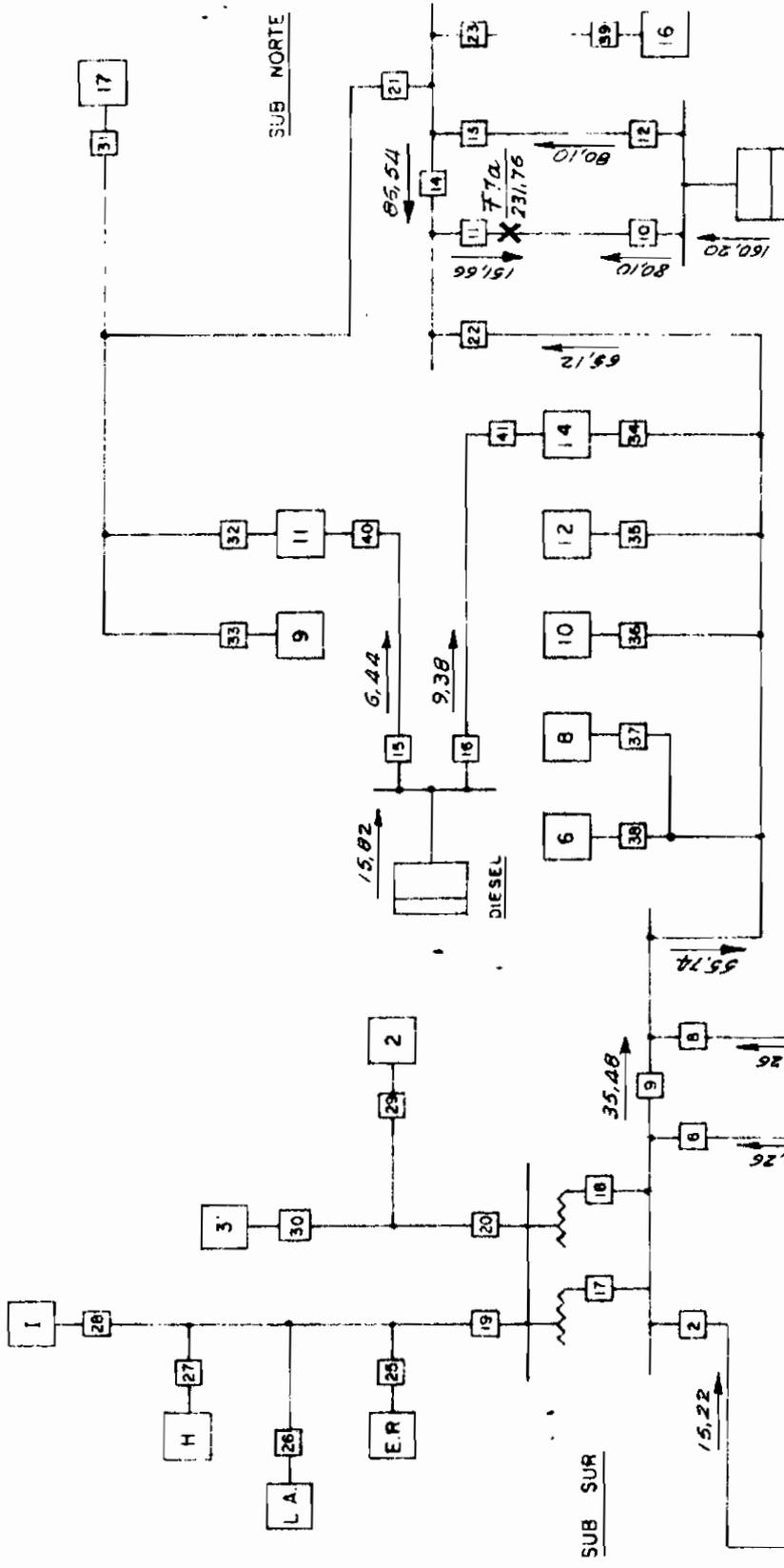
15



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F6b-F6C	
CALCULO: G.S.	FECHA: FEB - MAR - 67
REVISION:	FECHA: HOJA Nº 16

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F 70

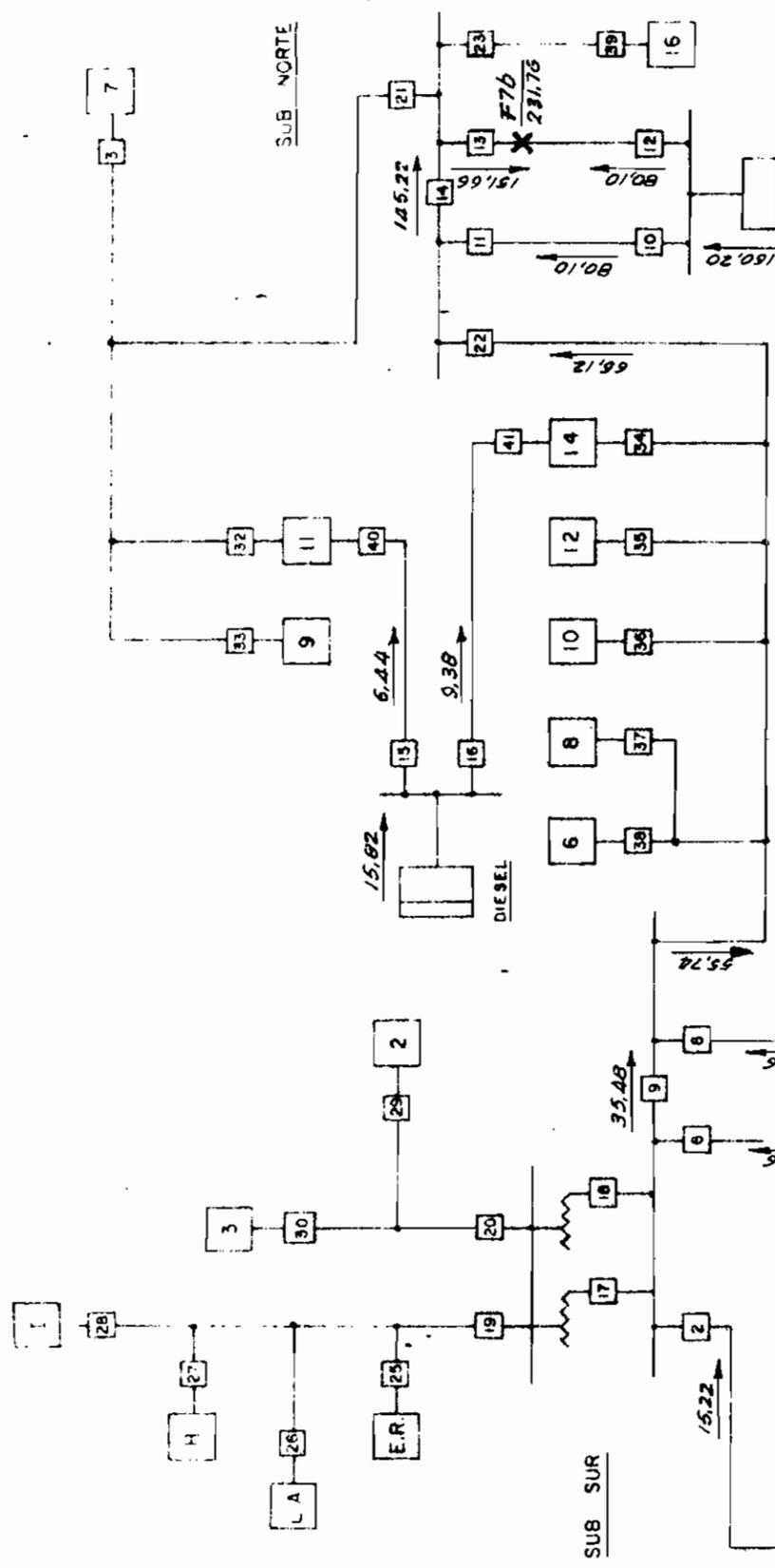
FECHA: FEB - MAR-67
 PLANO Nº: PC-07

FECHA: FEB - MAR-67
 HOJA Nº: 17

REVISION: G.S.
 CALCULO: G.S.

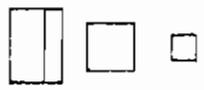
- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGUPOLO



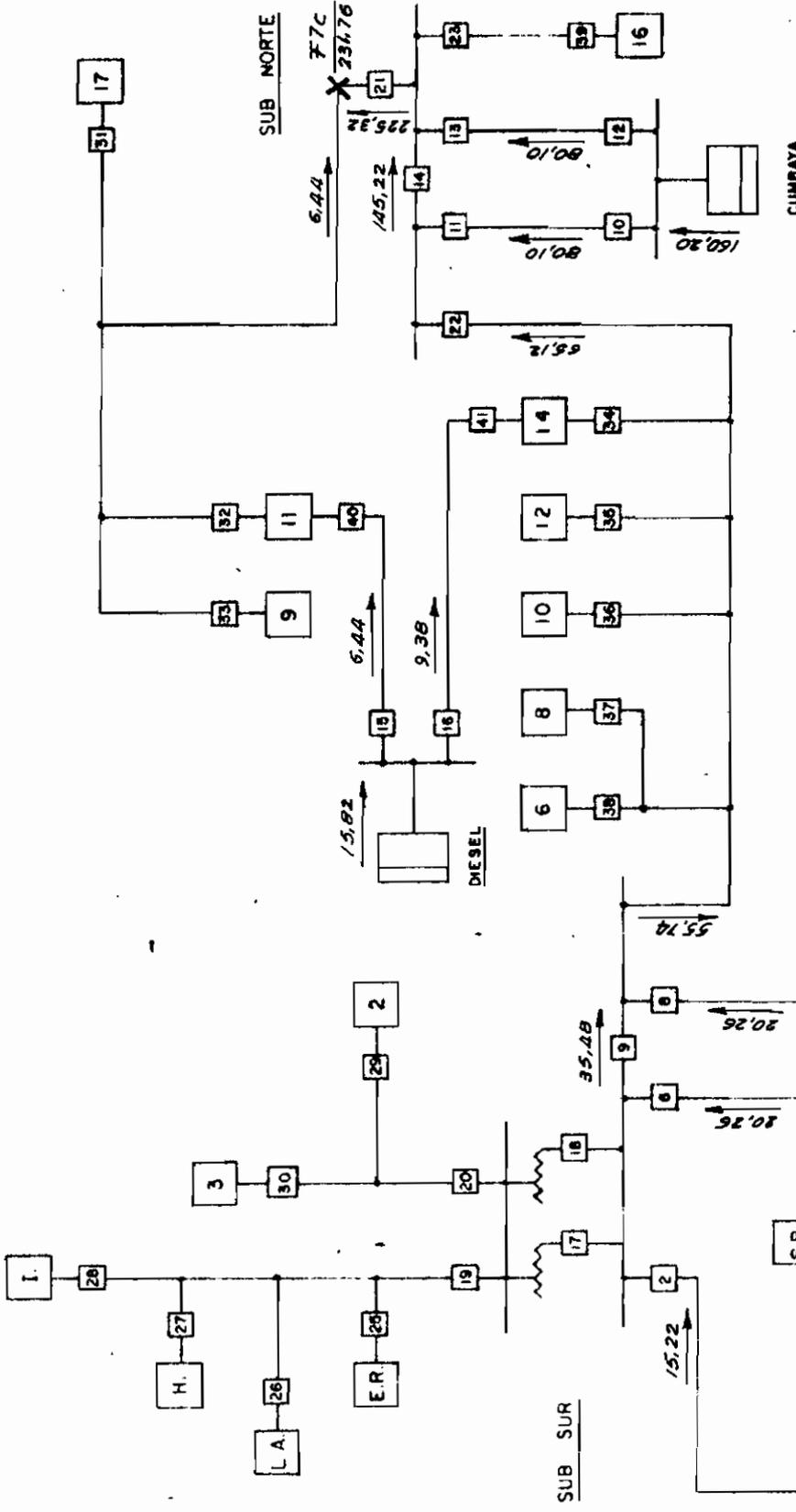
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 N°F7b
 FECHA: FEB - MAR - 67
 CALCULO: G. S.
 REVISION:

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLIC



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

NR F7C

CALCULO: G. S. FECHA: FEB-MAR-67 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 19

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION

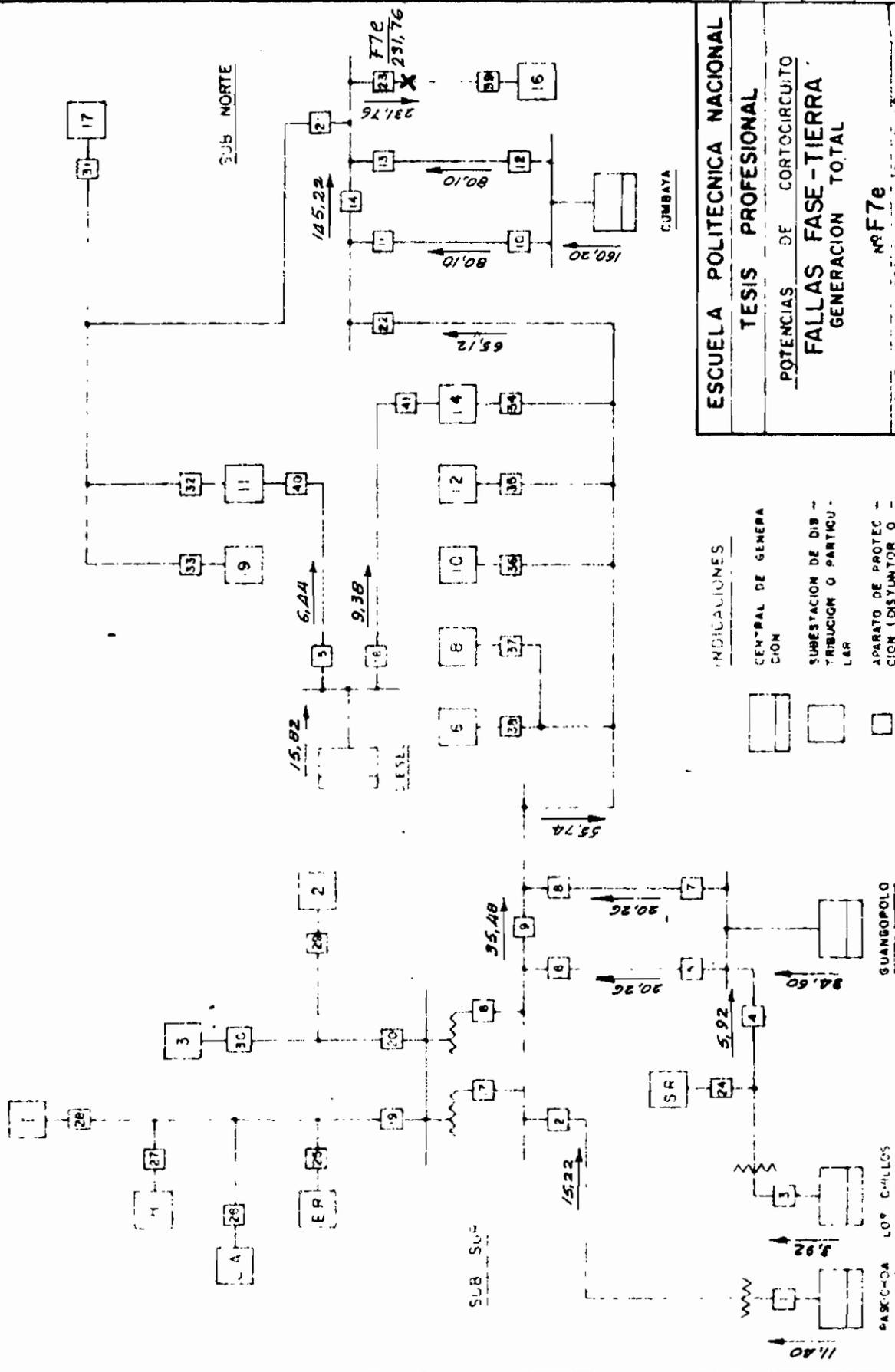
SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS GUAMBOPOLO

11.40 3.92 39.60 5.92 20.26 35.48 55.74



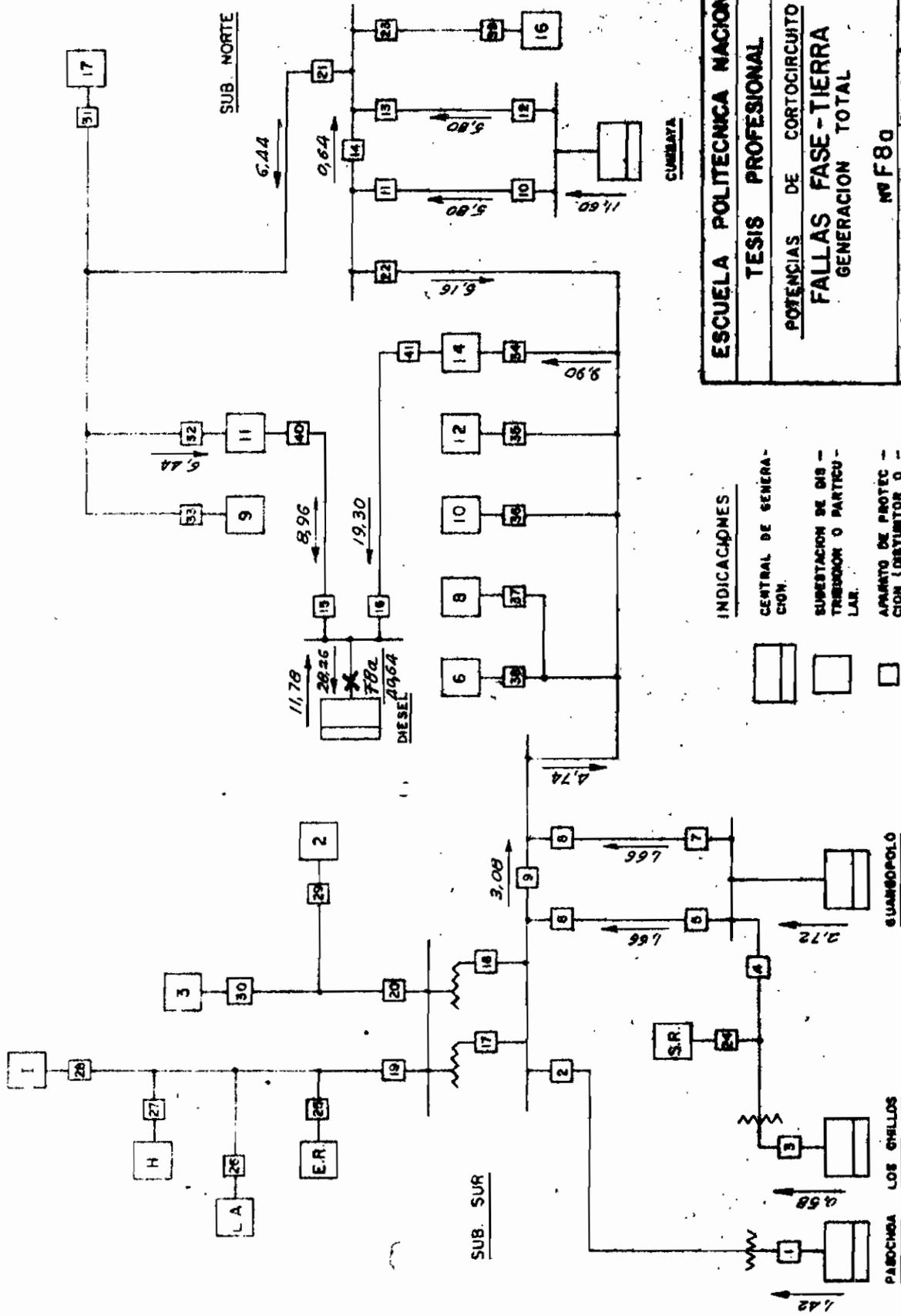
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F7e
 CALCULO G. S. FECHA FEB - MAR - 87
 REVISION HOJA Nº 21

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULARES
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



GUANOPOLO

PASCUDO LOS CAJILLOS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
GENERACION TOTAL

Nº F80

CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR - 67 PLANO Nº PC - 07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 22

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION

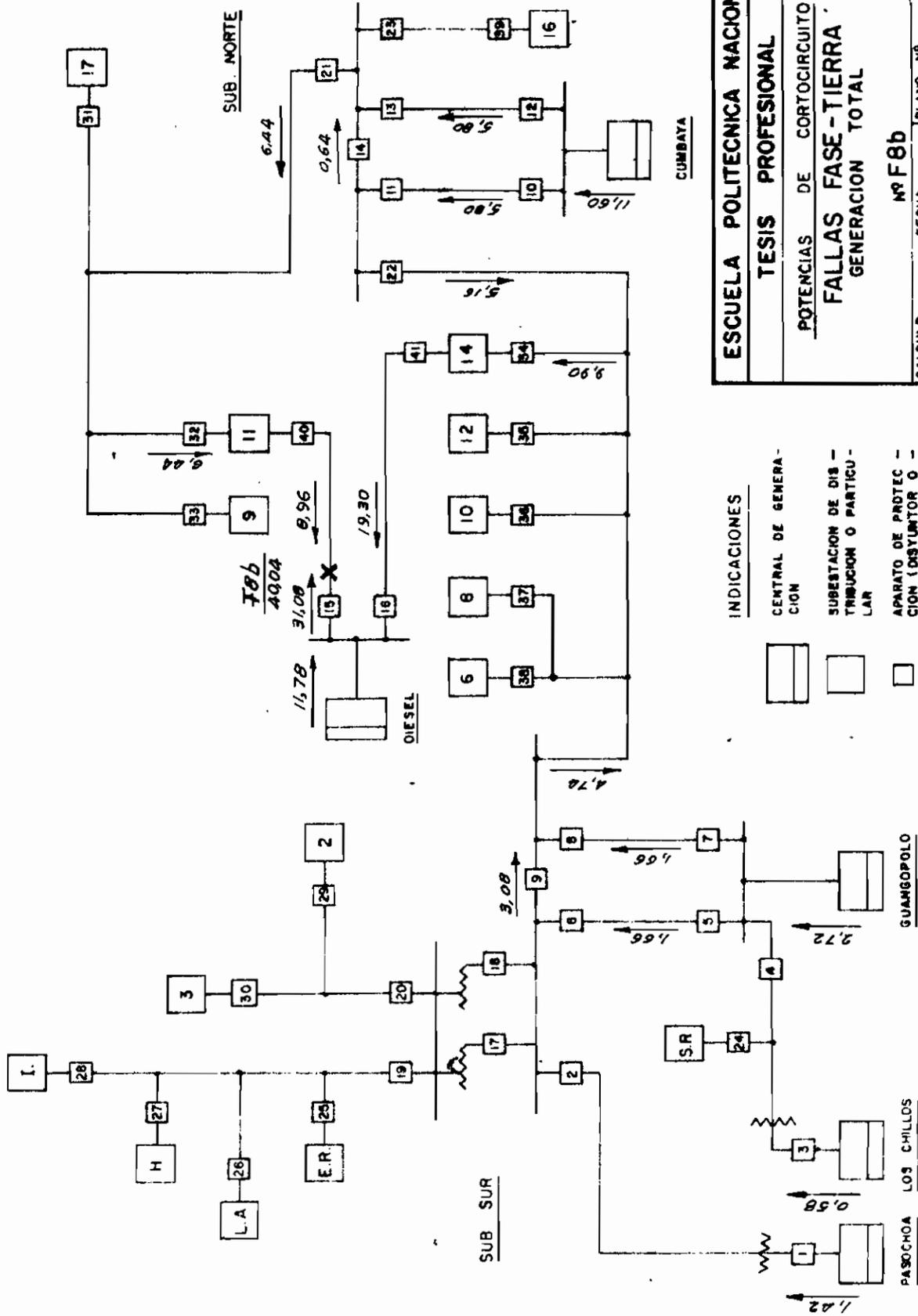
SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA

PABOCHOA LOS CHILLOS

GUARISOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

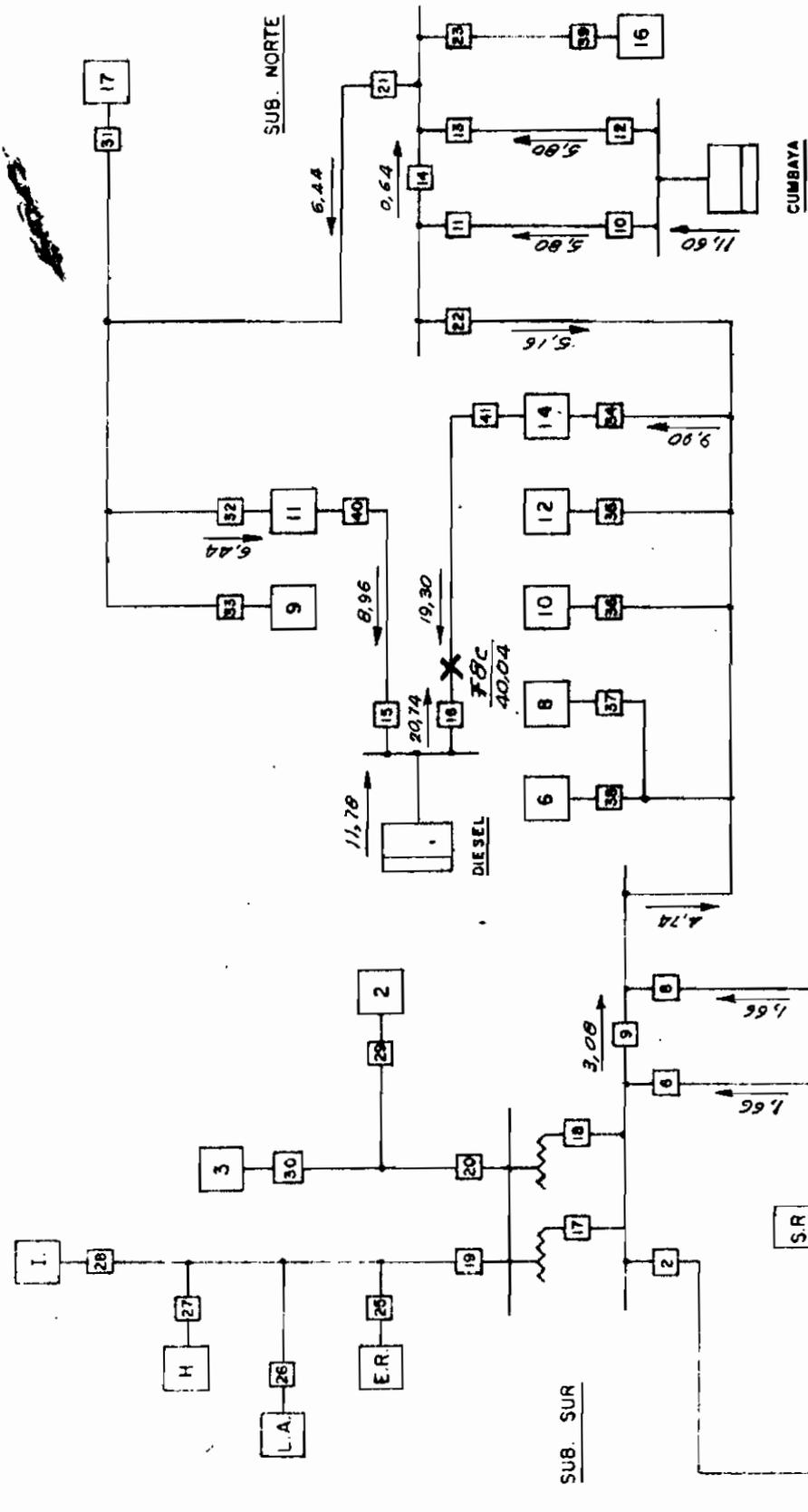
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F8b

CALCULO:	G.S.	PLANO Nº	PC-07
REVISION:		FECHA:	FEB-MAR-67
		FECHA:	
		HOJA Nº	23

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F8C

CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR - 67
 REVISION: FECHA: HORA Nº 24

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTIDULA.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS

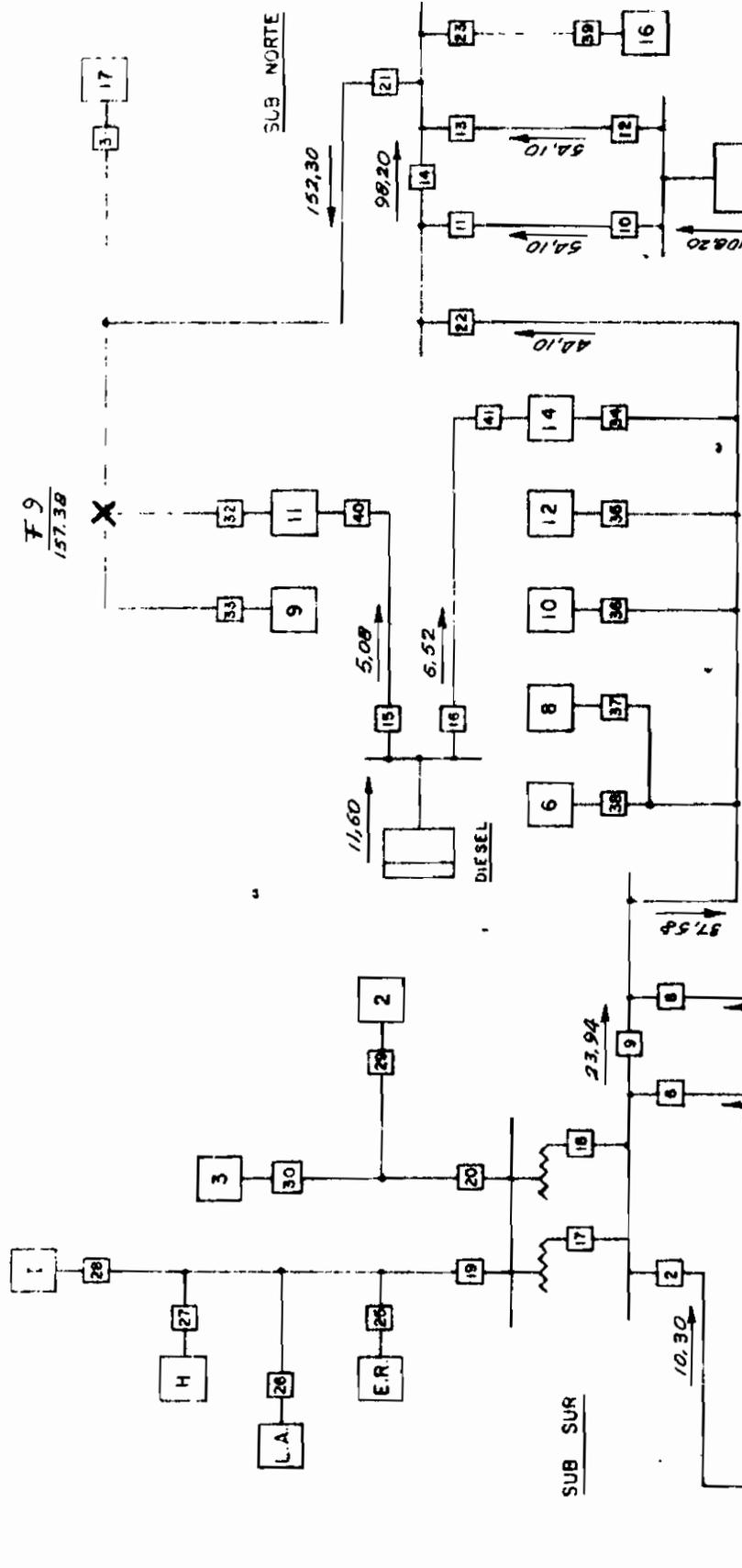
GUARAGUPOLO

CUMBAYA

SUB. NORTE

SUB. SUR

F 9
157.38



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F 9	
CALCULO:	FECHA:
G. S.	FEB - MAR - 87
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC - 07
	HOJA Nº 25

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBESTACION DE DIS - TRIBUCION O PARTICU - LAR
-  APARATO DE PROTEC - CION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA

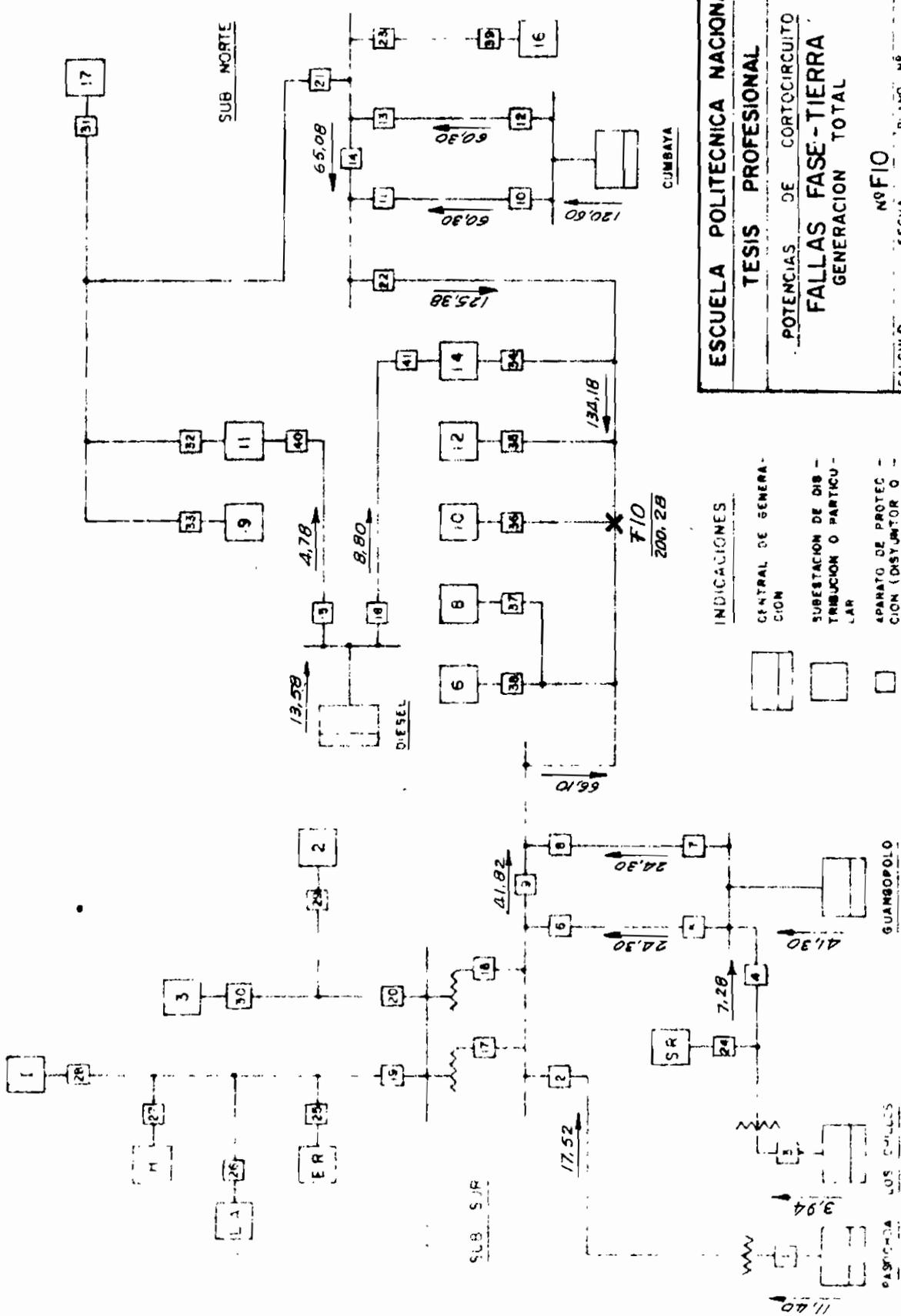
PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANABOPOLO

CUMBAYA

SUB NORTE

SUB SUR



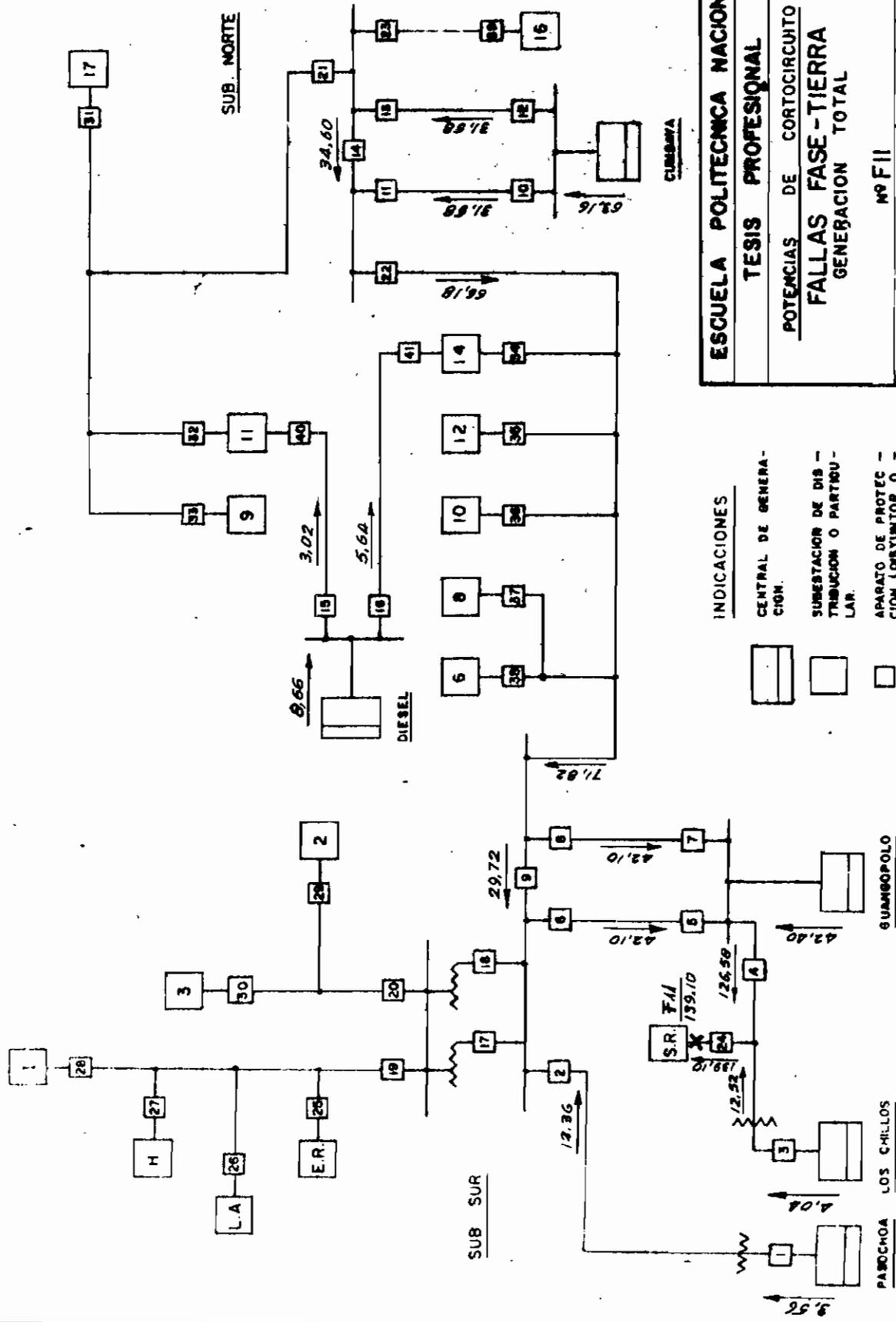
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

CÁLCULO: G. S.
 FECHA: FEB - MAR - 87
 REVISIÓN:

Nº FIO: _____
 PLANO Nº: _____
 PC - 07
 HOJA Nº: 26

INDICACIONES

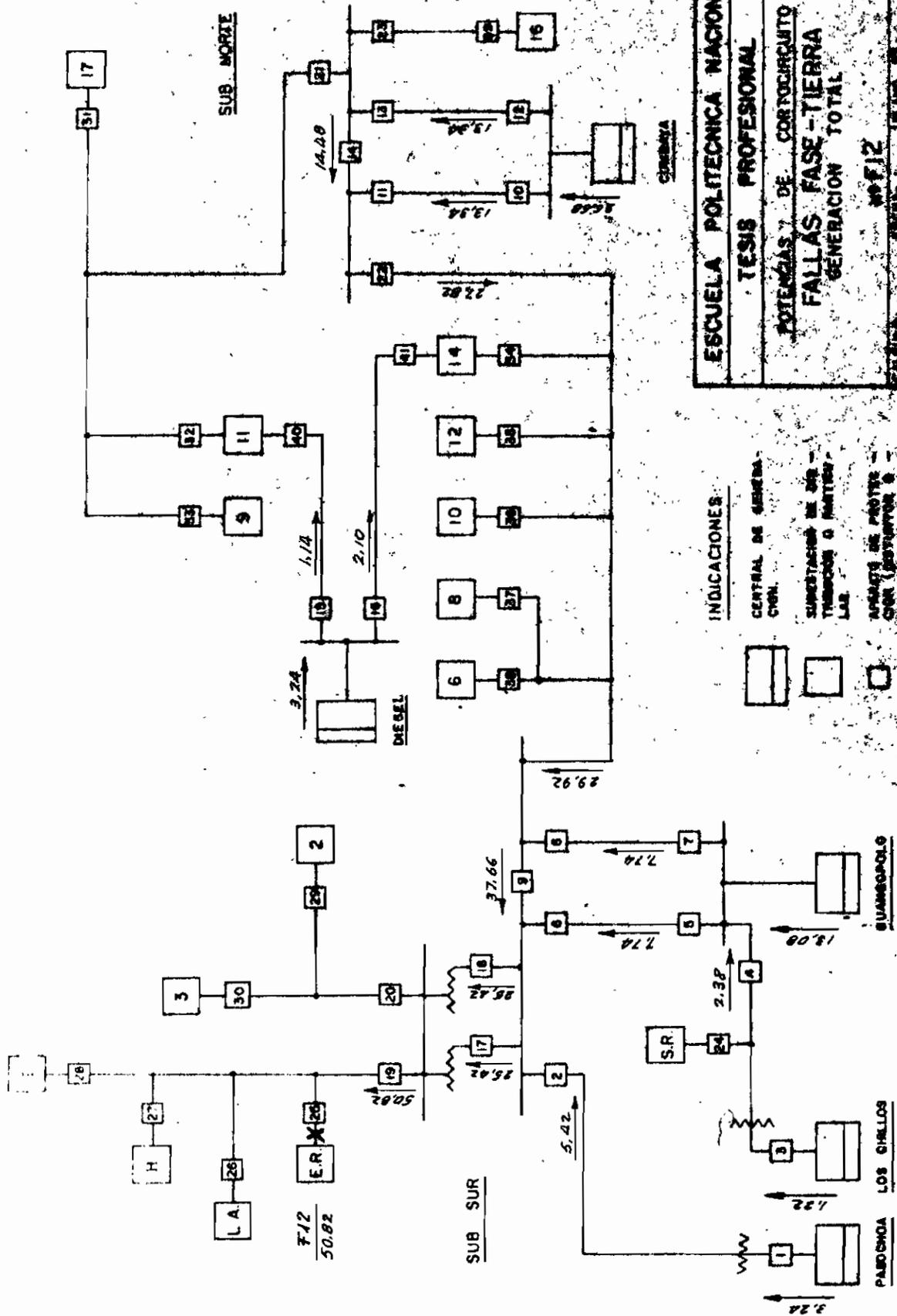
- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
GENERACION TOTAL
 Nº FI
 CALCULO: G. S.
 FECHA: FEB - MAR - 87
 REVISION:
 PLANO Nº PC - 07
 HOJA Nº 27

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION - 
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTIDU-LAR - 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE) - 
 VALORES EN MVA

PABOCHOA LOS CHILLOS
 GUMBOPOLO

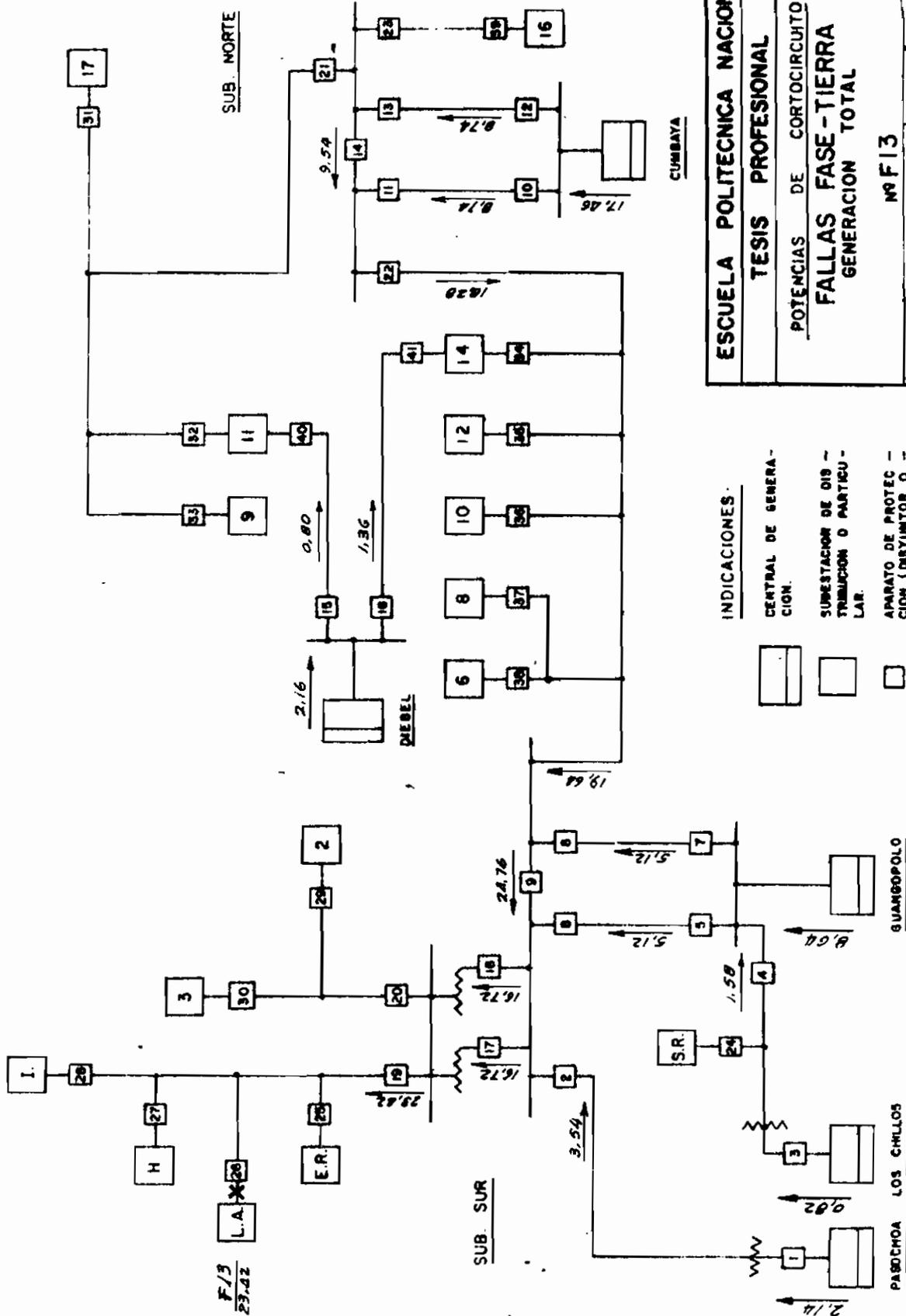


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
 FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

INDICACIONES:
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACIONES DE TRASMISION O MANTENIMIENTO
 MOMENTO DE POTENCIA CON (RESTRICCION O FALLA)
 VALORES en kVA.

NO F12
 PLAN N° 07
 G.S.

ANEXO C

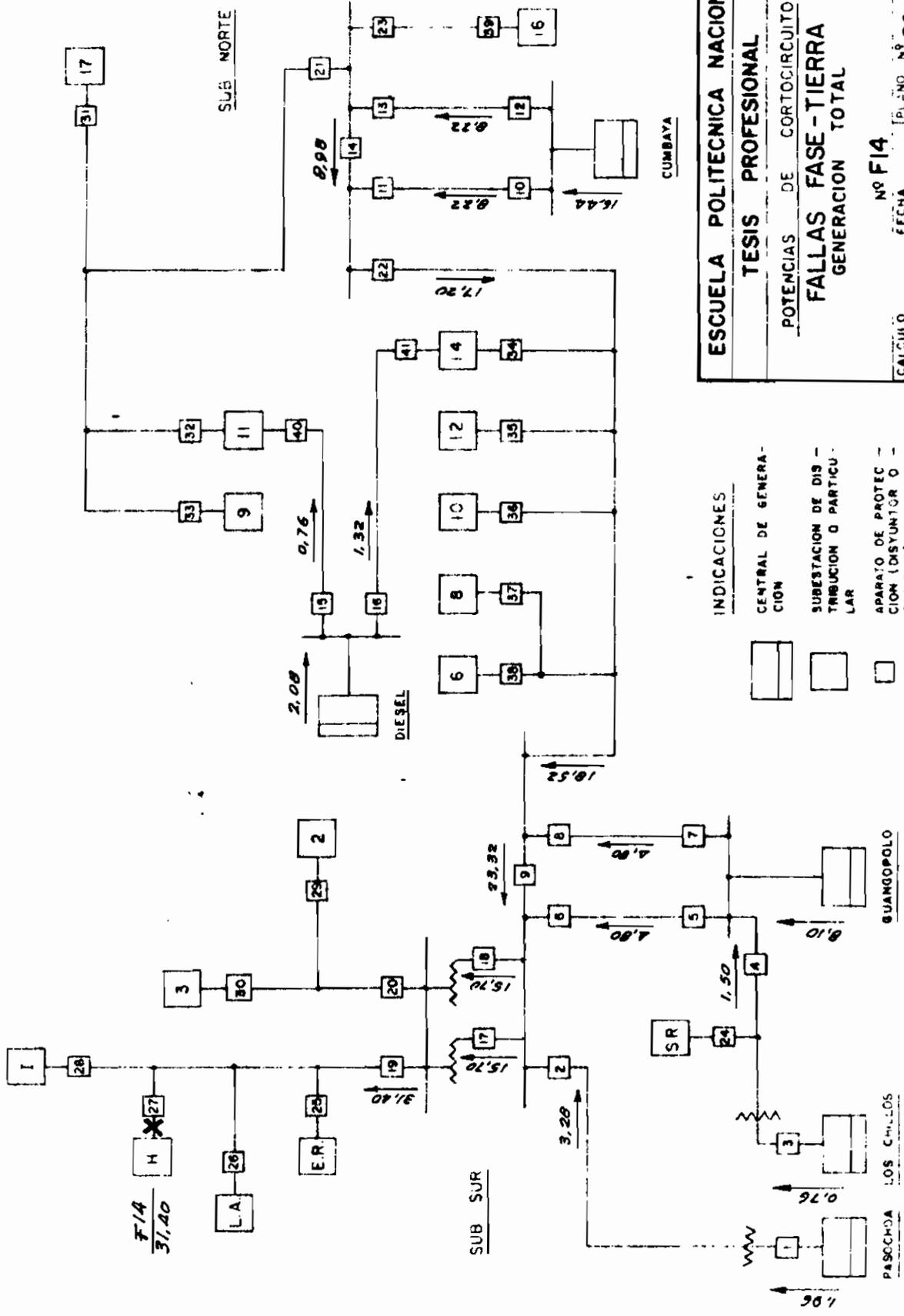


F/3
23.42

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F/3
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR - 67 PLANO Nº PC - 07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 29

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA



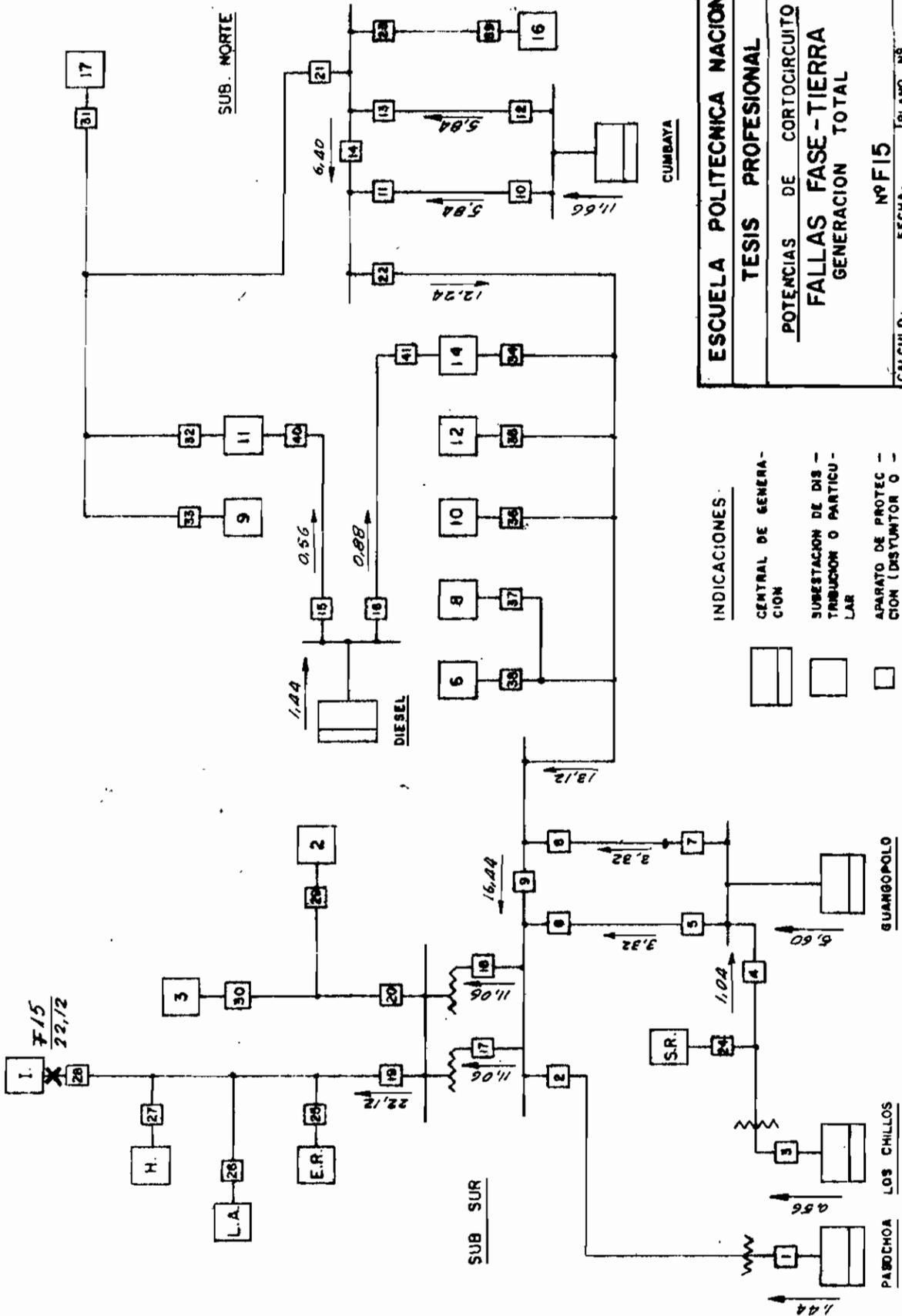
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F14
 PLANO Nº **PC-07**
 FECHA **FEB - MAR-67**
 FECHA **NOVA Nº 30**

CALCULO **G.S.**
 REVISION

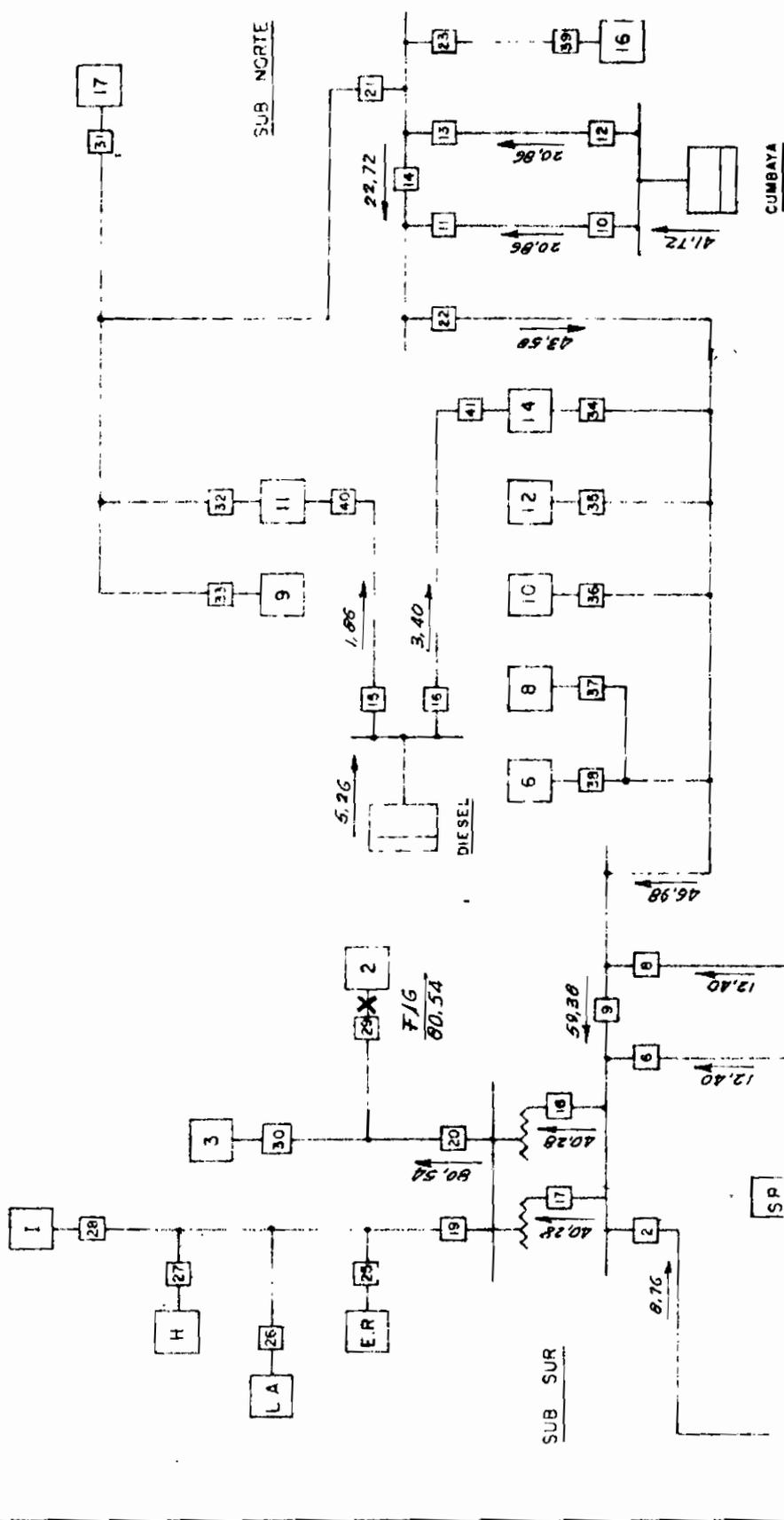
- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS
 GUANGOPOLO



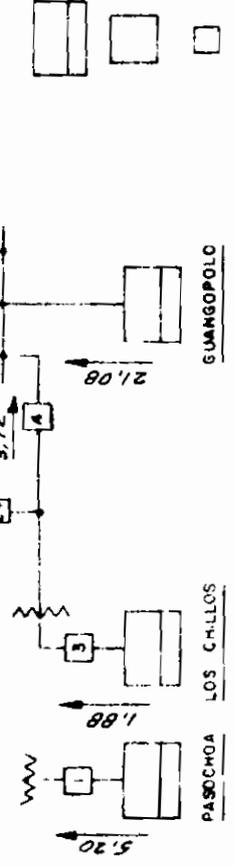
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F15	
CALCULO: G. S.	FECHA: FEB - MAR - 67
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-07
	HOJA Nº 31

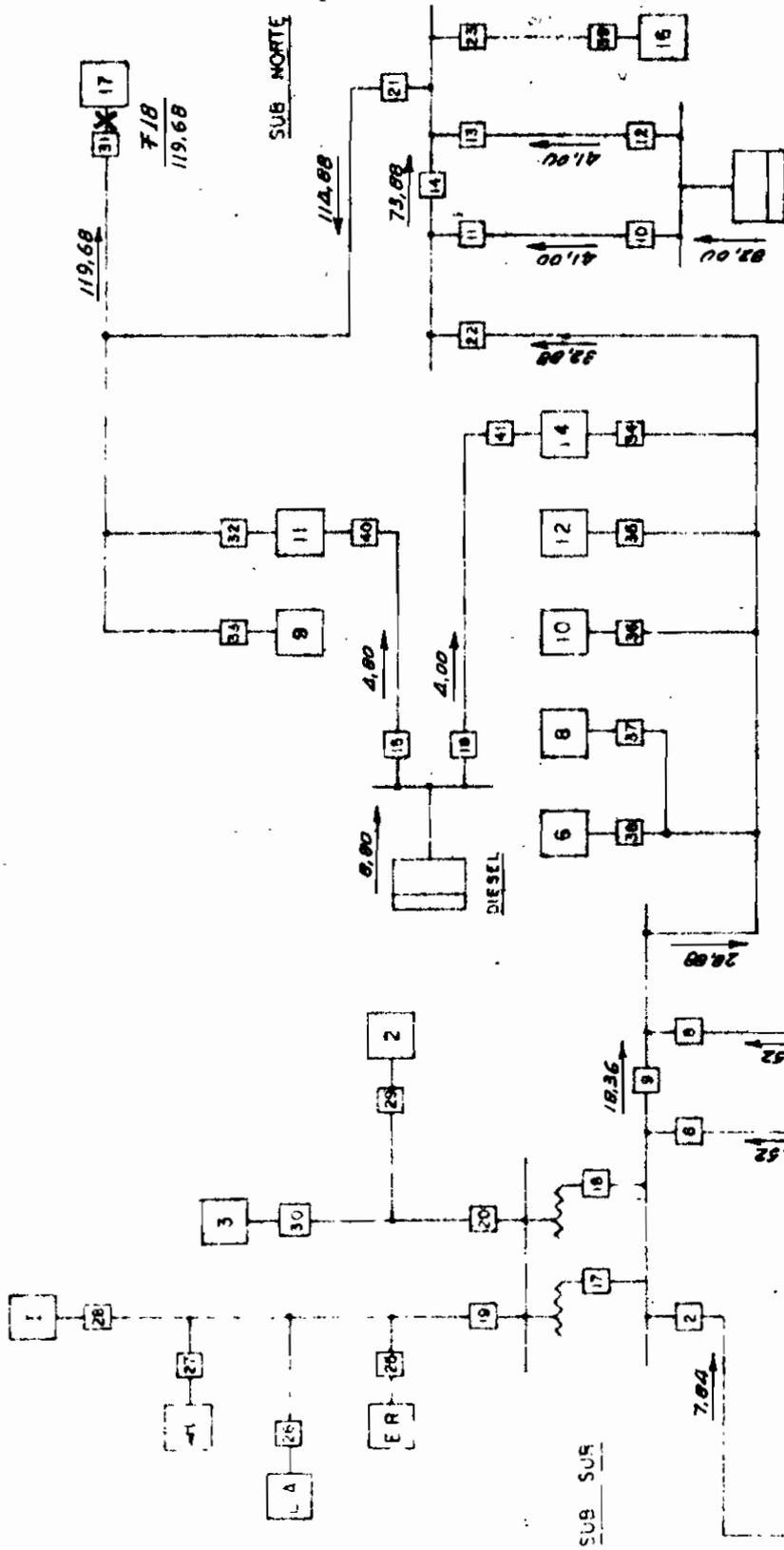
- INDICACIONES:**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 - VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F16
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR - 87 PLANO Nº PC - 07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 32

- INDICACIONES
- CENTRAL DE GENERACION.
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 - VALORES EN MVA





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
 FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

NO FIB

CALCULO: G. S.
 FECHA: FEB - MAR-87

REVISION: FECHA: NOJA Nº 34

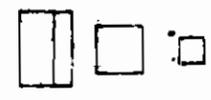
INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION

SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

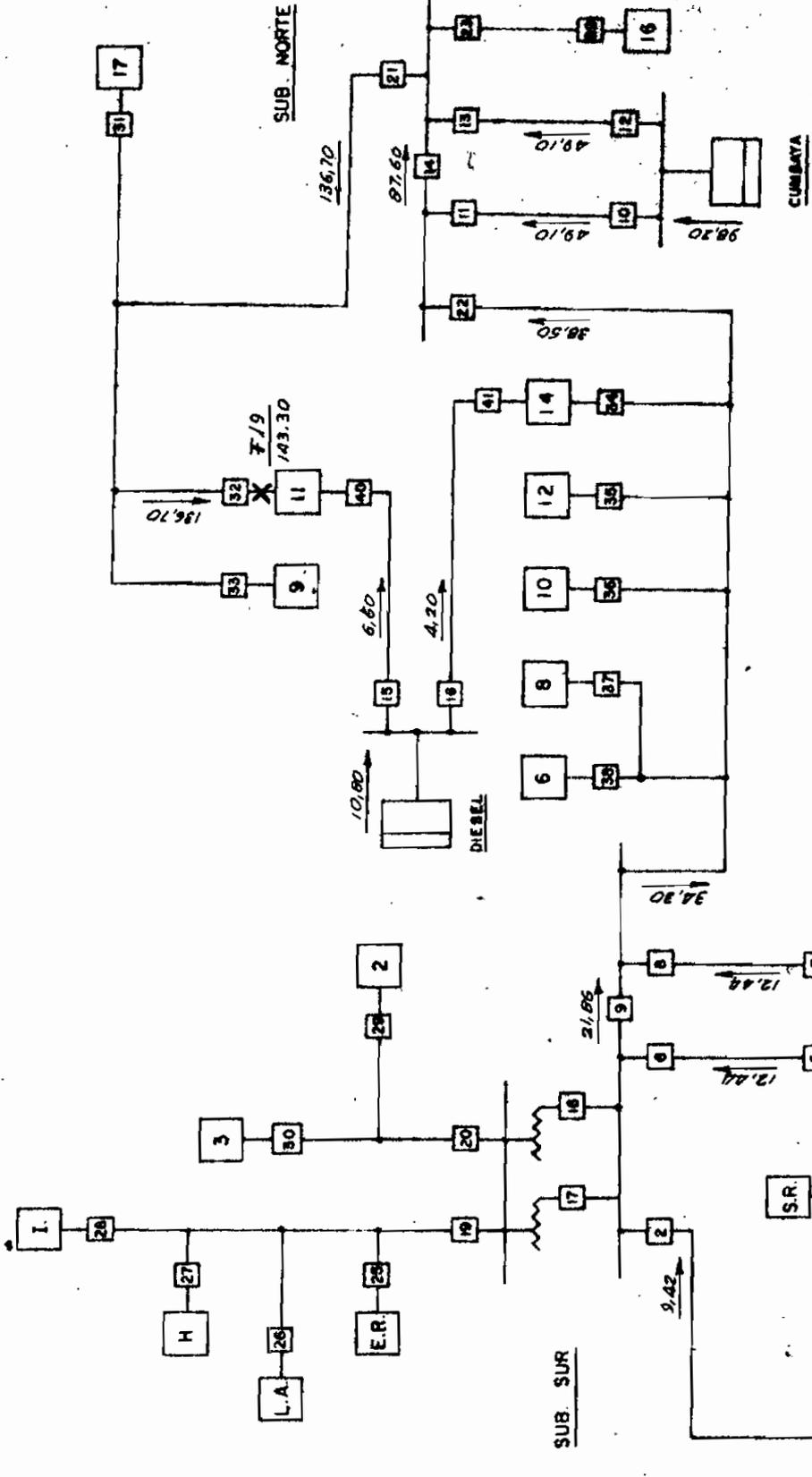
APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA



PASADCHOA LOS CHULLOS

GUANOPOLO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F19

CALCULO: G. S.
 FECHA: FEB - MAR-67

PLANO Nº PC-07
 HOJA Nº 35

REVISIÓN: FECHA:

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION.

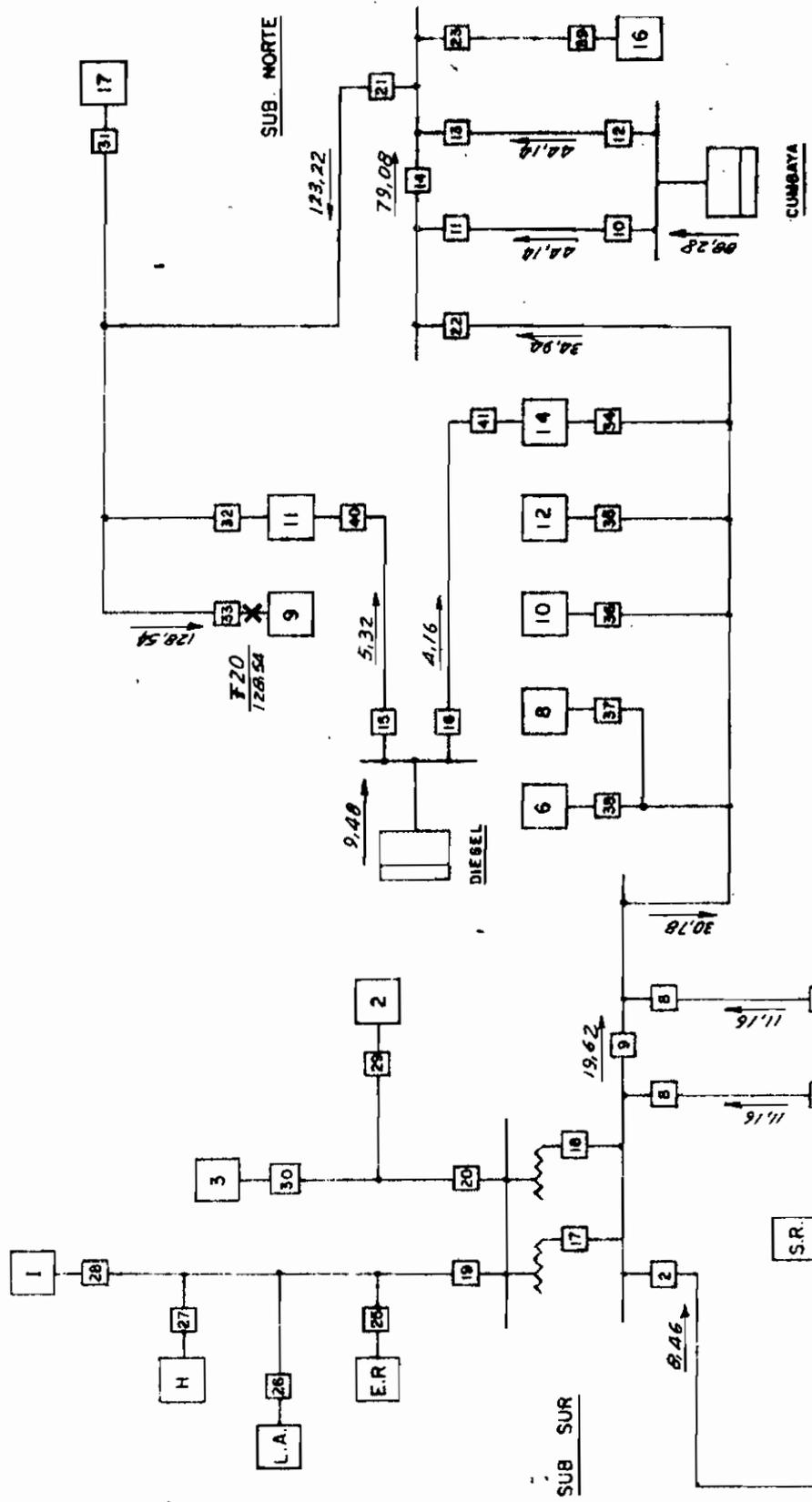
SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).

VALORES EN MVA

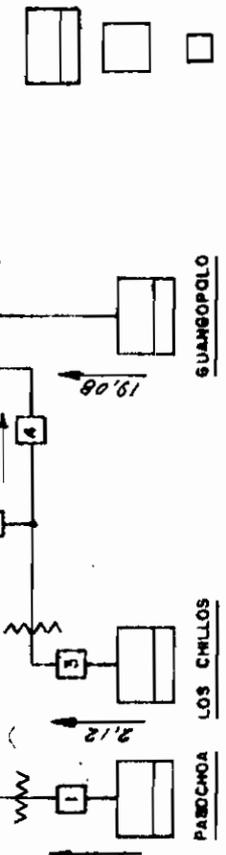
PABOCHOA LOS CHILLOS

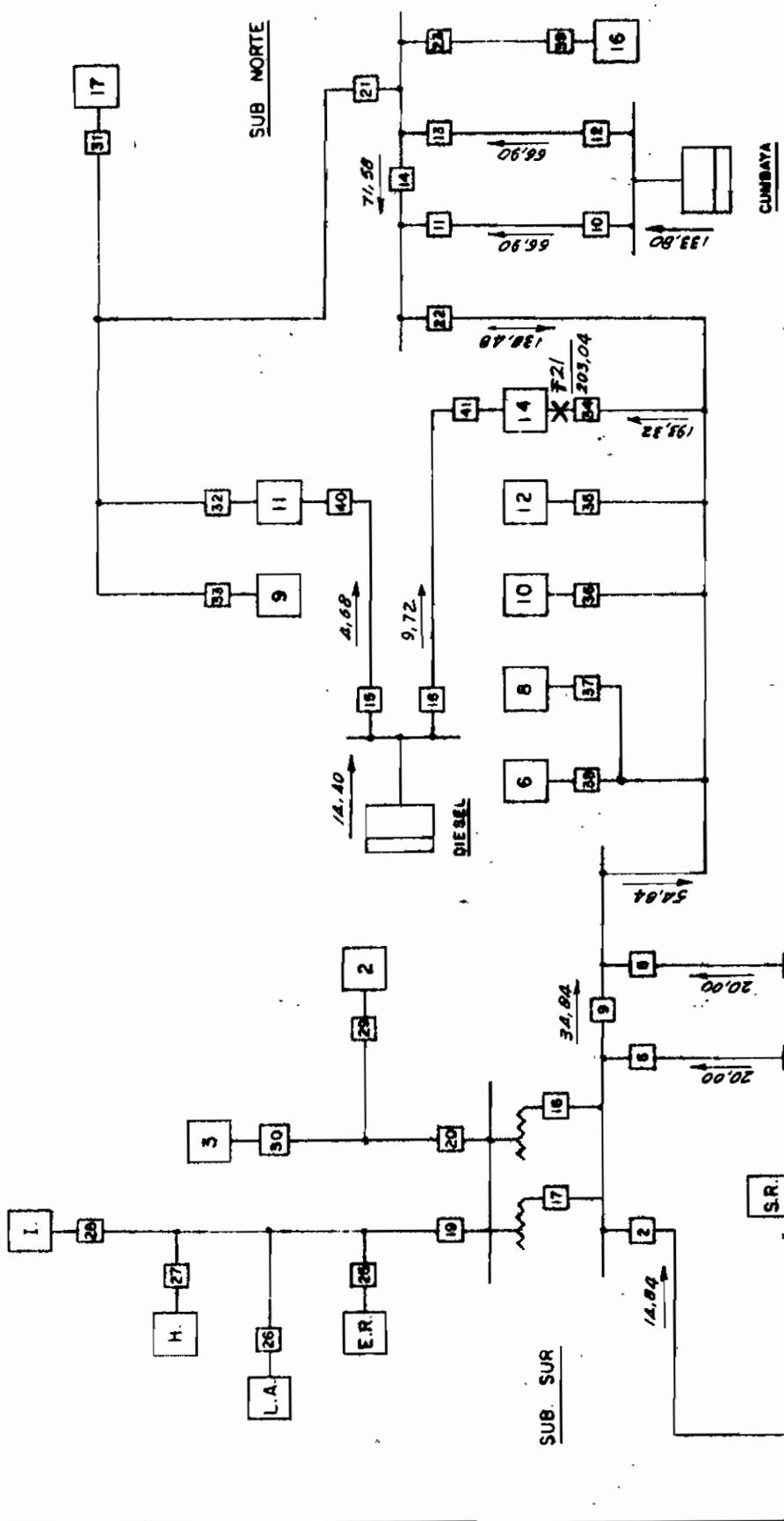
SUANGOPOLLO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
 FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F20
 CÁLCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR - 67
 REVISIÓN: FECHA: ROJA Nº 36

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

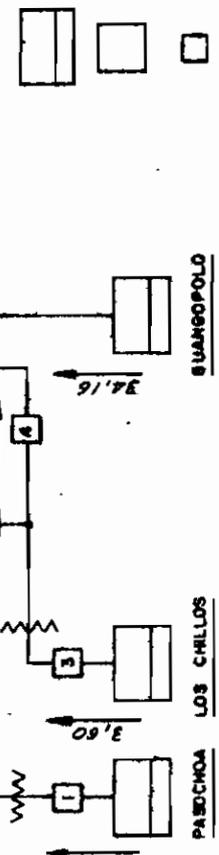


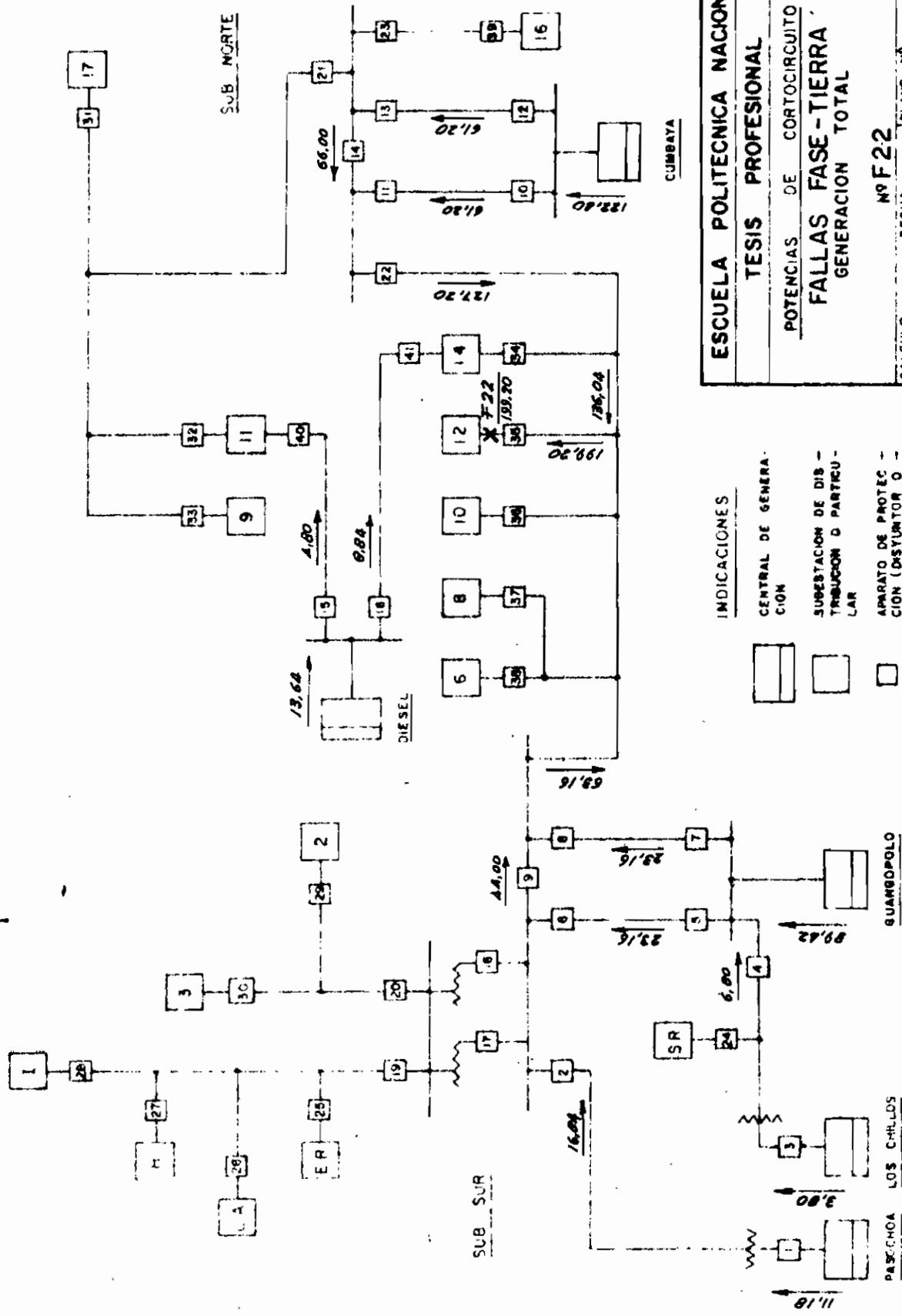


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
GENERACION TOTAL
 Nº F 21

CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº
G. S.	FEB - MAR-67	PC - 07
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº
		37

INDICACIONES
 [Symbol] CENTRAL DE GENERACION
 [Symbol] SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTIUR LAR
 [Symbol] APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA.





ESUELA POLITECNICA NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
 FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F.22
 FECHA: FEB - MAR - 67
 PLANO Nº PC - 07
 HOJA Nº 38

CALCULO: G. S.
 REVISION:

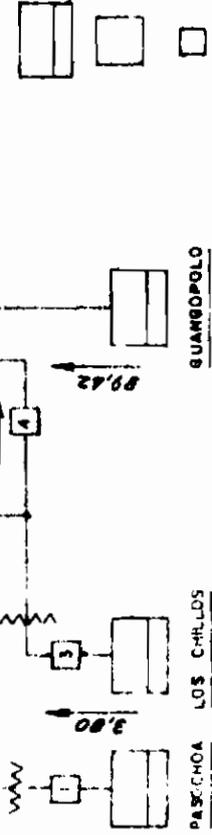
INDICACIONES

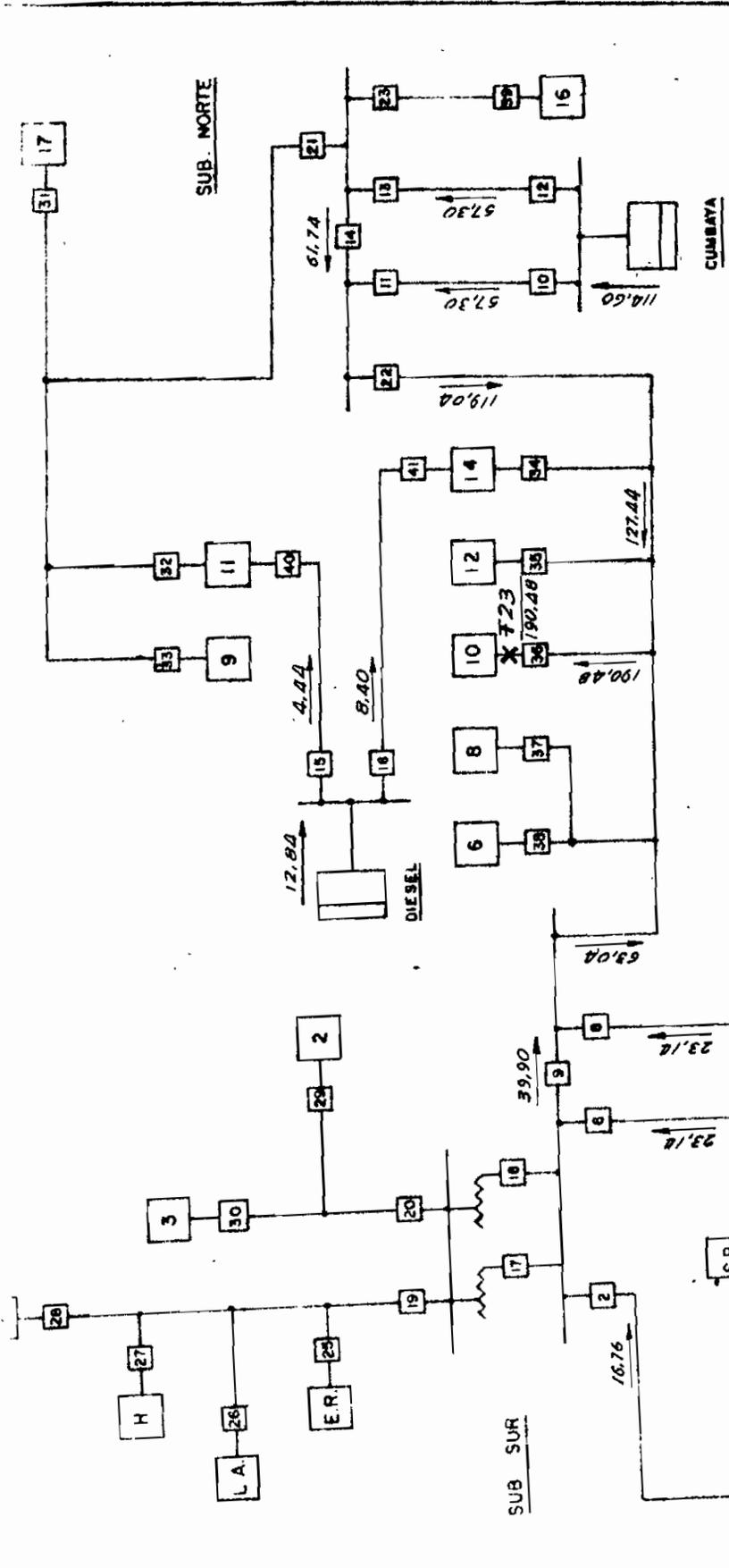
CENTRAL DE GENERACION

SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTI-CULAR

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA

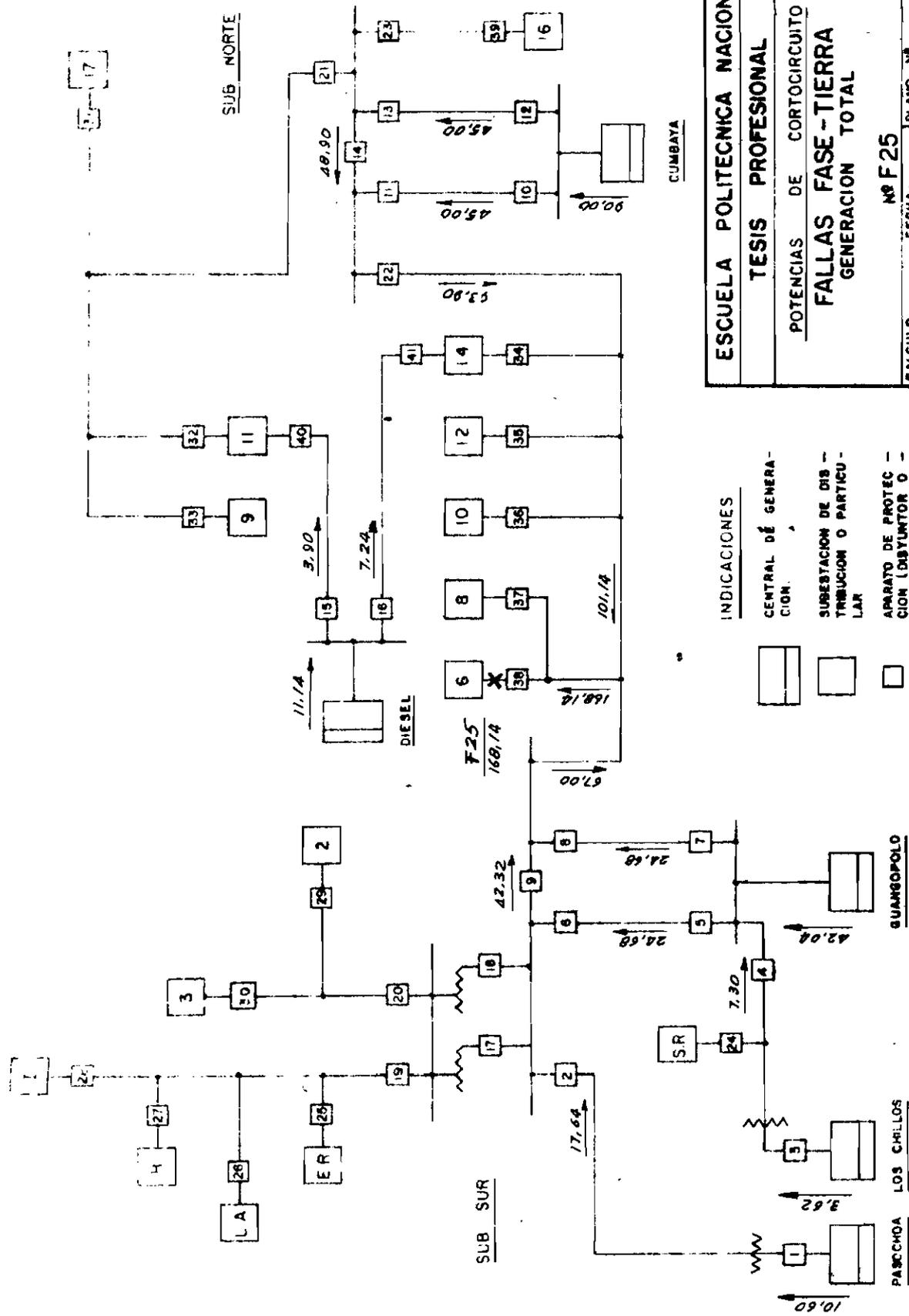




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 NºF23
 CALCULO: G. S. PLANO Nº PC-07
 FECHA: FEB - MAR-67
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 39

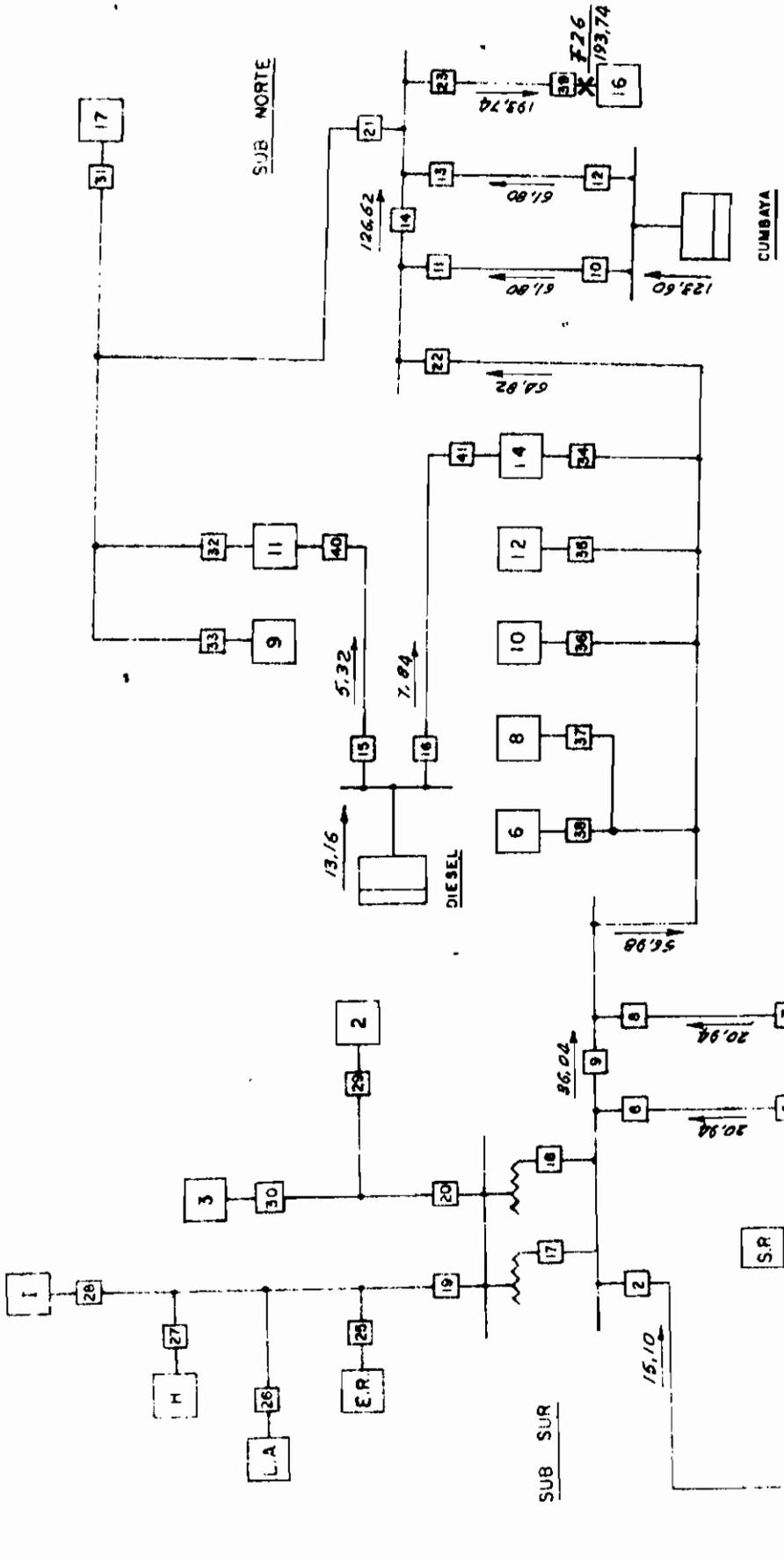
INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION. 
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR. 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE). 
 VALORES EN MVA

PASCHOA LOS CHILLOS
 GUANGOPLO



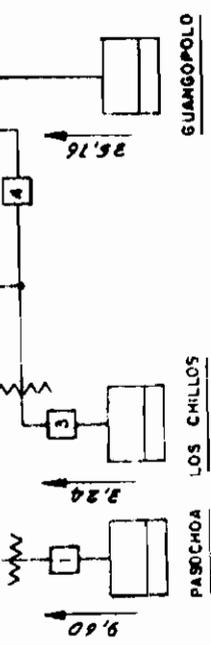
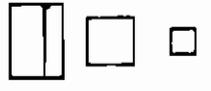
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F25
 CALCULO: G.S.
 FECHA: FEB - MAR - 87
 PLANO Nº PC - 07
 REVISION: HOJA Nº 41

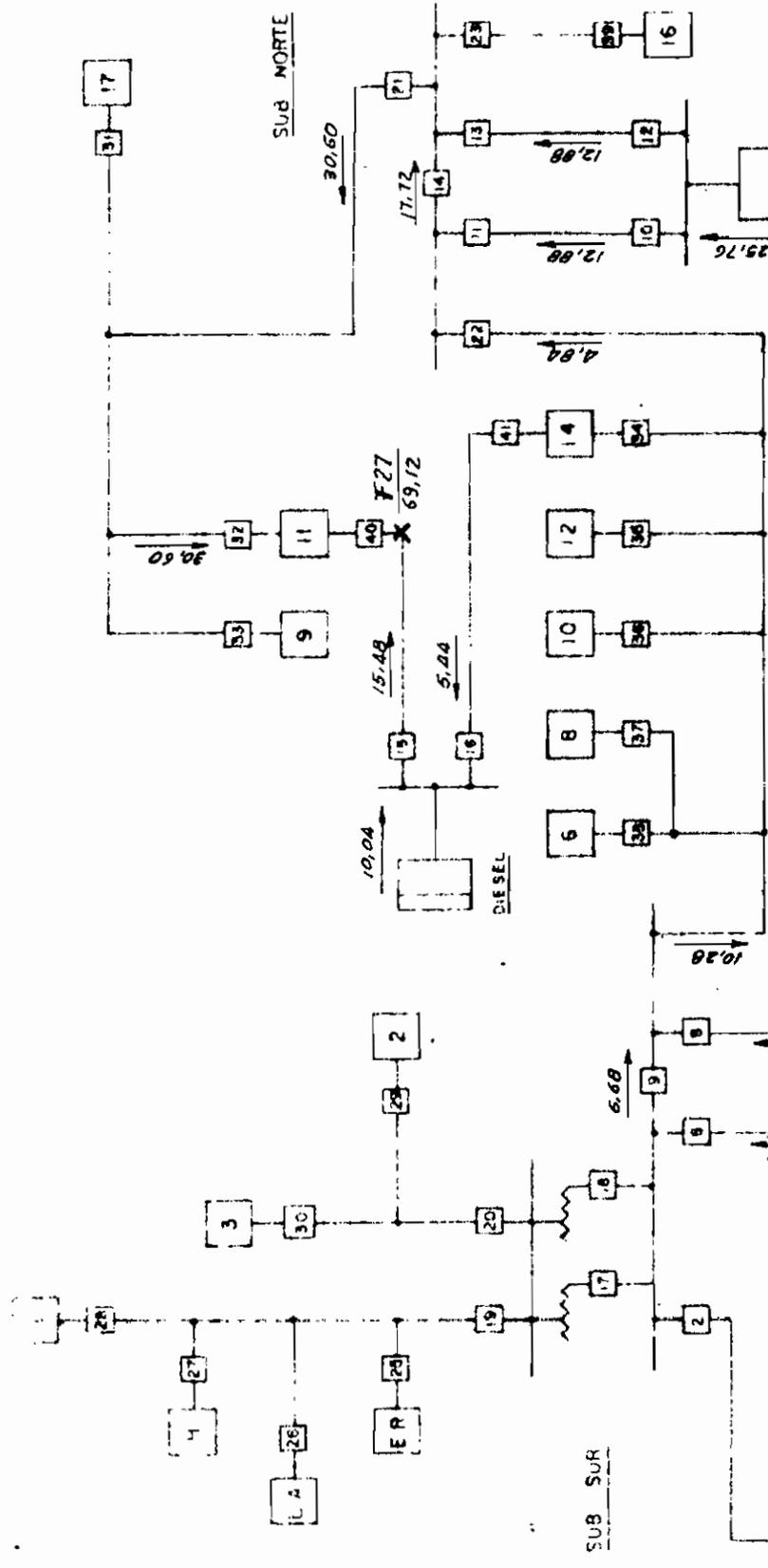
- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAN
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F26
 FECHA: FEB - MAR - 67
 PLANO Nº PC - 07
 CALULO G.S.
 REVISION: HOJA Nº 42

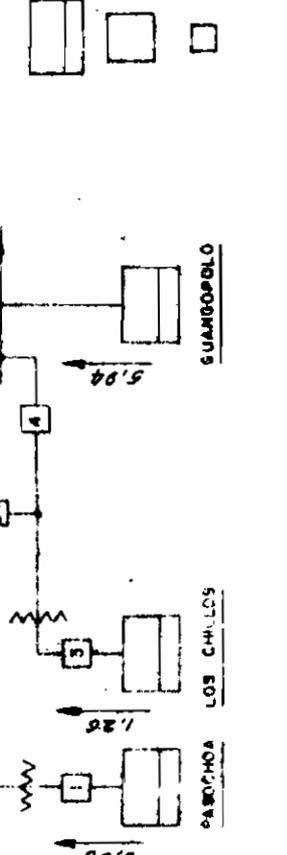
INDICACIONES:
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

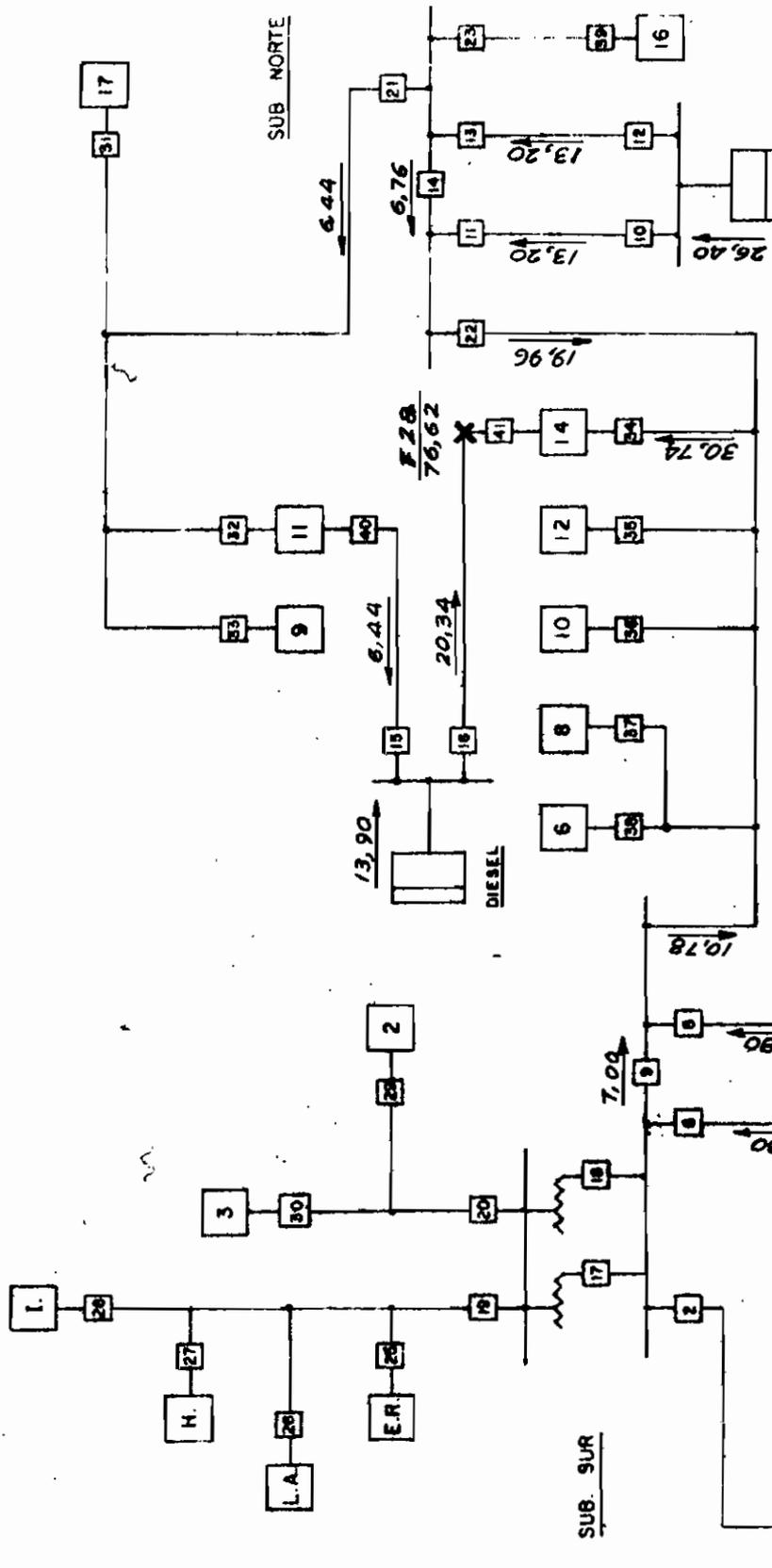




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F27
 CALCULO G. S. PLANO Nº PC-07
 REVISION. FECHA. FEB - MAR - 67 HOJA Nº 43

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION 
 SUBESTACION DE TRANSMISION O PARTICULARES 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE) 
 VALORES EN MVA

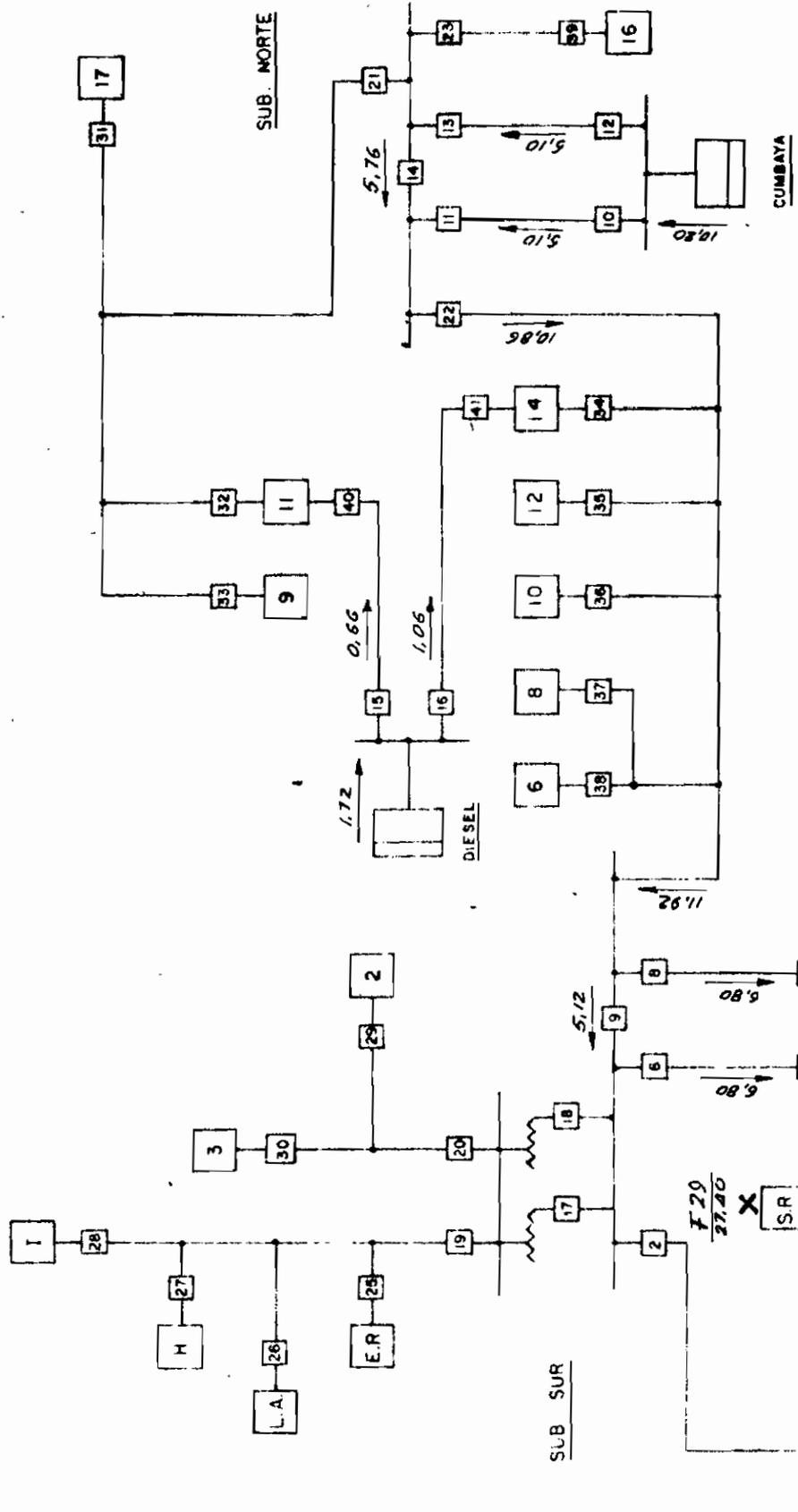




ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F28
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR-67 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 44

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F29

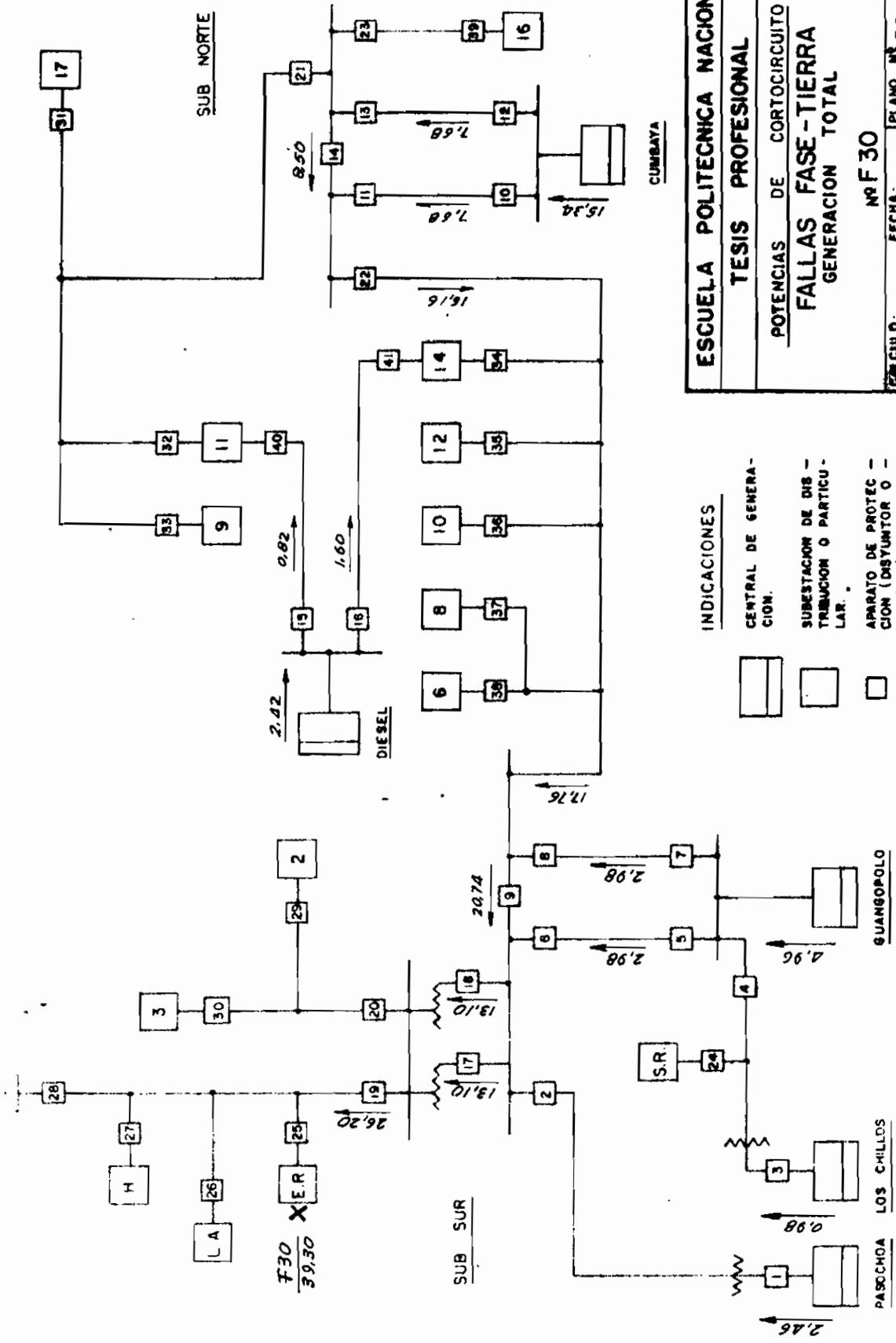
CALCULO: G.S.	FECHA: FEB - MAR - 67	PLANO Nº PC - 07
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 45

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

PABOCHOA LOS CHILLOS

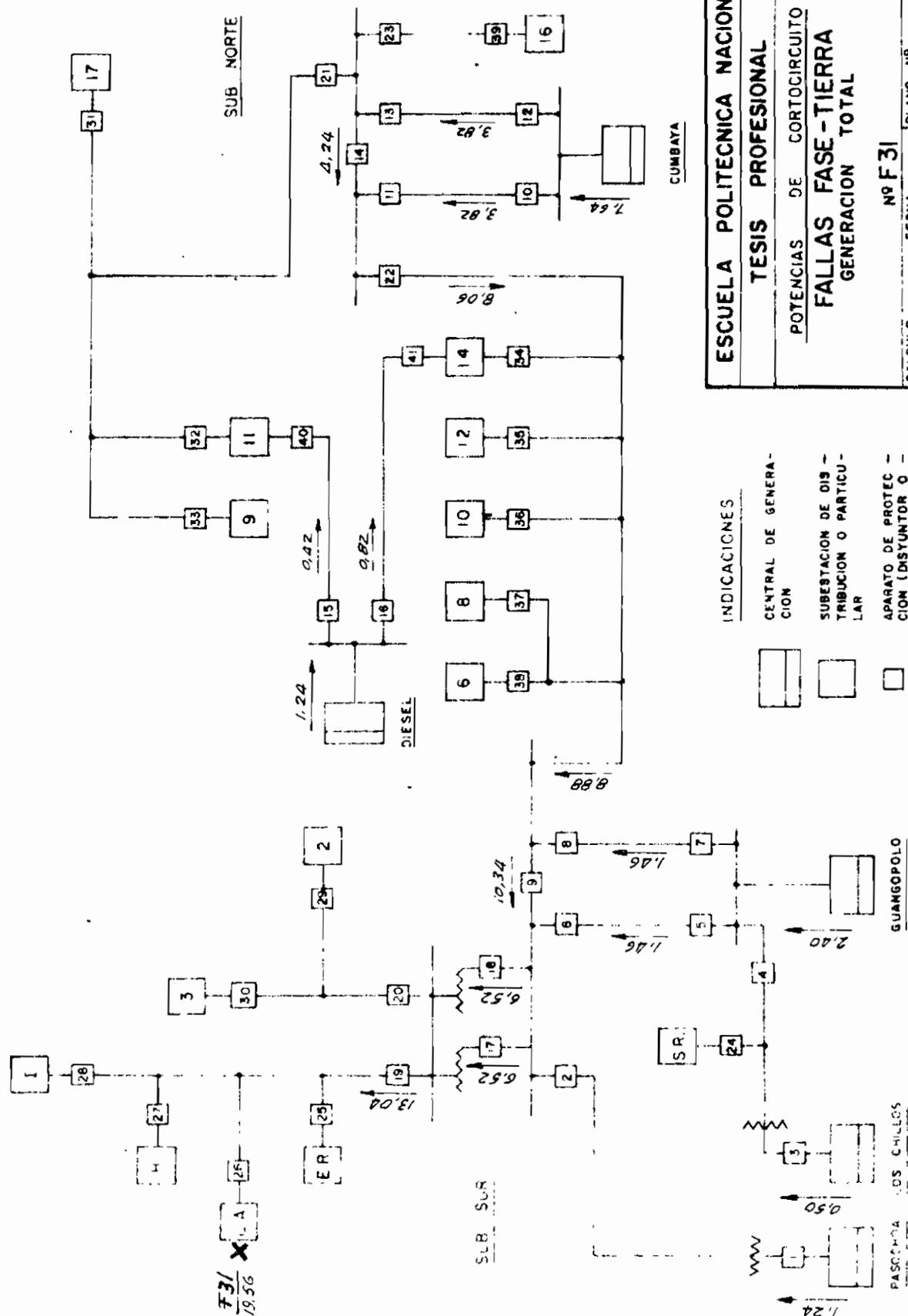
QUANGUPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F 30
 TÍTULO: **FALLAS FASE-TIERRA**
 GENERACION TOTAL
 CÁLCULO: **FEB - MAR - 07**
 G.S.
 REVISIÓN: **HOJA Nº 46**

INDICACIONES

- 
 CENTRAL DE GENERACION.
- 
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
- 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.



F31
19.56

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F31	
CALCULO: G.S.	PLANO Nº PC-07
REVISION:	FECHA: FEB - MAR-67
	FECHA: HOJA Nº 47

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

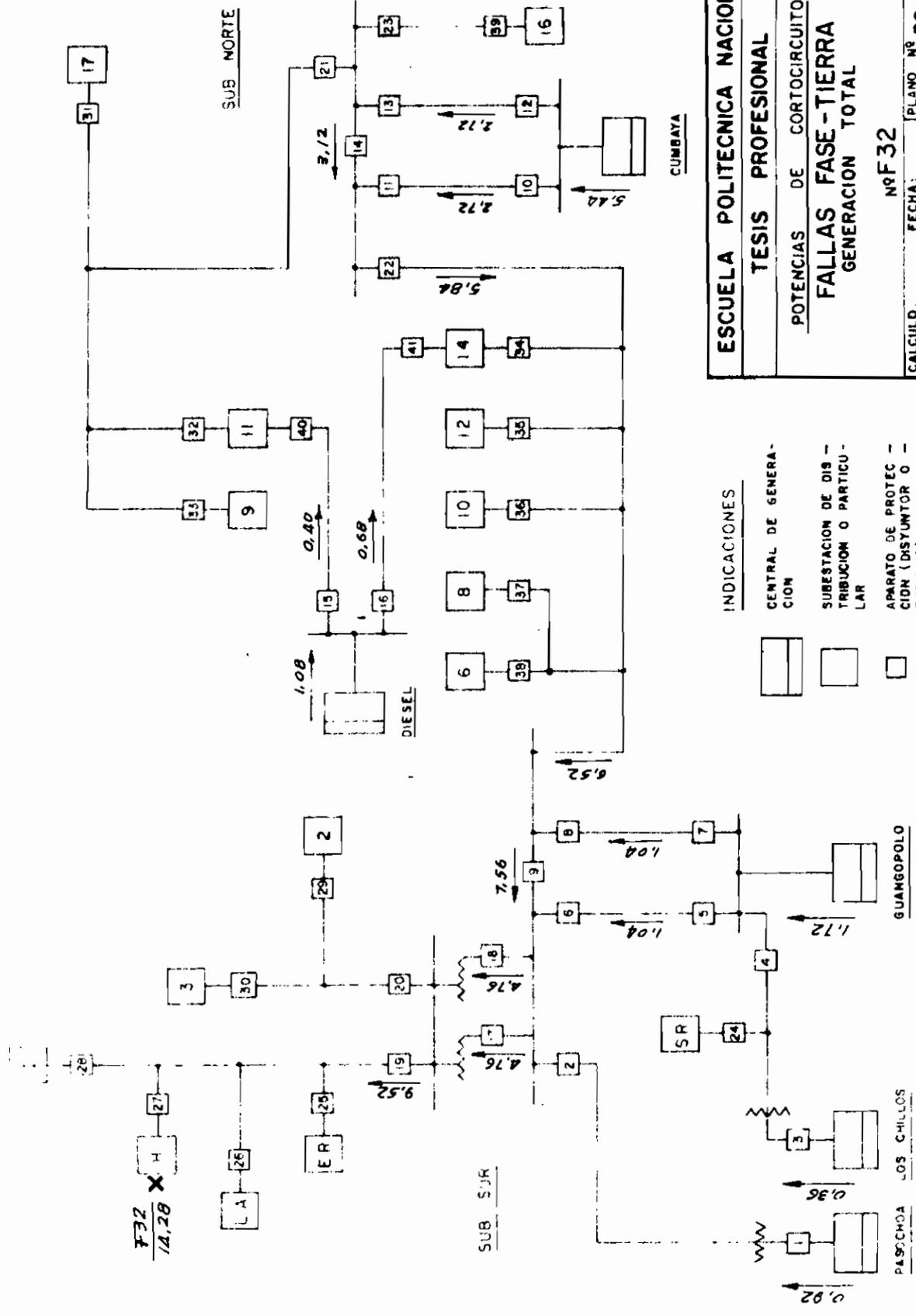
PASOPIA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA

SUB NORTE

SUB SUR



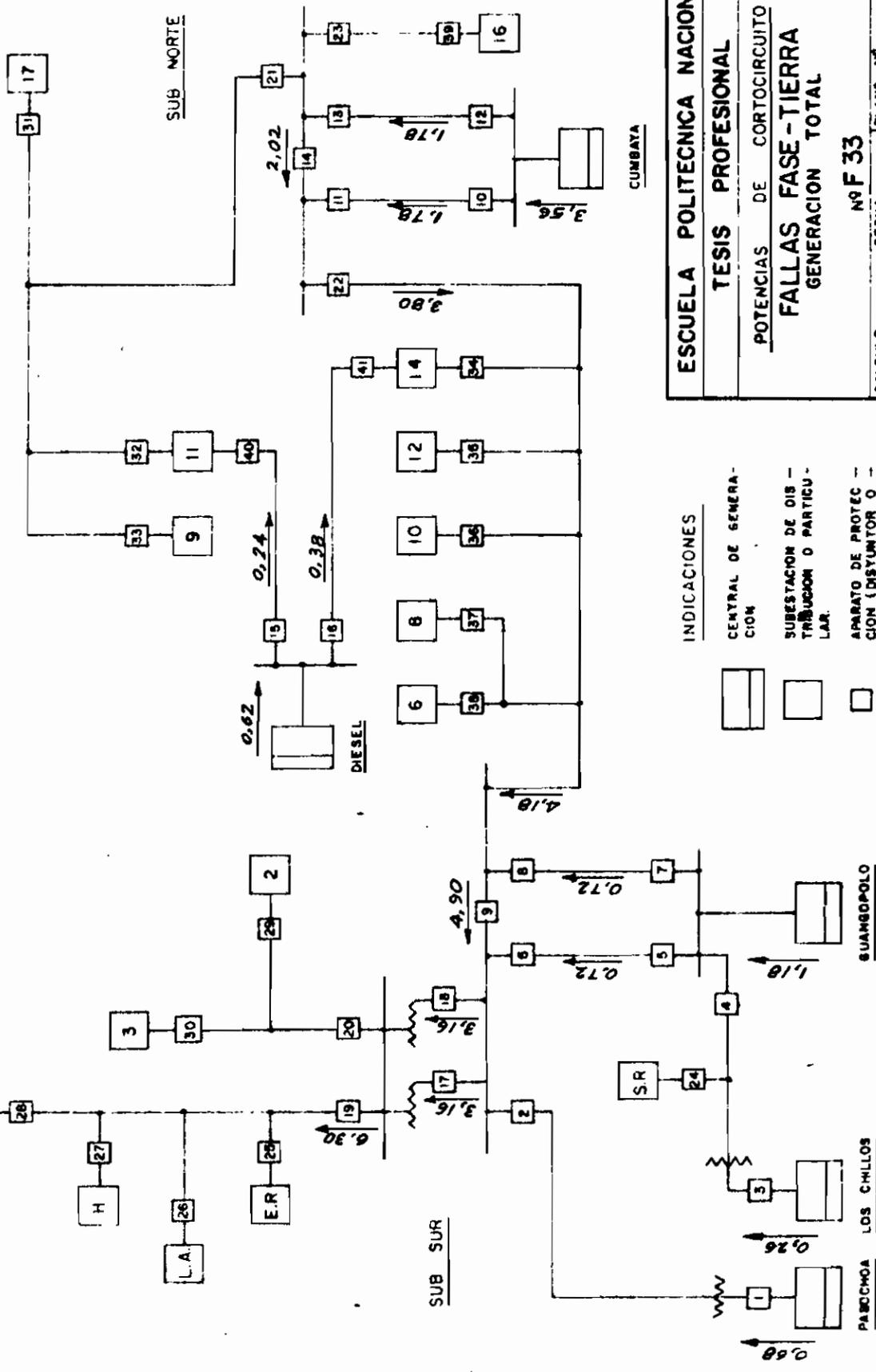
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 NRF32
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR - 87 PLANO Nº PC - 07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 48

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 VALORES EN MVA

$\frac{F32}{14,28} \times H$

X F 33
S. 46



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE OIB - TRUBACION O PARTICU-LAR.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F 33

CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº	PC - 07
G. S.	FEB - MAR - 67		
REVISION:	FECHA:	HOJA	Nº 49

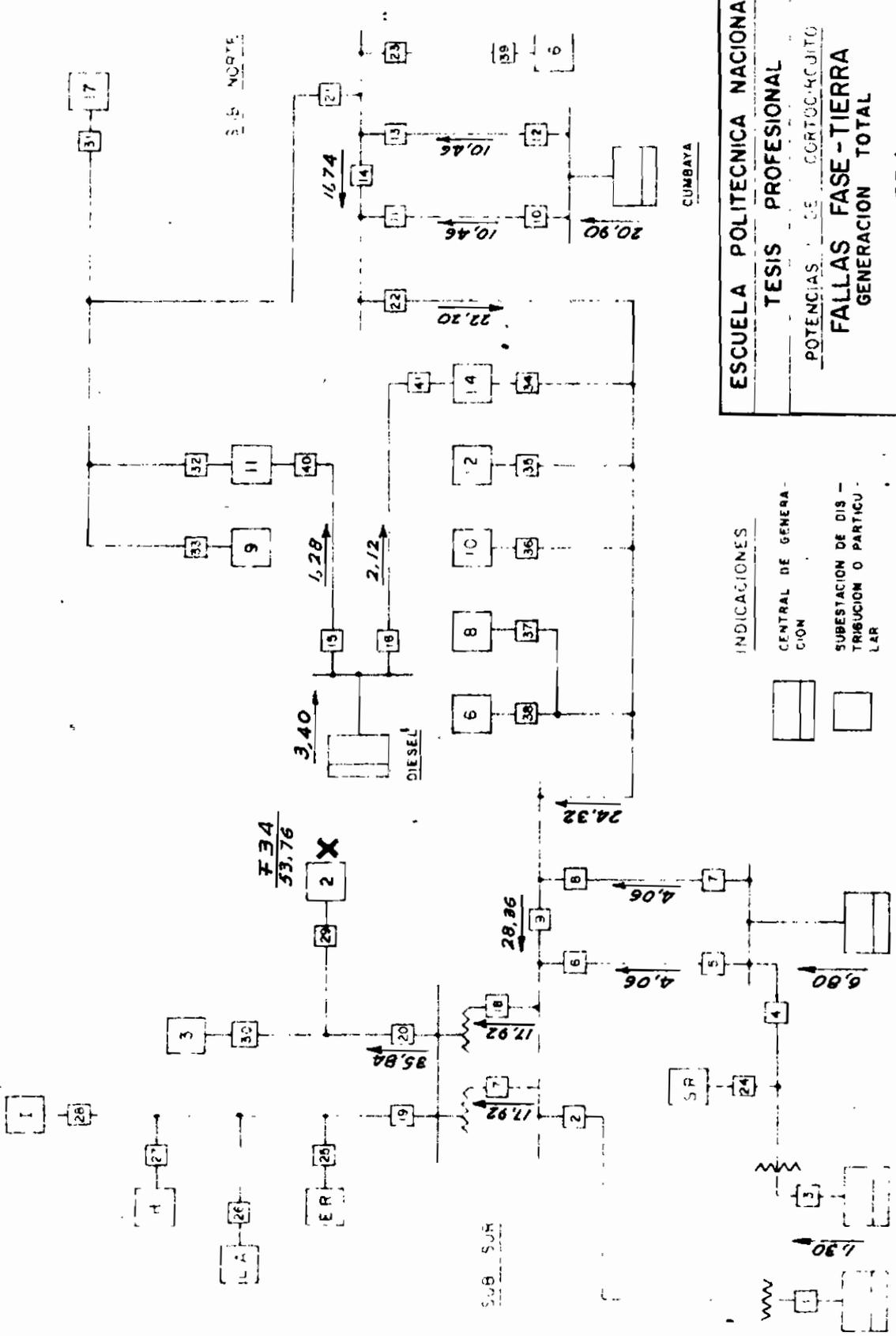
PARCCHOA LOS CHILLOS

SUANGPOLO

CUMBAYA

SUB NORTE

SUB SUR



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
 FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F34
 FECHA FEB-MAR-67
 FOLIO Nº PC-07

CALCULO G.S.
 REVISION

HOJA Nº 50

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION

SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULARES

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA

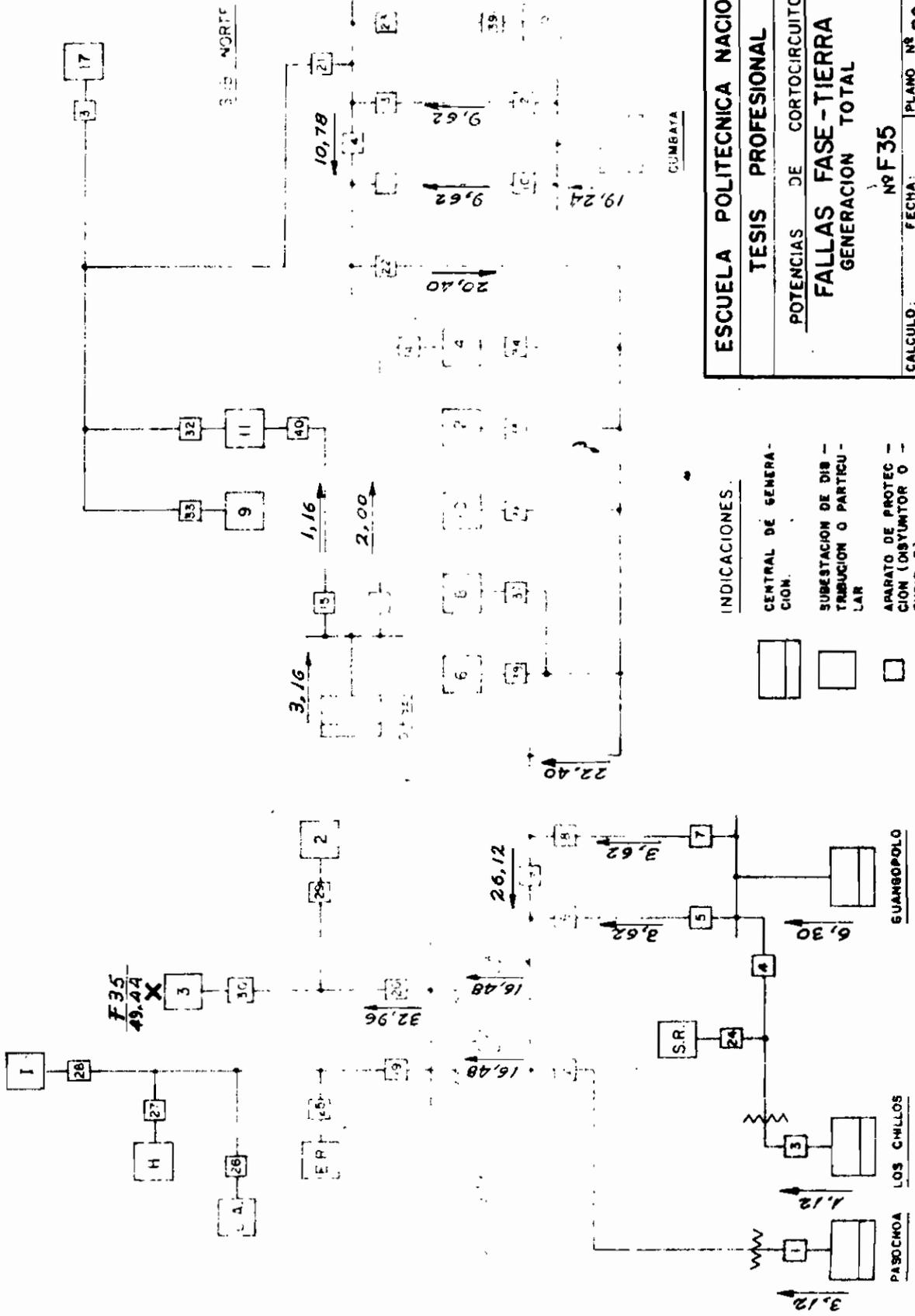
SR

24

3.42

1.30

LOS CHILAN



GUMBATA

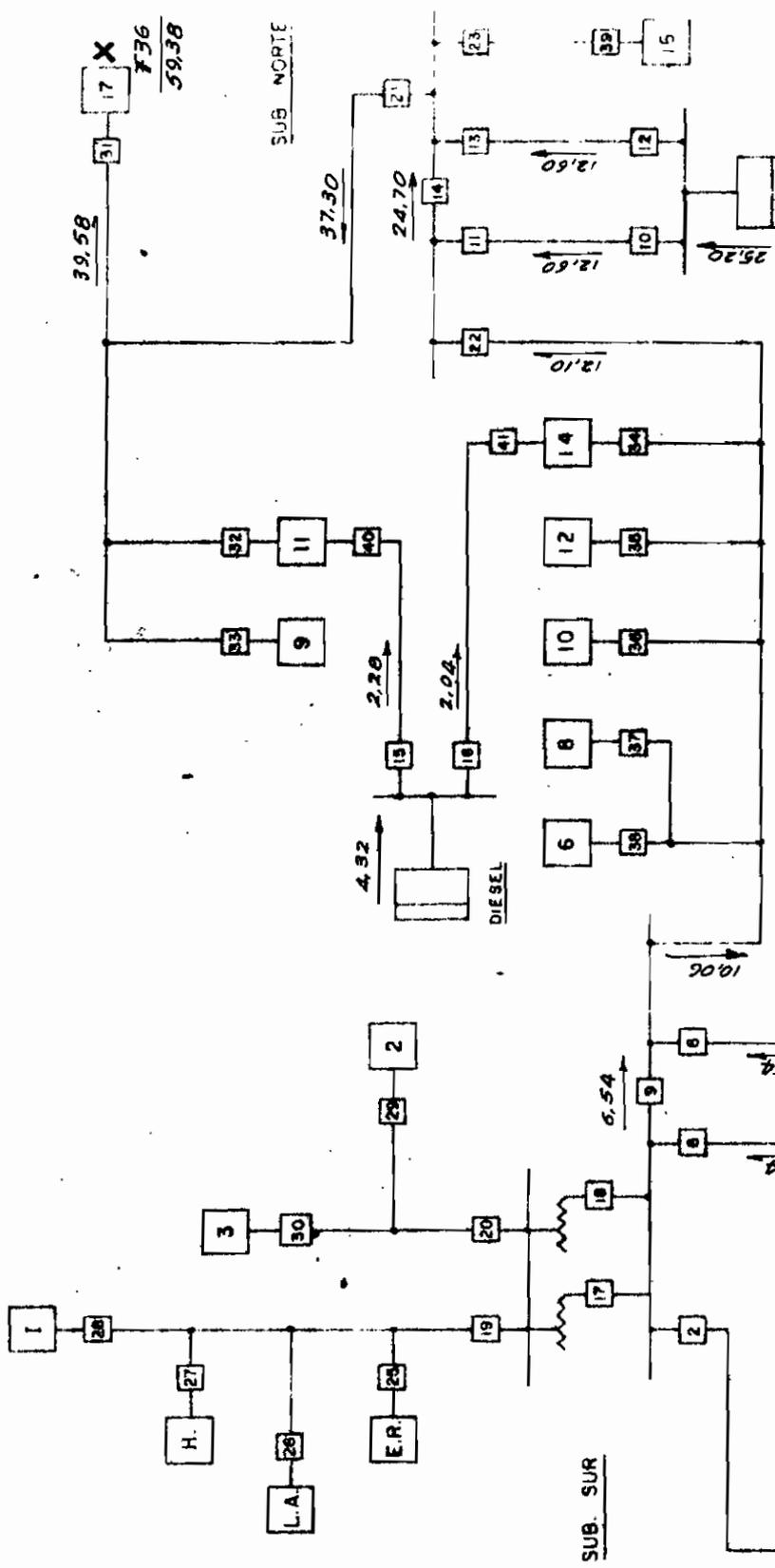
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F35	
CALCULO: G. S.	FECHA: FEB - MAR-87
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-07
	HOJA Nº 51

INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA

GUANGOPOLO

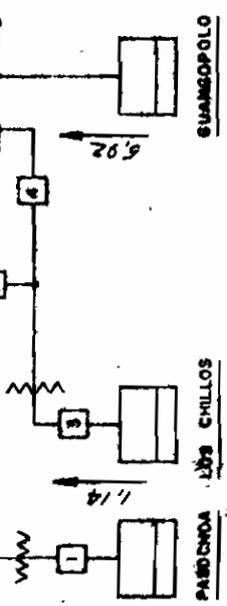
PASOCHOA LOS CHILLOS



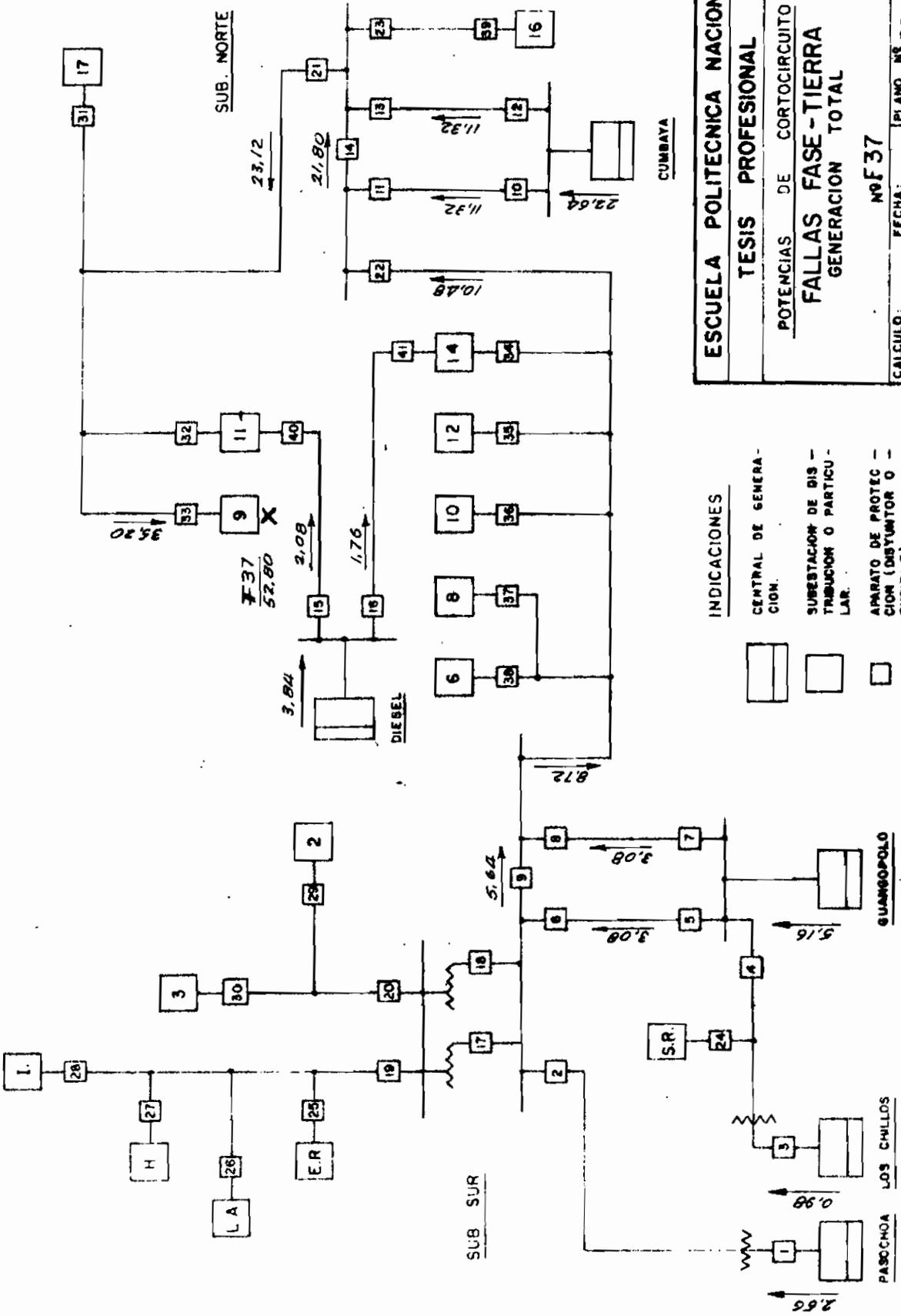
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 NºF36
 CALCULO: G. S. FECHA: FEB - MAR-67 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 52

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PROTECCION
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

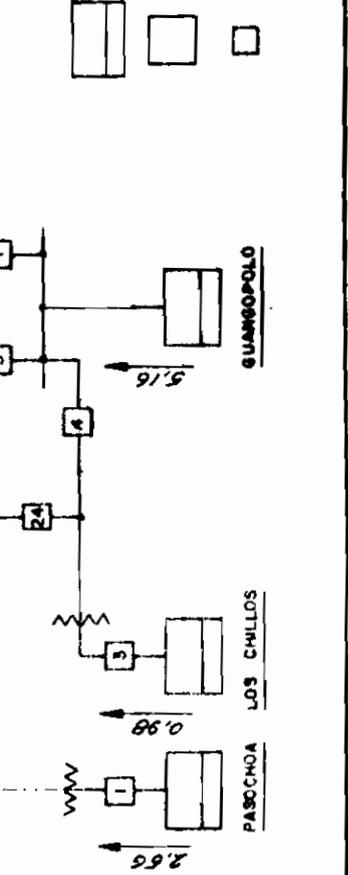


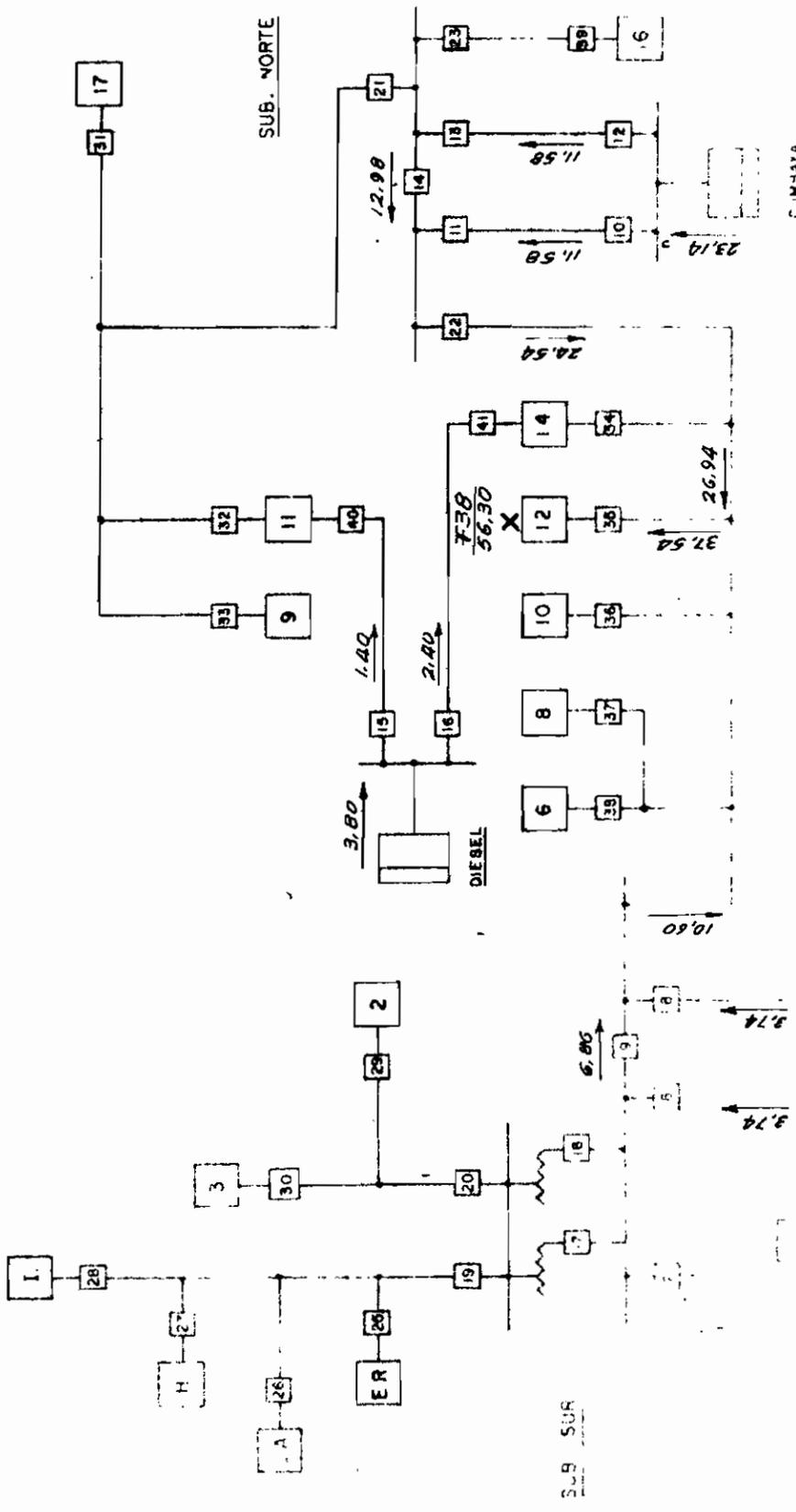
PARRONDA Llave Chillos



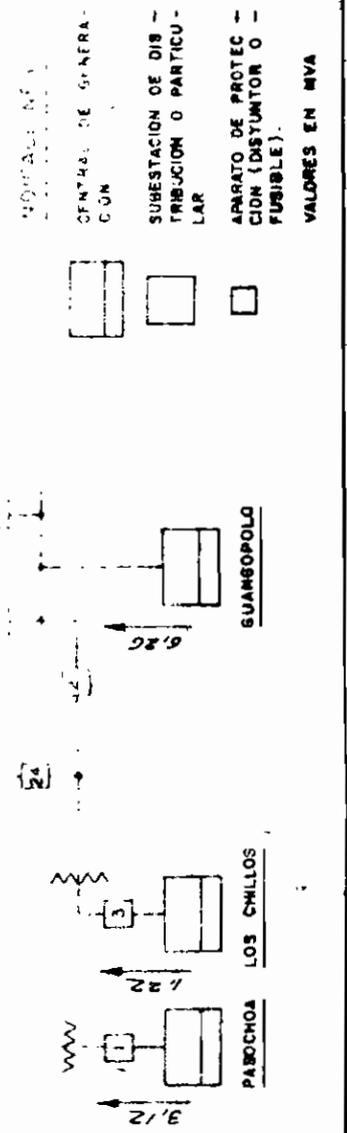
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
 Nº F37
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB-MAR-67 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 53

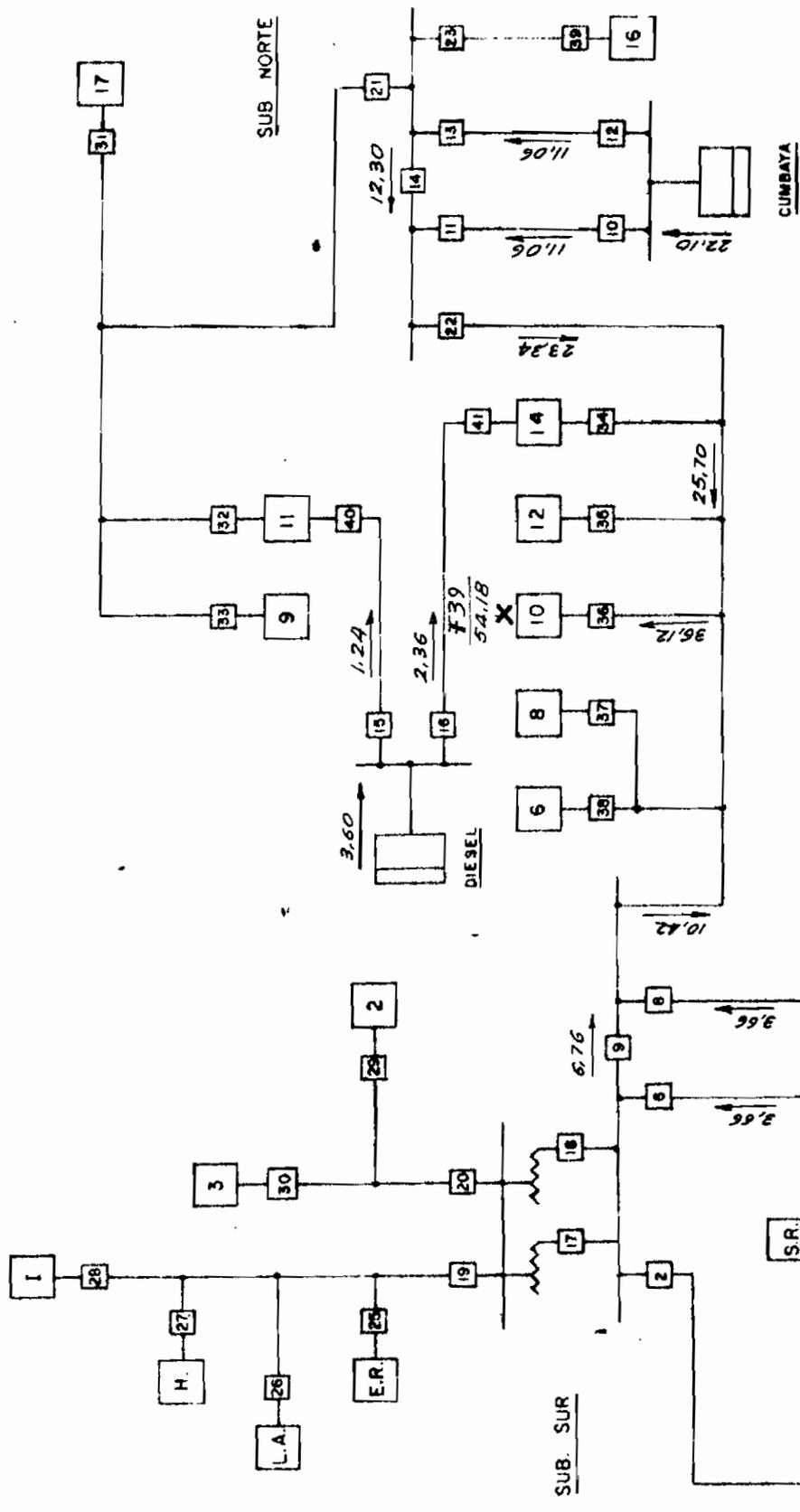
INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION. 
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR. 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE). 
 VALORES EN MVA





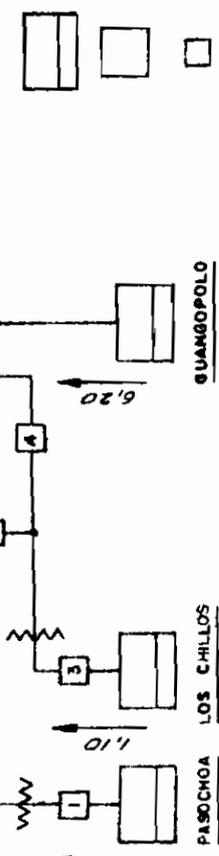
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F38	
CALCULO:	FECHA:
G.S.	FEB--MAR-67
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-07
	HOJA Nº 54

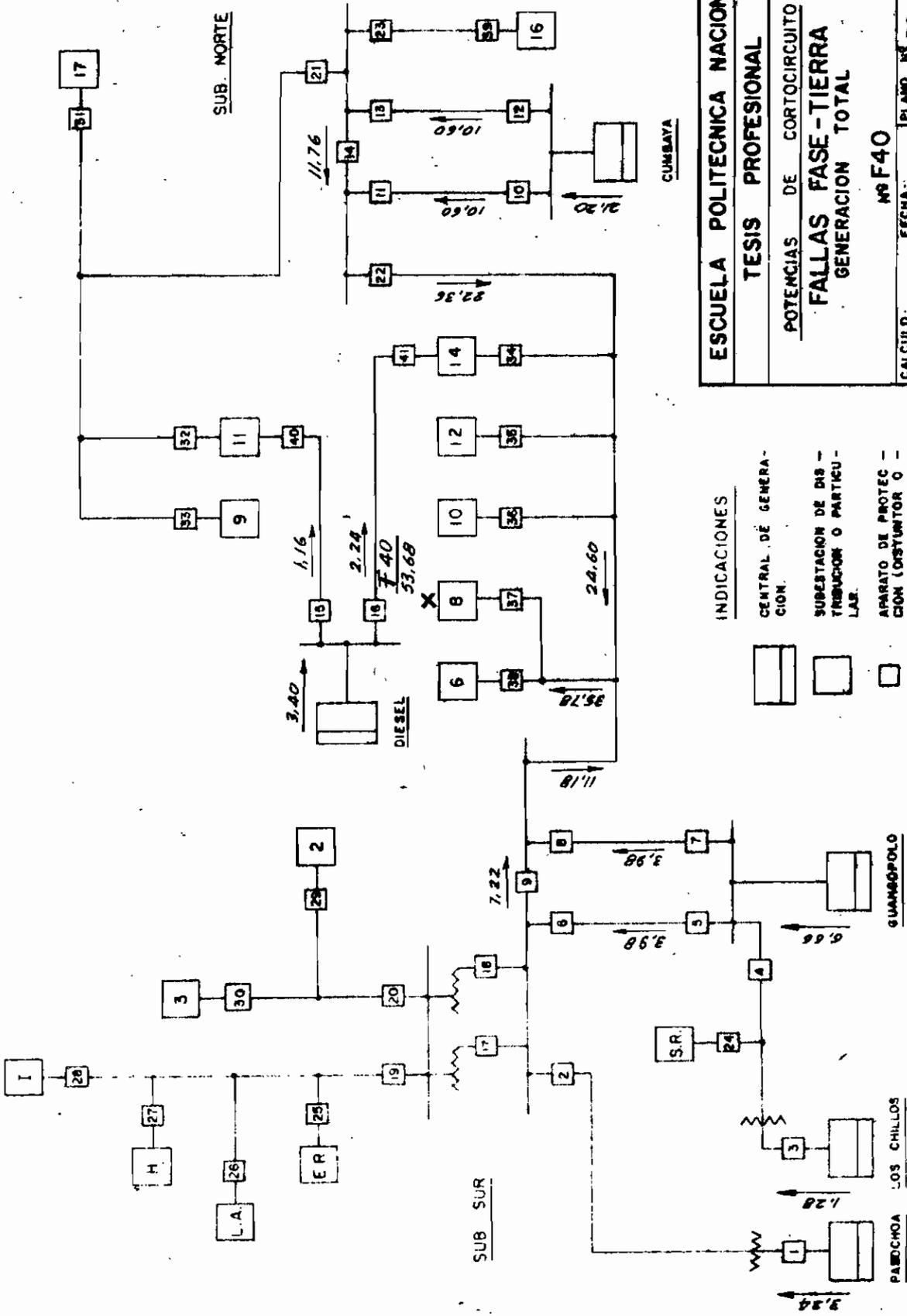




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
NºF39
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR-87 PLANO Nº PC-07
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 55

- INDICACIONES:
- CENTRAL DE GENERACION.
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAN.
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 - VALORES EN MVA



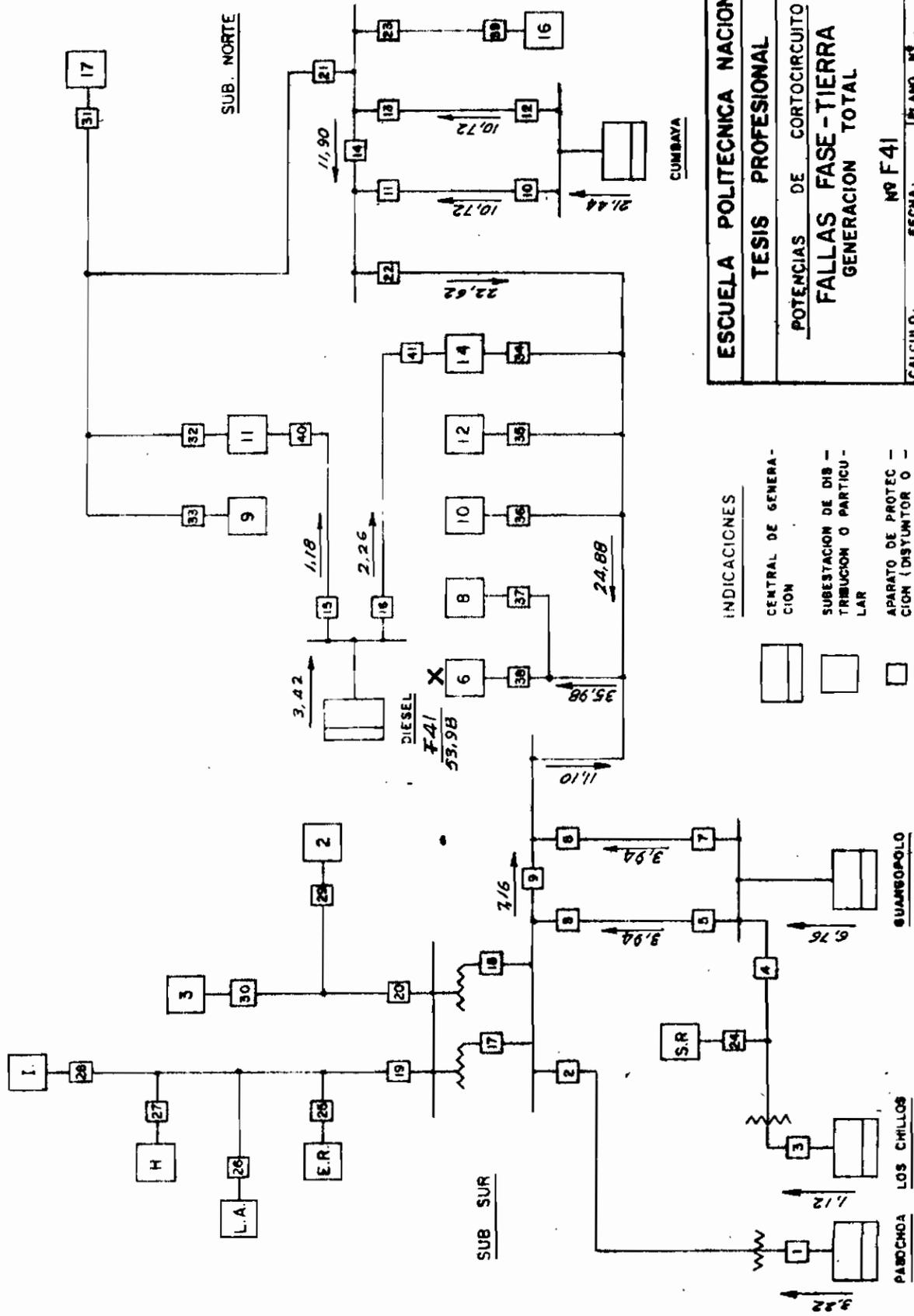


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL
Nº F40
 CALCULO: G.S. FECHA: FEB - MAR - 67
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 56

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULARES
 APARATO DE PROTECCION (CORTAINTERRUPTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



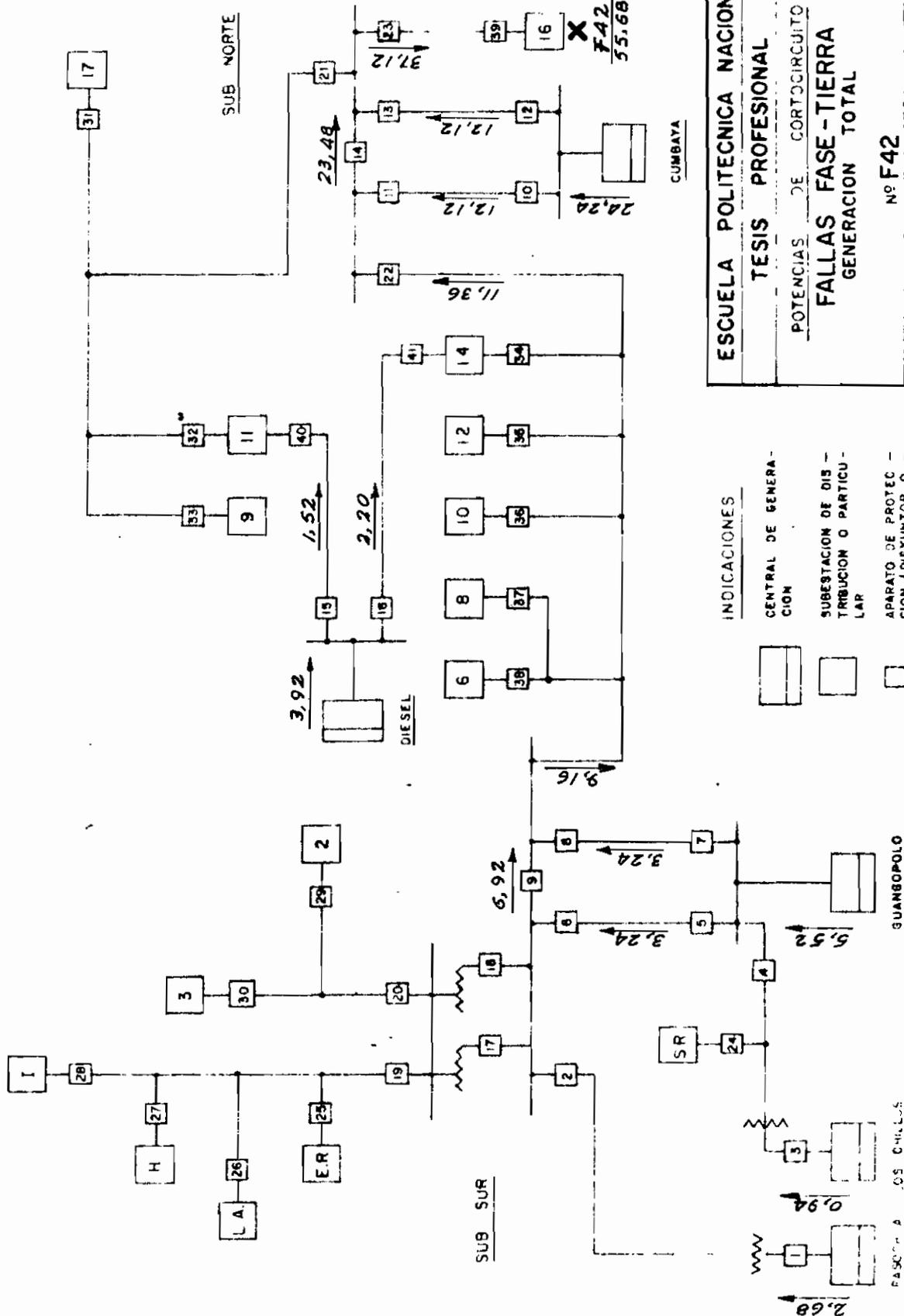
PABOCHOA LOS CHILLOS
 GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE-TIERRA	
GENERACION TOTAL	
Nº F41	
CALCULO: G. S.	PLANO Nº PC-07
REVISION:	FECHA: FEB-MAR-87
	FECHA: HOJA Nº 57

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
 FALLAS FASE-TIERRA
 GENERACION TOTAL

Nº F42
 PLANO Nº PC-07
 HOJA Nº 58

FECHA FEB-MAR-67
 FECHA
 CALCULO G.S.
 REVISION

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA
- VALORES EN MW

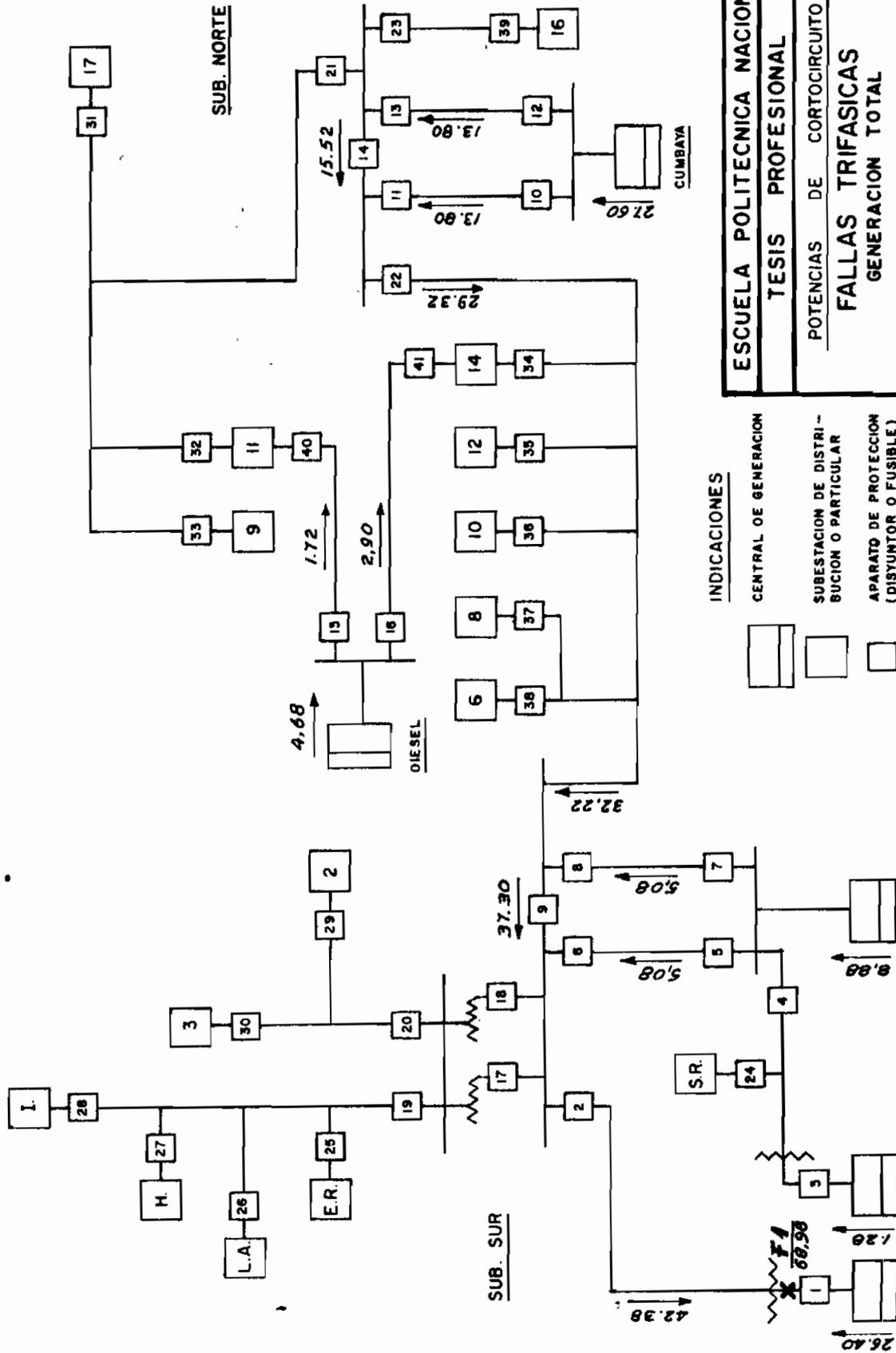
GUANGUPOLO

5.3. FALLAS TRIFASICAS. GENERACION TOTAL

En el caso de las fallas trifásicas el cálculo en el analizador, según ya se dijo en 5. 1, se efectúa con sólo el circuito de secuencia positiva, pues este tipo de fallas no introduce asimetría. Así pues, nos servimos del plano No. PC-04 correspondiente al diagrama monofásico de reactancias de secuencia positiva, y del circuito respectivo preparado en el analizador.

Para el estudio de cada una de las fallas indicadas en el plano se cierra el circuito a través del sistema de secuencia positiva, comprendida la parte entre la barra de alimentación a los generadores y el punto en el cual se considera la falla. Es decir que a este llegamos con el terminal negativo de la fuente de corriente directa del analizador, sin incluir los circuitos de secuencias negativa y cero (ver fig. 2.22).

Las lecturas efectuadas en el amperímetro del analizador son los valores de las potencias de cortocircuito en p. u. en cualesquiera de las partes del sistema y en cualesquiera de las fallas F1 a F42. Para obtener los valores en MVA basta multiplicar las lecturas por 20.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

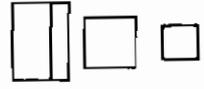
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F 1

CALCULO: G.S.	FECHA: ENE-FEB-67	PLANO Nº PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 1

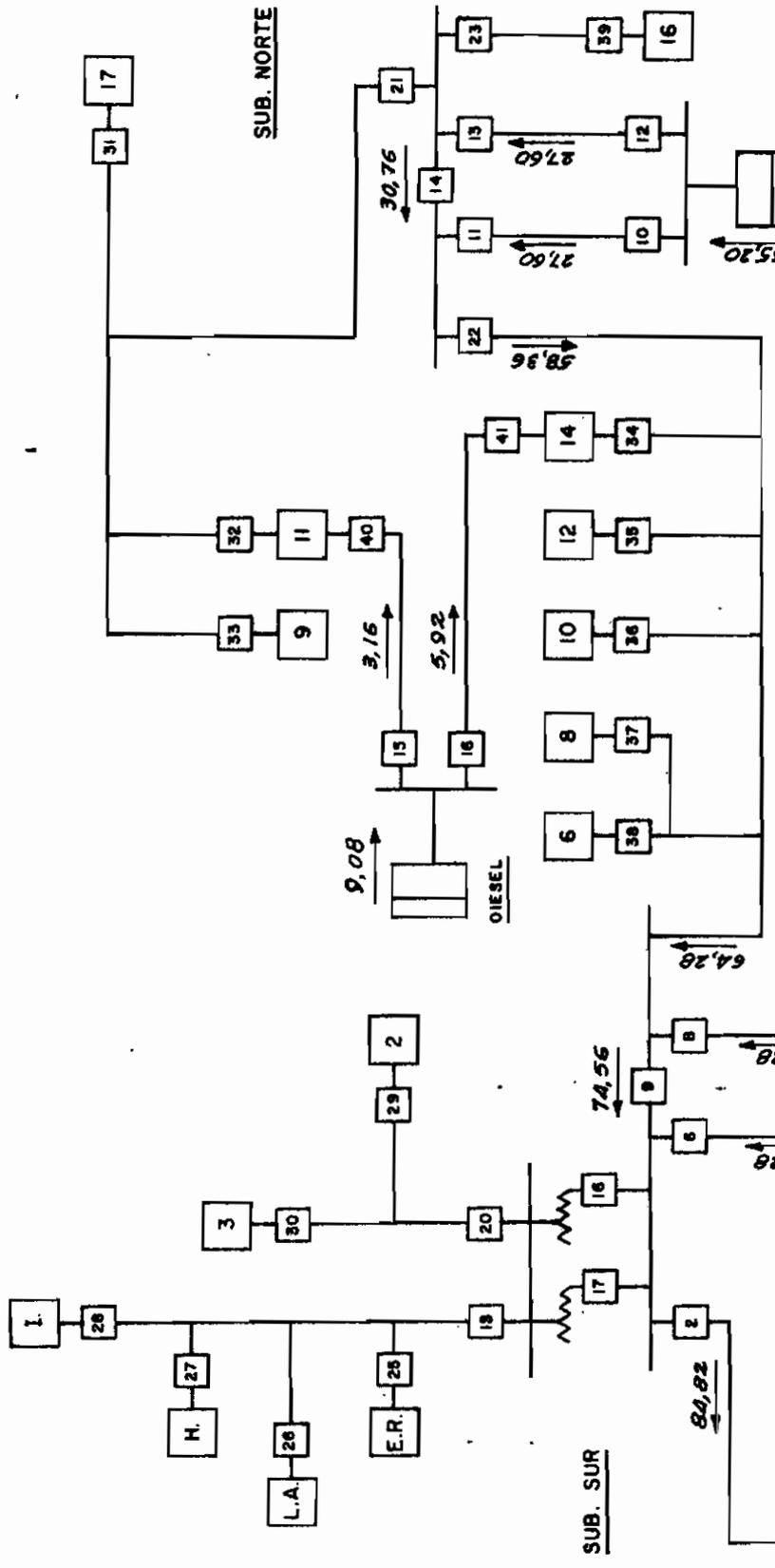
INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA



PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO



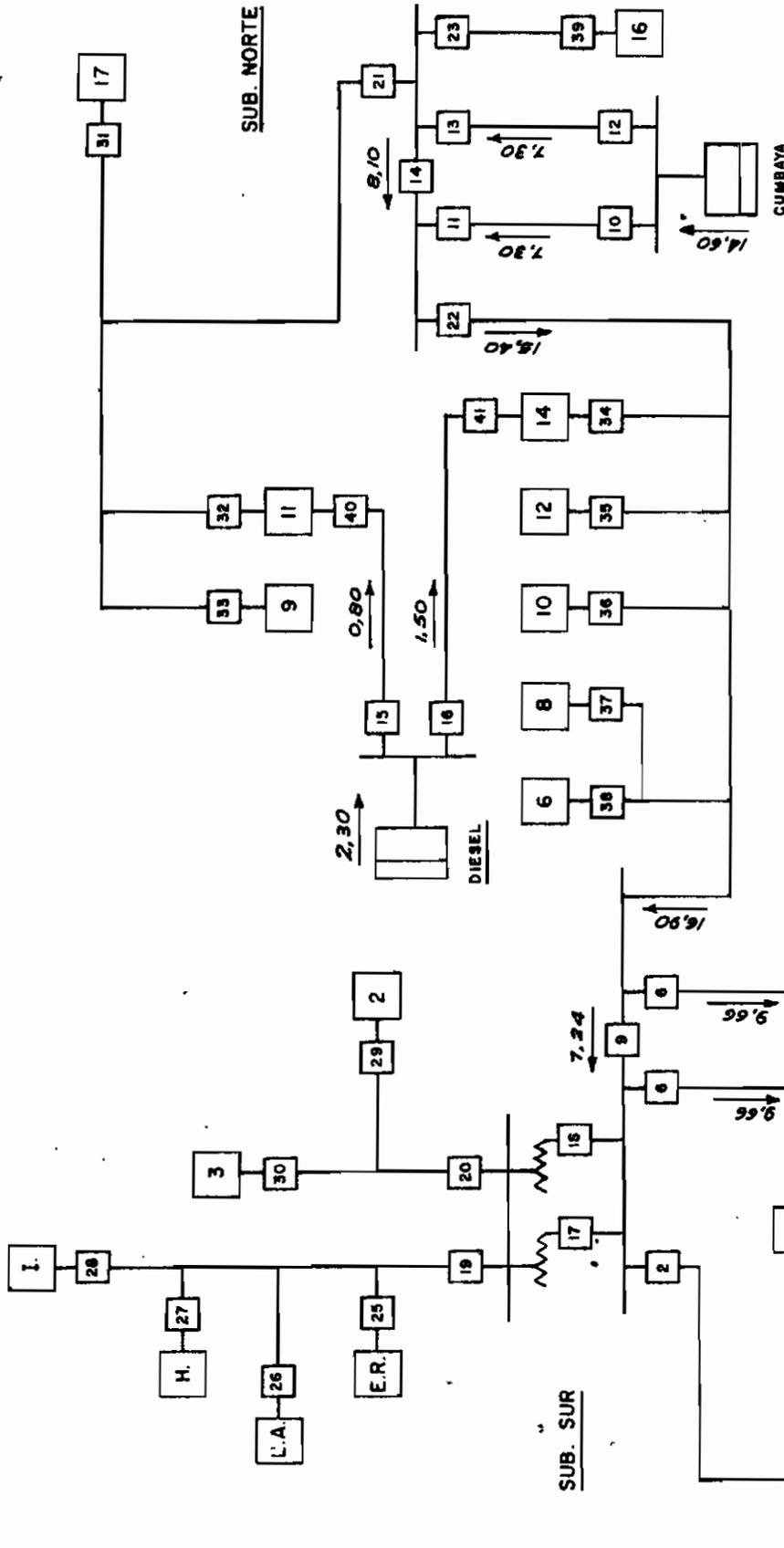
INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
 N° F 1'

CALCULO: G.S.	FECHA: ENE-FEB-67	PLANO N° PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA N° 2



INDICACIONES

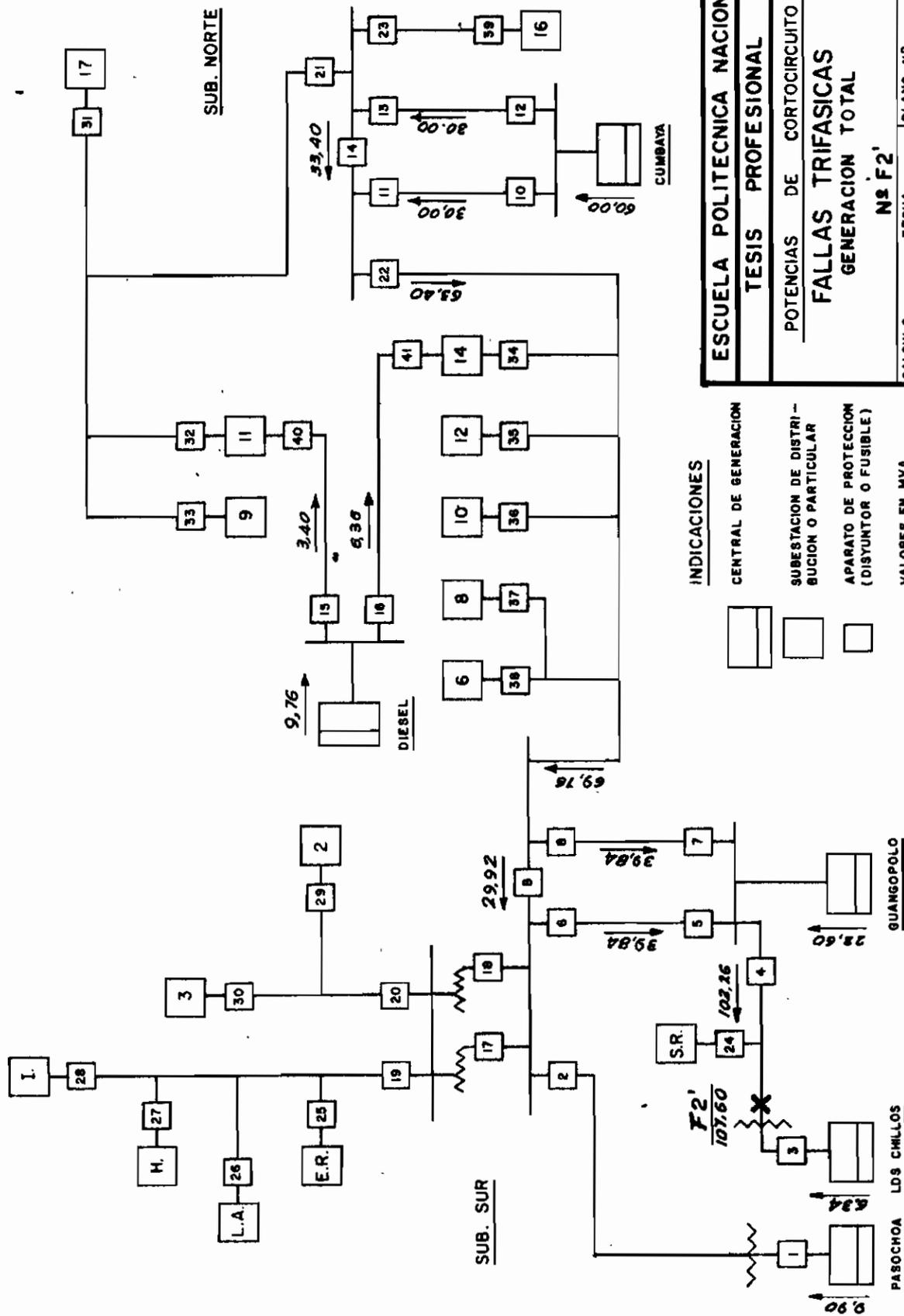
-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS TRIFASICAS	
GENERACION TOTAL	
Nº F2	
CALCULO: G. S.	FECHA: ENE-FEB-67
REVISION:	FECHA:
PLANO Nº	PC-08
HOJA Nº	3

PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

Nº F2'

CALCULO: G. S.	FECHA: ENE-FEB-67	PLANO Nº PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 4

INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION



SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR



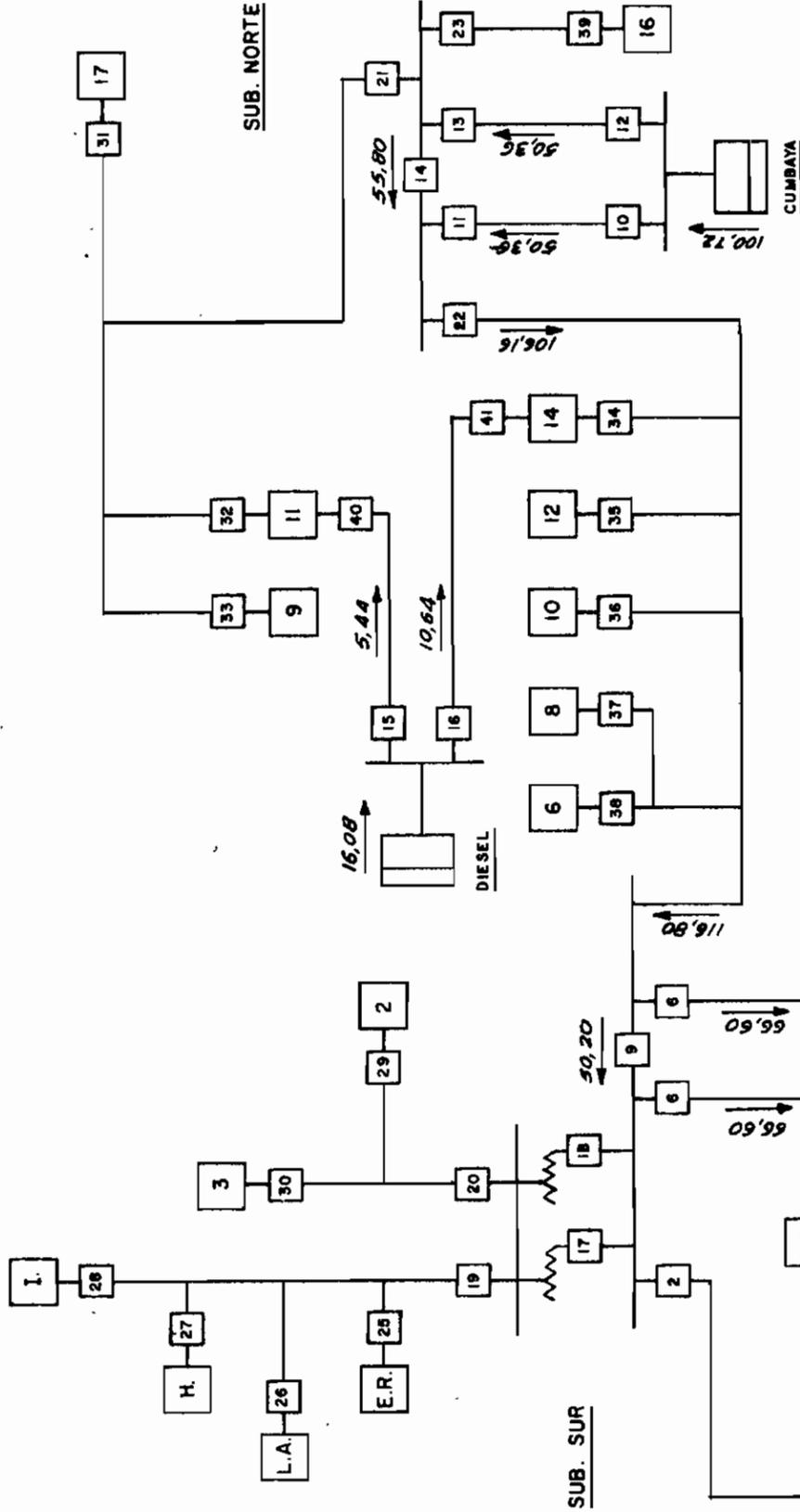
APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)



VALORES EN MVA

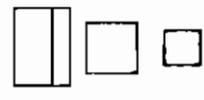
GUANGOPOLO

PASOCHOA LDS CHILLOS

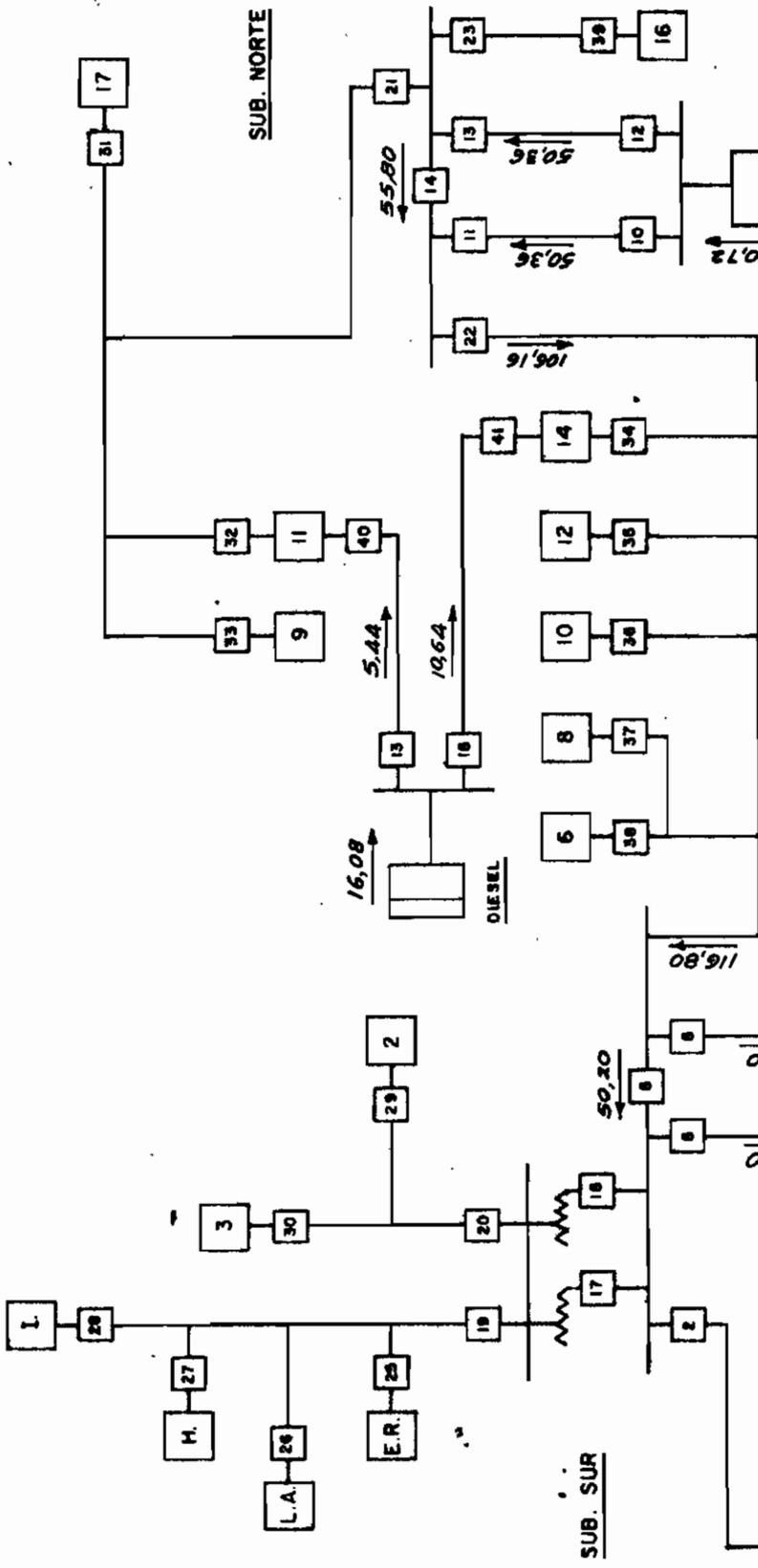


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F 30
 CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 5

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

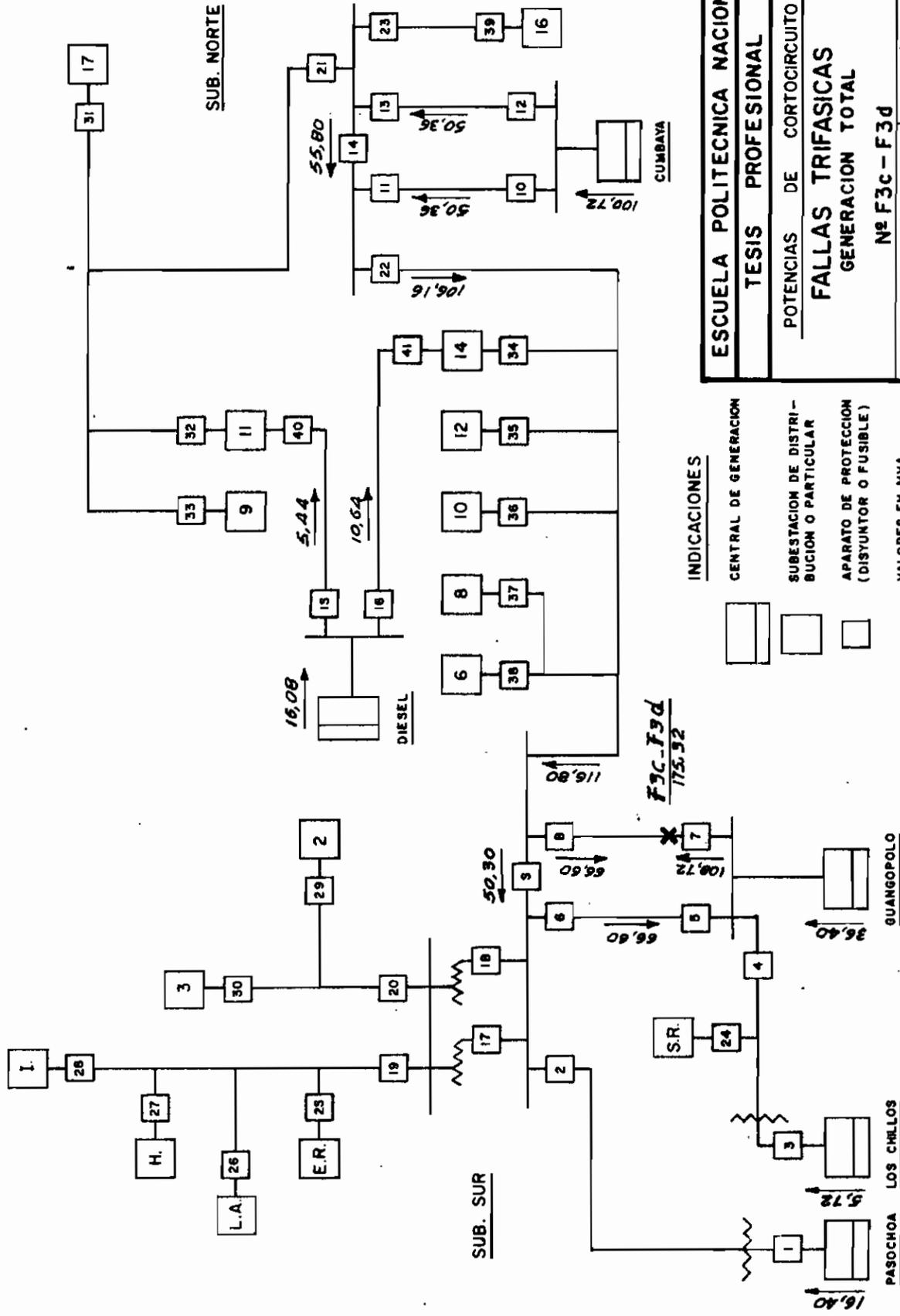
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F3b

CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº	PC-08
G.S.	ENE-FEB-87		
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº	6

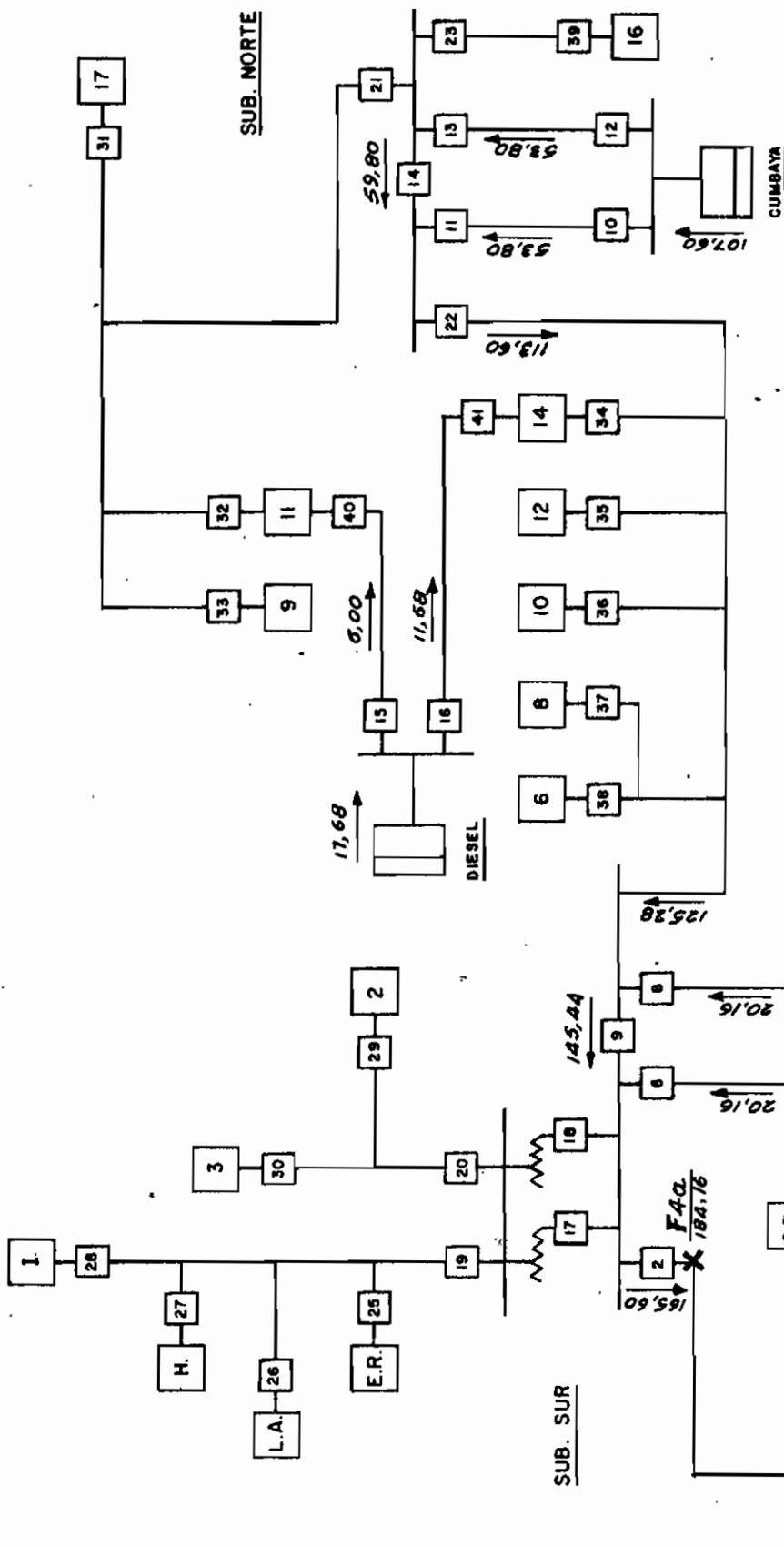


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

Nº F3C - F3d

CALCULO: G. S.
 FECHA: ENE - FEB - 67
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 7



INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

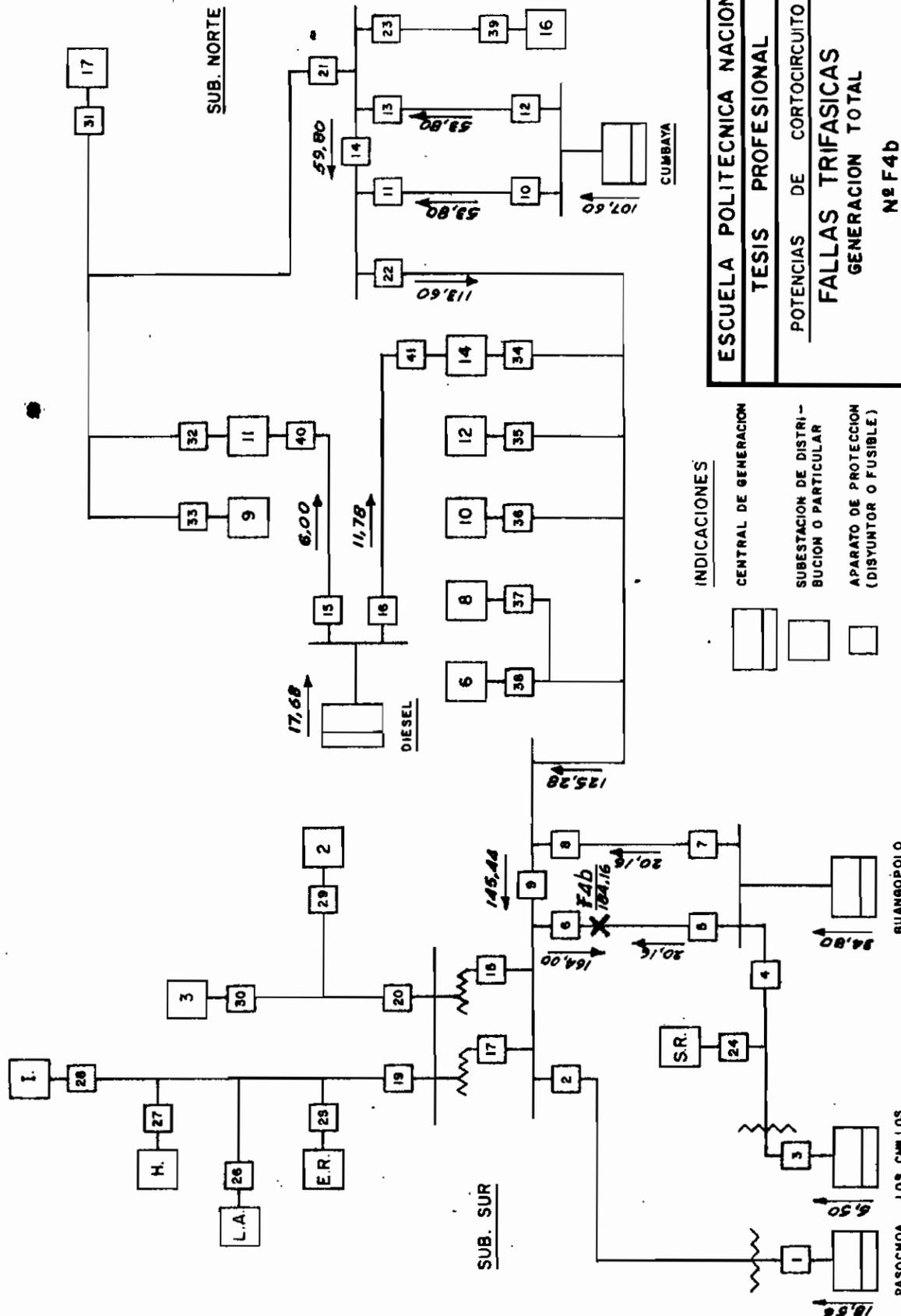
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F 40

CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 8

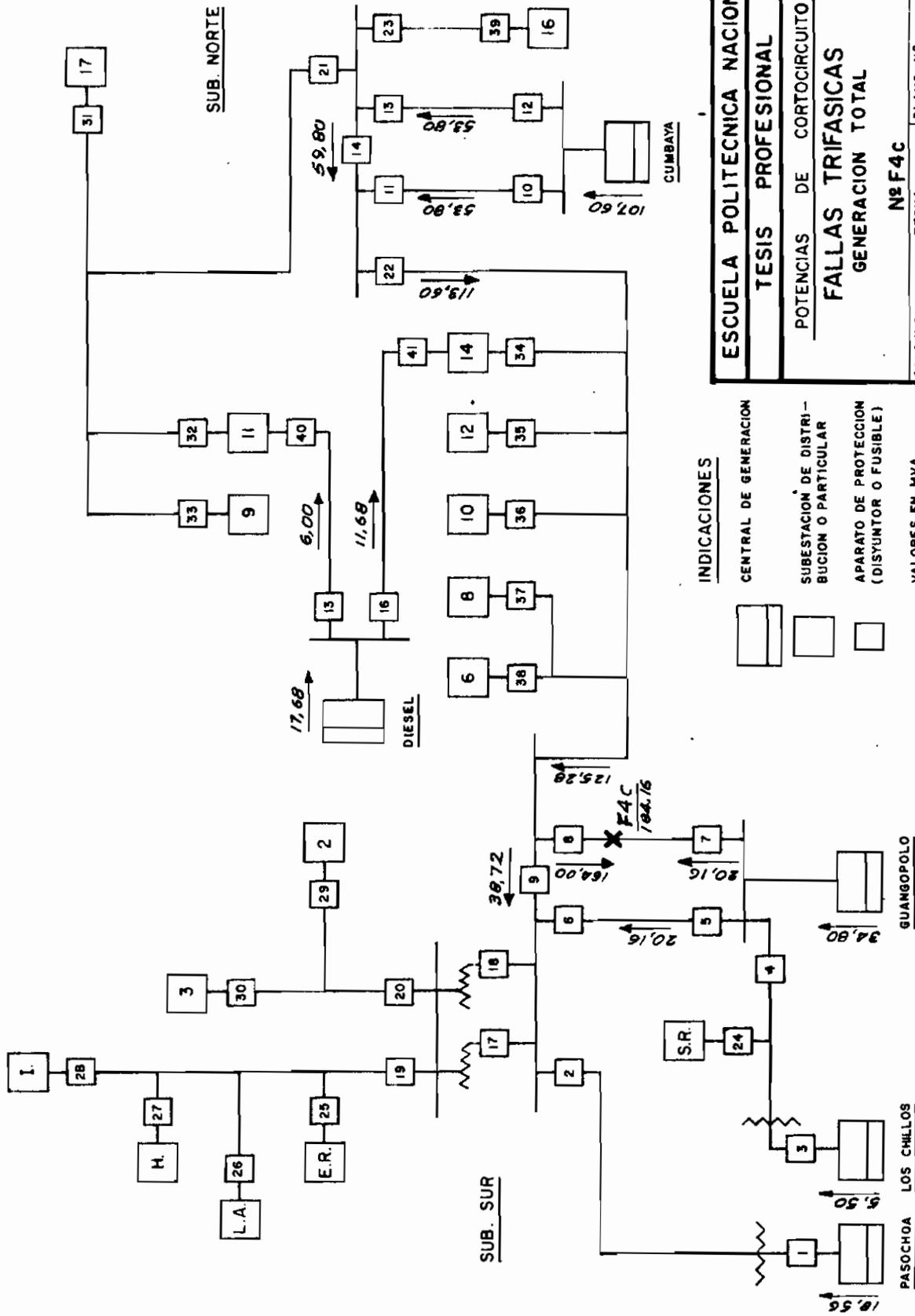
PASOCHOA LOS CHILLOS GUANSOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F4b
 CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 9

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

PASOCHOA
 LOS CHILLOS
 BUANGOPOLO



SUB. NORTE

SUB. SUR

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

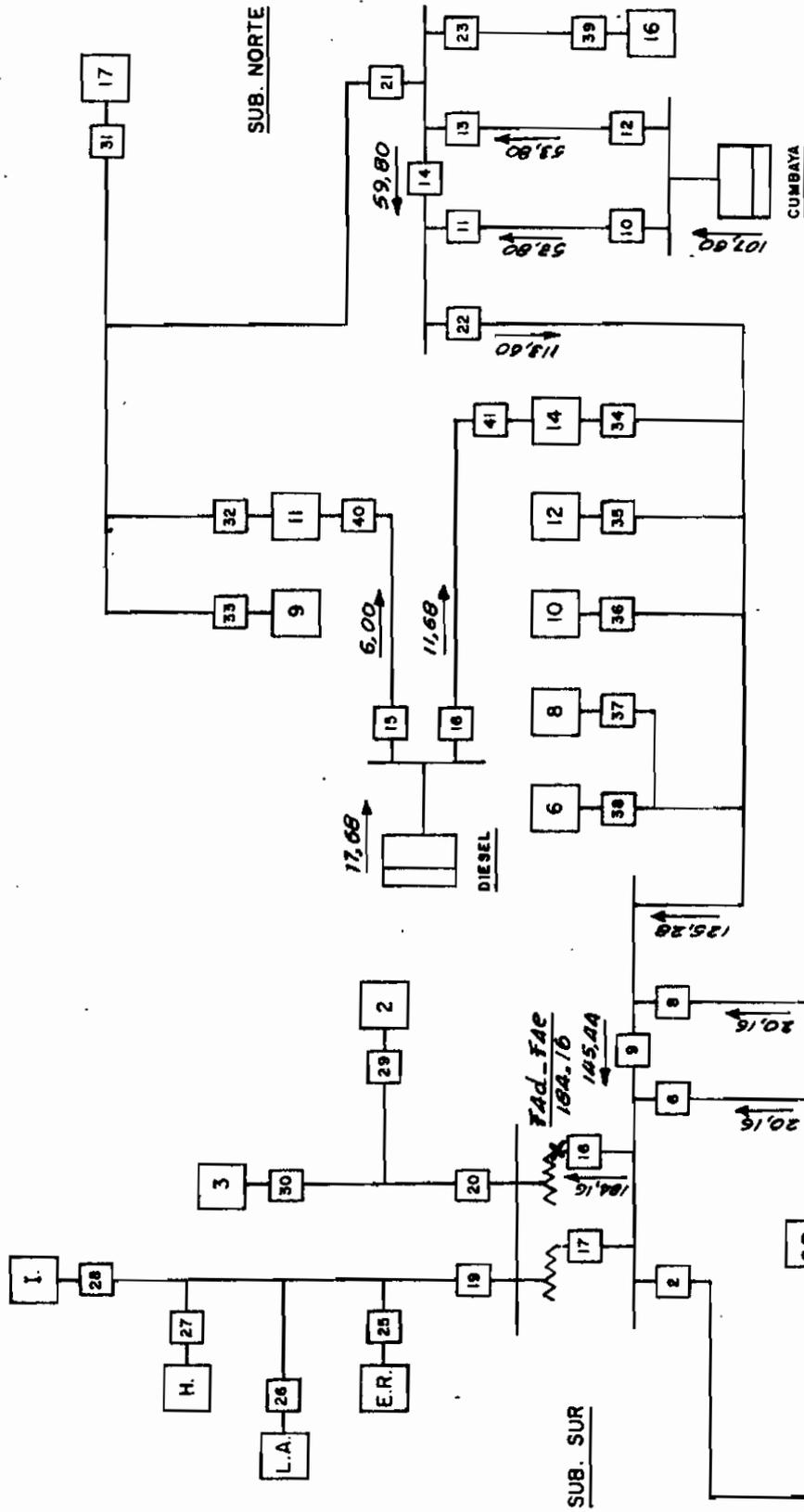
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

Nº F4C

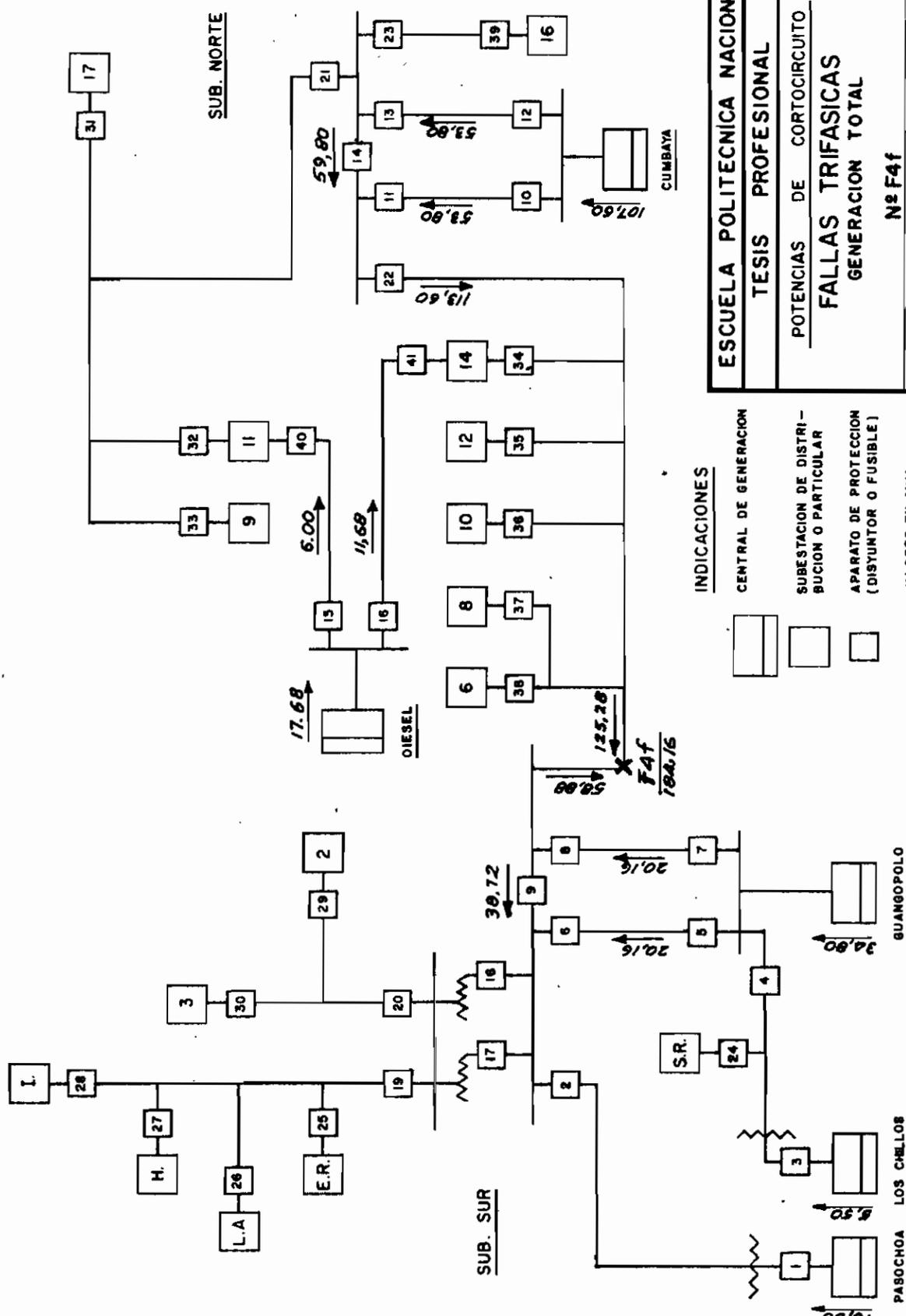
CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº
G. S.	ENE - FEB - 67	PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº
		10



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS TRIFASICAS	
GENERACION TOTAL	
Nº F4d-F4e	
CALCULO: G. S.	FECHA: ENE-FEB-87
REVISION:	PLANO Nº PC-08
	FECHA: HOJA Nº 11



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

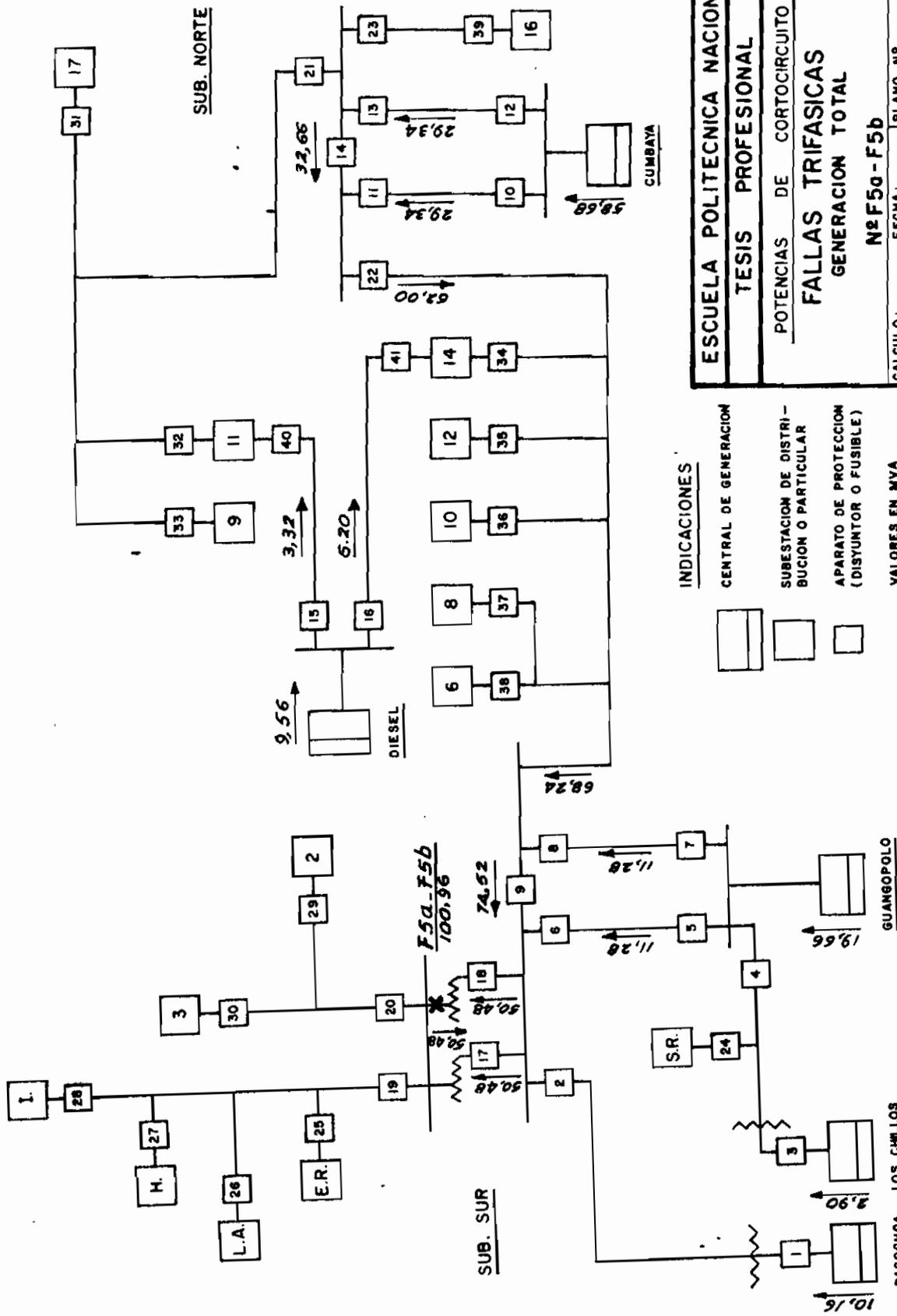
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F4f

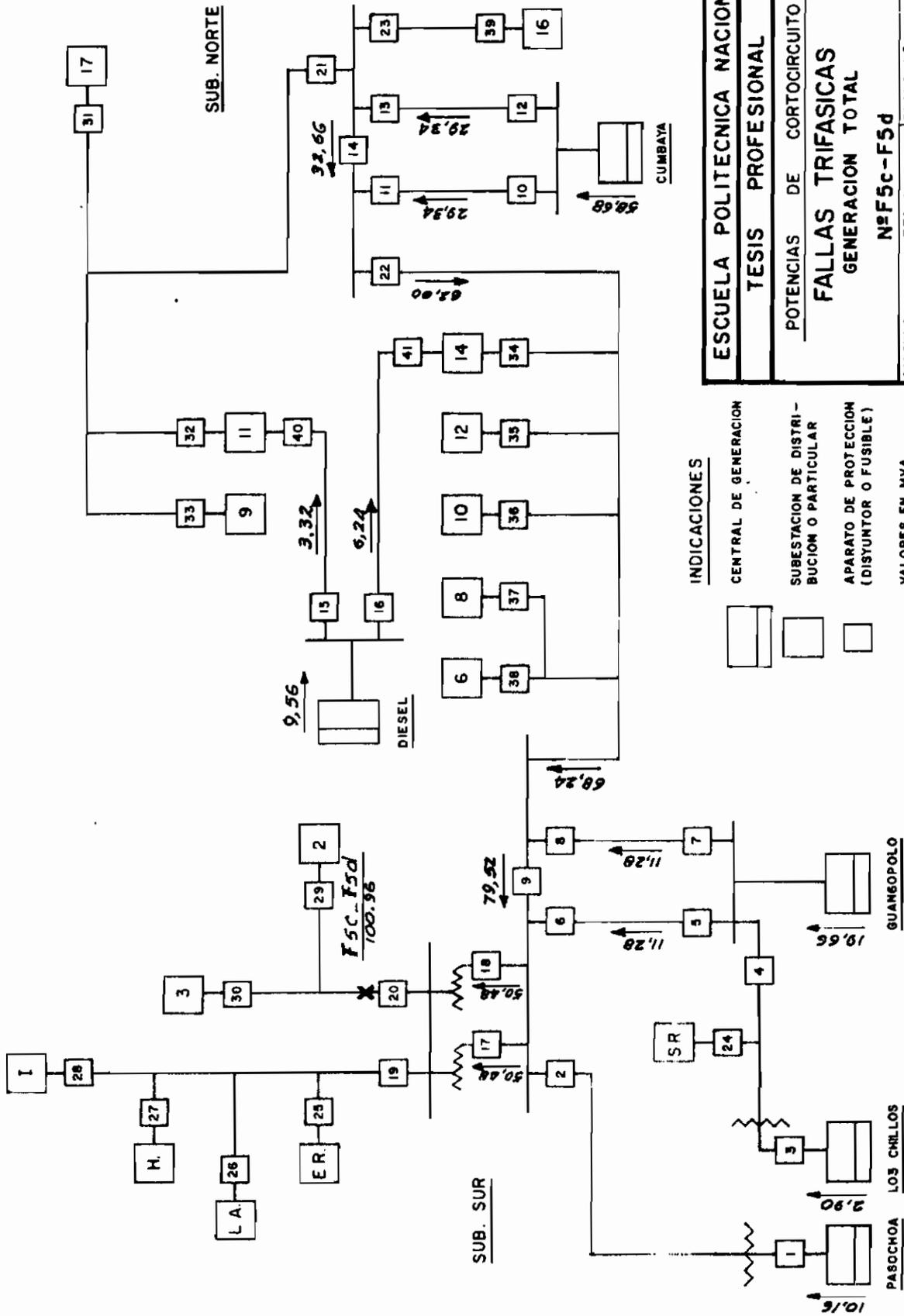
CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 12

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



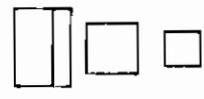
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F50-F5b
 CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 13

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

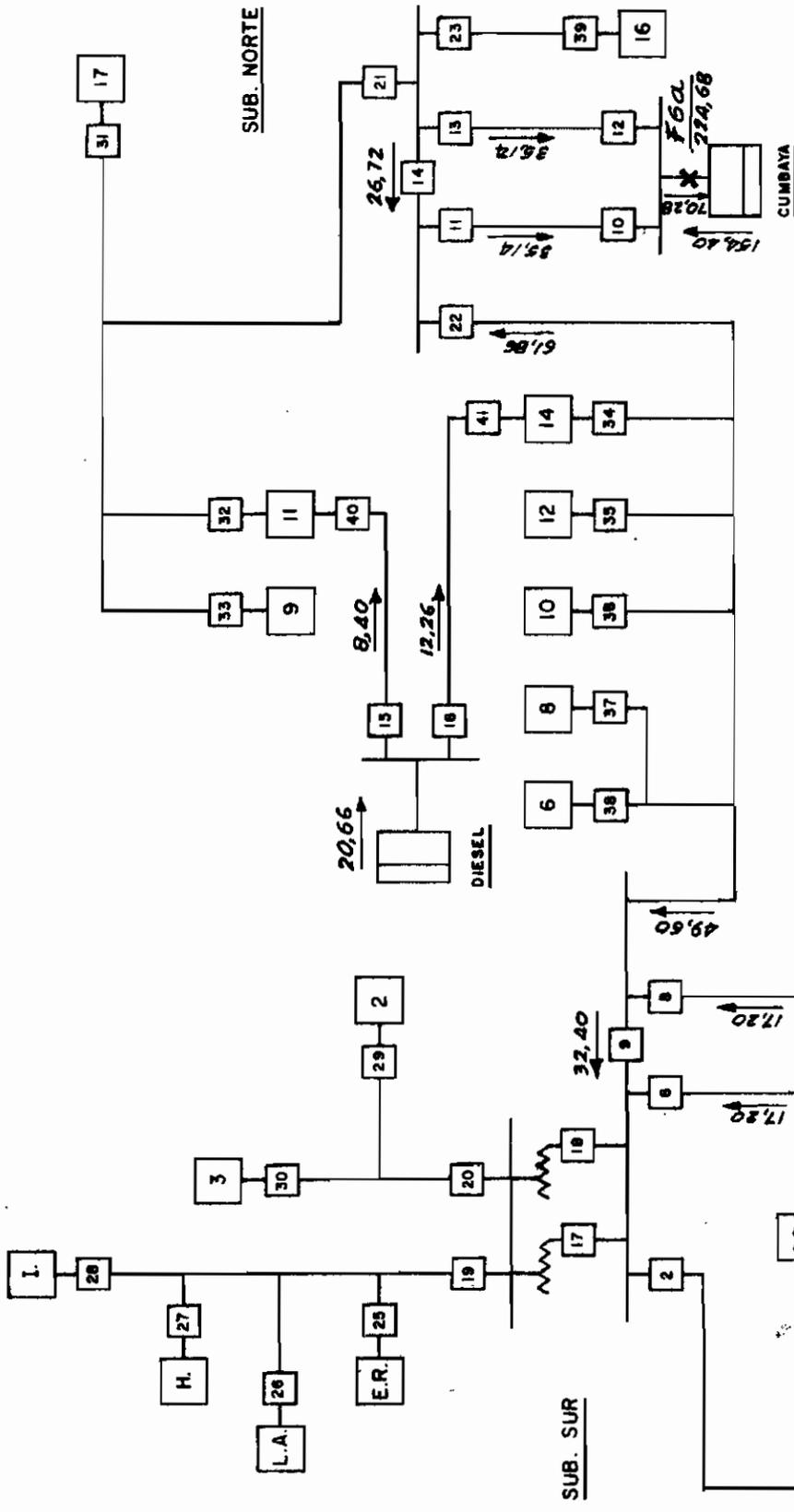


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F5c-F5d
 CALCULO: G.S.
 FECHA: ENE-FEB-67
 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 14

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRI-
 BUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION
 (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



PASOCHOA LOS CHILLOS
 GUANAGUPOLO



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

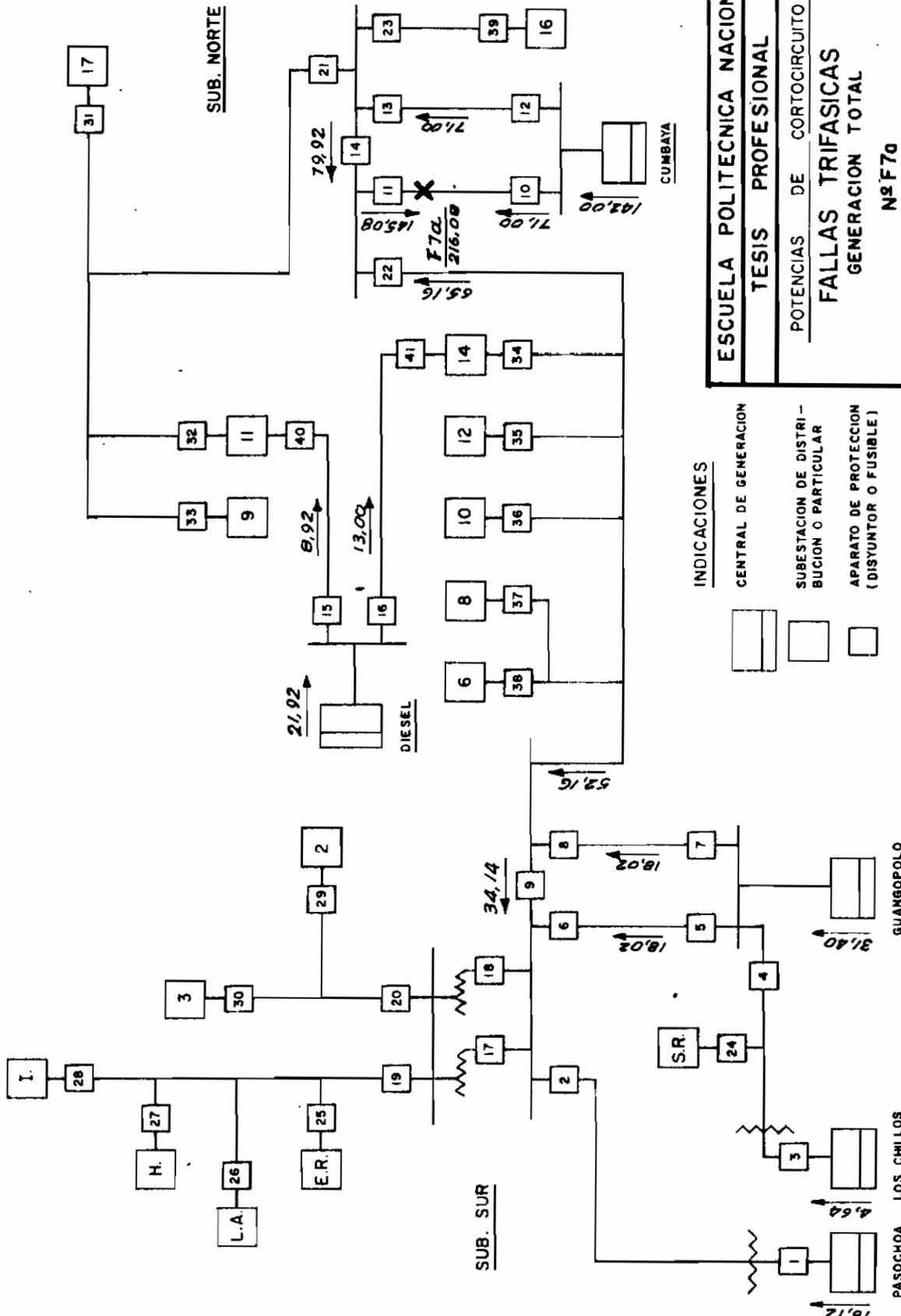
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F 60

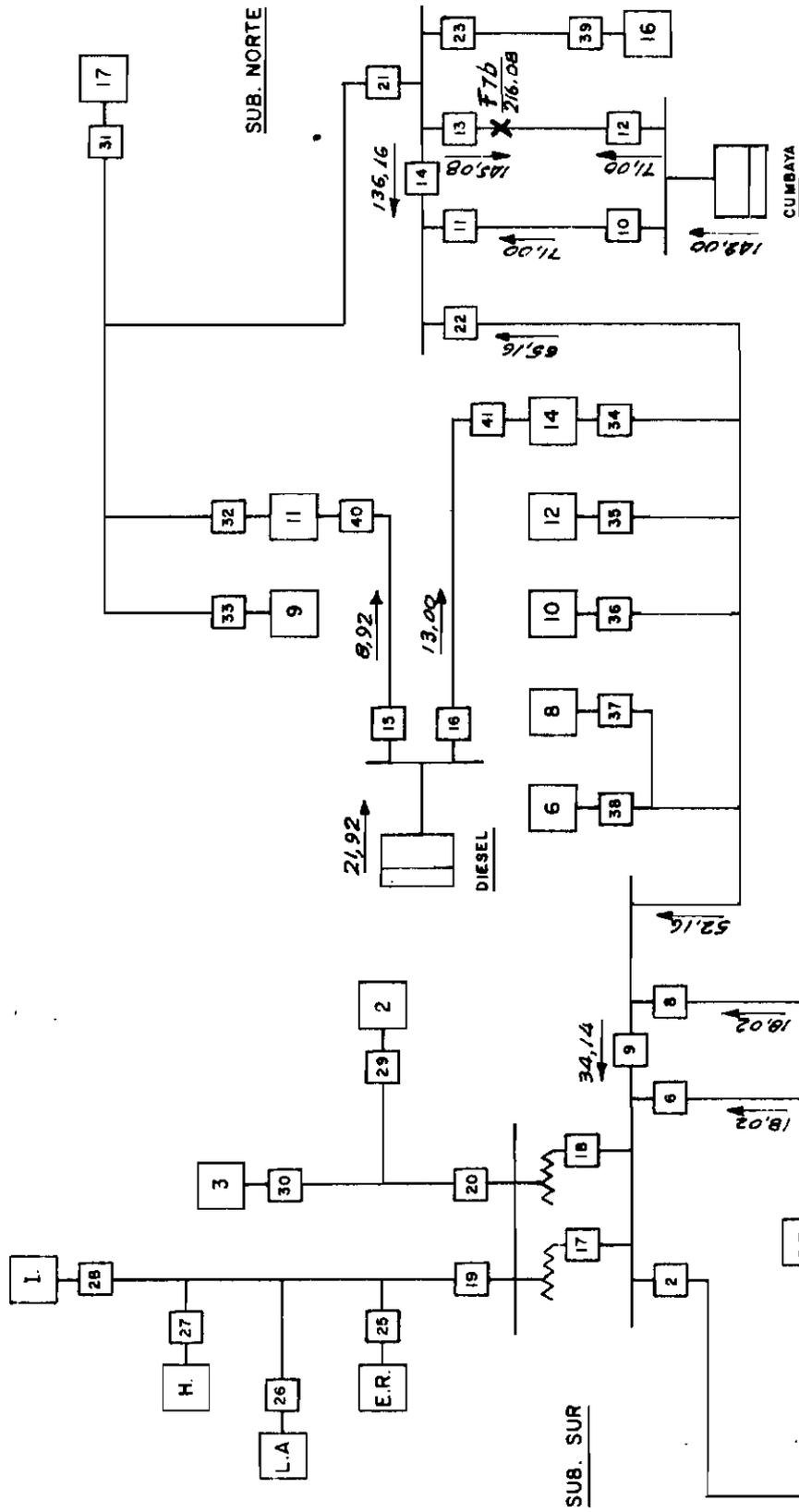
CALCULO: G. S.	PLANO Nº PC-08
FECHA: ENE-FEB-67	HOJA Nº 15
REVISION:	FECHA:



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F70
 CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 17

INDICACIONES

- 
 CENTRAL DE GENERACION
- 
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- 
 VALORES EN MVA



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS

GENERACION TOTAL

Nº F7b

CALCULO G. S. FECHA ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08

REVISION: FECHA: HOJA Nº 18

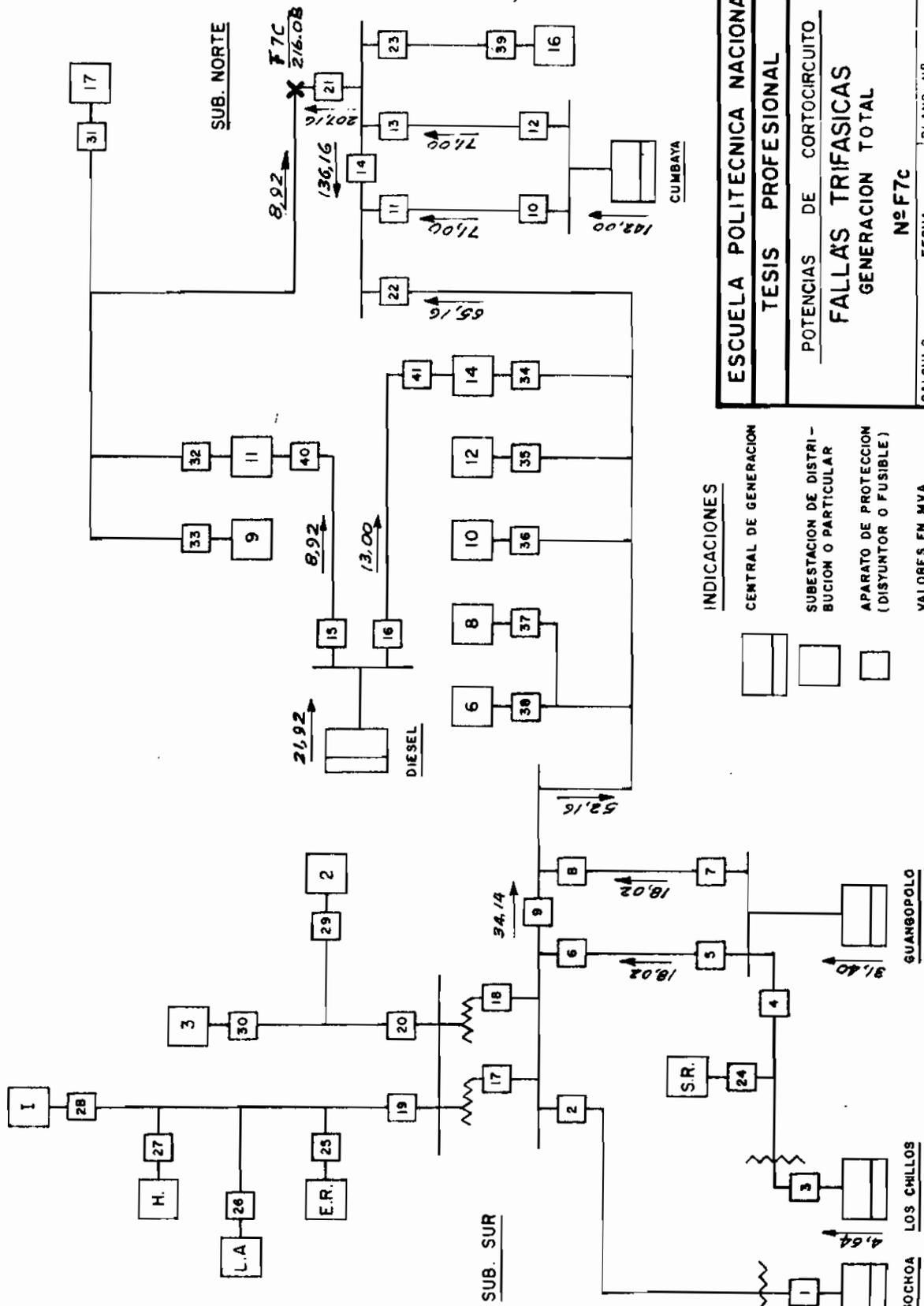
PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLLO

CUMBAYA

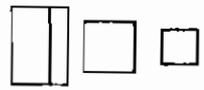
SUB. NORTE

SUB. SUR

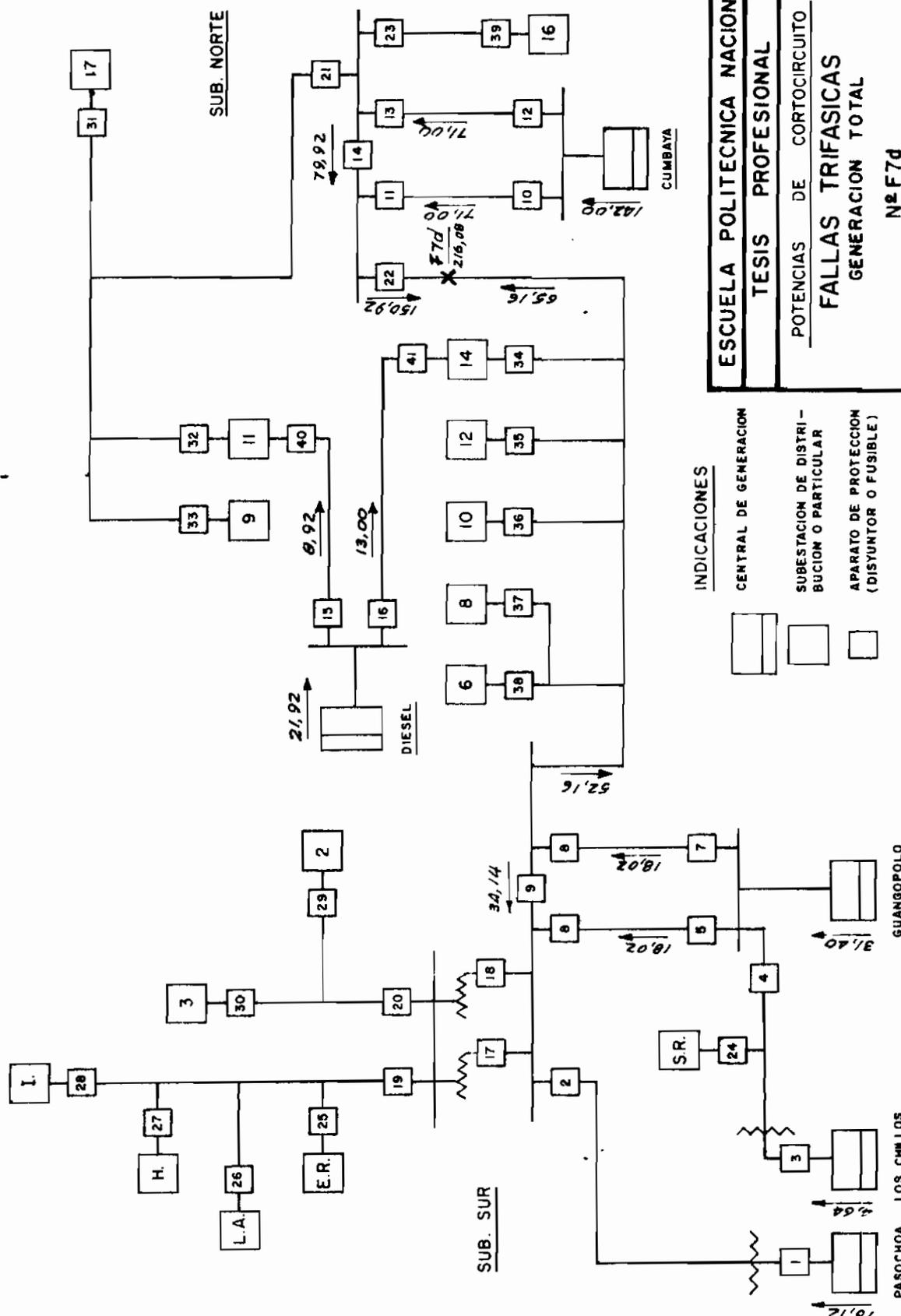


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F7C
 CALCULO G. S. FECHA ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION. FECHA: HOJA Nº 19

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

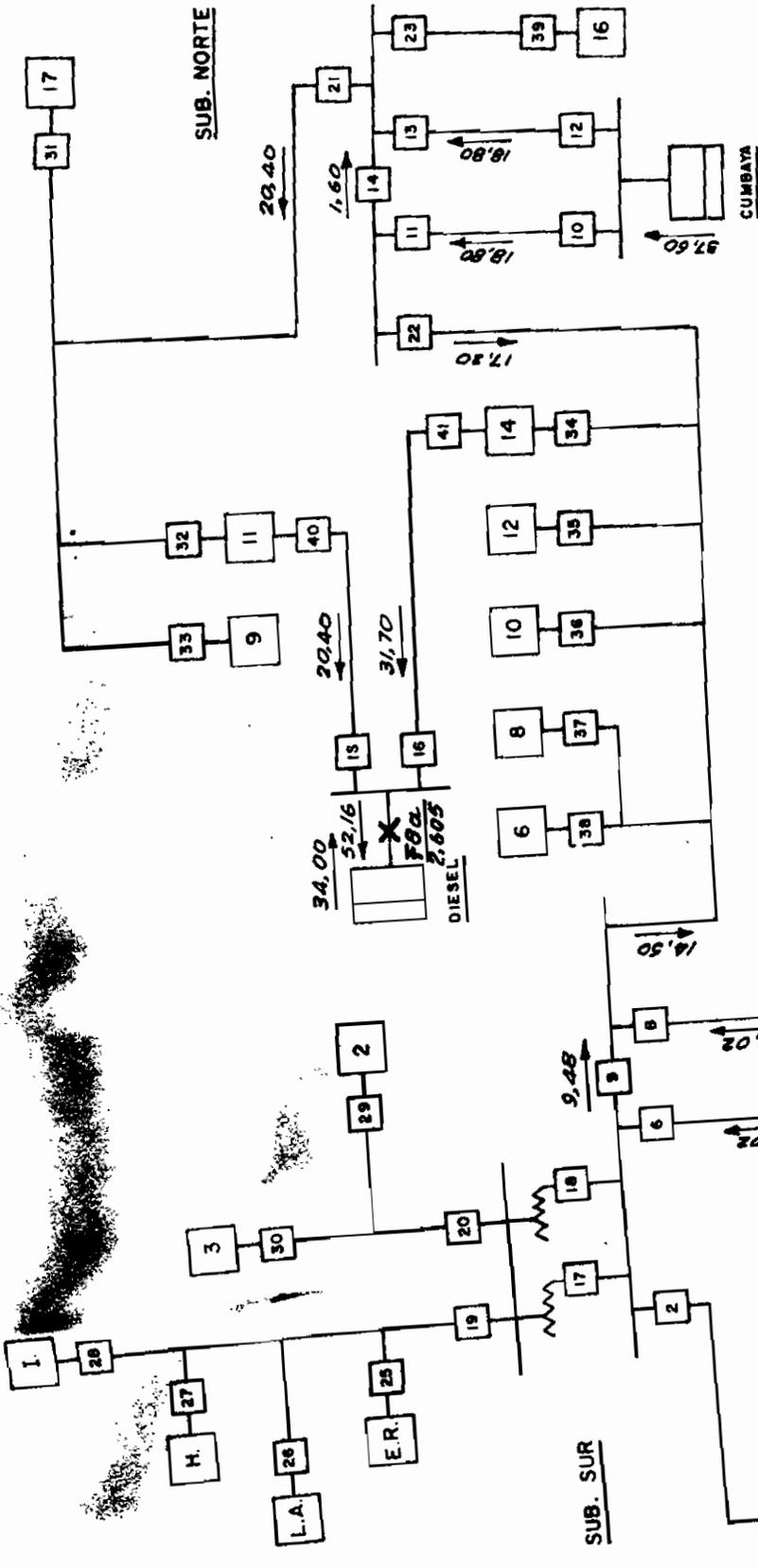


PASOCHOA LOS CHILLOS
 GUANGOPOLO



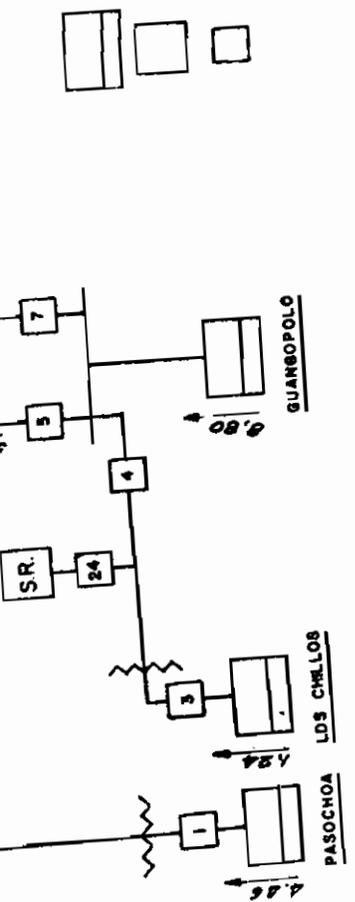
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
 N° F7d
 CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO N° PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA N° 20

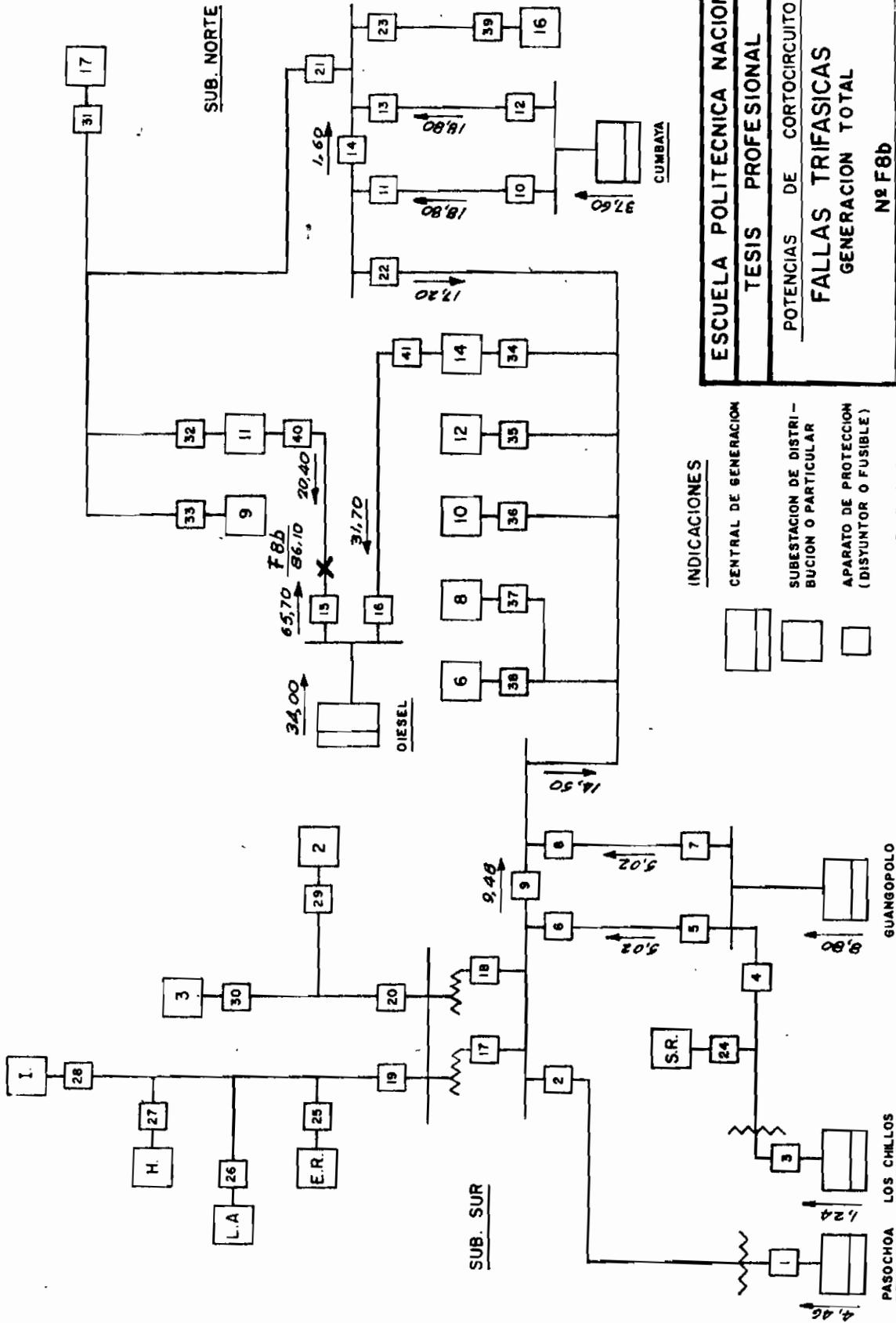
- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F80
 CALCULO G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 22

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRI-
 BUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION
 (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA





INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

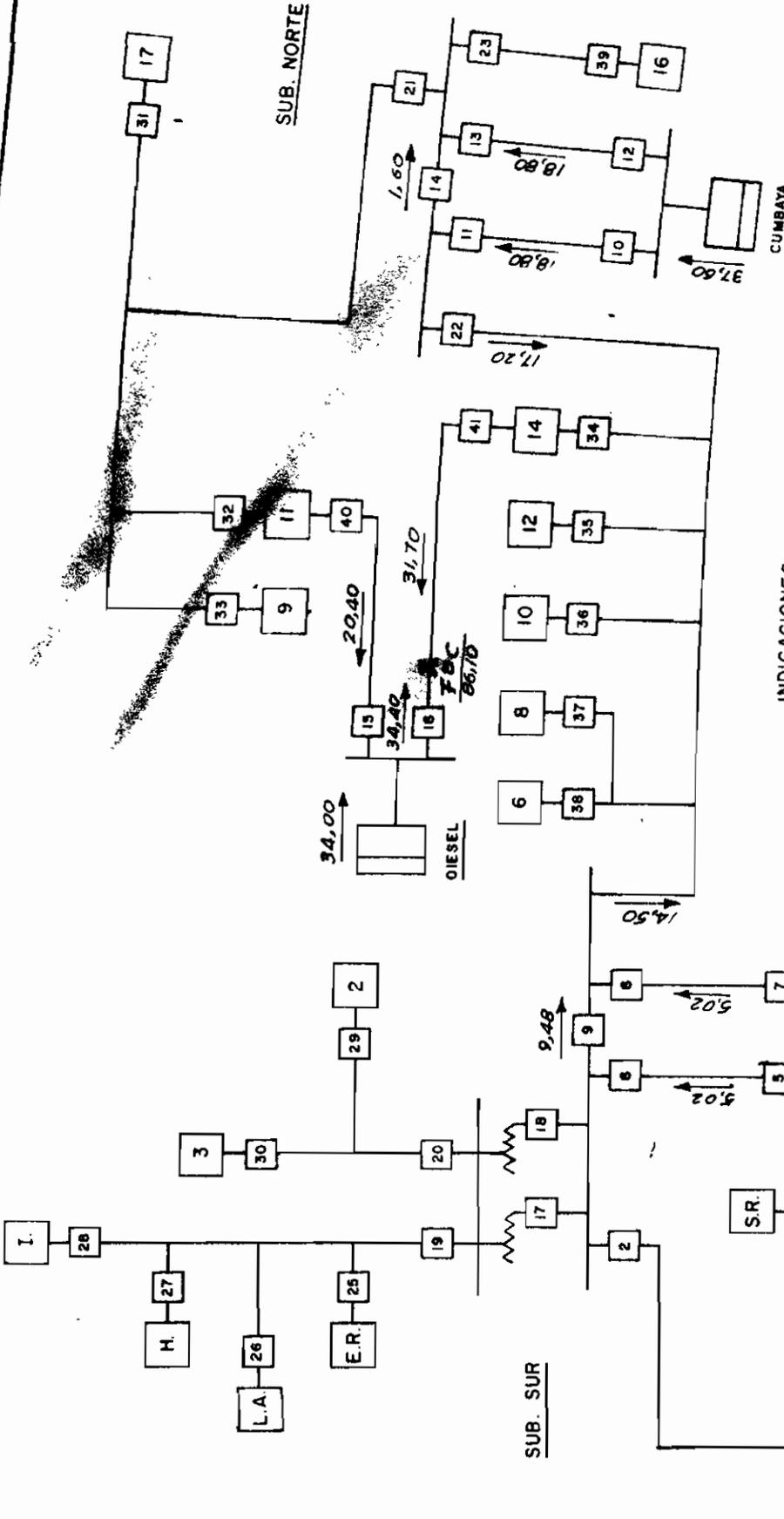
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

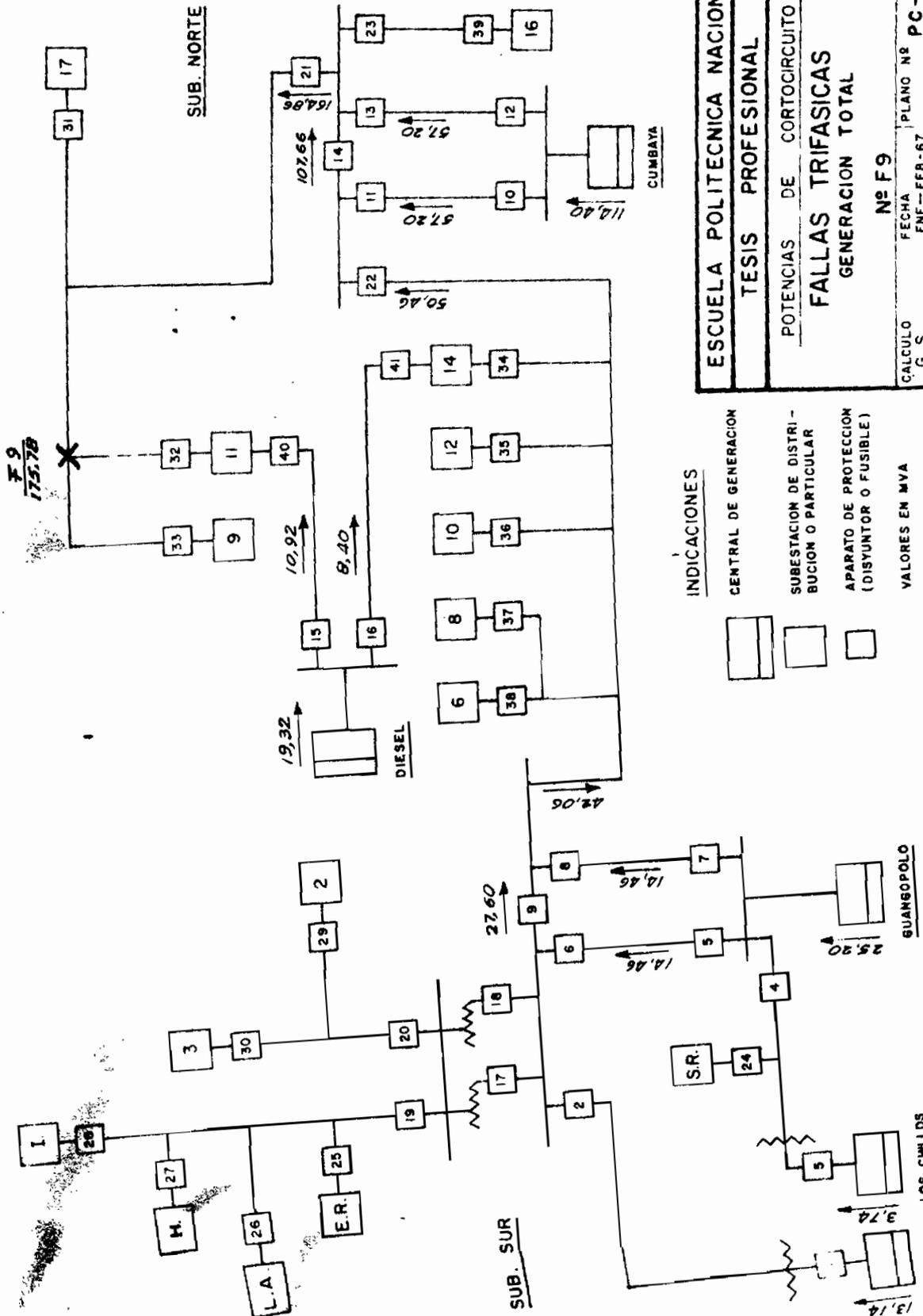
Nº F8b

CALCULO G.S.	PLANO Nº PC-08
FECHA: ENE-FEB-67	HOJA Nº 23
REVISION:	FECHA:



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL			
TESIS PROFESIONAL			
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO			
FALLAS TRIFASICAS			
GENERACION TOTAL			
Nº F8C			
CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº	MOJA Nº
G. S.	ENE-FEB-67	PC-08	24
REVISION:	FECHA:		

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

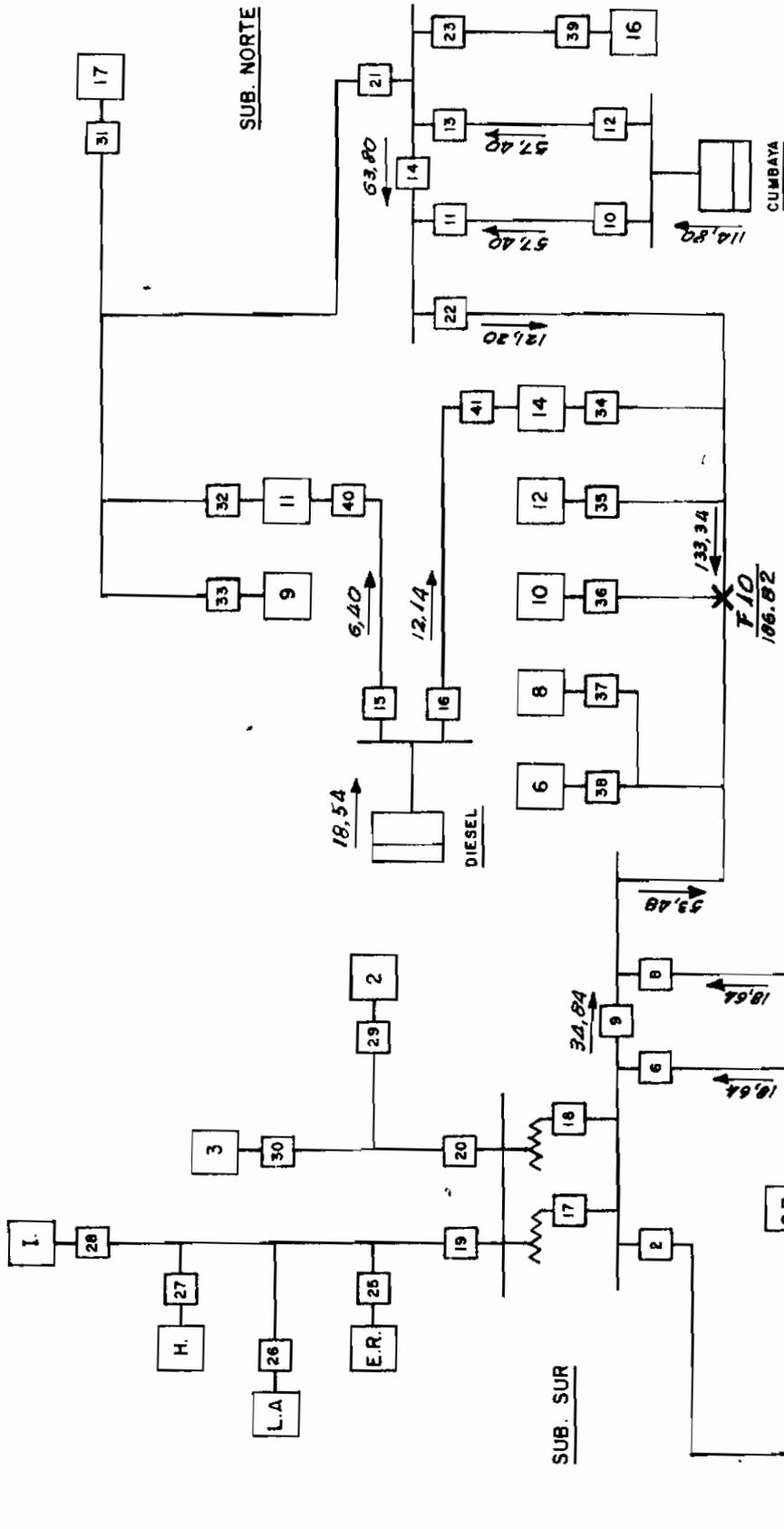
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS

GENERACION TOTAL

Nº F9

CALCULO G.S. FECHA ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION FECHA: HOJA Nº 25



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

Nº FIO

CALCULO	FECHA:	PLANO Nº	PC-08
G. S.	ENE-FEB-67		
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº	26

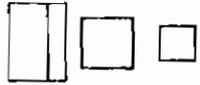
INDICACIONES

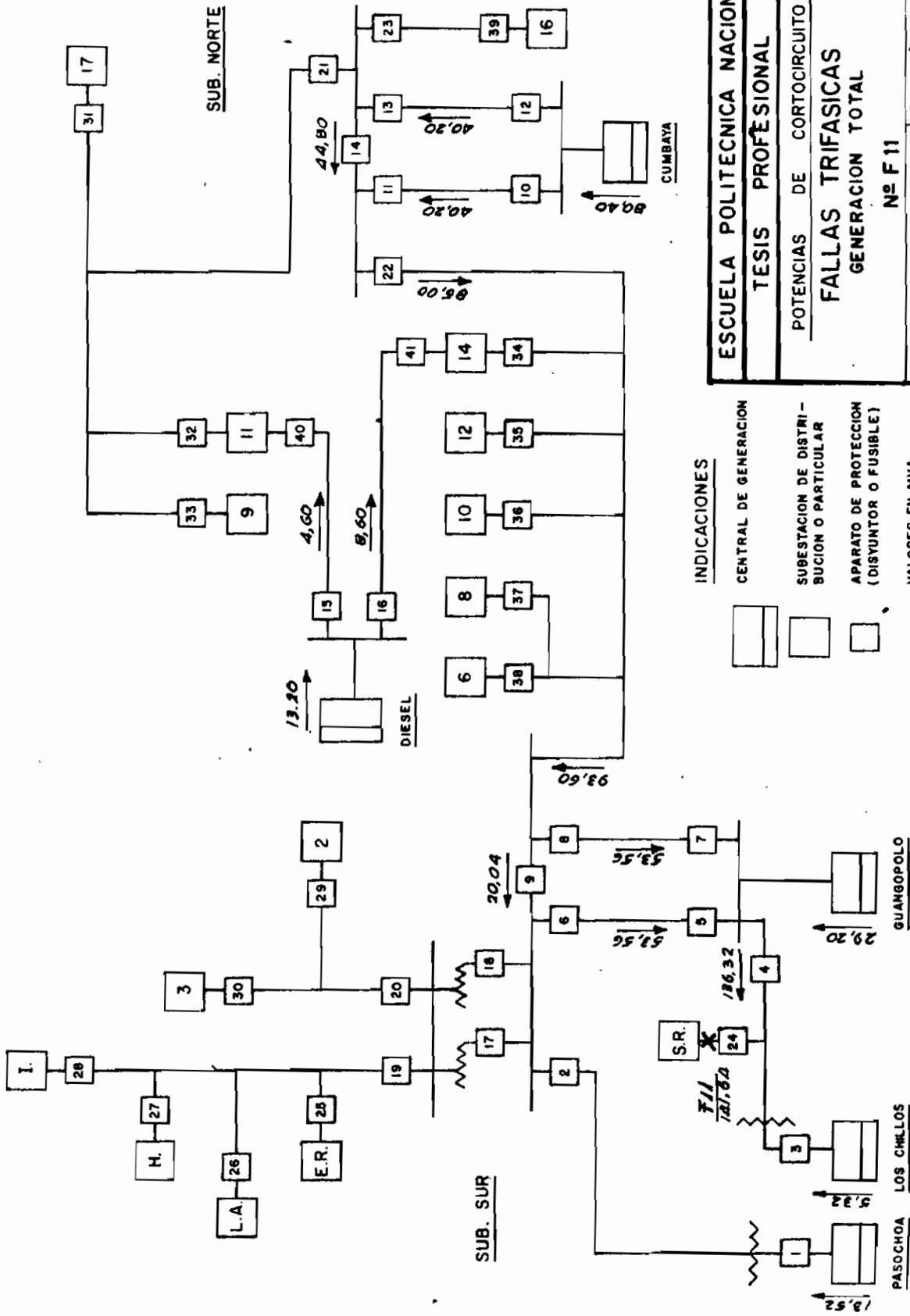
CENTRAL DE GENERACION

SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA





INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA

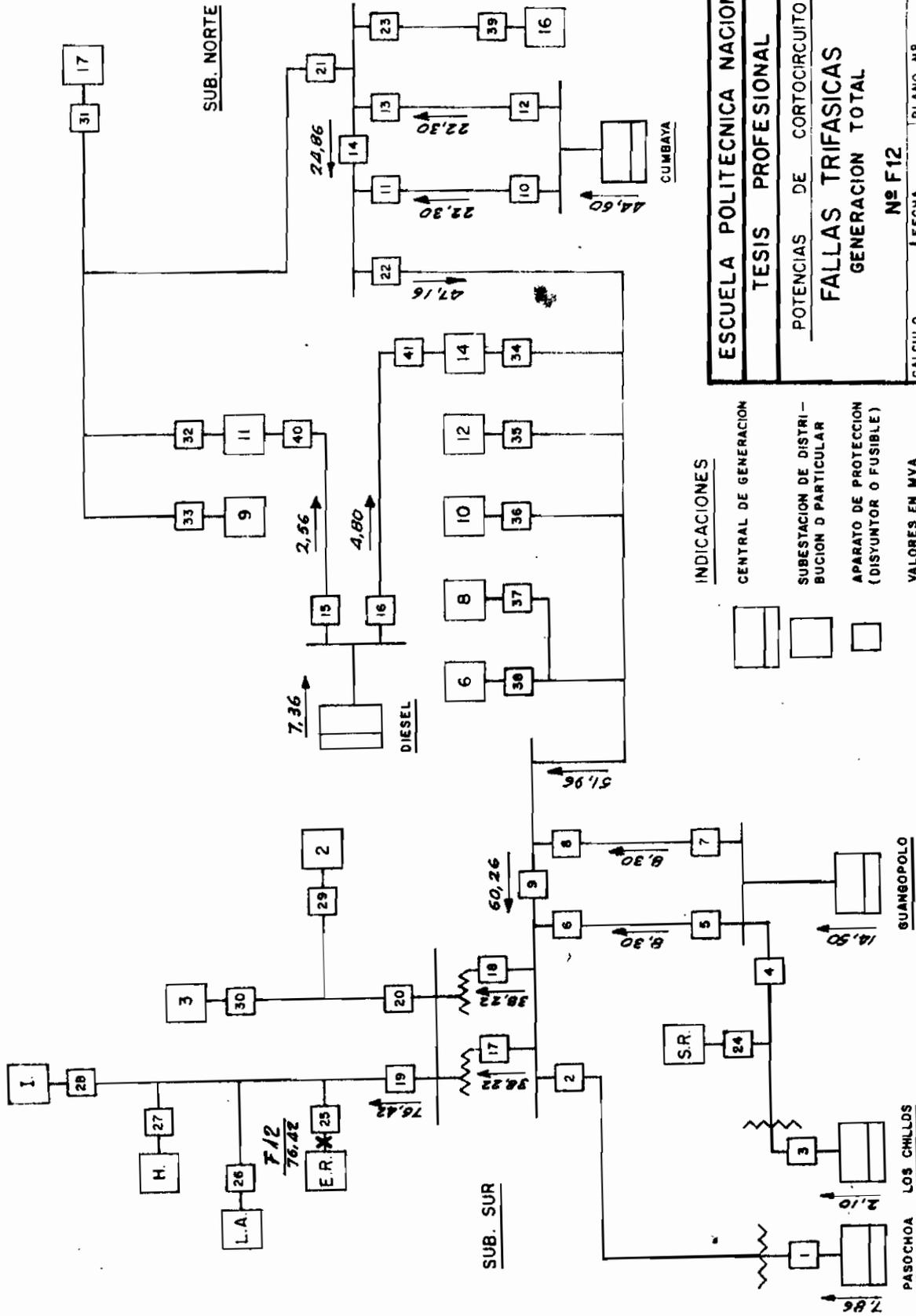
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F 11

CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº
G. S.	ENE - FEB - 67	PC - 08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº
		27



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

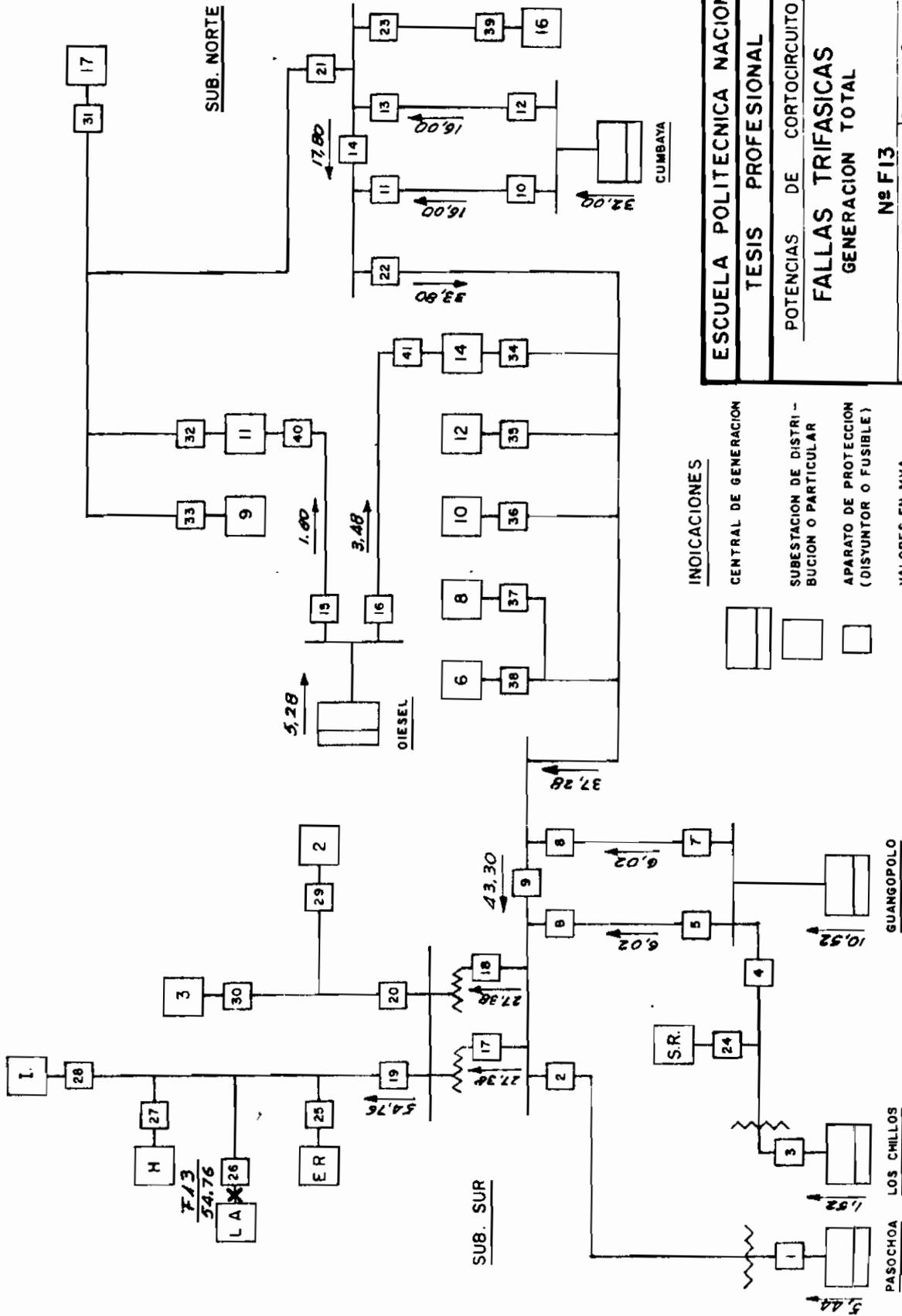
FALLAS TRIFASICAS

GENERACION TOTAL

Nº F12

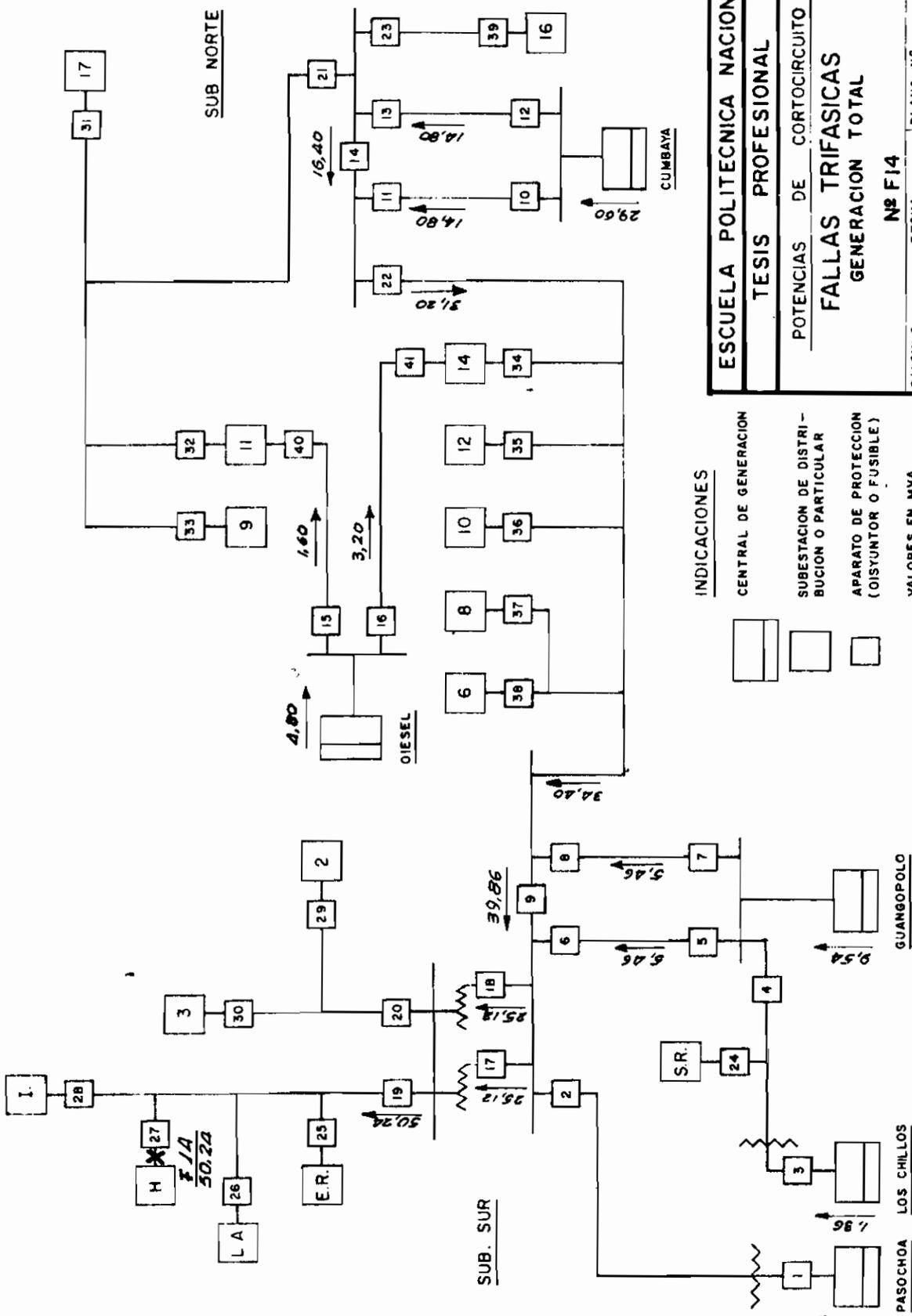
CALCULO G.S. | FECHA ENE-FEB-67 | PLANO Nº PC-08

REVISION | FECHA: | HOJA Nº 28



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F13
 CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 29

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
-  VALORES EN MYA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

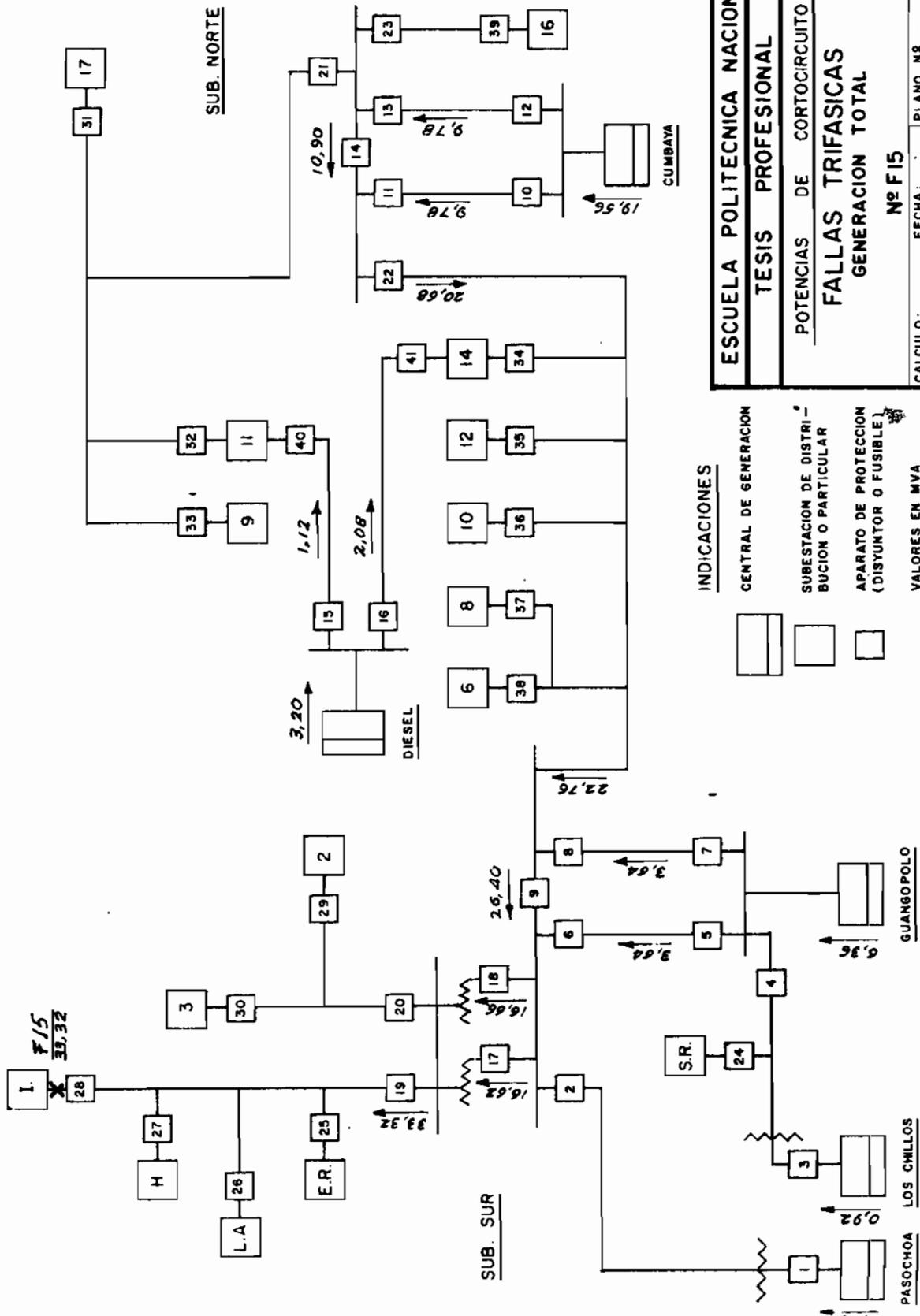
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

**FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL**

Nº F14

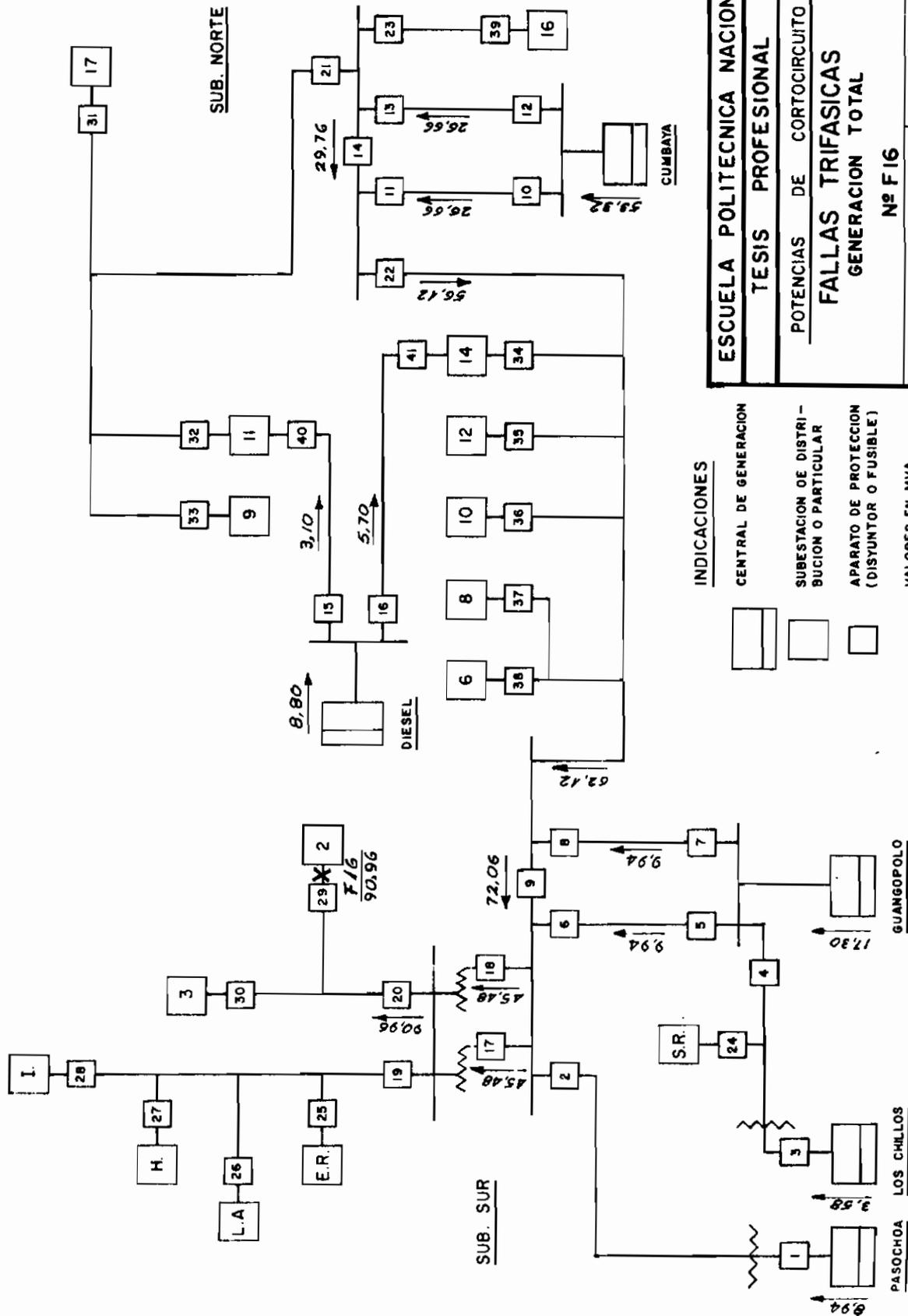
CALCULO G.S.	FECHA ENE-FEB-67	PLANO Nº PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 30



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
 Nº F15

CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 31

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

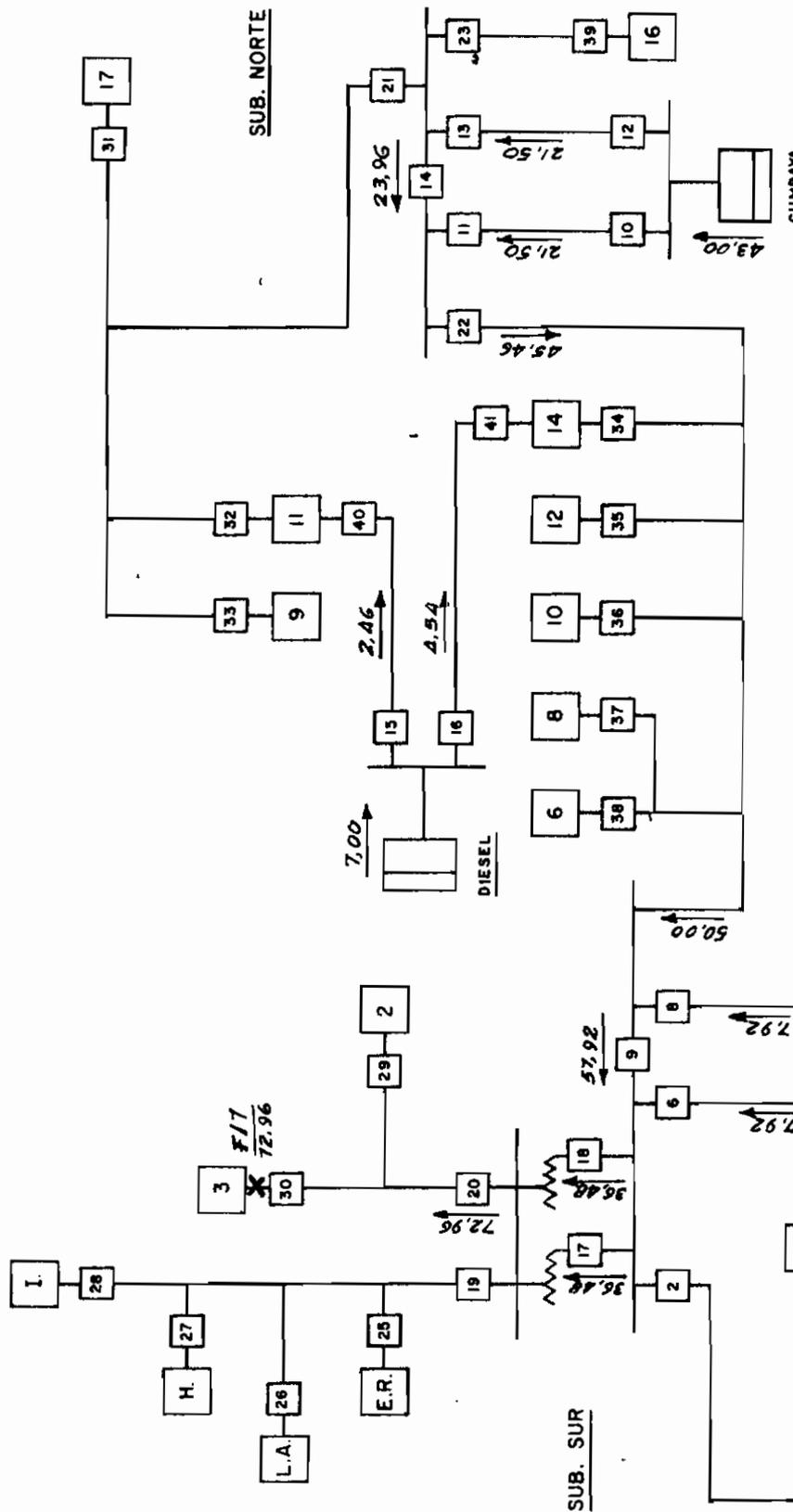
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F16

CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº	PC-08
G.S.	ENE-FEB-87		
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº	32

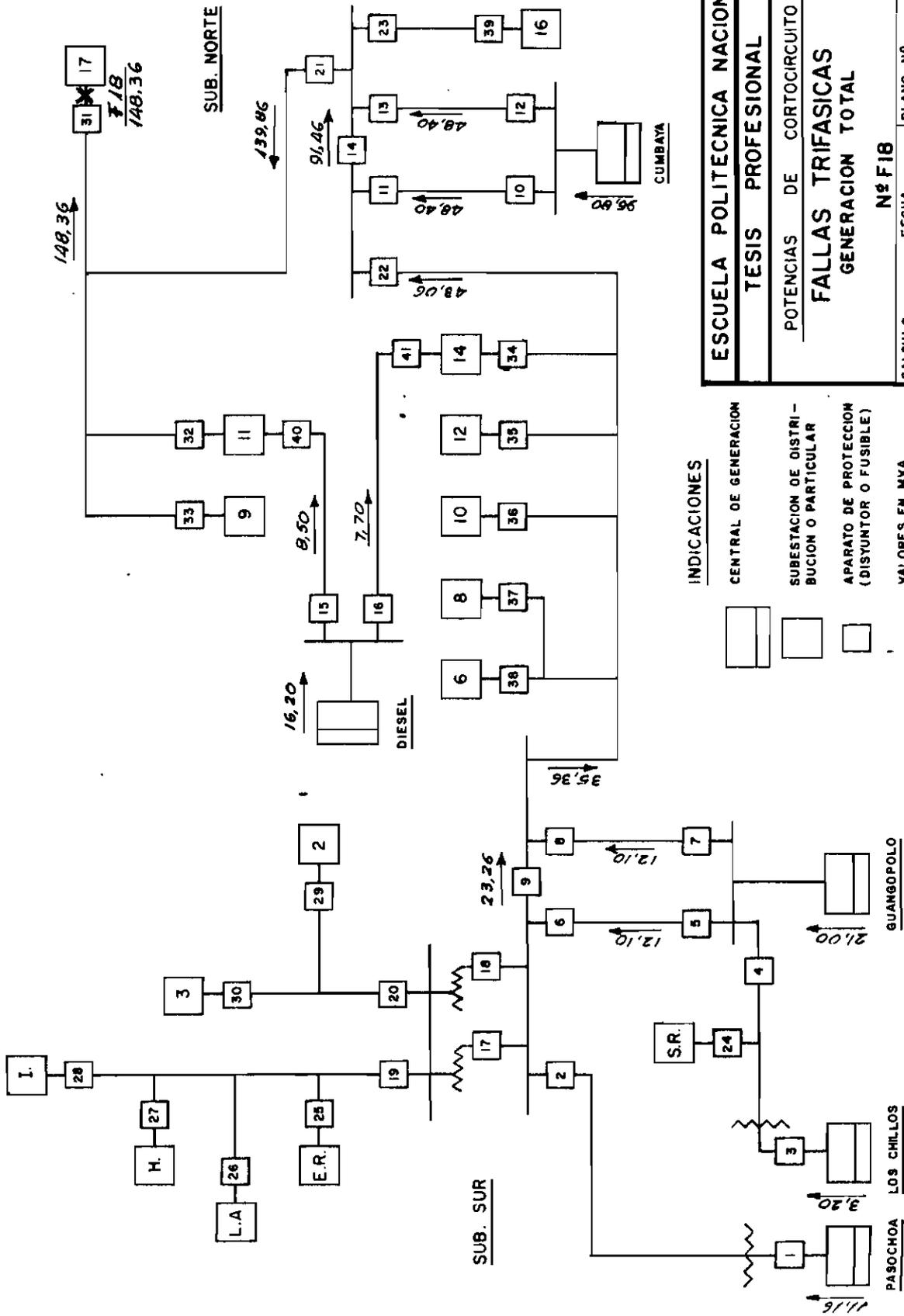


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
 N° F17

CALCULO: G.S.	FECHA: ENE-FEB-67	PLANO N° PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA N° 33

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
-  VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

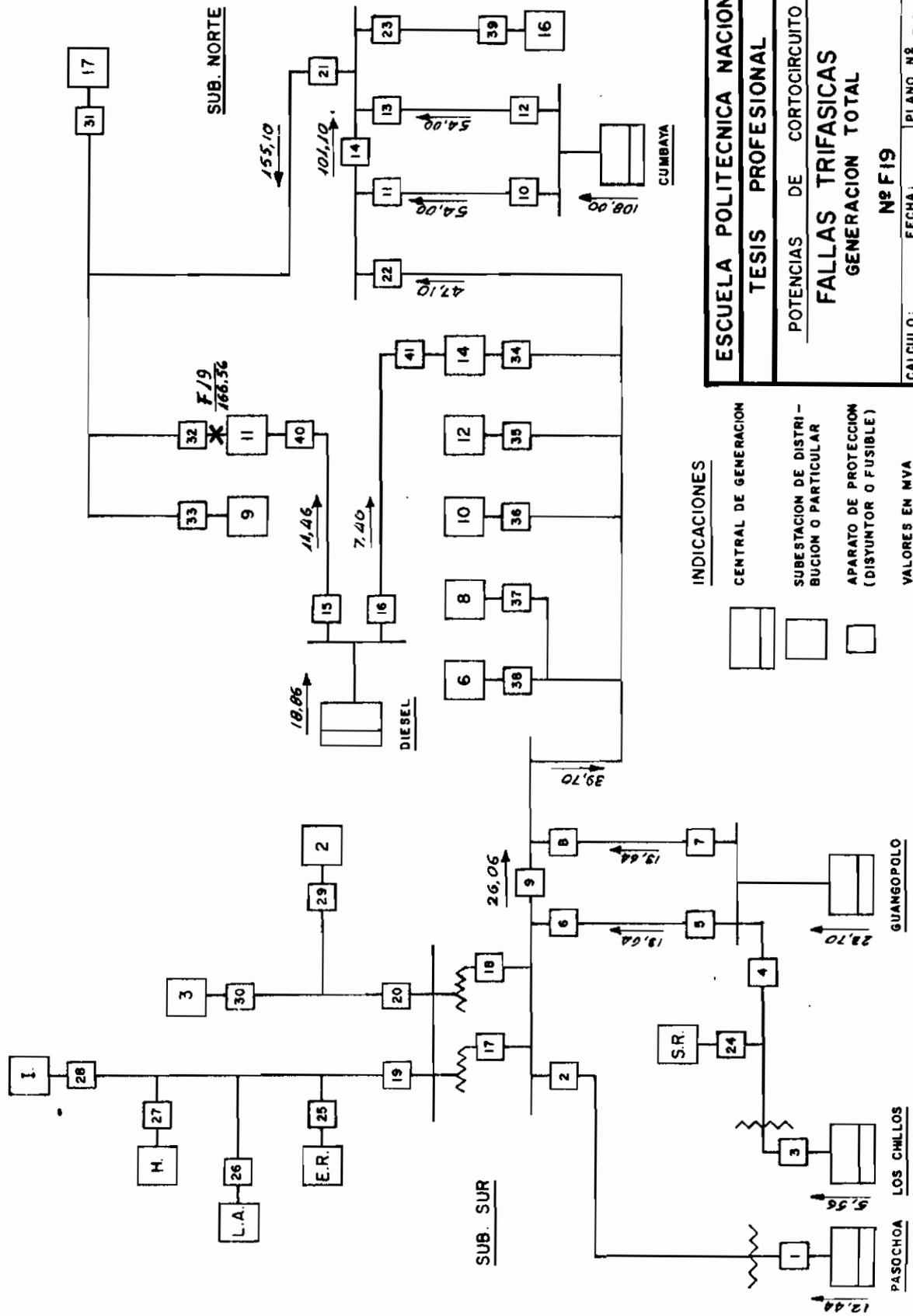
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

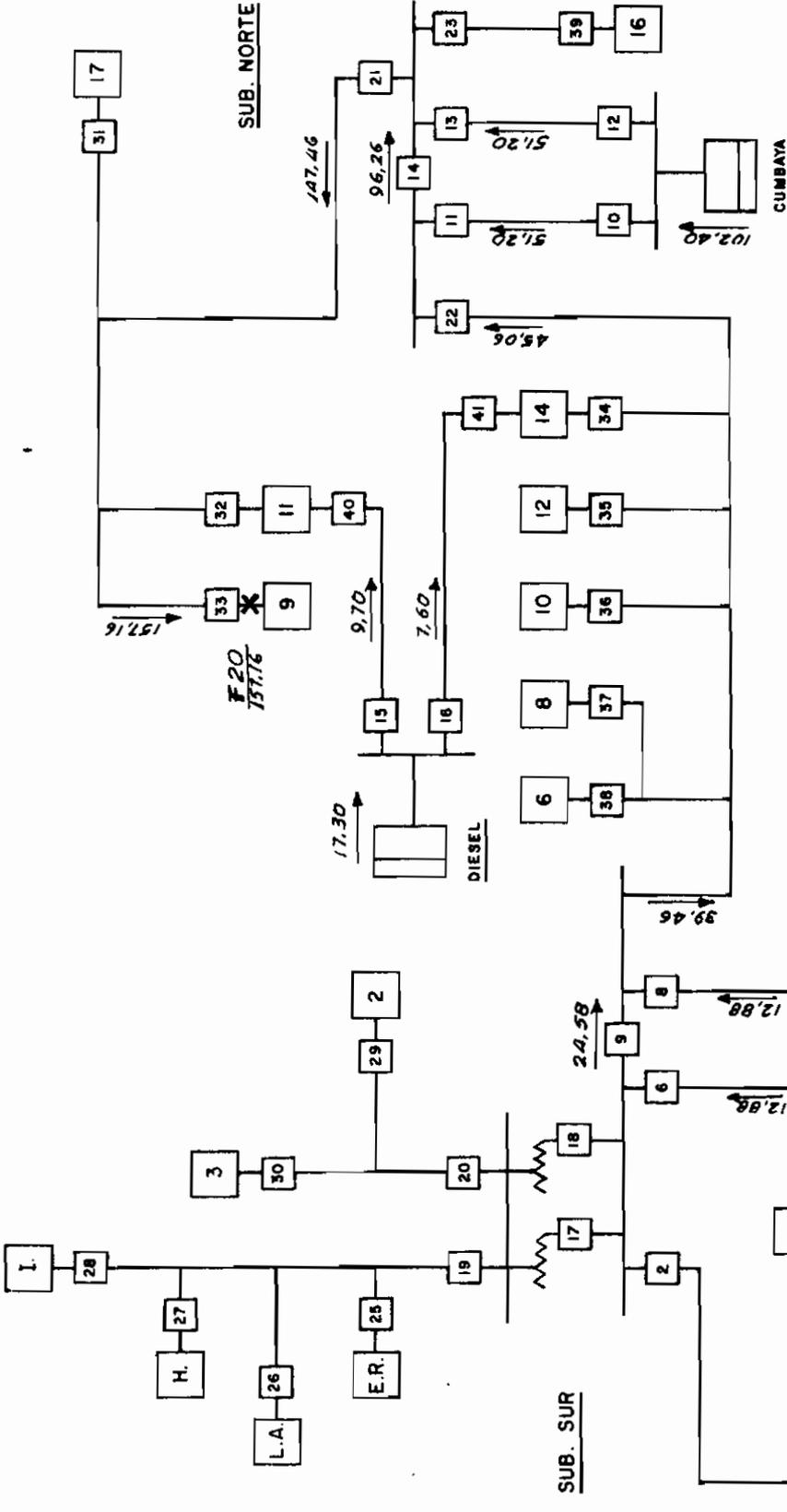
Nº F18

CALCULO. G.S.	PLANO Nº PC-08
FECHA. ENE - FEB - 67	HOJA Nº 34
REVISION :	FECHA :



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F19
 CALCULO: G. S. FECHA: ENE - FEB - 67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 35

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL

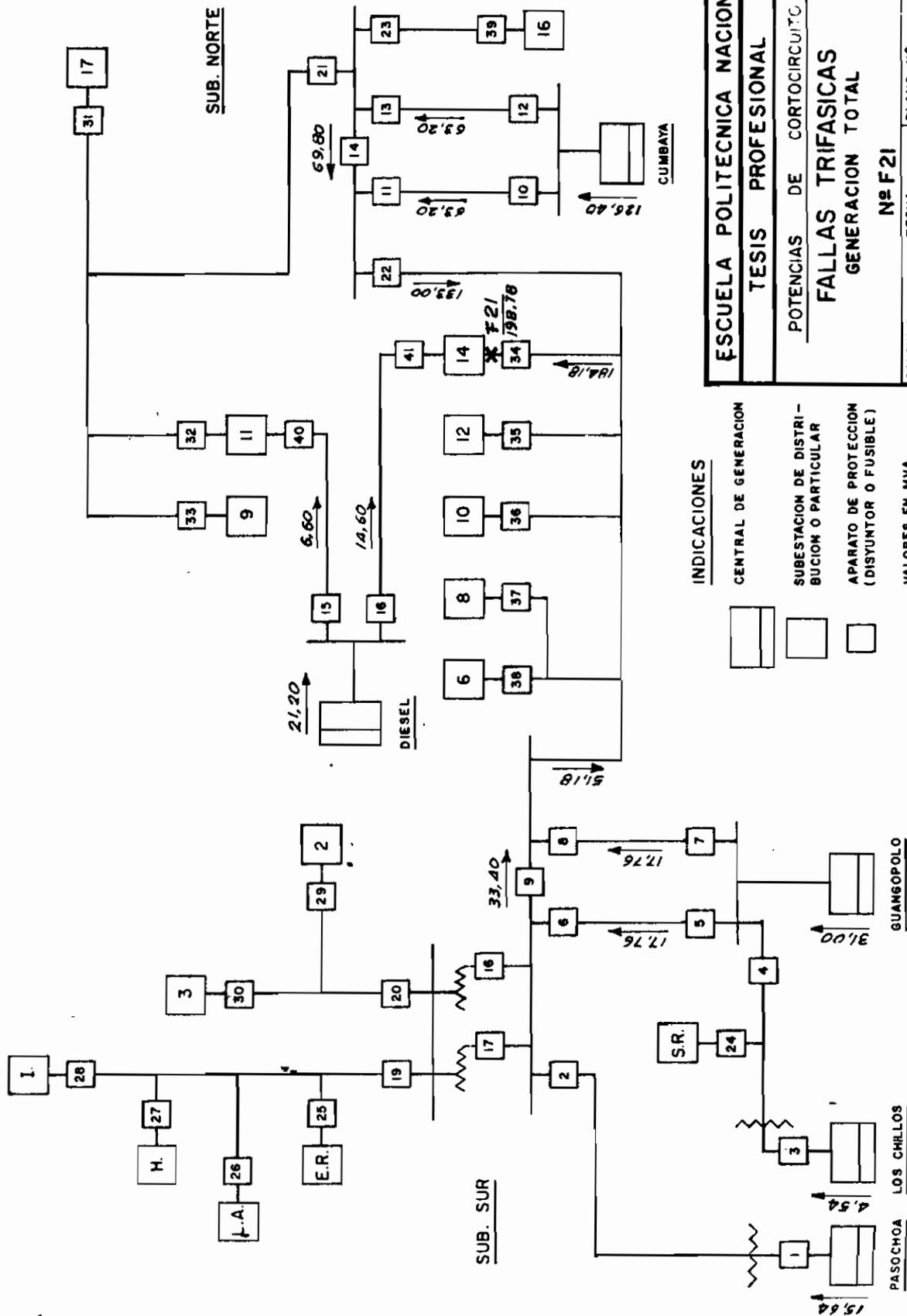
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F20

CALCULO:	FECHA	PLANO Nº
G. S.	ENE - FEB - 67	PC - 08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº
		36

INDICACIONES

 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

 PASOCHOCHA LOS CHILLOS
 GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS TRIFASICAS

GENERACION TOTAL

Nº F21

CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08

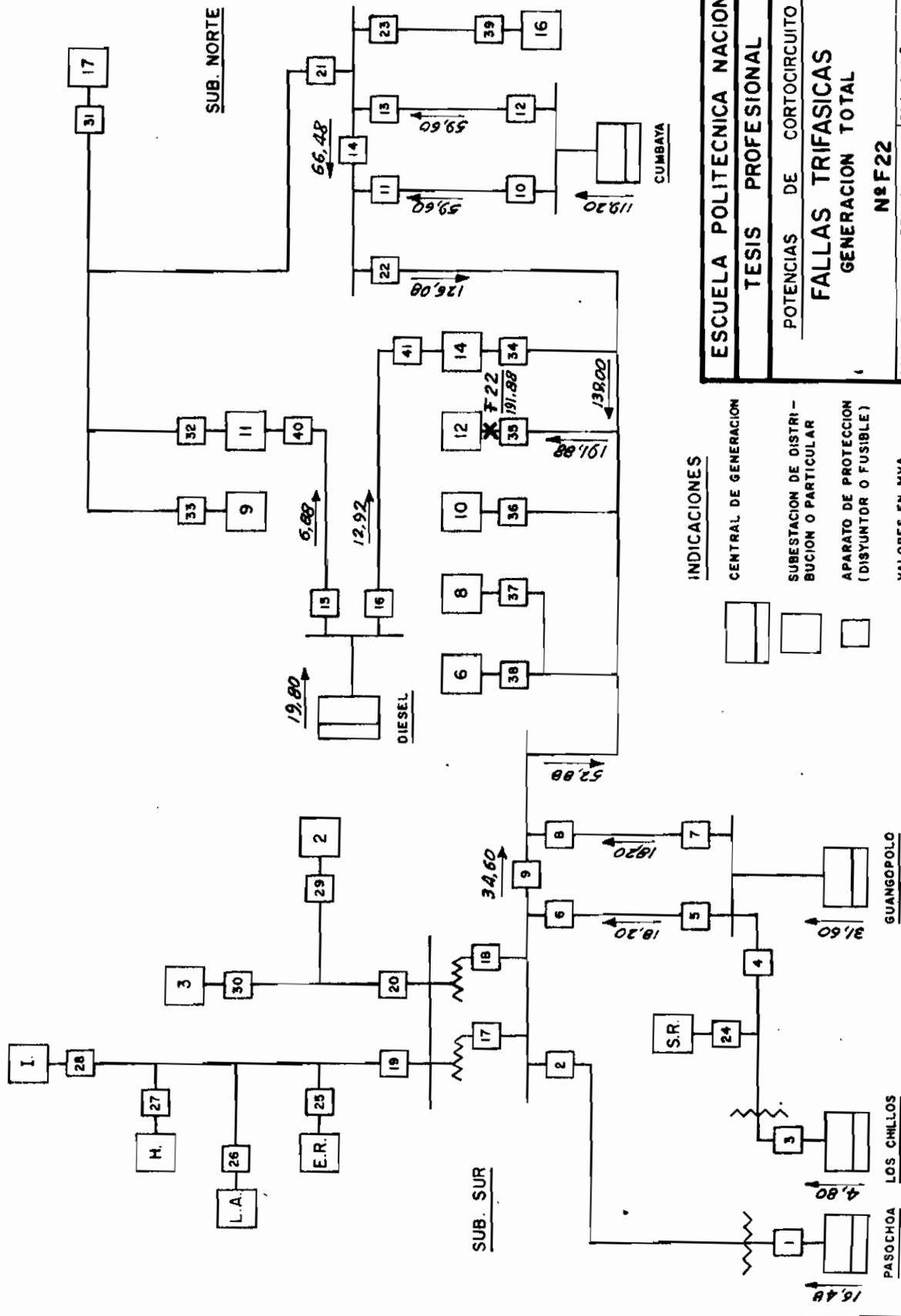
REVISION: FECHA: HOJA Nº 37

INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

GUANGOPOLO

PASOCHOA LOS CHRLOS



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

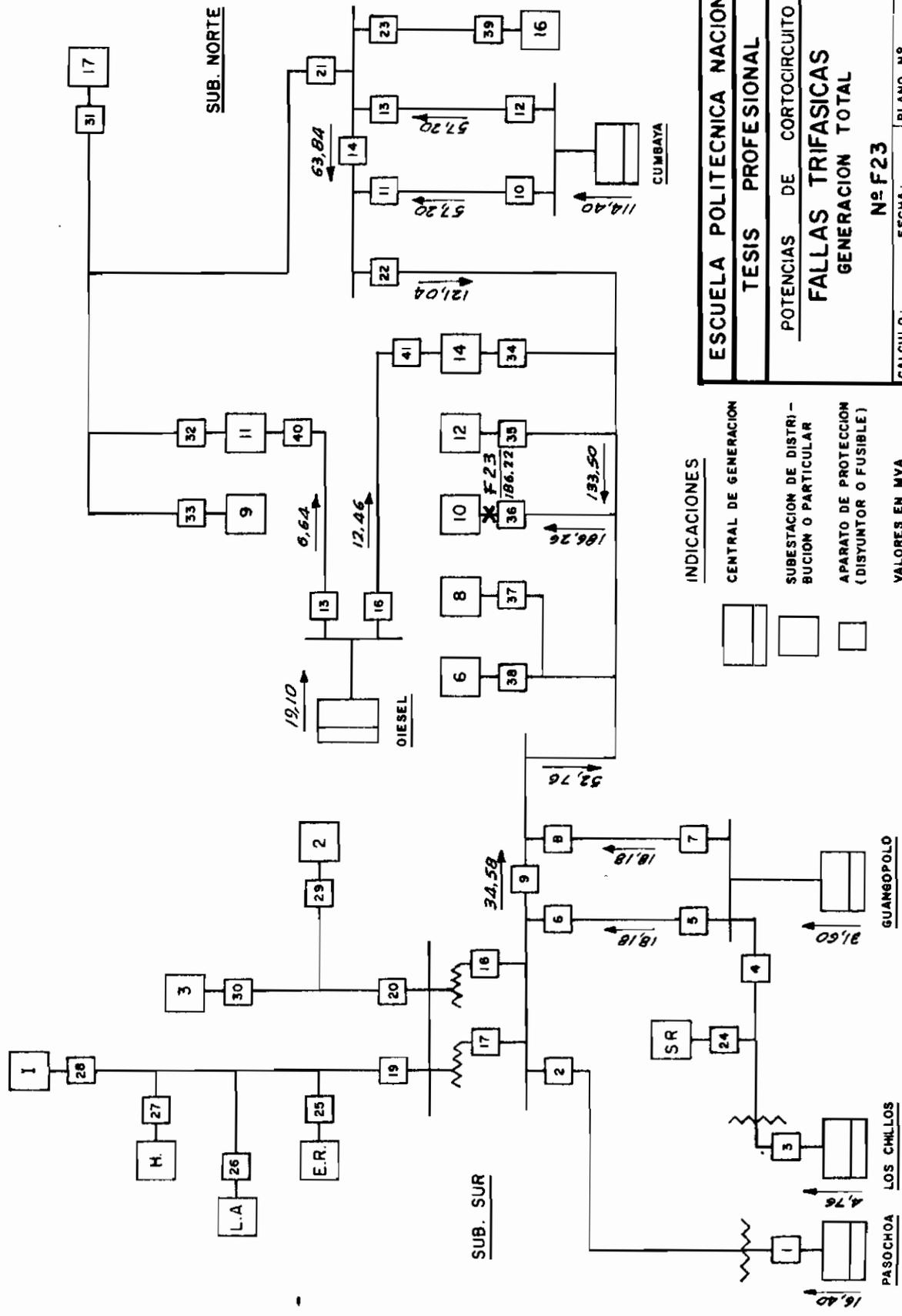
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

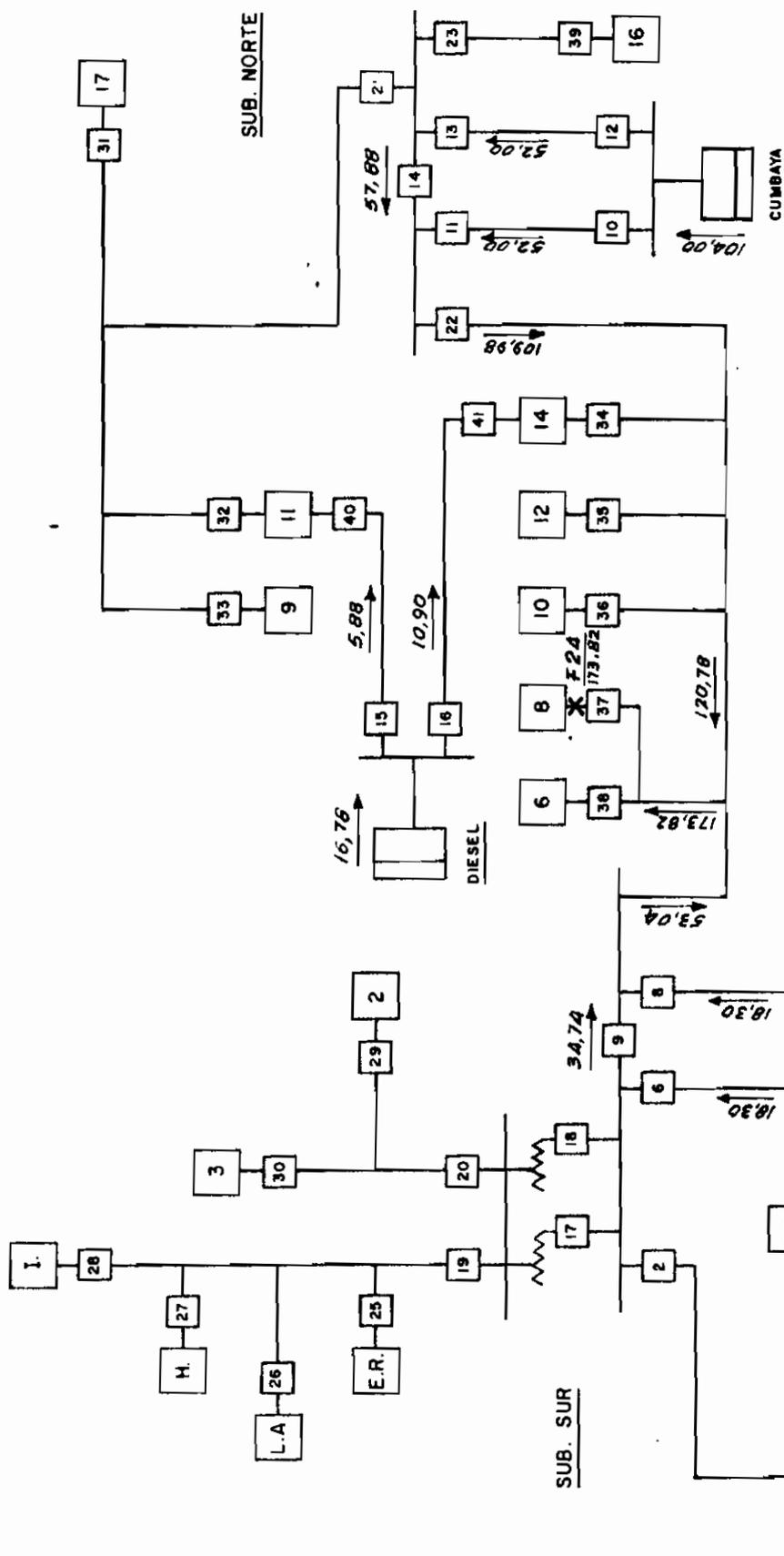
Nº F22

CALCULO: G. S.	FECHA: ENE-FEB-67	PLANO Nº PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 38



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F23
 CALCULO: G.S.
 FECHA: ENE-FEB-87
 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA:
 HOJA Nº 39

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS TRIFASICAS	
GENERACION TOTAL	
Nº F 24	
CALCULO:	FECHA: PLANO Nº
G. S.	ENE - FEB - 67 PC-08
REVISION:	FECHA: HOJA Nº

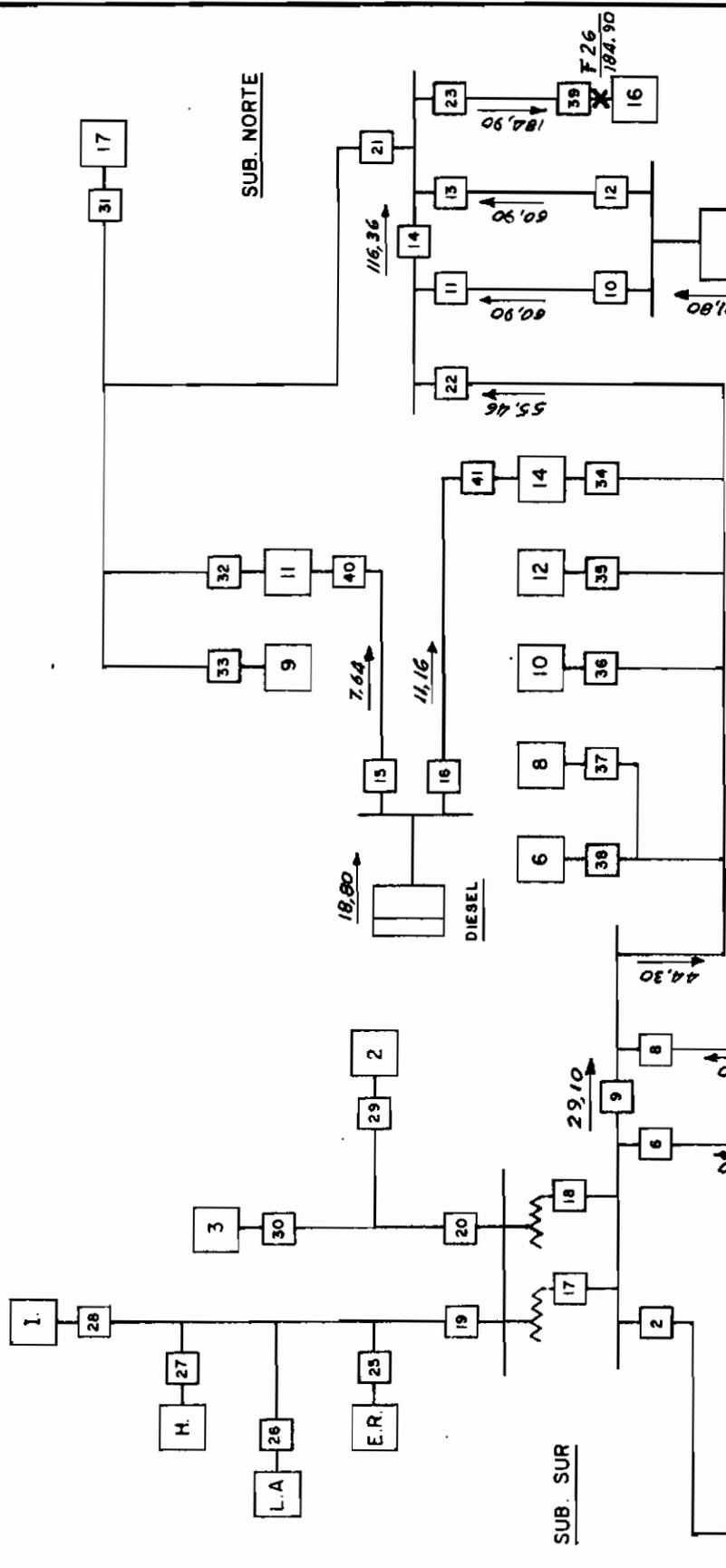
PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA

SUB. NORTE

SUB. SUR



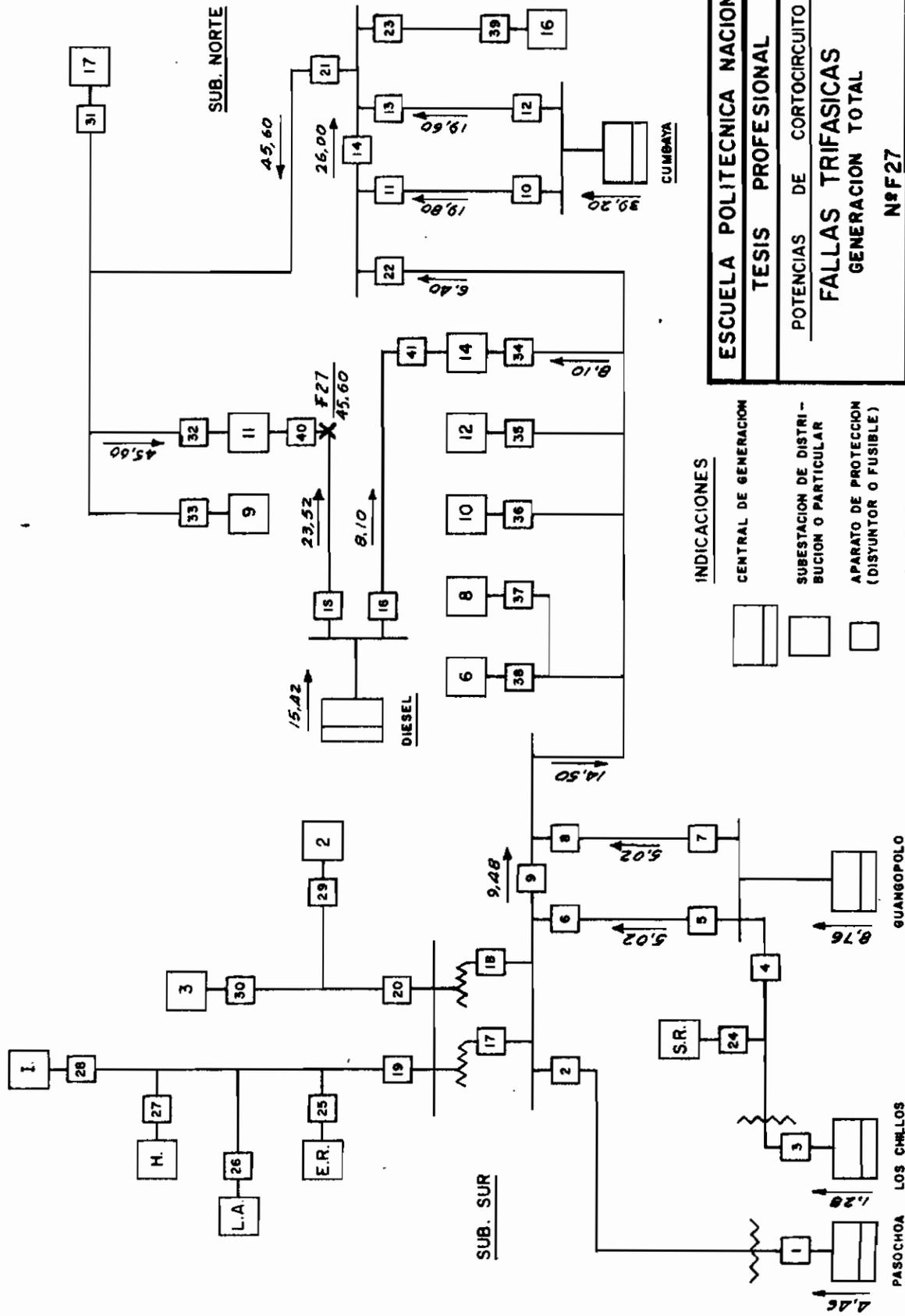
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F26

CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 42

INDICACIONES

 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

Nº F27

CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 43

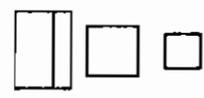
INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION

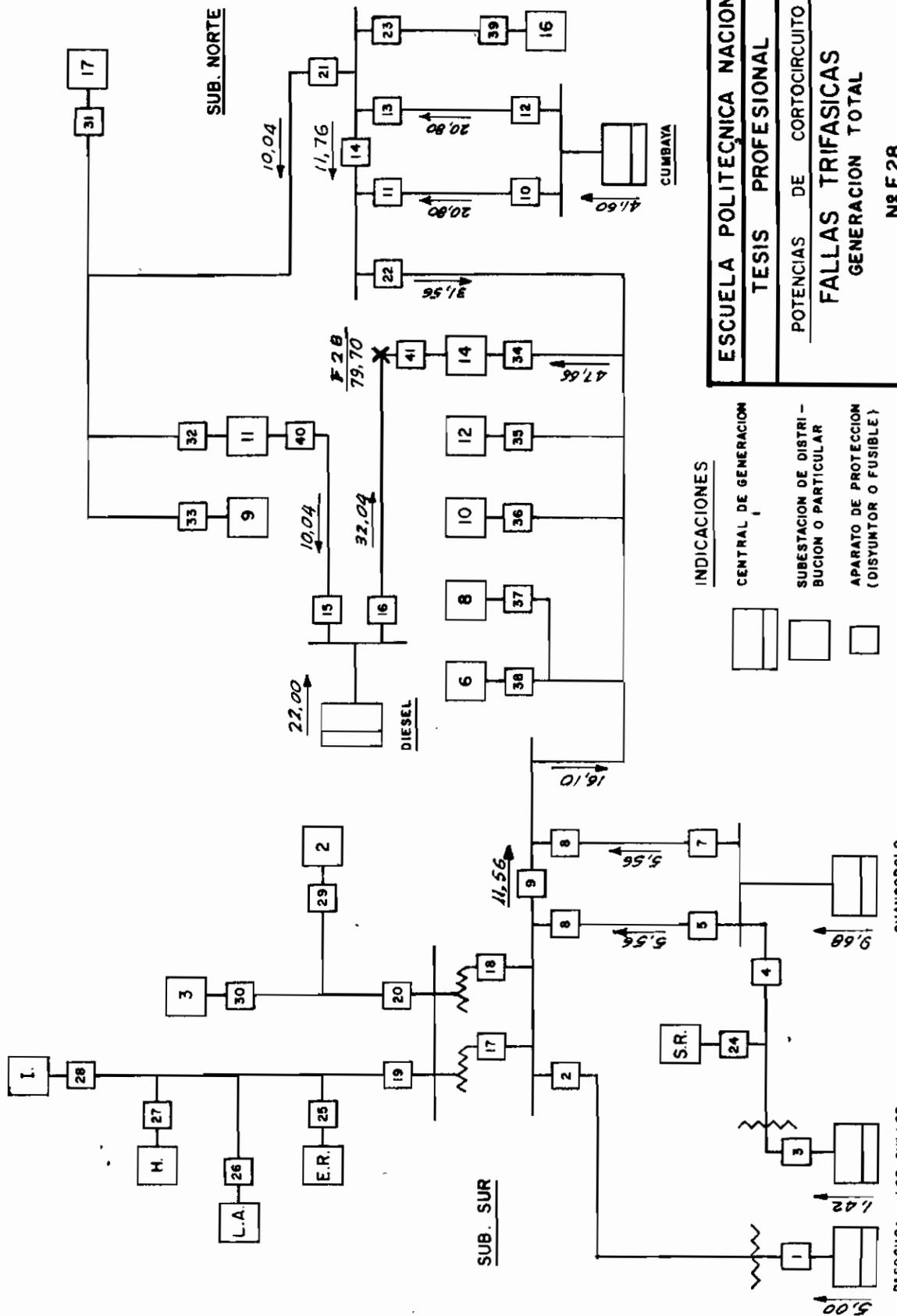
SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA



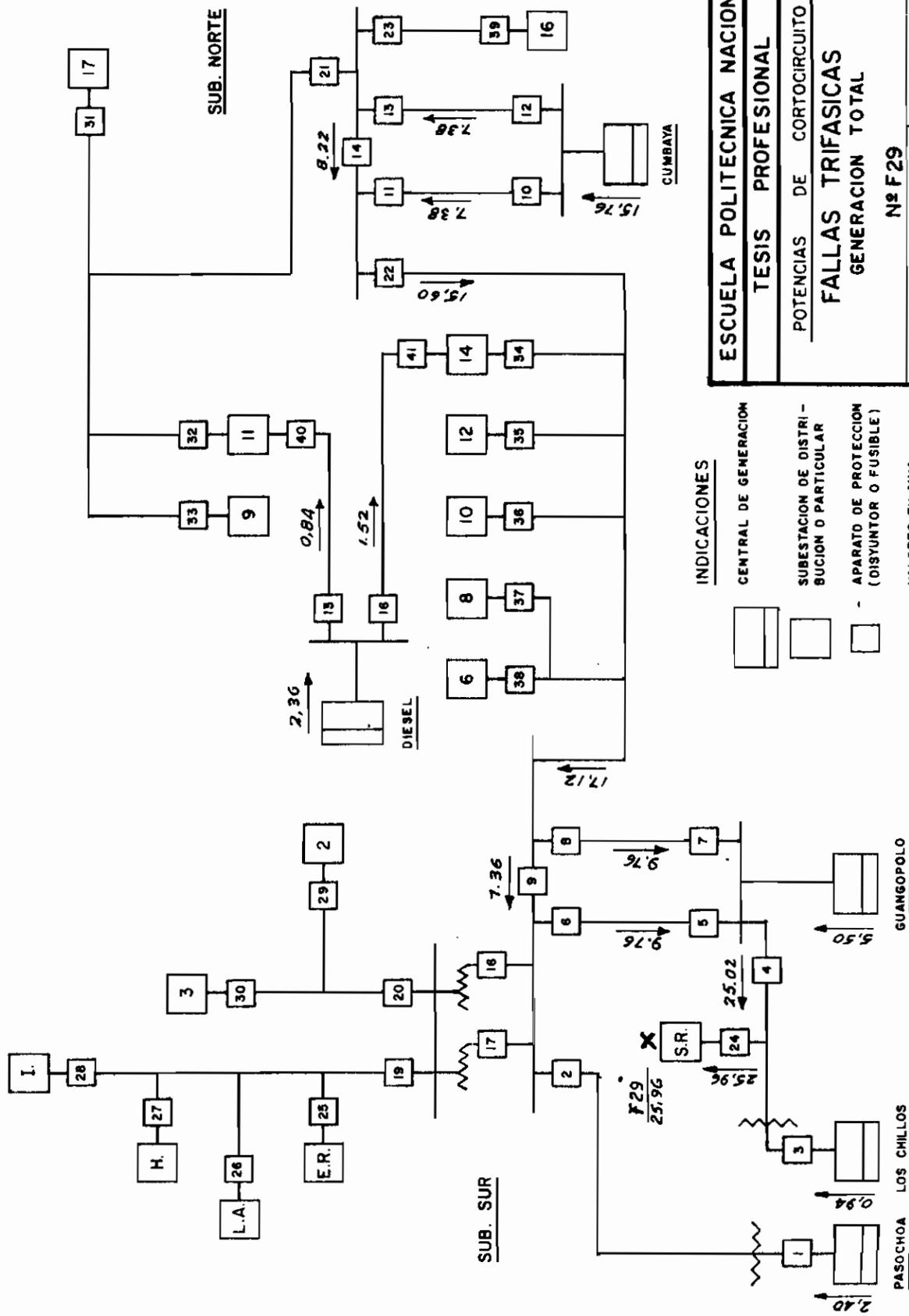
PASOCHOA LOS CHILLOS QUANGOPOLO



- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA

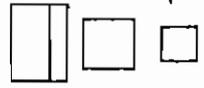
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS TRIFASICAS	
GENERACION TOTAL	
Nº F 28	
CALCULO: G. S.	PLANO Nº PC-08
REVISION:	ENE-FEB-67
FECHA:	HOJA Nº 44

PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F29
 CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-87 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 45

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



GUANGOPOLO

PASOCHOA LOS CHILLOS

CUMBAYA

SUB. NORTE

SUB. SUR

DIESEL

I.

H.

L.A.

E.R.

F29
25.96

S.R.

5.50

0.94

2.40

17.12

7.36

9.76

9.76

25.02

15.96

15.76

15.60

1.52

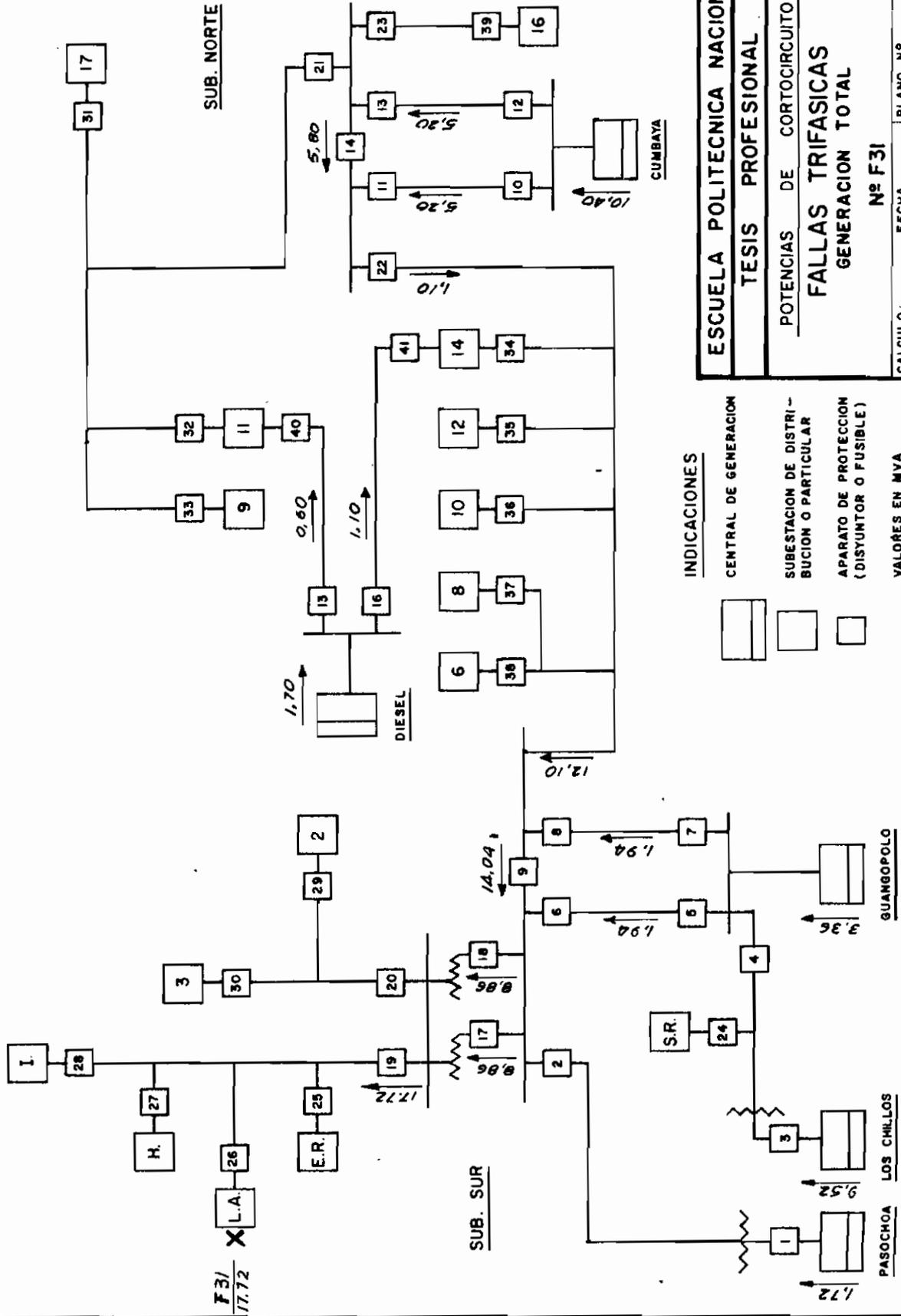
0.84

2.36

8.22

7.38

7.38



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL
Nº F31

CALCULO: G.S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 47

F31 / 17.72

SUB. NORTE

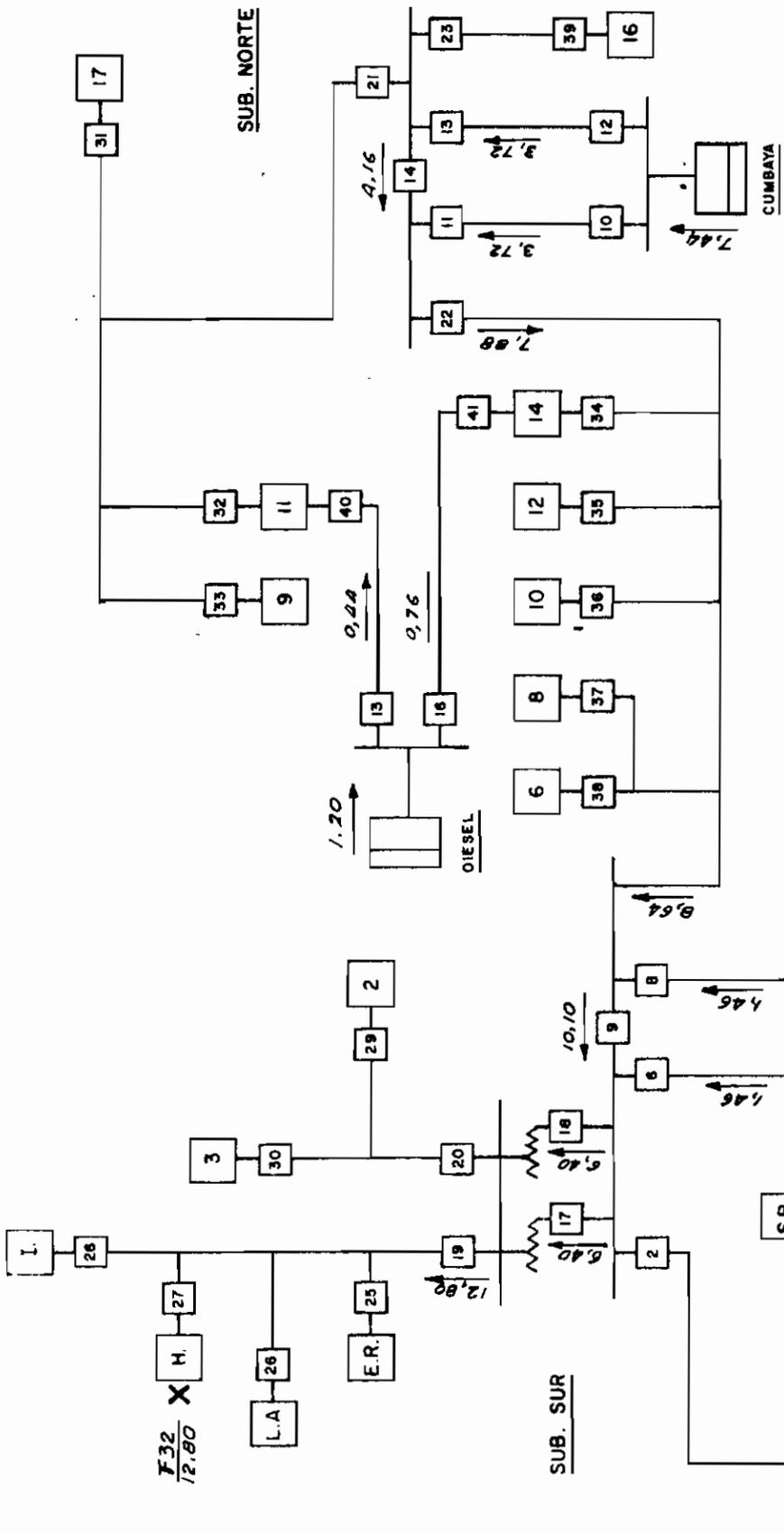
SUB. SUR

PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA

DIESEL



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

**FALLAS TRIFÁSICAS
GENERACION TOTAL**

Nº 32	
CALCULO. G.S.	FECHA. ENE-FEB-67
REVISION:	FECHA:
PLANO Nº	PC-08
HOJA Nº	48

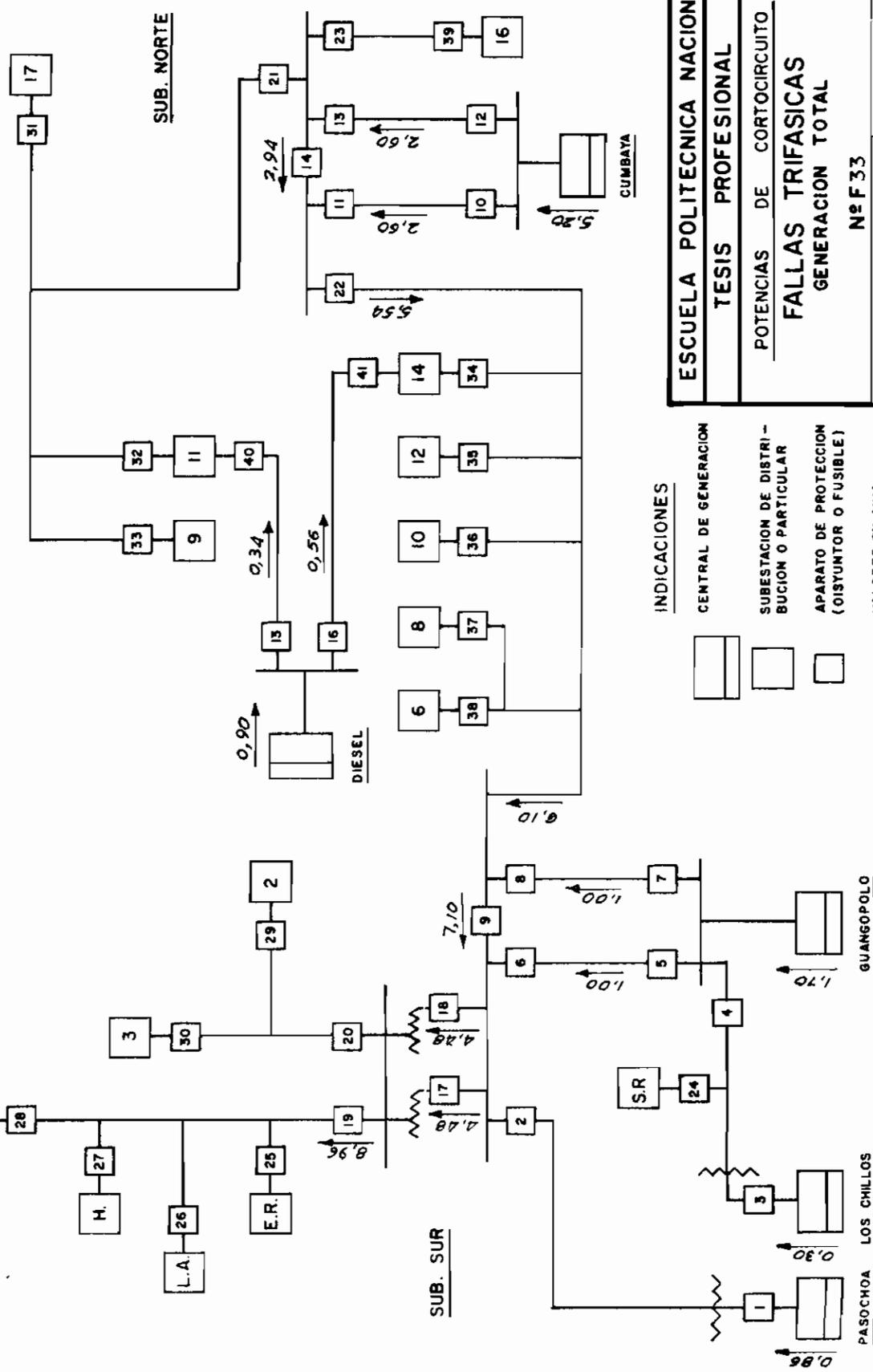
INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE OISTRUBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

GUANGOPOLO

PASOCHOA LOS CHILLOS

X F.33
B.96



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (OISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

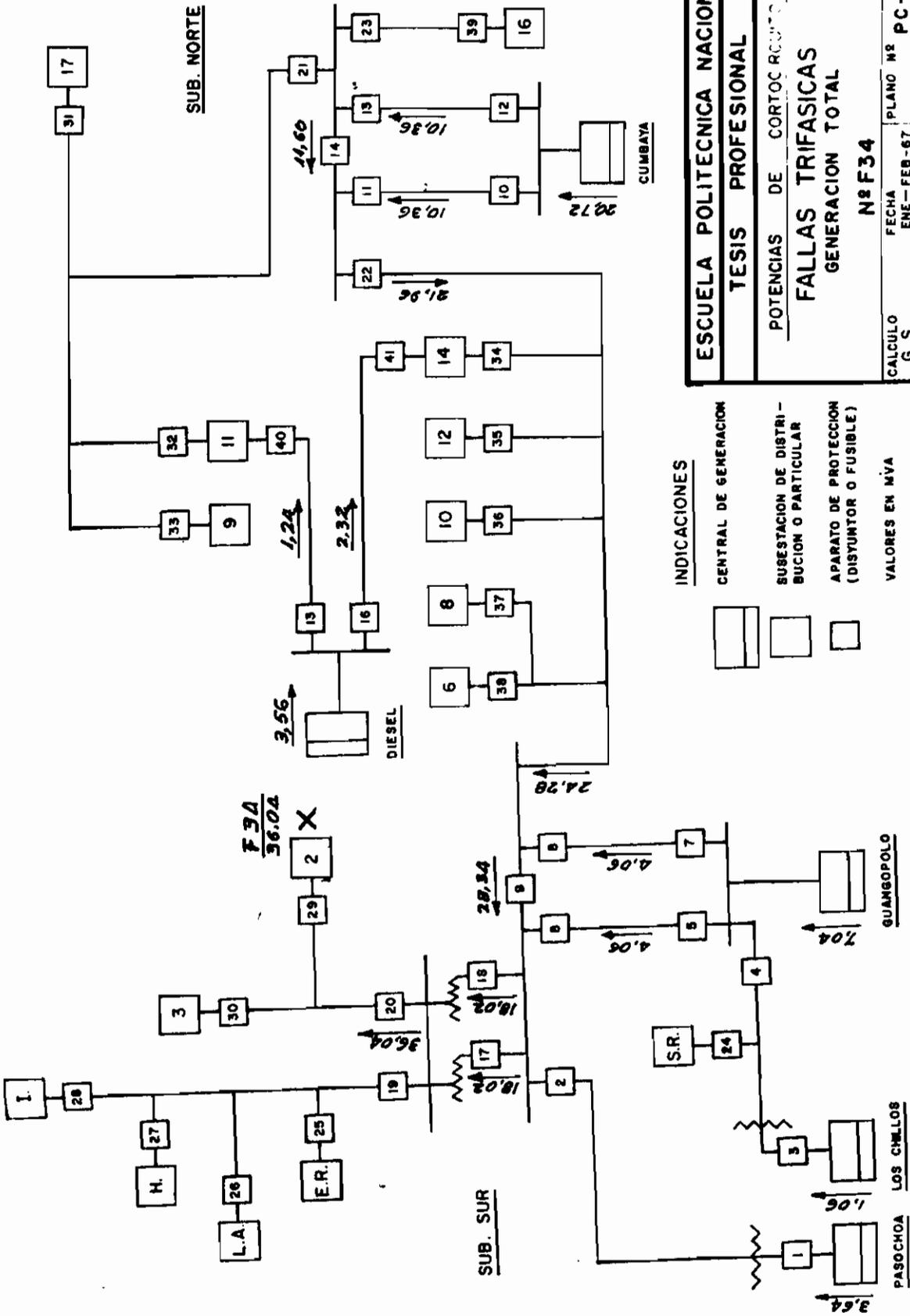
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL

Nº F.33

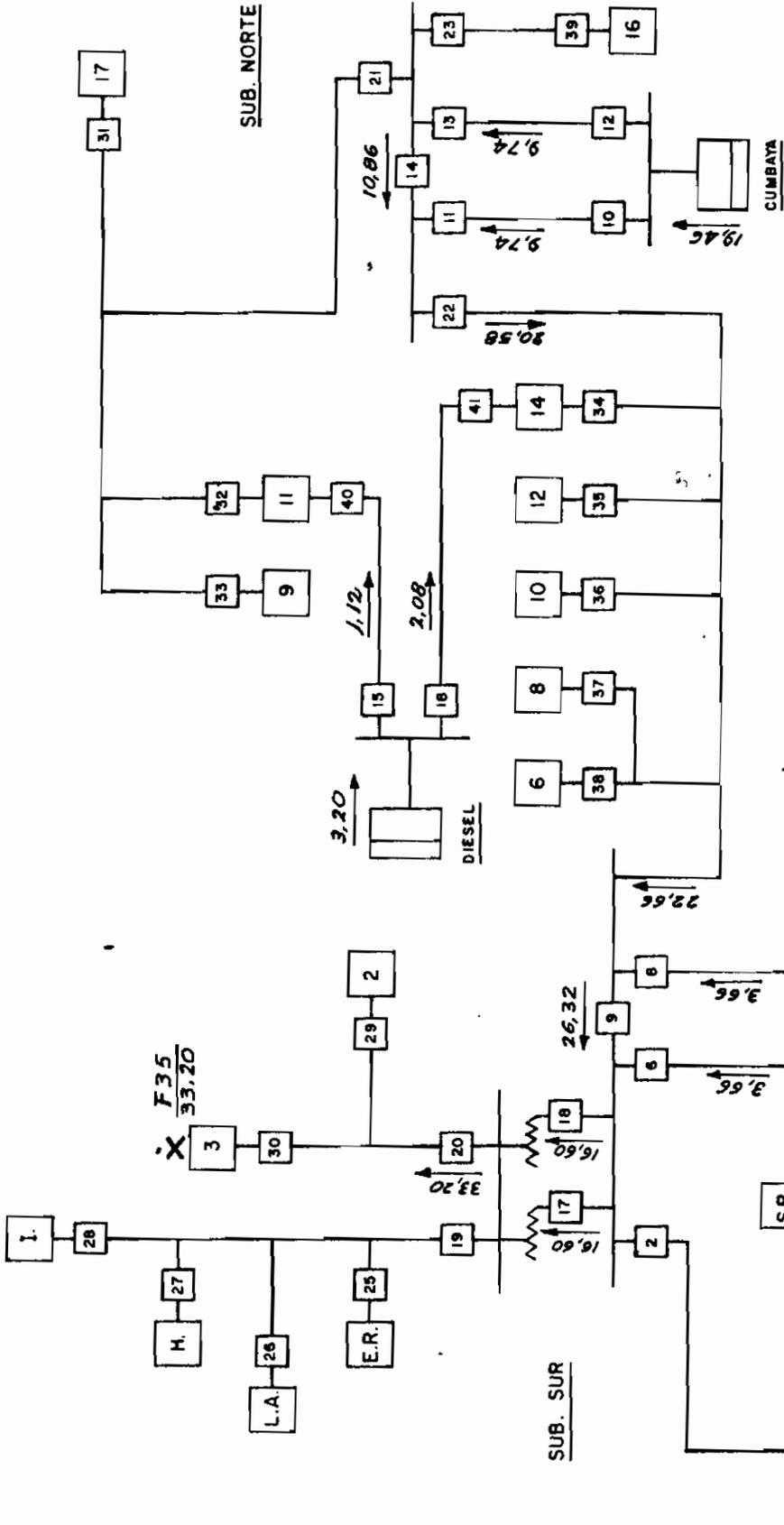
CALCULO:	FECHA:	PLANO Nº	PC-08
G. S.	ENE-FEB-87		
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº	49



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F34

CALCULO	FECHA	PLANO Nº
G.S.	ENE-FEB-67	PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº
		50

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

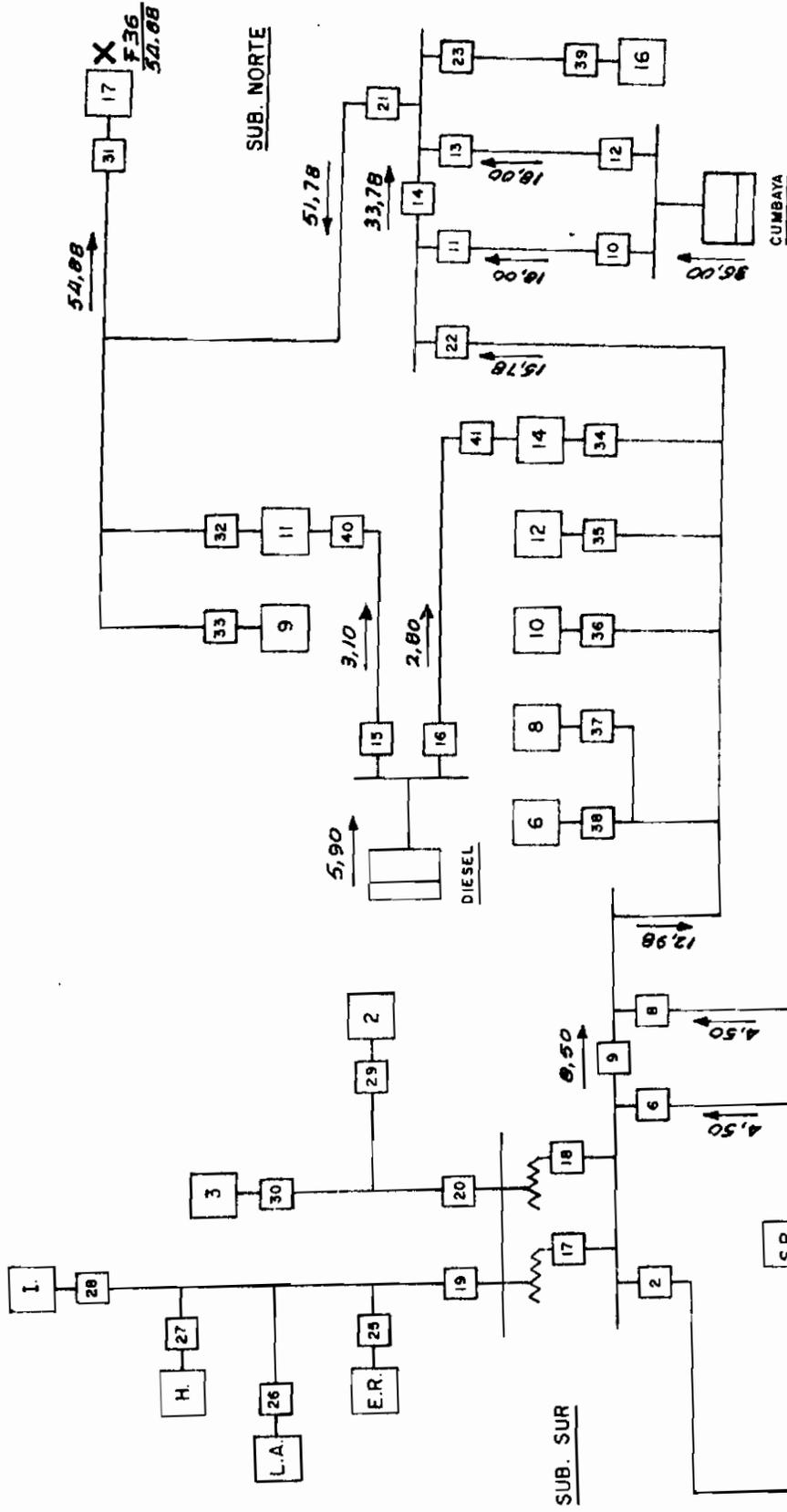
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

**FALLAS TRIFASICAS
GENERACION TOTAL**

Nº F35

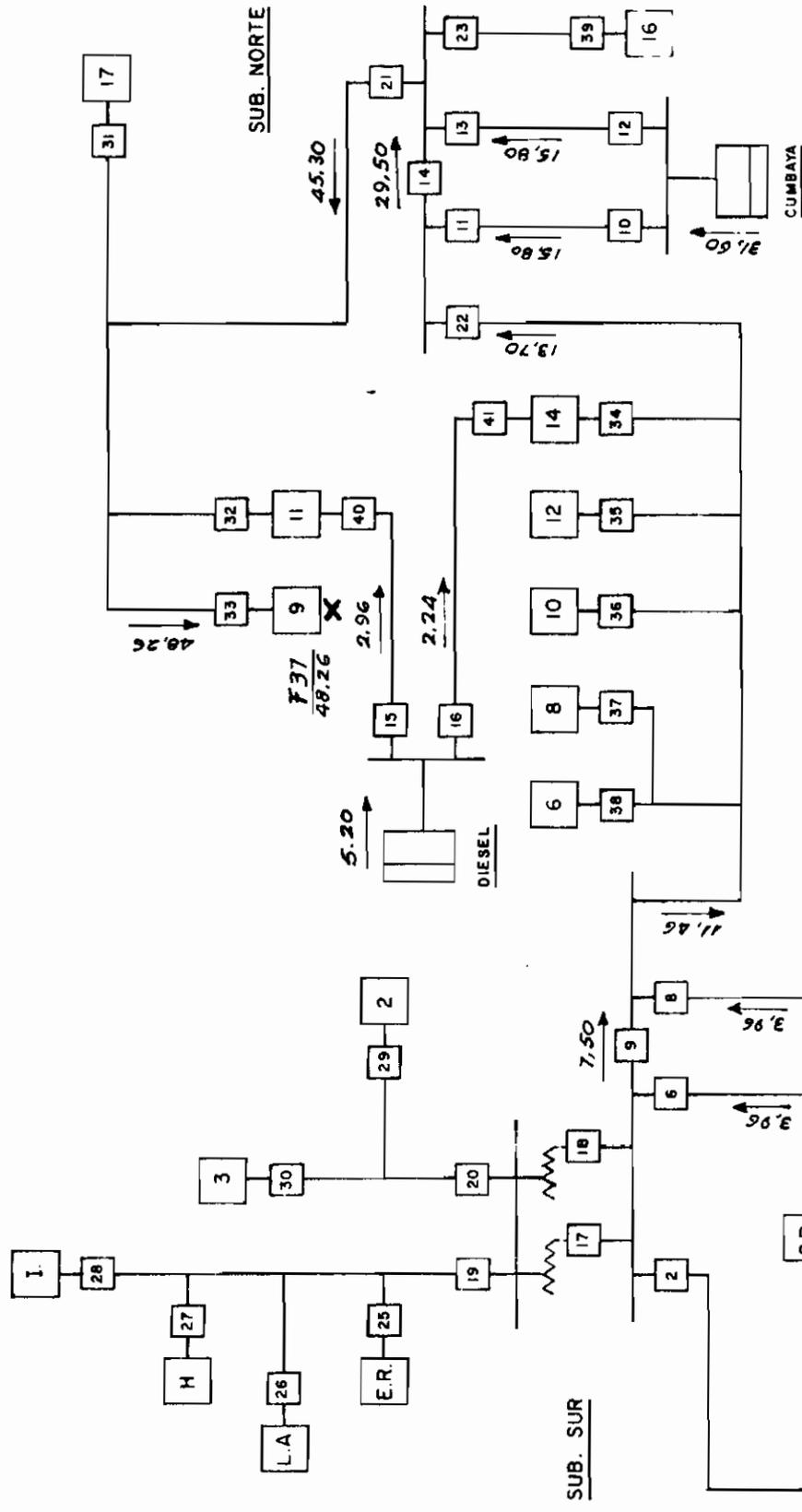
CALCULO: G. S.	FECHA: ENE-FEB-87	PLANO Nº PC-08
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 51



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F36

CALCULO	FECHA	PLANO Nº
G. S.	ENE-FEB-67	PC-08
REVISION	FECHA:	HOJA Nº
		52

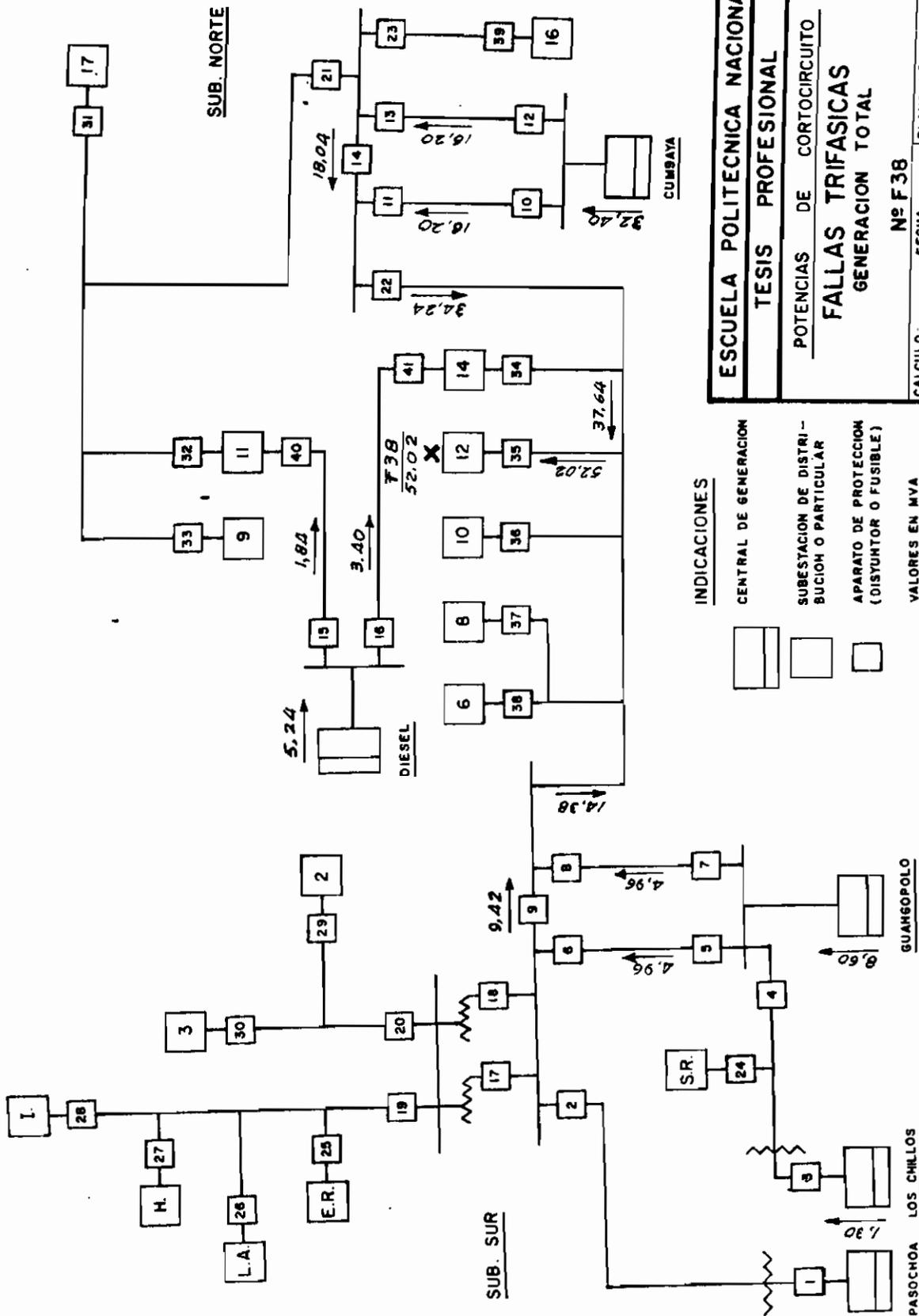
- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



INDICACIONES

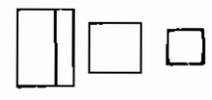
- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

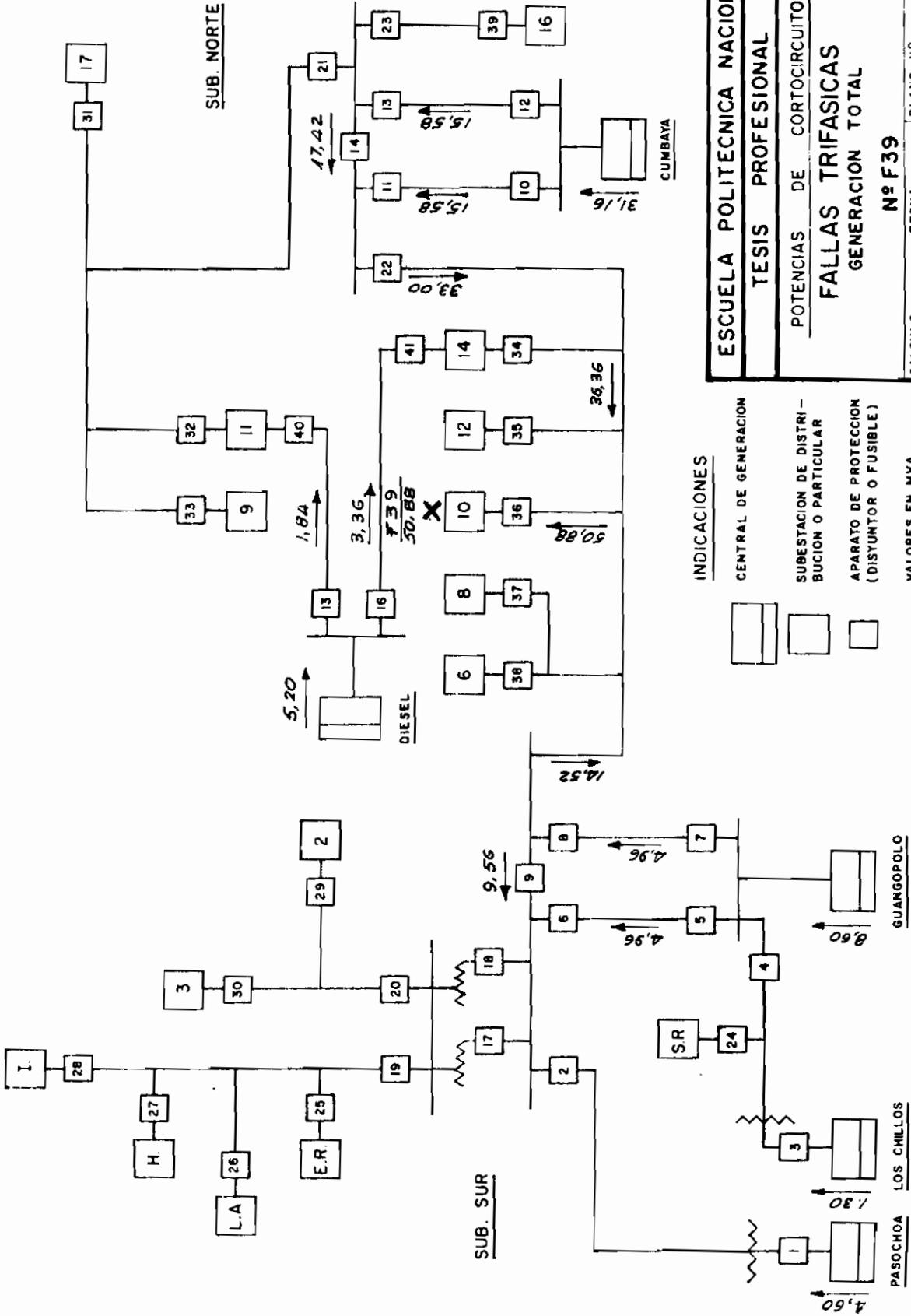
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS TRIFASICAS	
GENERACION TOTAL	
Nº F37	
CALCULO: G. S.	FECHA: ENE-FEB-67
REVISION:	FECHA:
PLANO Nº PC-08	
HOJA Nº 53	



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
 Nº F38
 CALCULO: G. S. FECHA: ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 54

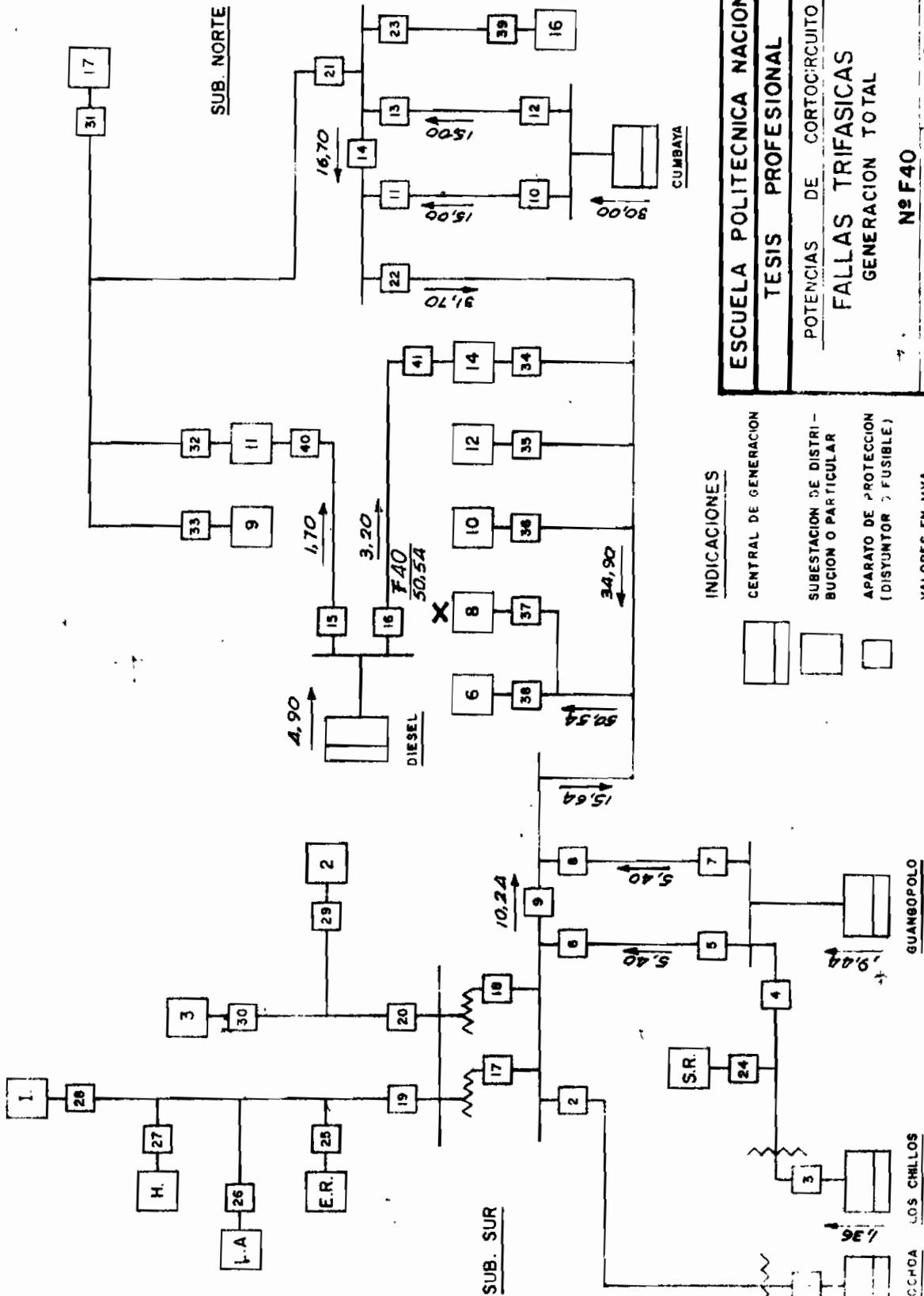
INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F39
 CALCULO G. S. FECHA ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 55

- INDICACIONES**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA



INDICACIONES

 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR Y FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

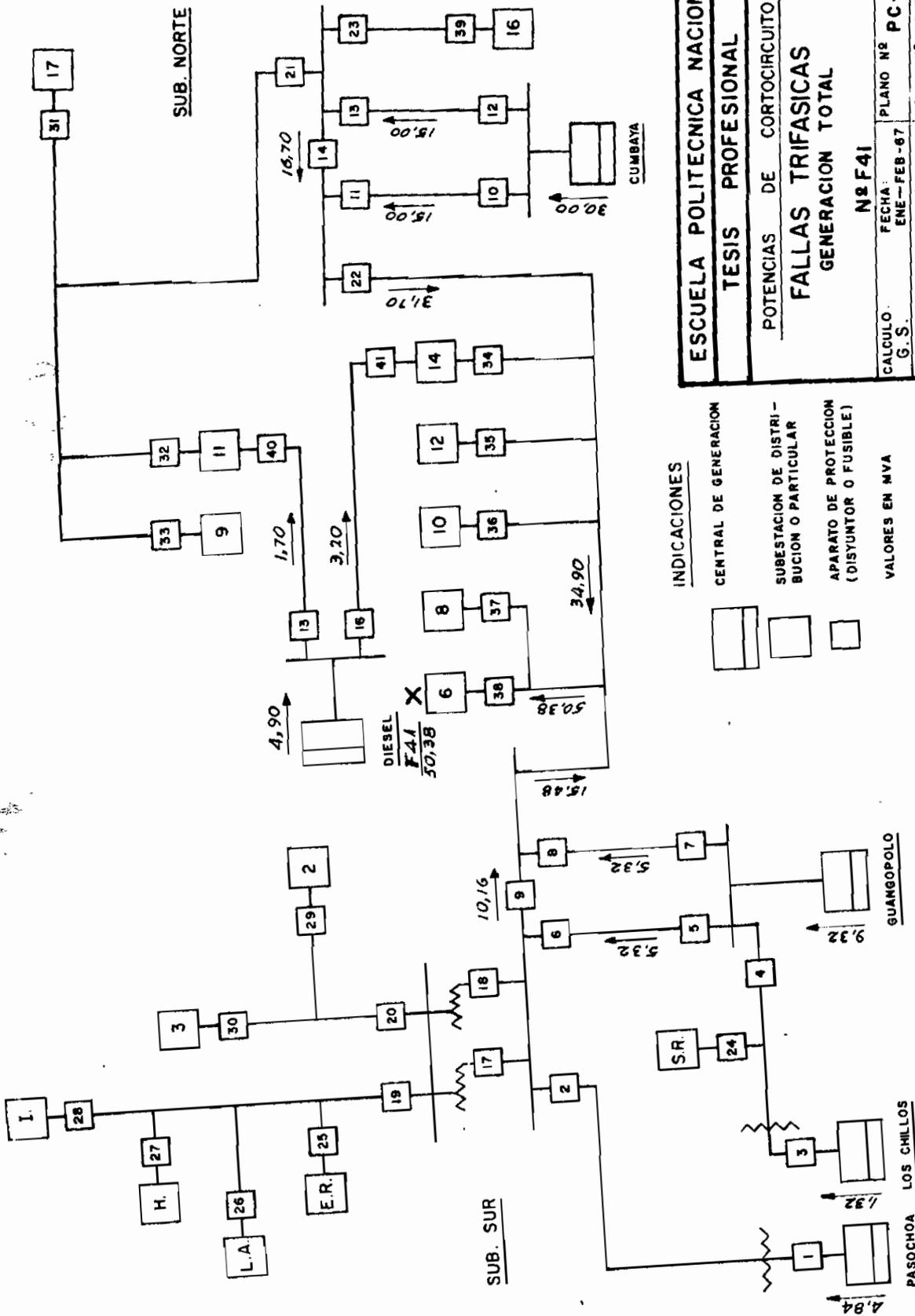
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTECIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL

Nº F40

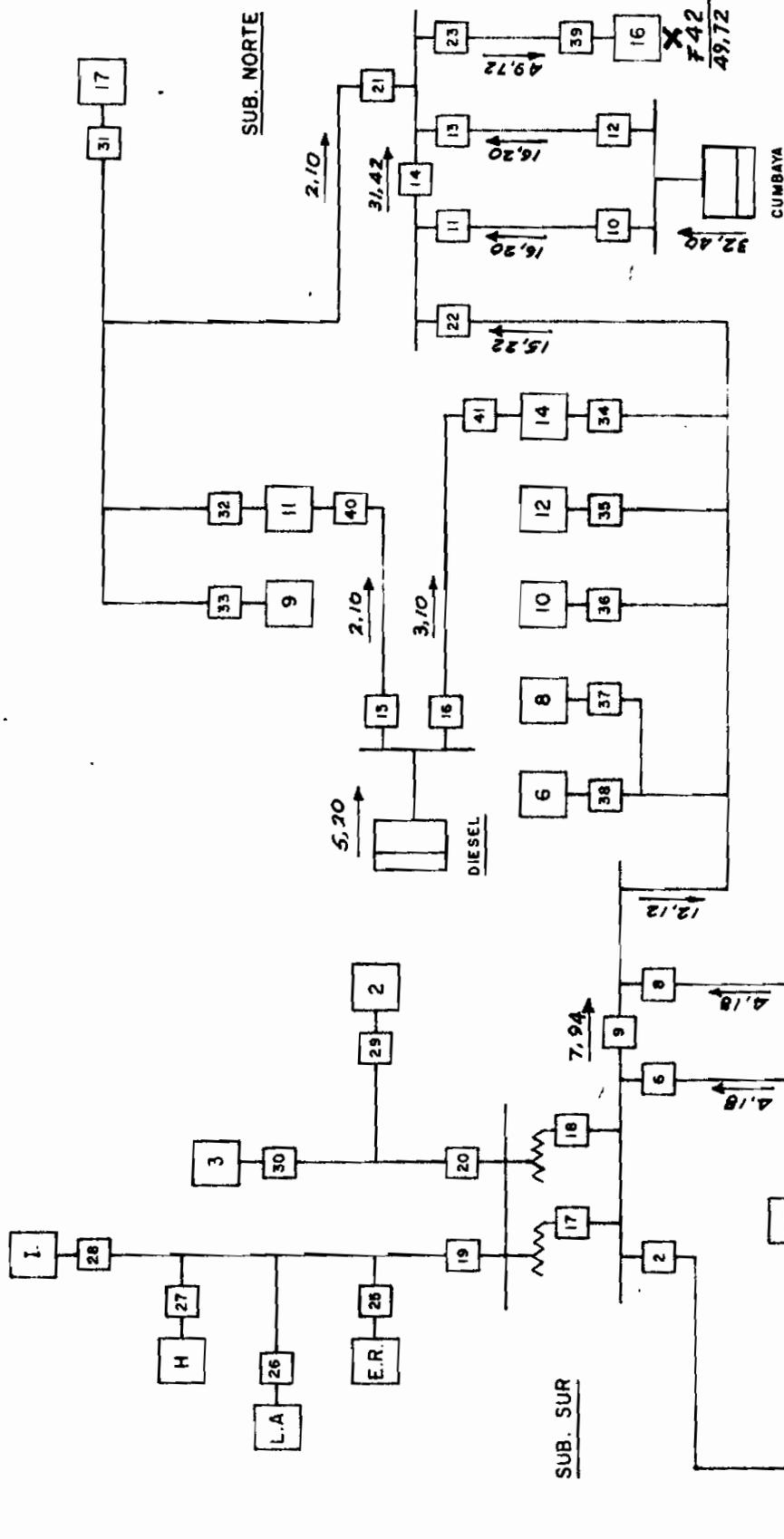
CALCULO: G
 REVISOR: V
 FECHA: ENE-FEB-67
 PLANO Nº: PC-08
 HOJA Nº: 56



INDICACIONES

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS TRIFASICAS	
GENERACION TOTAL	
Nº F41	
CALCULO:	FECHA:
G. S.	ENE-FEB-87
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-08
	HOJA Nº 57



INDICACIONES

CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS TRIFASICAS
 GENERACION TOTAL
Nº F42

CALCULO G.S. FECHA ENE-FEB-67 PLANO Nº PC-08
 REVISION FECHA: HOJA Nº 58

GUANGOPOLO

PASOCHDA LOS CHILLOS

En el plano No. PC-08, hojas Nos. 1 a 58, se indican los resultados obtenidos para cada una de las fallas, en la misma forma que para las de fase a tierra; esto es, los valores de la potencia total de cortocircuito y los de las contribuciones al punto de falla, desde cada uno de los ramales del sistema.

5.4. FALLAS DE FASE A FASE. GENERACION MINIMA

Antes de entrar al estudio de las fallas anotaremos algunas consideraciones con el objeto de definir y precisar el sistema con generación mínima. Ante todo debemos aclarar que la conformación adoptada se basa en suposiciones derivadas de consultas efectuadas en el Departamento de Generación de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A. y de las estadísticas obtenidas en el Departamento de Operación y Mantenimiento de la misma.

De acuerdo a estadísticas del año 1966 se tiene como promedio una carga mínima de aproximadamente 10.000 KW, valor al cual se llega en las primeras horas del día. Es de esperarse que para la etapa a la cual corresponde nuestro estudio, este valor aumentará un tanto.

Considerando esto y considerando además que - los generadores de Cumbayá no deben trabajar con una carga menor al 40% de su potencia nominal, se adopta el sistema con la inclusión de las siguientes unidades:

- una de la central Cumbayá;
- dos de la central Guangopolo (G3 y G4); y
- las dos de la central Los Chillos.

Se excluyen la central de Paschoa y la térmica o "Diésel", por una parte; y, por otra, tres grupos de Cumbayá y los tres de 2.500 KVA de Guangopolo. Así pues, para el análisis de este tipo de fallas debemos desconectar en el analizador de redes las partes correspondientes a las centrales Paschoa y térmica; y, además, modificar el valor de las reactancias de las centrales Cumbayá y Guangopolo, de acuerdo al cálculo que se indica a continuación:

T A B L A 5 - I

CALCULO DE REACTANCIAS
CENTRALES EN MINIMA GENERACION

Reactancia de	KVA base	X'd p.u.	X'd p.u.	X2 p.u.	Xo p.u.
C u m b a y á					
G1 o G2 o... (c/u)	11.111	0,178	0,218	0,179	
<u>T1 o T2 o... (c/u)</u>	<u>12.500</u>	<u>0,0803</u>	<u>0,0803</u>	<u>0,0803</u>	<u>0,0803</u>
G1 o G2 o... (c/u)	20.000	0,320	0,392	0,322	
<u>T1 o T2 o... (c/u)</u>	<u>"</u>	<u>0,1285</u>	<u>0,1285</u>	<u>0,1285</u>	<u>0,1285</u>
<u>CENTRAL (equiv.)</u>	<u>"</u>	<u>0,4485</u>	<u>0,5205</u>	<u>0,4505</u>	<u>0,1285</u>
G u a n g o p o l o					
G3 y G4 (c/u)	2.000	0,21	0,31	0,25	
<u>T1 o T2 (c/u)</u>	<u>5.000</u>	<u>0,07</u>	<u>0,07</u>	<u>0,07</u>	<u>0,07</u>
G3 y G4 (c/u)	20.000	2,10	3,10	2,50	
G3 y G4 (equiv.)	"	1,05	1,55	1,25	
<u>T1 o T2 (c/u)</u>	<u>"</u>	<u>0,28</u>	<u>0,28</u>	<u>0,28</u>	<u>0,28</u>
<u>CENTRAL (equiv.)</u>	<u>"</u>	<u>1,33</u>	<u>1,83</u>	<u>1,53</u>	<u>0,28</u>

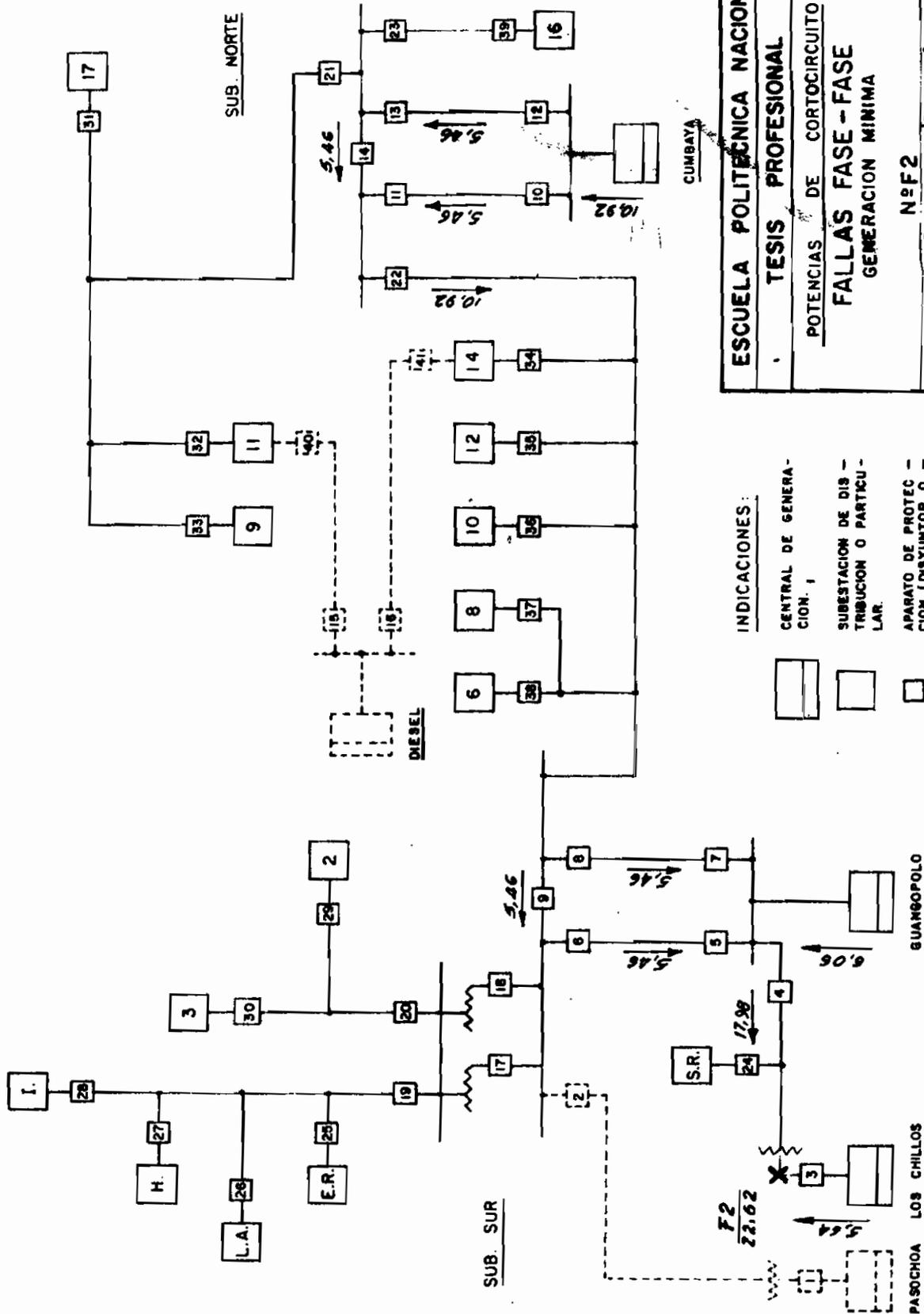
NOTAS:

1. En el sistema con mínima generación la central de Los Chillos interviene completa. - En cambio quedan excluidas las centrales de Paschoa y térmica.

2. En las reactancias equivalentes de secuencia cero para las centrales de Cumbayá y - Guangopolo, sólo interviene la reactancia del transformador, ya que su conexión delta - estrella interrumpe la continuidad con el generador (los generadores en el caso de Guangopolo).

Una vez realizados los cambios en el analizador de redes, a fin de conformar el sistema con mínima generación, interconectamos los circuitos de secuencias positiva y negativa en paralelo (no interviene el de - secuencia cero), esto es, las barras de potencial cero entre sí y los puntos correspondientes a una misma falla en los dos circuitos, también entre sí, de acuerdo a lo indicado en 2.5.3, en 5.1 y en la fig. 2.20.

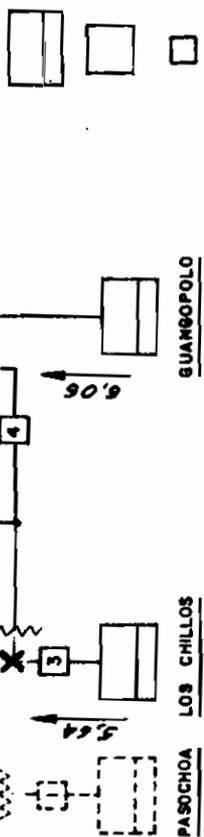
Es evidente que por estar los dos circuitos secuenciales en paralelo, la corriente que atraviesa por cada uno de ellos es la misma, de modo que será sufi--ciente tomar las lecturas en el circuito de secuencia positiva y aplicar el cálculo ya indicado en 5.1.4 - (multiplicación por raíz cuadrada de 3), para obtener la potencia de cortocircuito en p. u. de base 20 MVA.

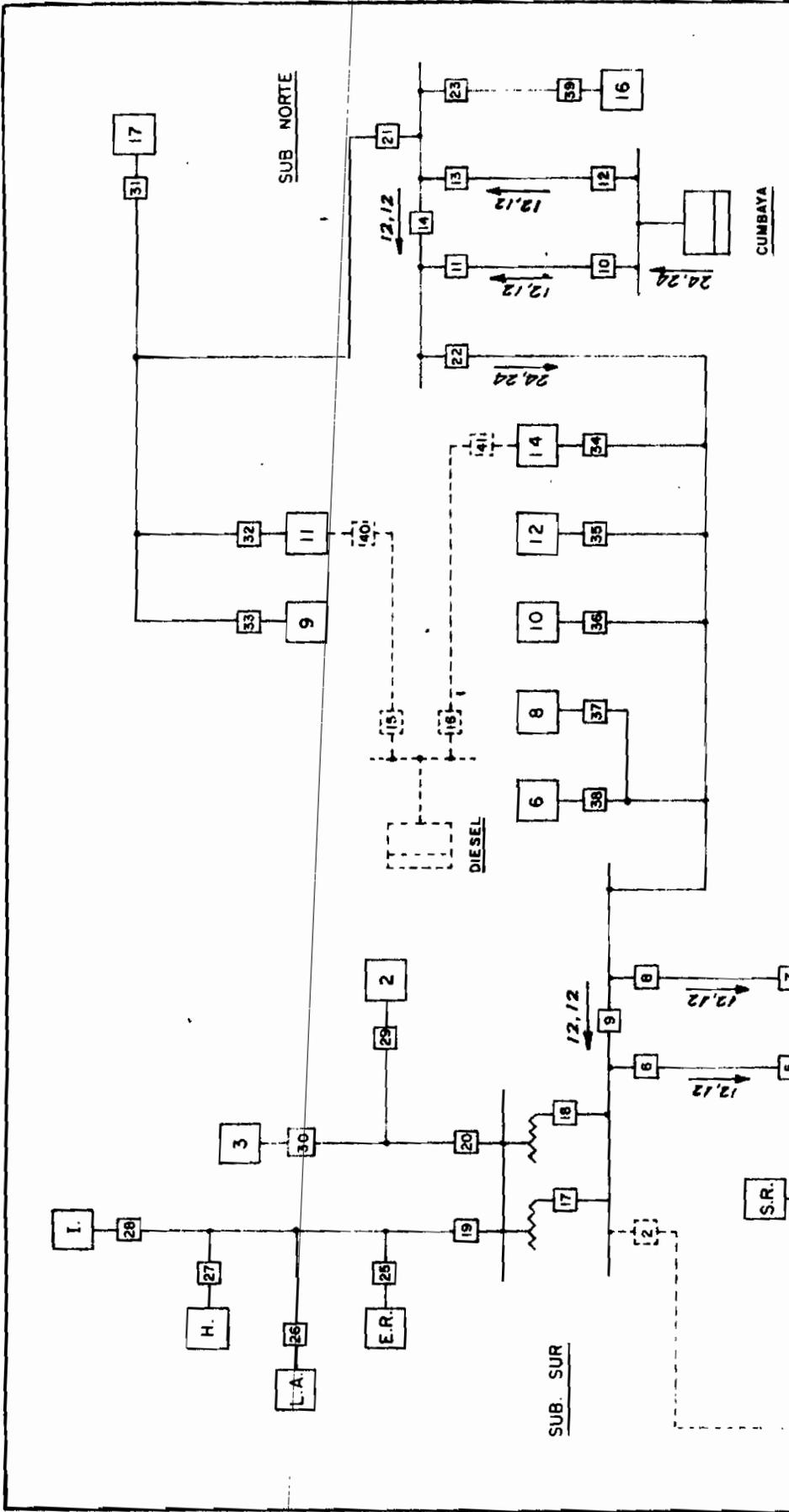


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
 N° F2
 CALCULO: G. S. FECHA: DIC-86-ENE-87 PLANO N° PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA N° 1

INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION.
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

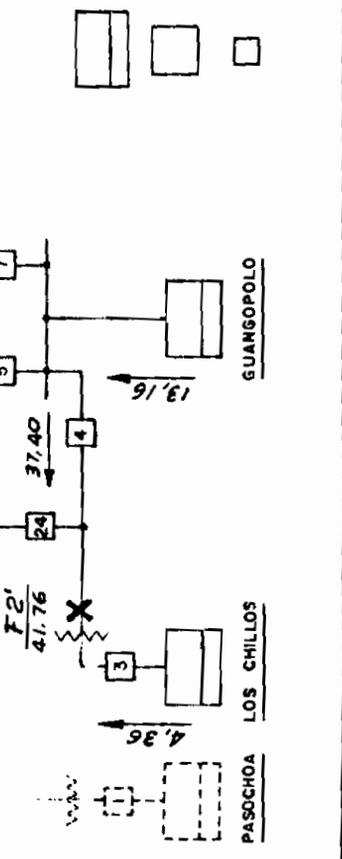


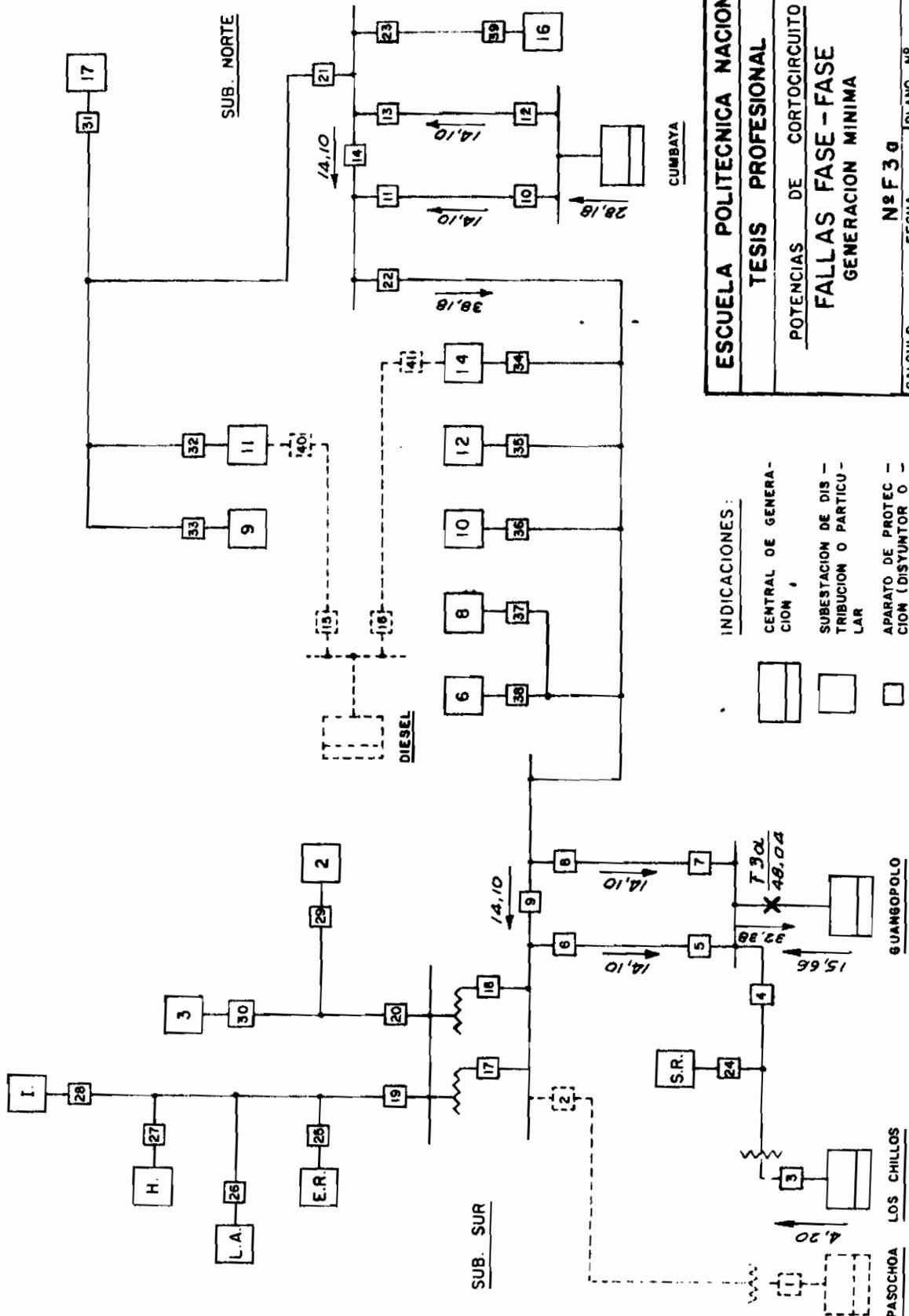


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F 2'
 FECHA: DIC-66-ENE-67
 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 2

- INDICACIONES.**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
GENERACION MINIMA

Nº F 30
 CALCULO: G. S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 3

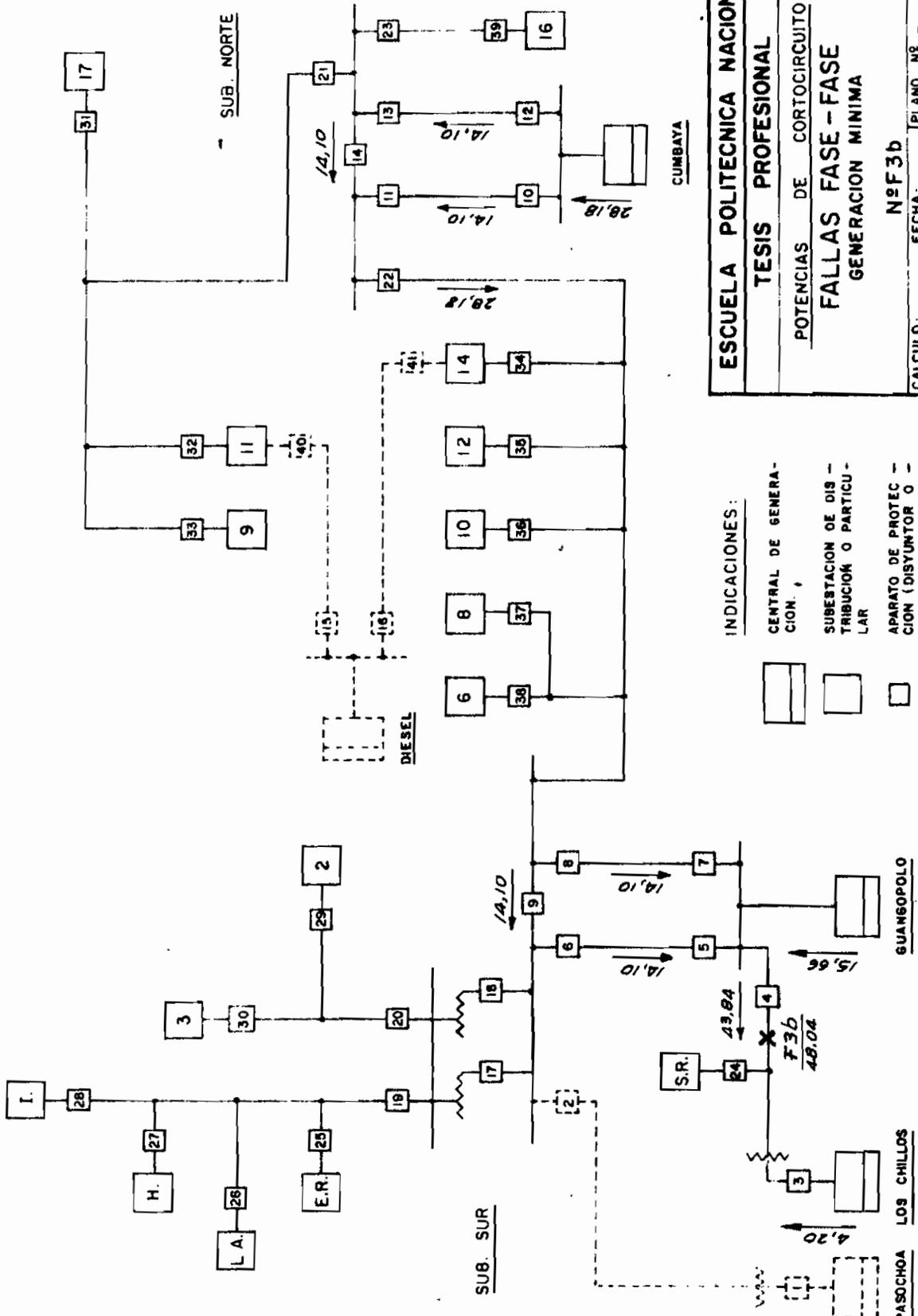
INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS FASE - FASE

GENERACION MINIMA

Nº F3b

CALCULO: G. S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09

REVISION: FECHA: HOJA Nº 4

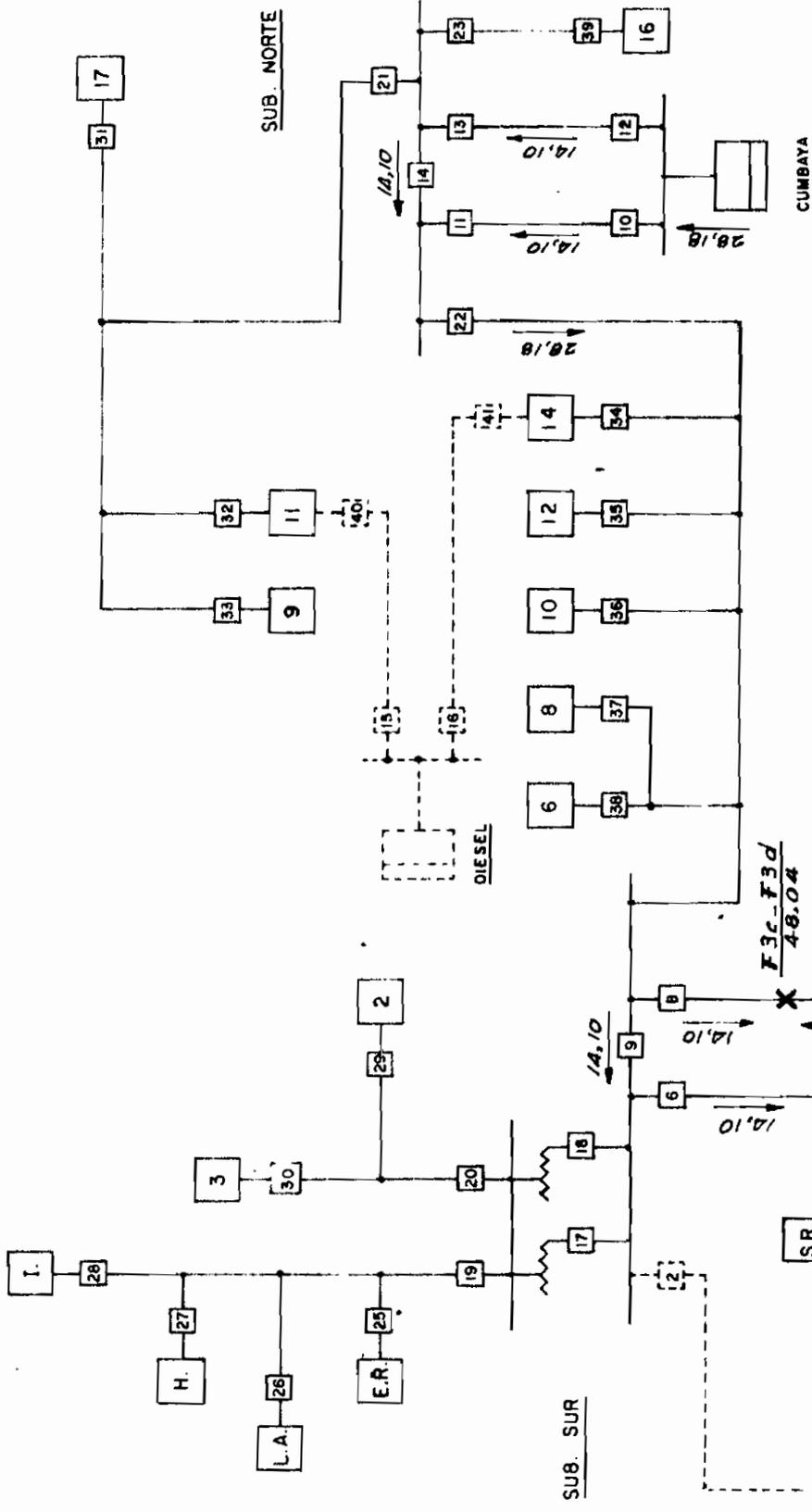
INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

GUANSOPOLO

LOS CHILLOS

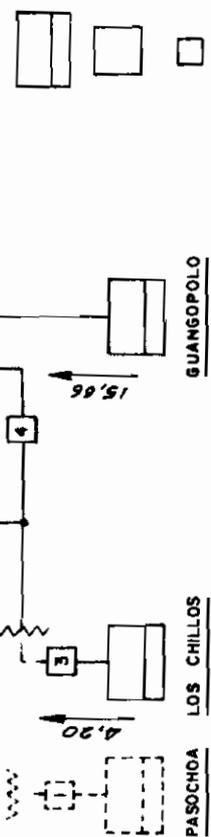
PASOCHOA

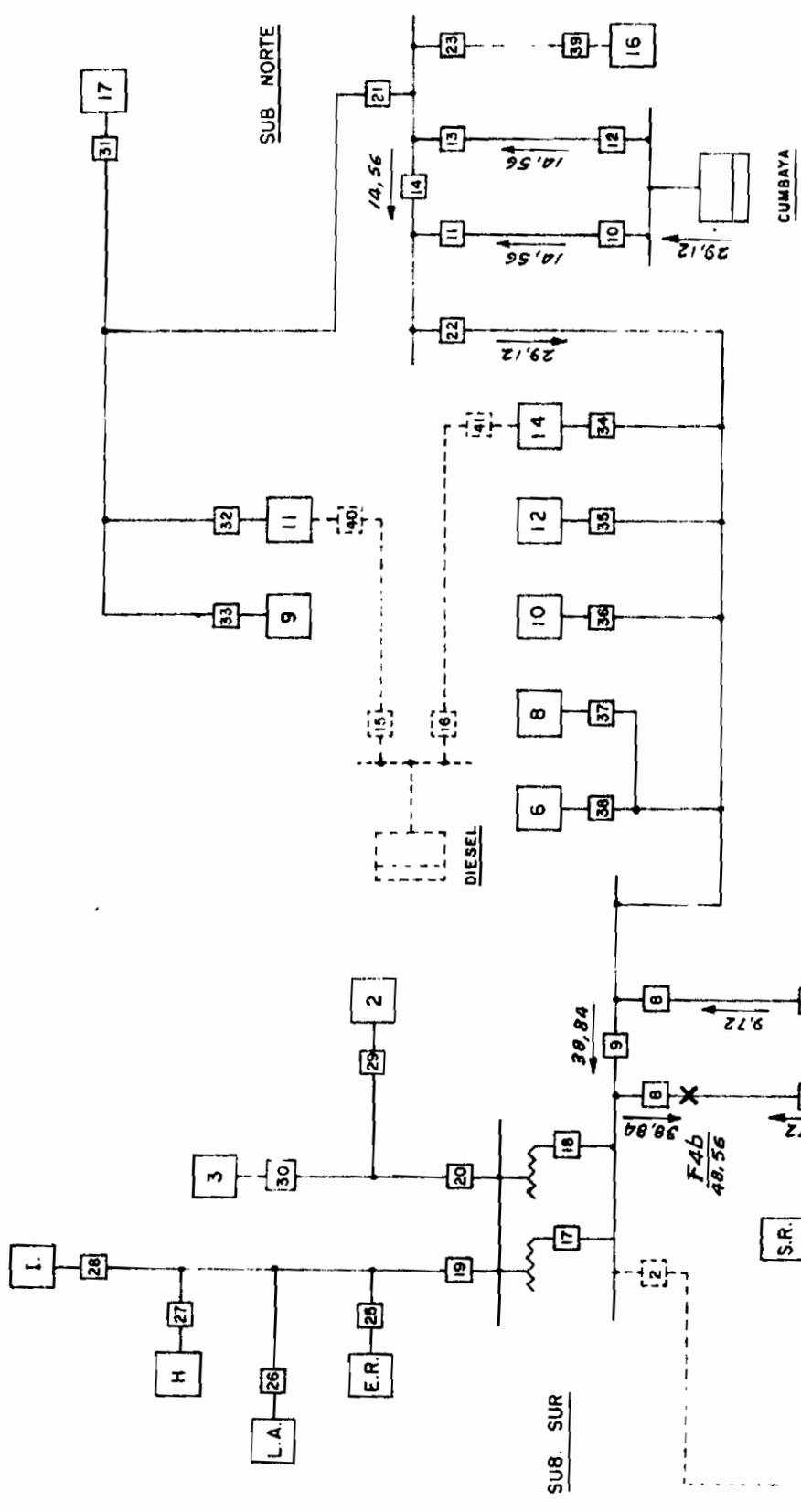


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
 N° F3c - F3d
 CALCULO: G. S. FECHA: D'IC-66--ENE-67 PLANO N° PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA N° 5

INDICACIONES:

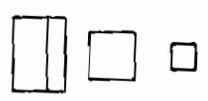
- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.





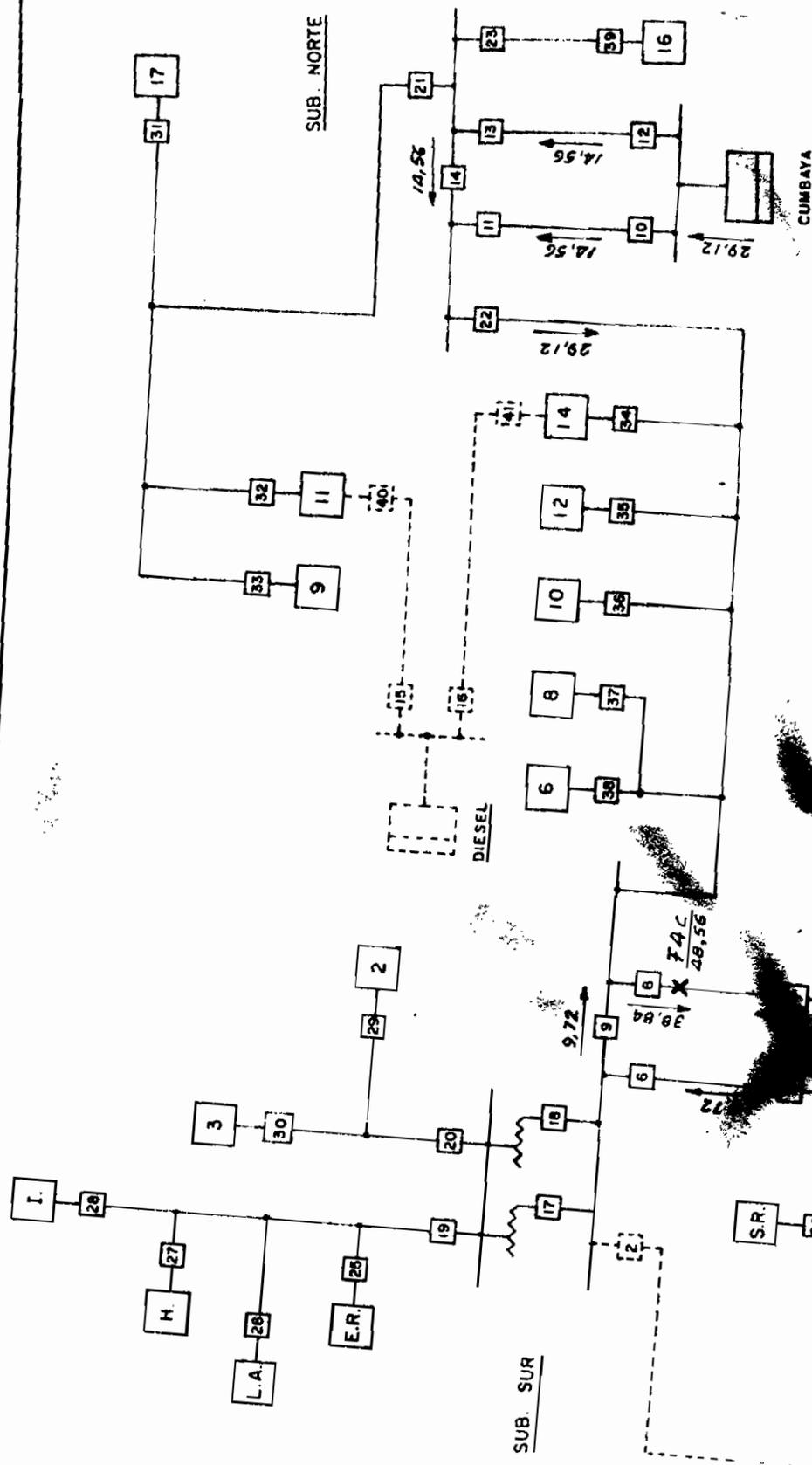
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
NºF4b
 CALCULO: G.S. FECHA: D'IC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 6

INDICACIONES
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



GUANGOPOLO

PASOCHOA LOS CHILLOS



ESCOELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F4C

CALCULO: G.S. FECHA: D'C-86-ENE-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 7

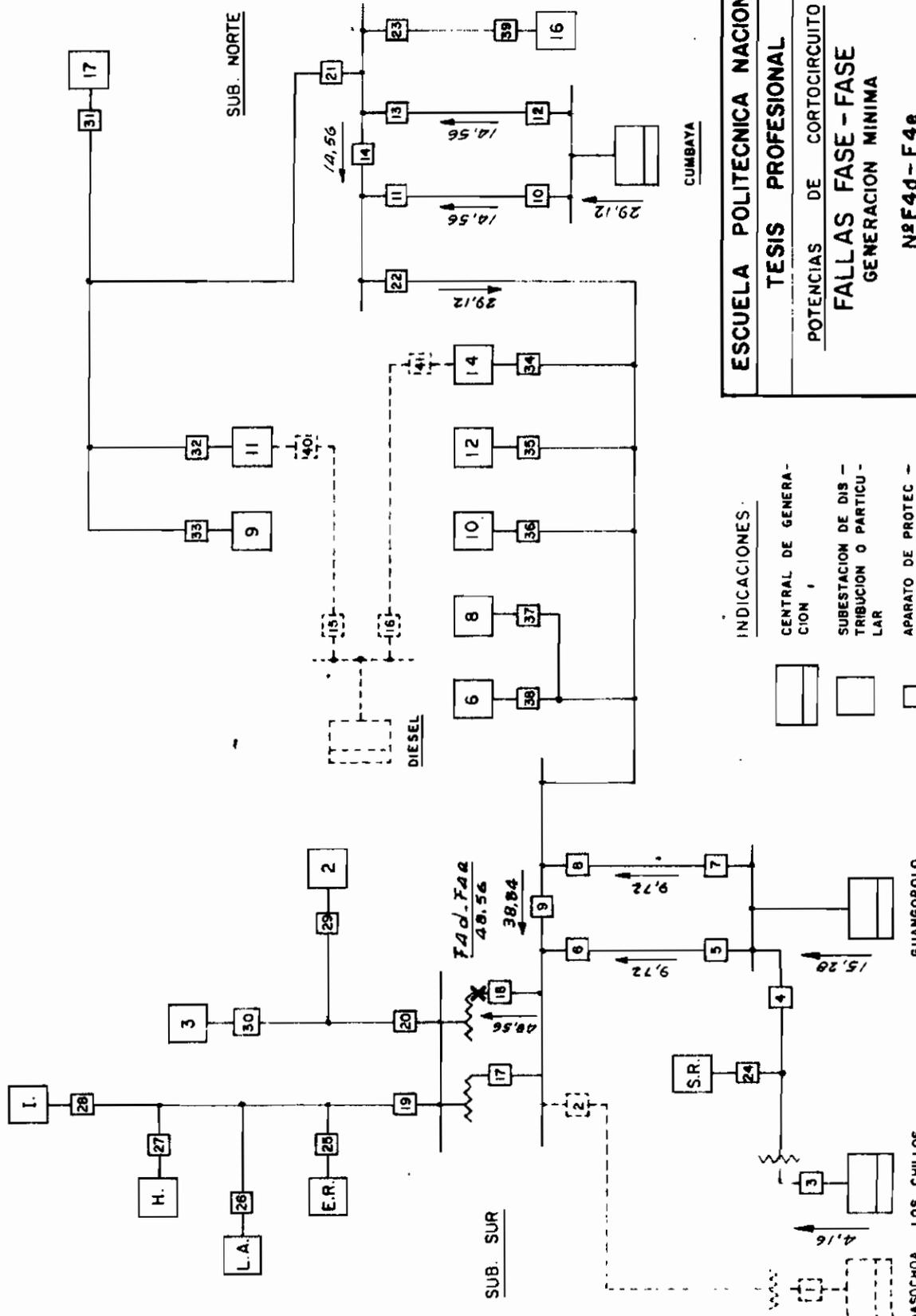
INDICACIONES:

CENTRAL DE GENERACION

SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

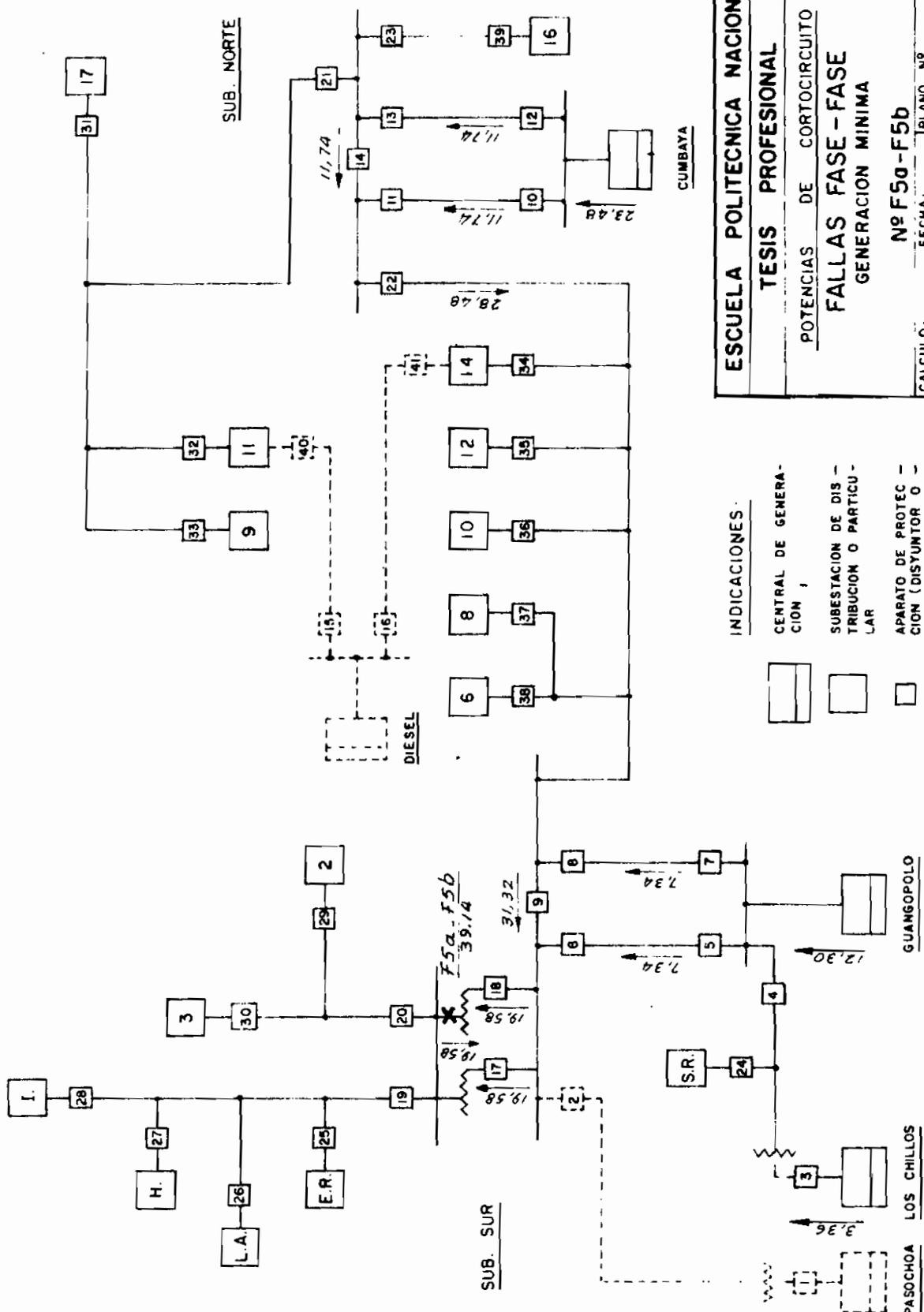
VALORES EN MVA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F4d - F4e	
CALCULO: G. S.	FECHA: D/C-86-ENE-87
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 8

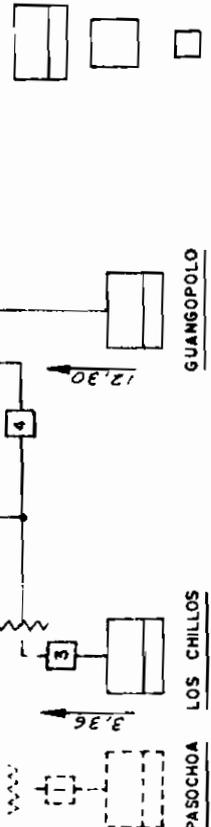
INDICACIONES:

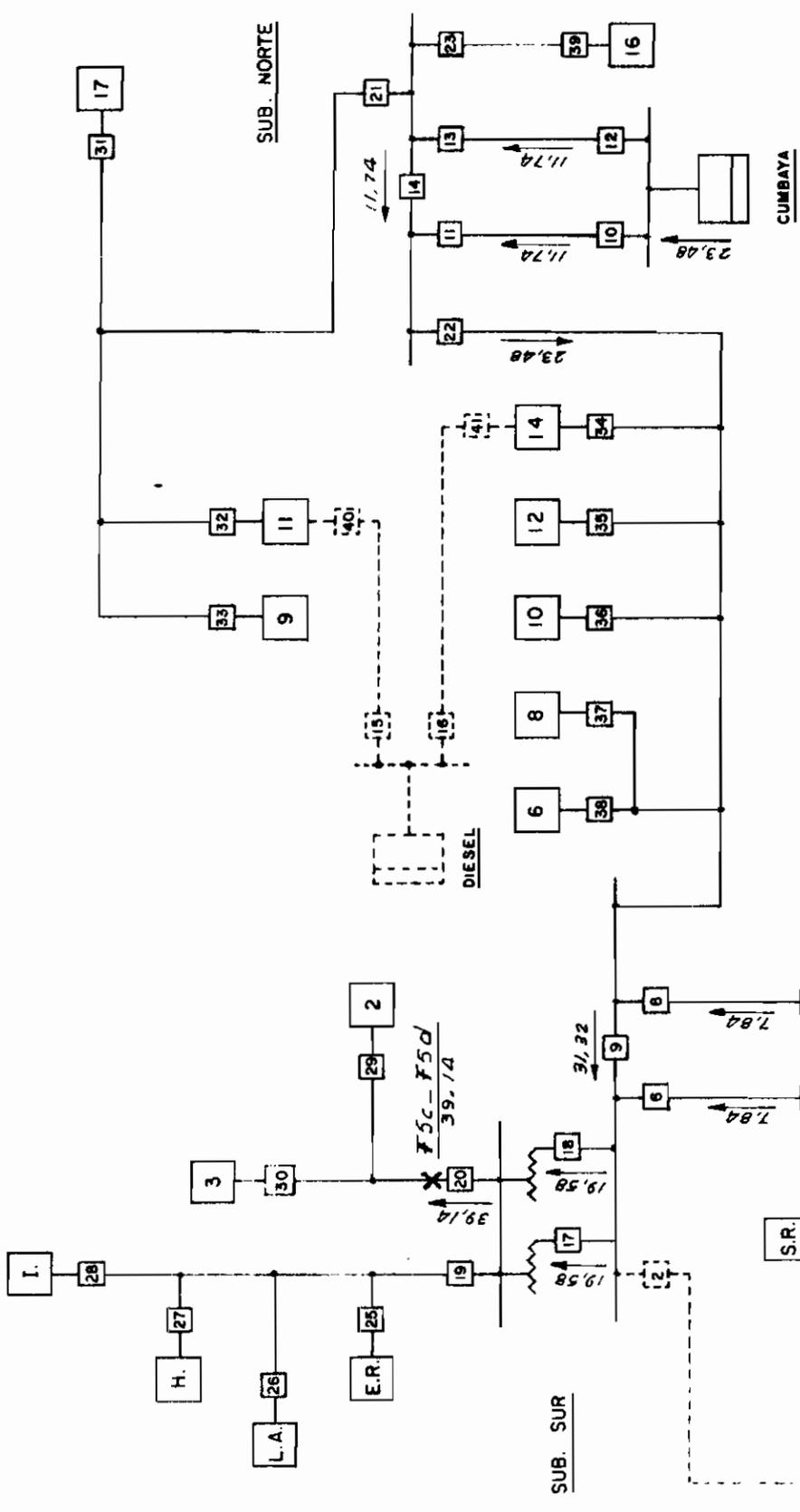
-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
GENERACION MINIMA
 Nº F5a-F5b
 CALCULO: G S FECHA: DIC-86-ENE-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 10

INDICACIONES:
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA



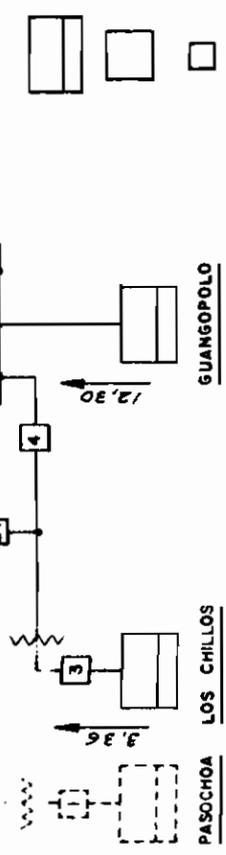


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

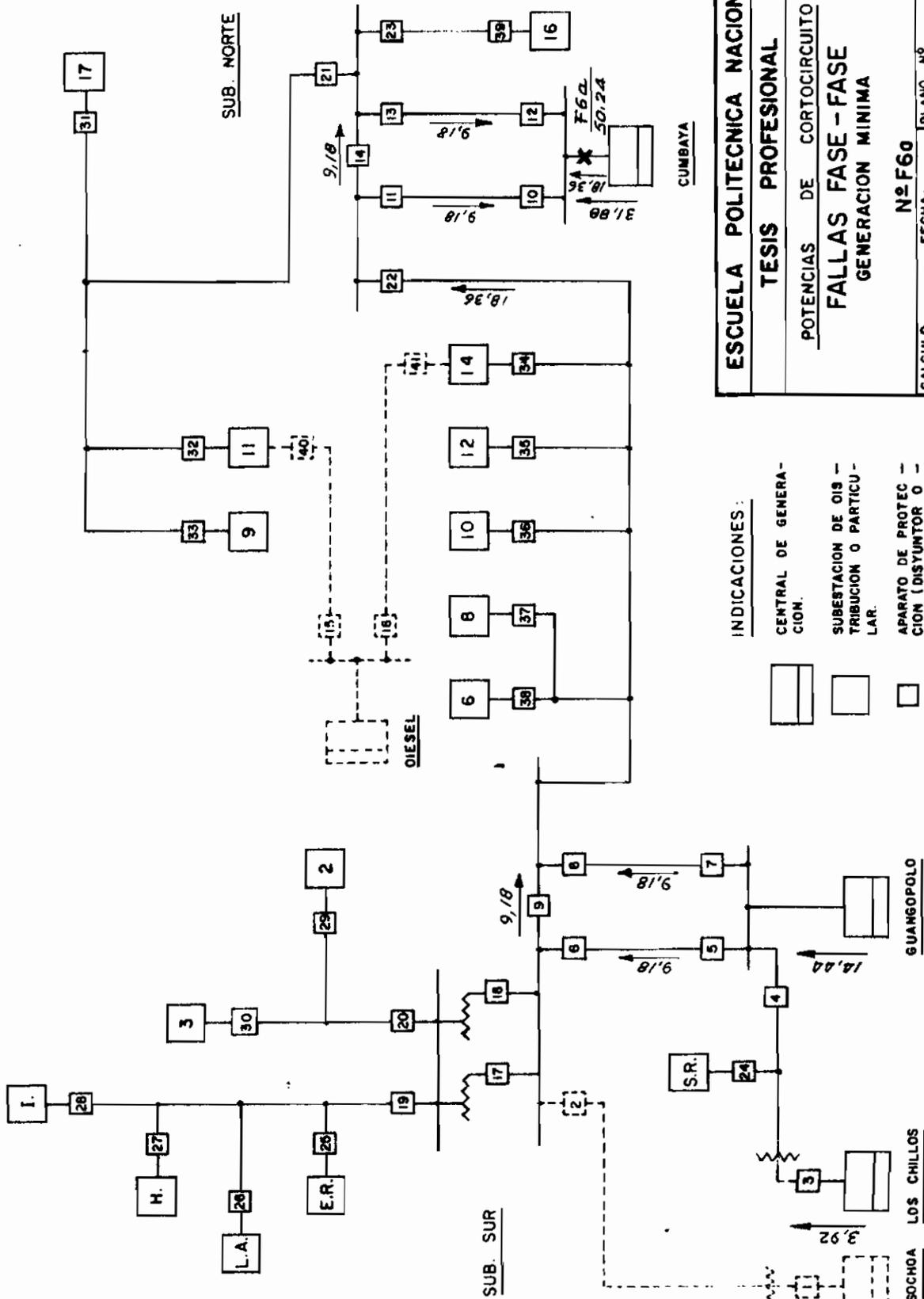
Nº F5c-F5d
 FECHA: DIC-66-ENE-67
 PLANO Nº PC-09
 CALCULO: G. S.
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 11

INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION.
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.



PASOCHOA
 LOS CHILLOS
 GUANGOPOLO

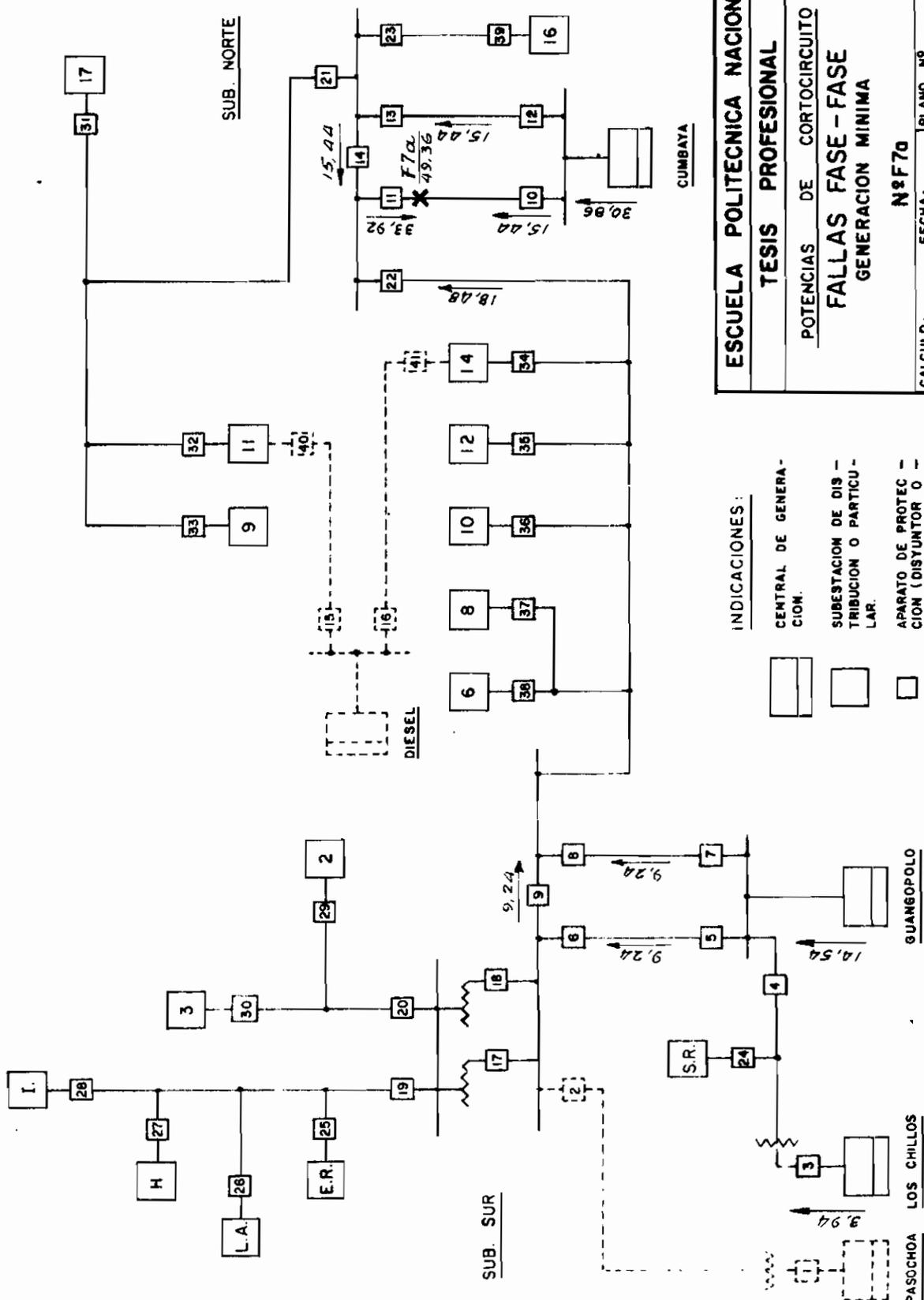


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F60	
CALCULO:	FECHA:
G. S.	DIC-88-ENE-87
REVISION:	FECHA:
PLANO Nº	PC-09
HOJA Nº	12

INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBESTACION DE OIS - TRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISTINTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

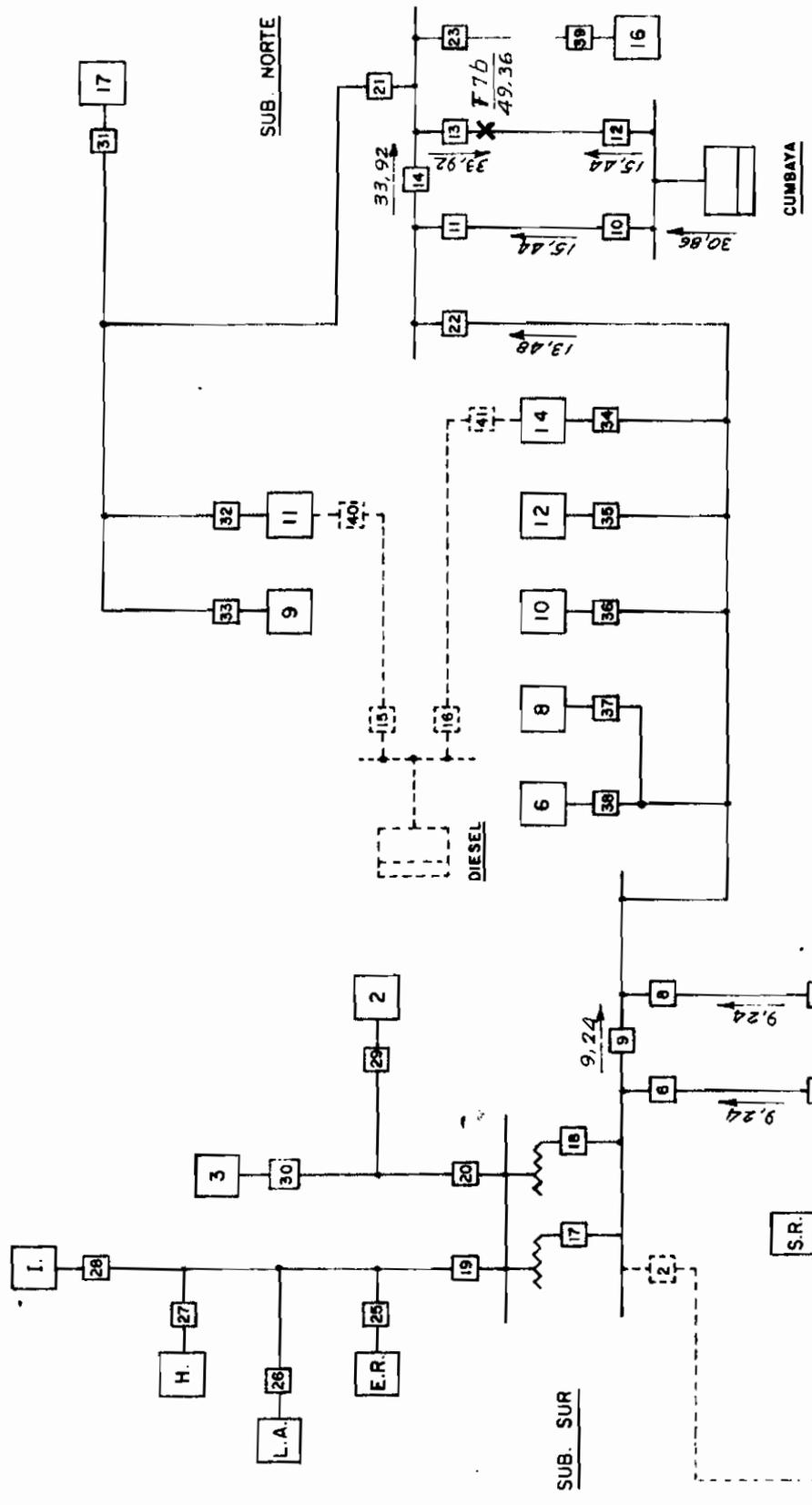
PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
 N°F70
 CALCULO: G. S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO N° PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA N° 14

INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F7b	
CALCULO: G. S.	FECHA: DIC-66
REVISION:	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 15

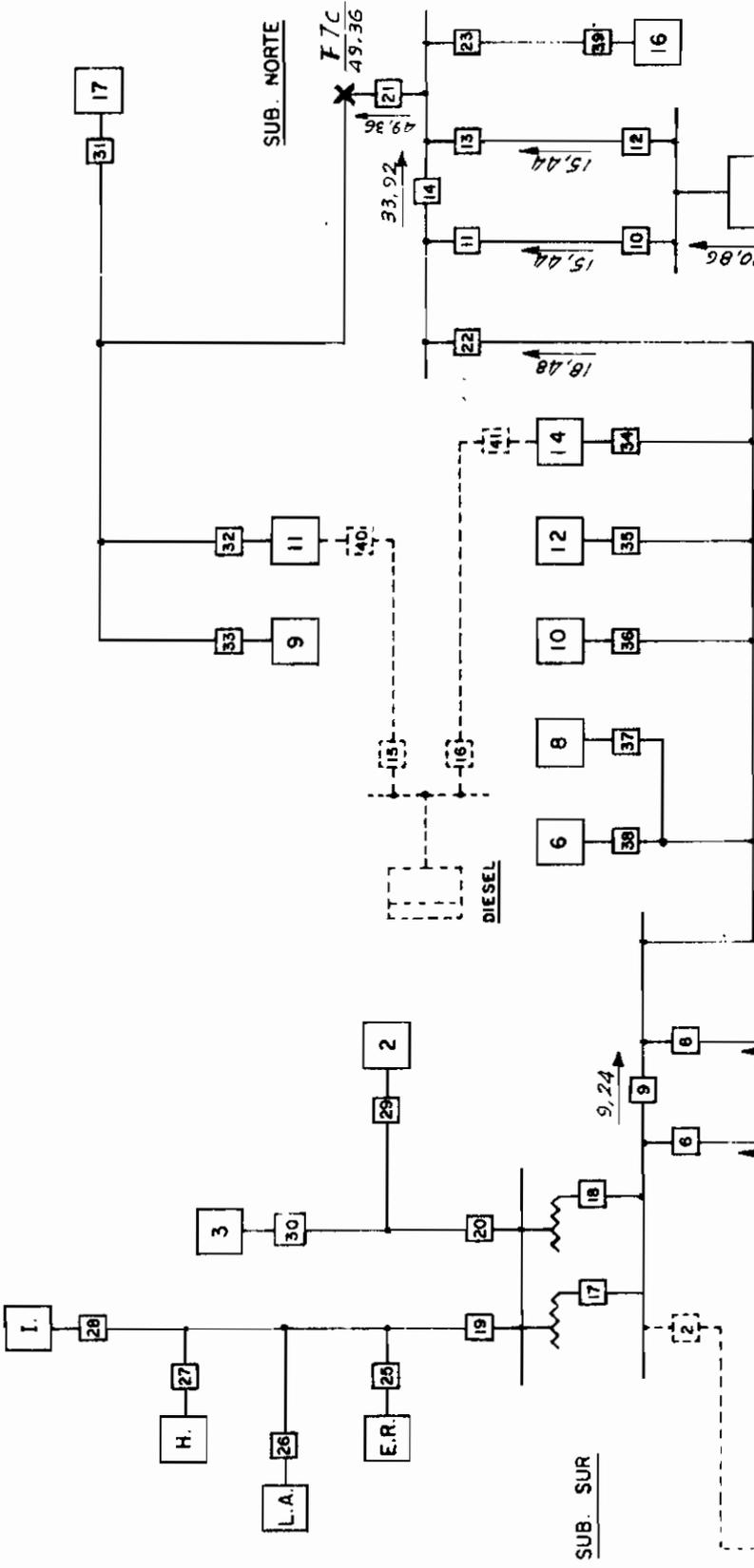
INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
-  VALORES EN MVA.

GUANGOPOLO

LOS CHILLOS

PASOCHDA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS FASE - FASE

GENERACION MINIMA

Nº F7C

CALCULO: G. S. FECHA: DIC-88-ENE-87 PLANO Nº PC-09

REVISION: FECHA: HOJA Nº 16

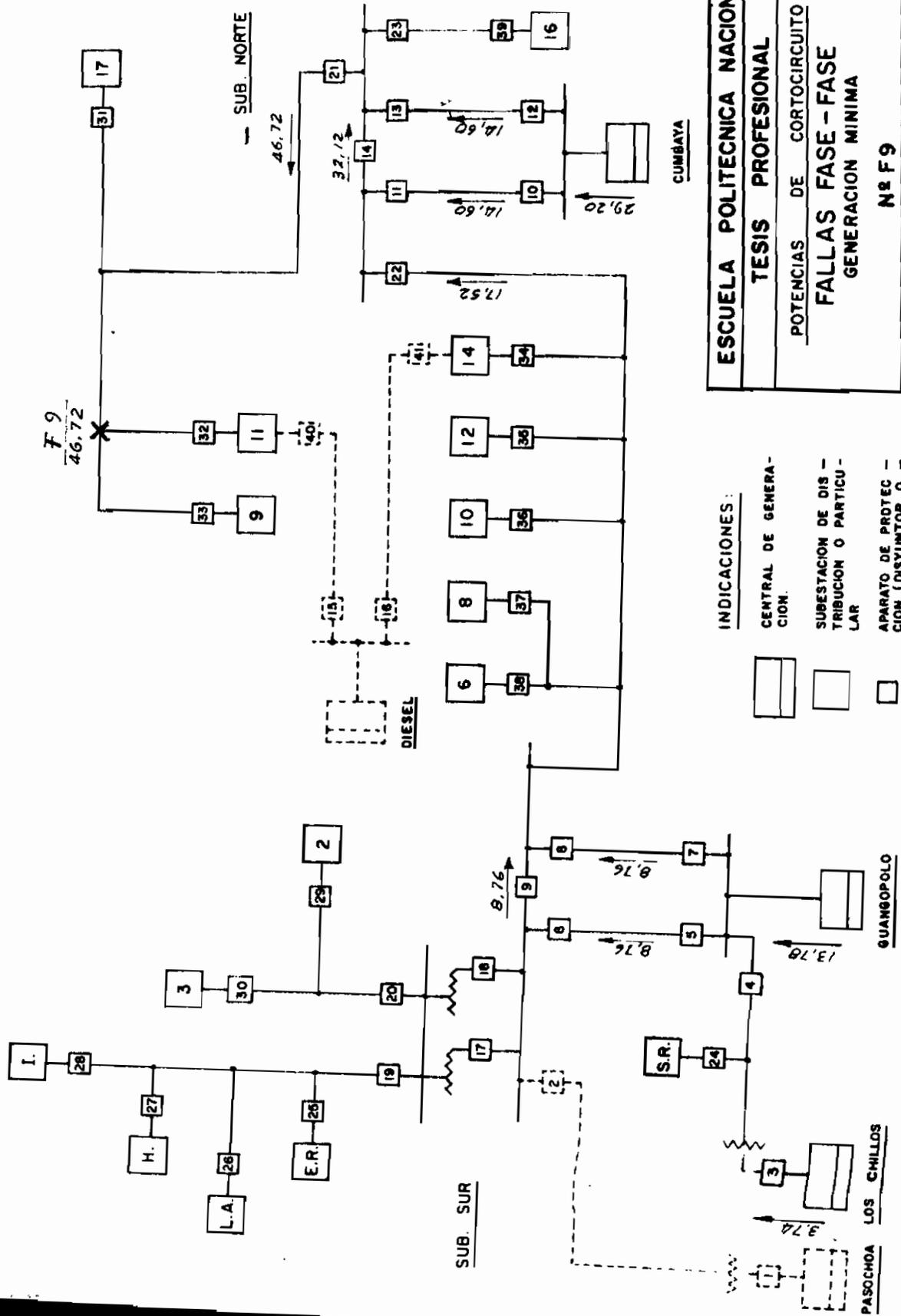
INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

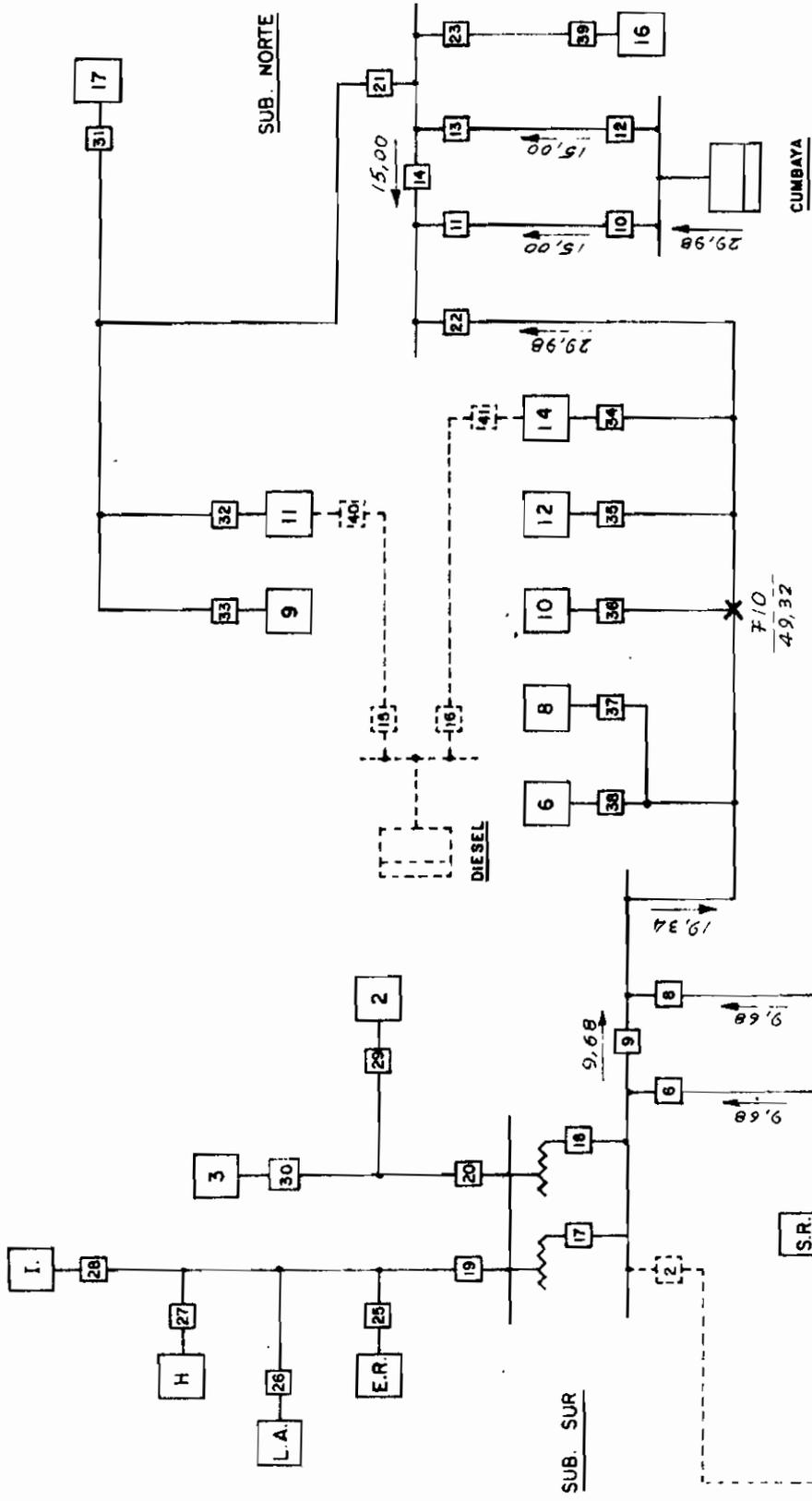
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F 9

CALCULO: G. S.	FECHA: DIC-88-ENE-87	PLANO Nº PC-09
REVISION:	FECHA:	HOJA Nº 19

INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

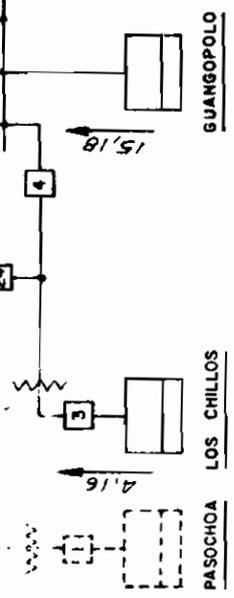


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

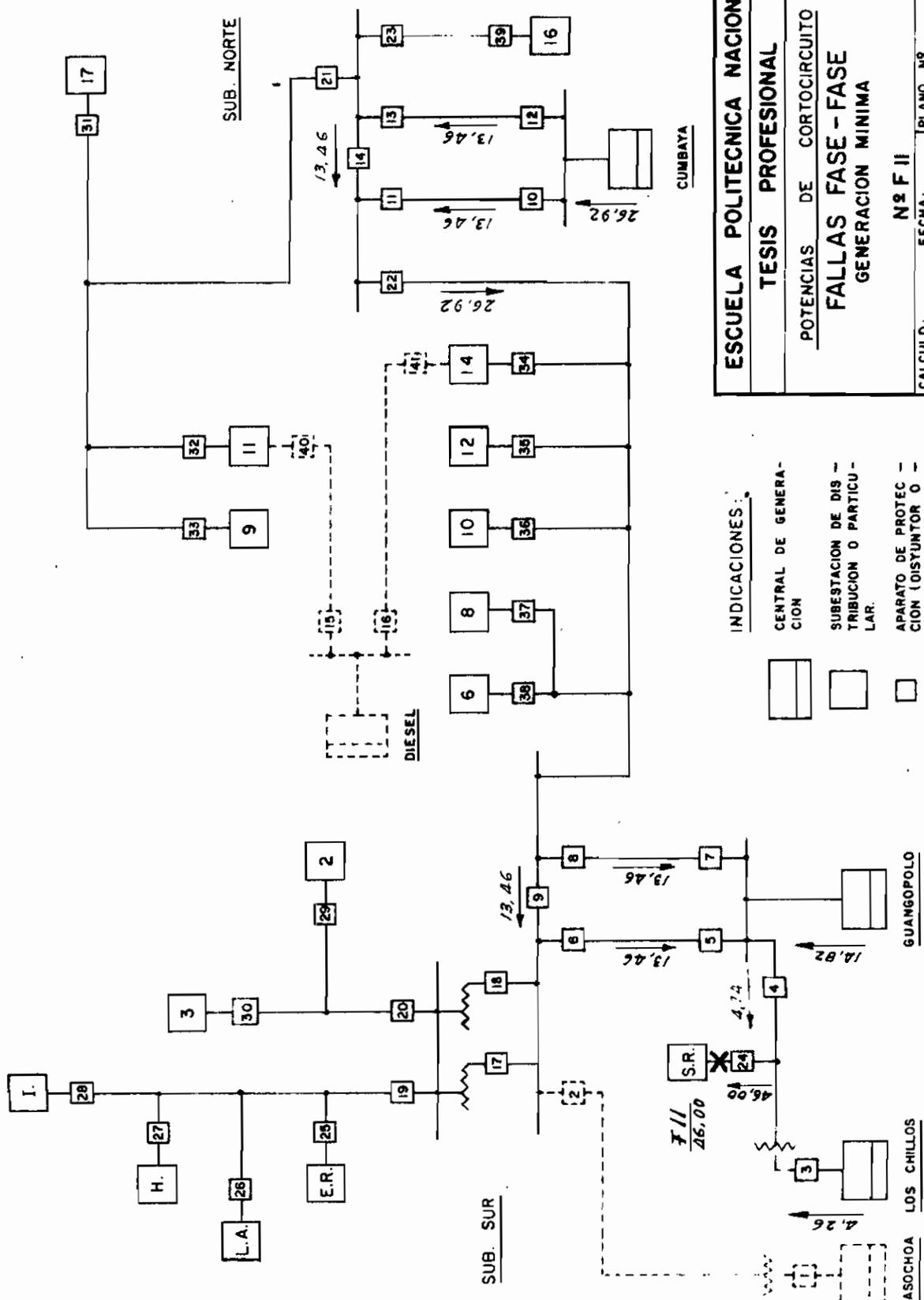
Nº F10

CALCULO: G. S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 20

- INDICACIONES:**
-  CENTRAL DE GENERACION.
 -  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
 -  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 - VALORES EN MVA.



PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO



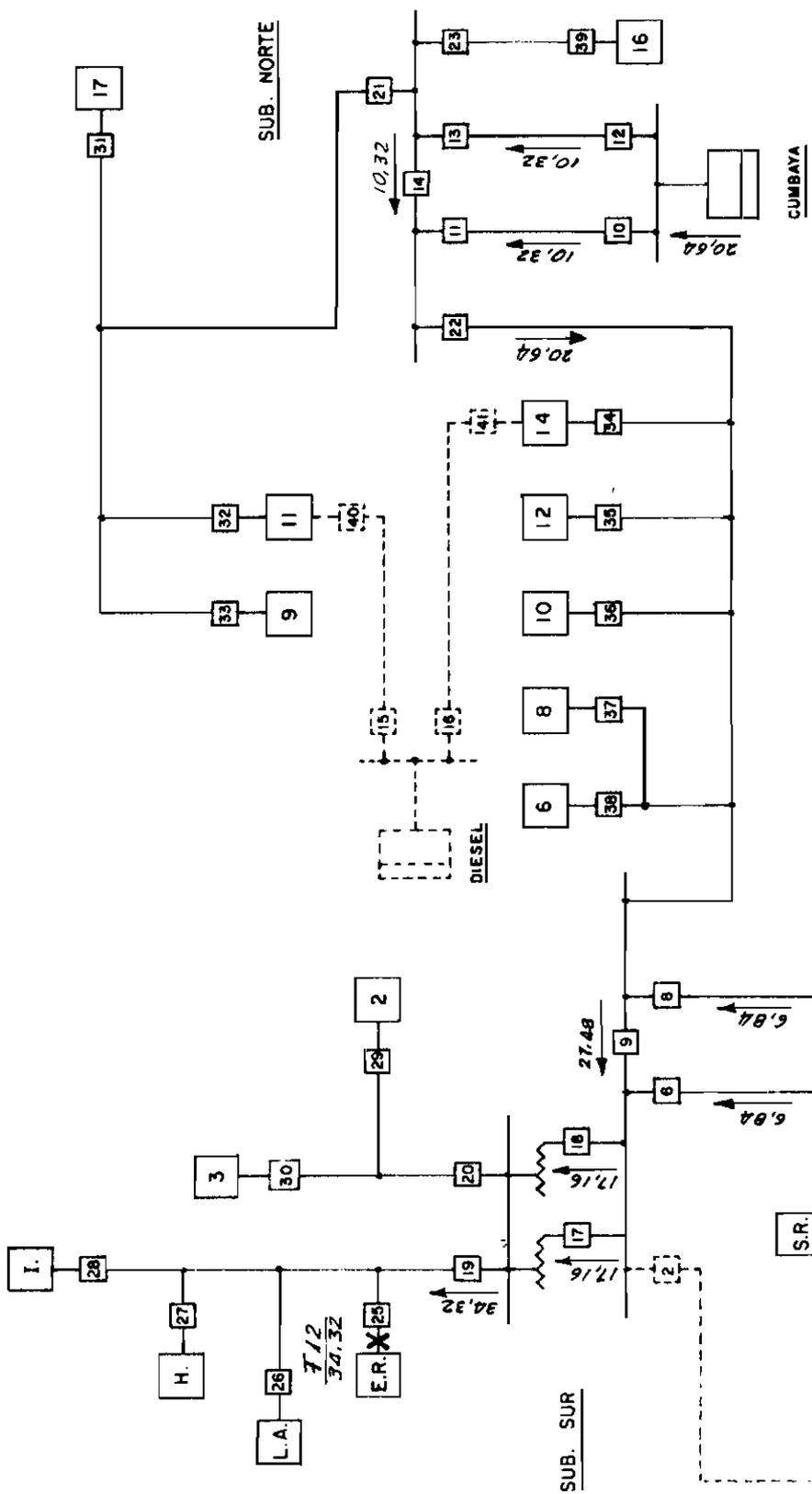
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F II
 CALCULO: G.S. FECHA: DIC-68-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 21

INDICACIONES:

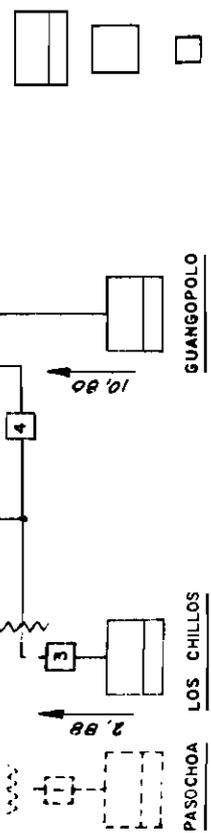
-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

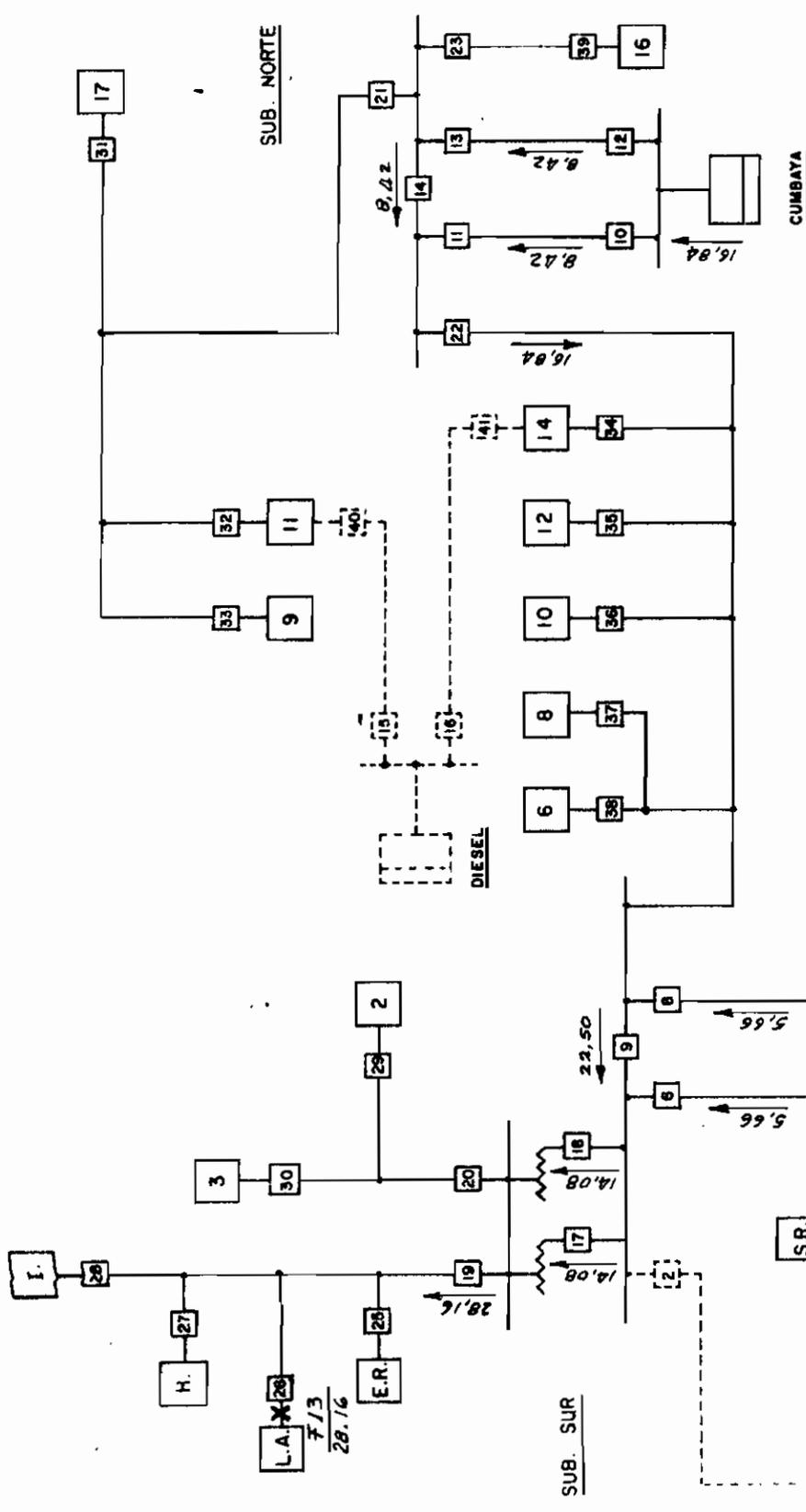
VALORES EN MVA.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
GENERACION MINIMA
 N° F12
 CALCULO: G.S. FECHA: DIC-66-67 PLANO N° PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA N° 22

INDICACIONES:
 CENTRAL DE GENERACION
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 VALORES EN MVA

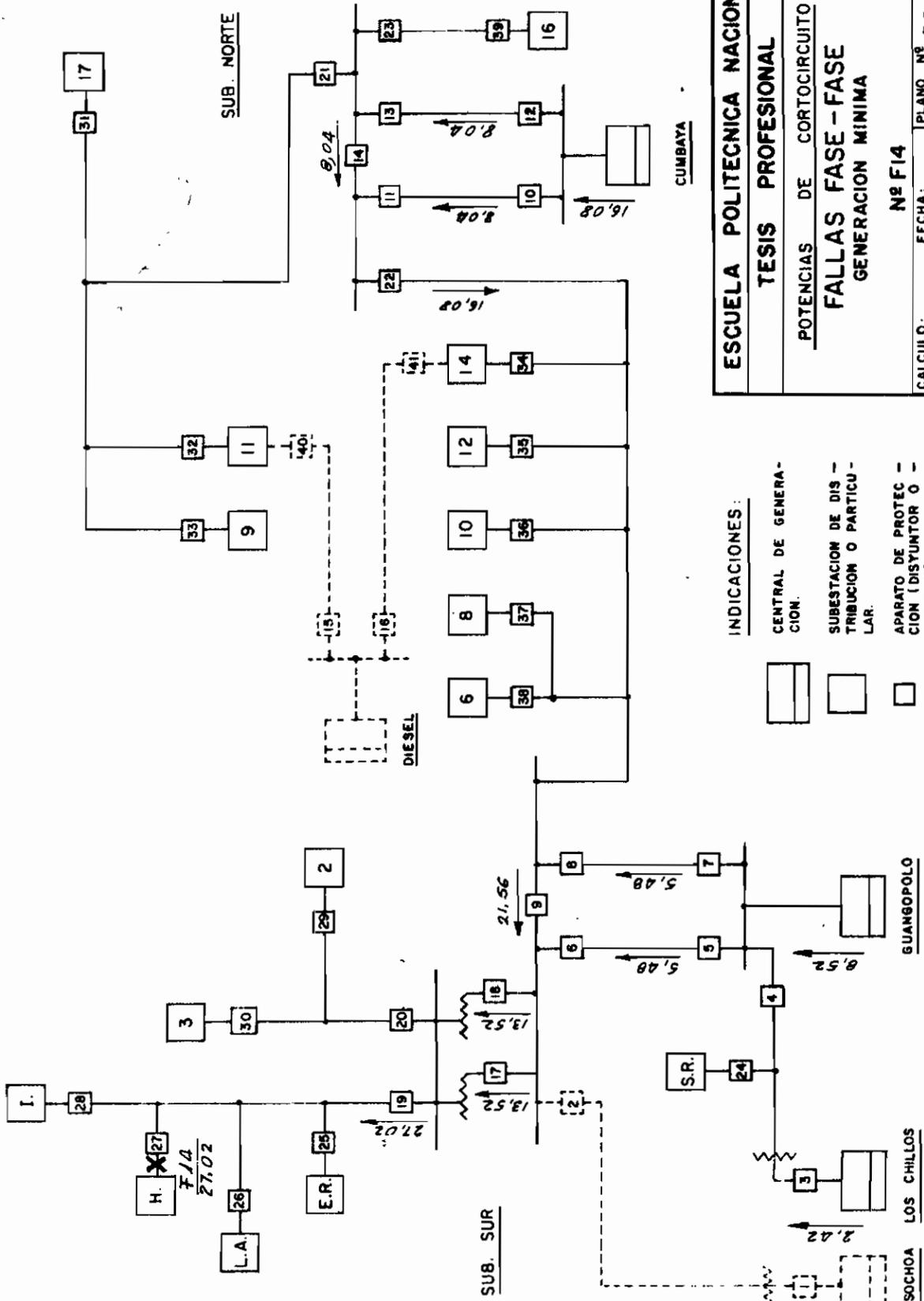




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F13	
CALCULO:	FECHA:
G. S.	DIC-66-ENE-67
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 23

INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.



INDICACIONES:

 CENTRAL DE GENERACION.
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 VALORES EN MVA.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS FASE - FASE

GENERACION MINIMA

Nº F14

PLANO Nº PC-09

HOJA Nº 24

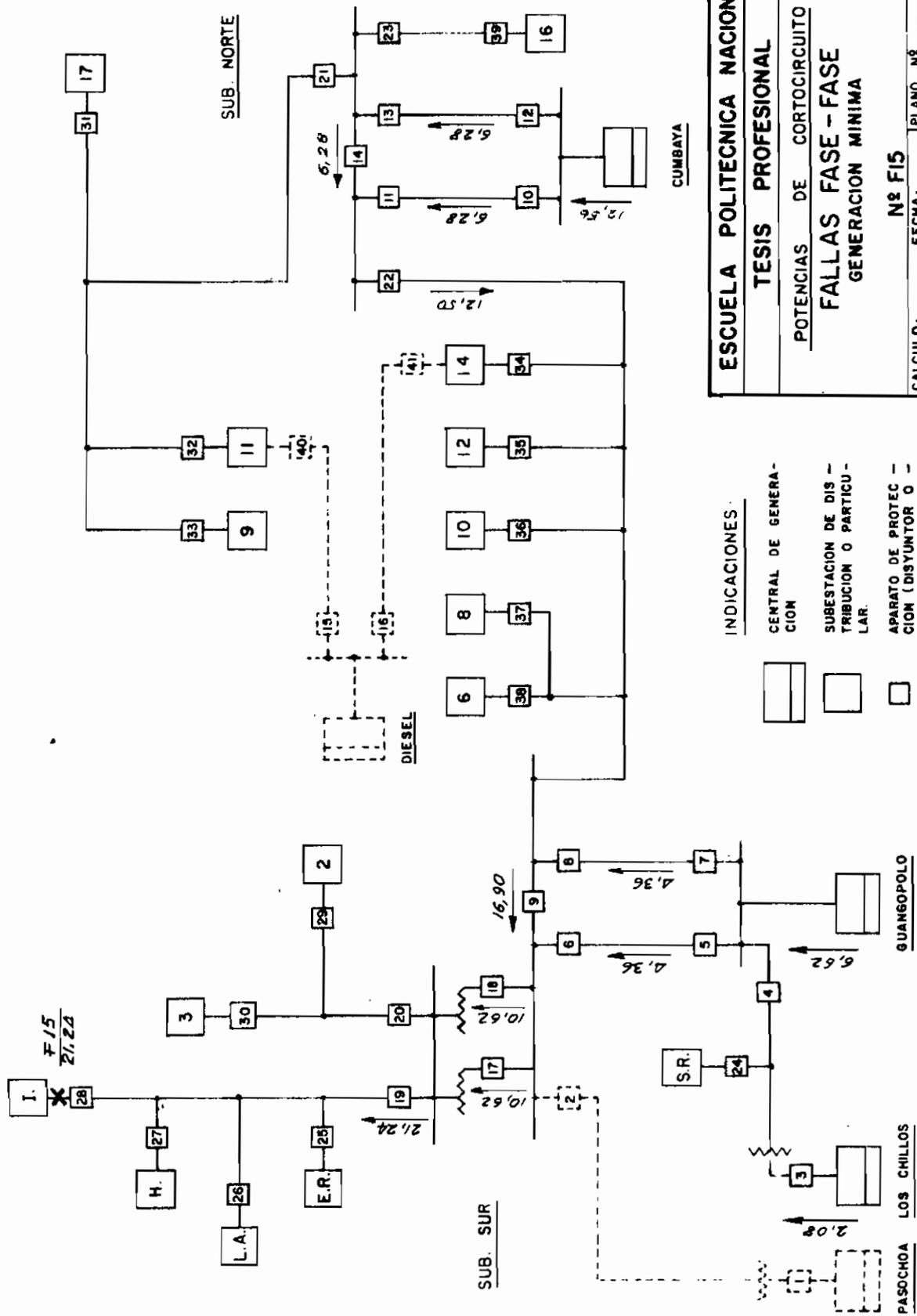
FECHA: DIC-66-ENE-67

FECHA:

REVISION:

FECHA:

FECHA:

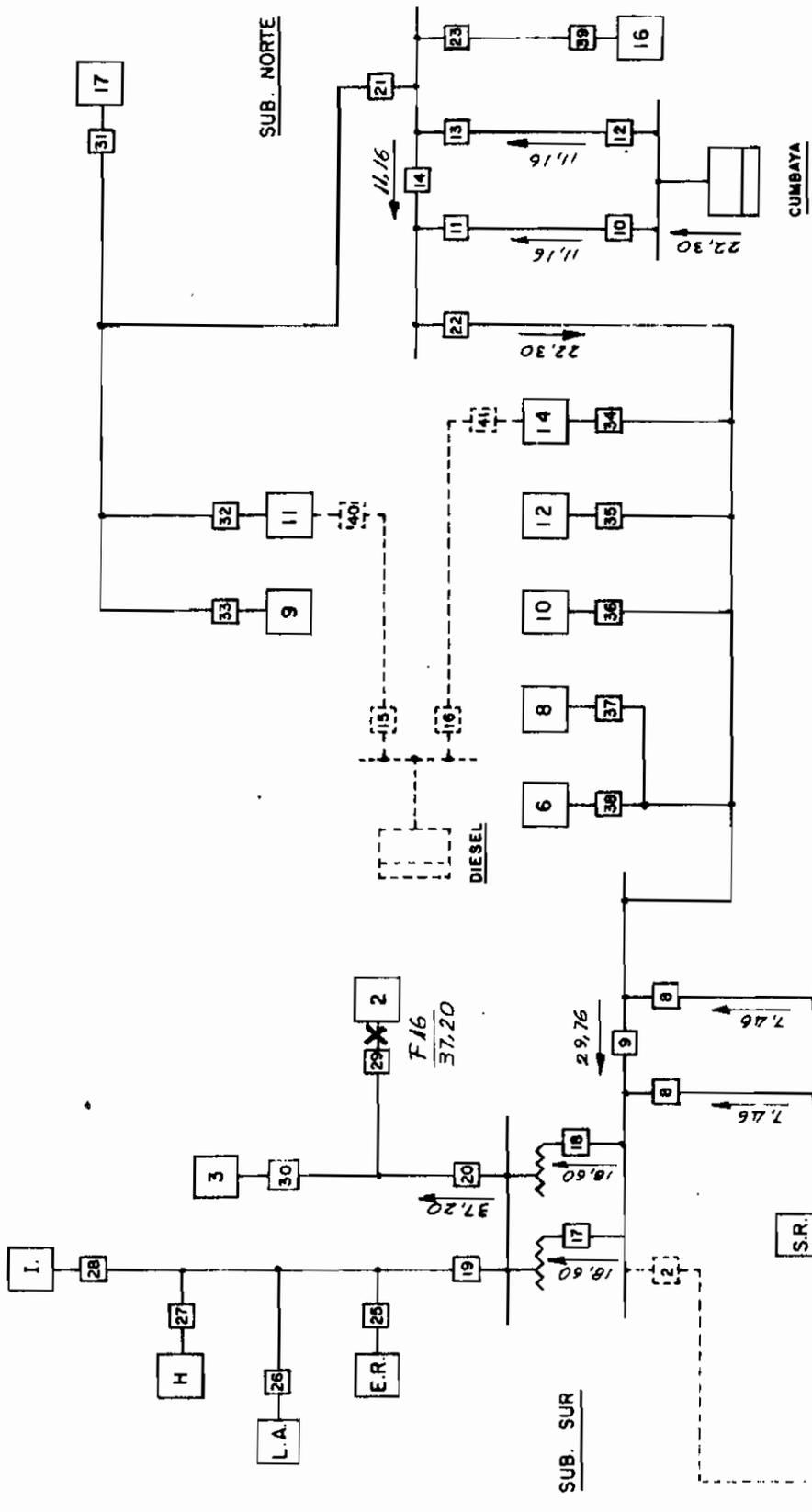


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F15
 CALCULO: G. S.
 FECHA: DIC-66-ENE-67
 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 25

INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F16
 FECHA: DIC-86-ENE-87
 PLANO Nº PC-09
 HOJA Nº 26

CALCULO: G. S.
 REVISION: FECHA:

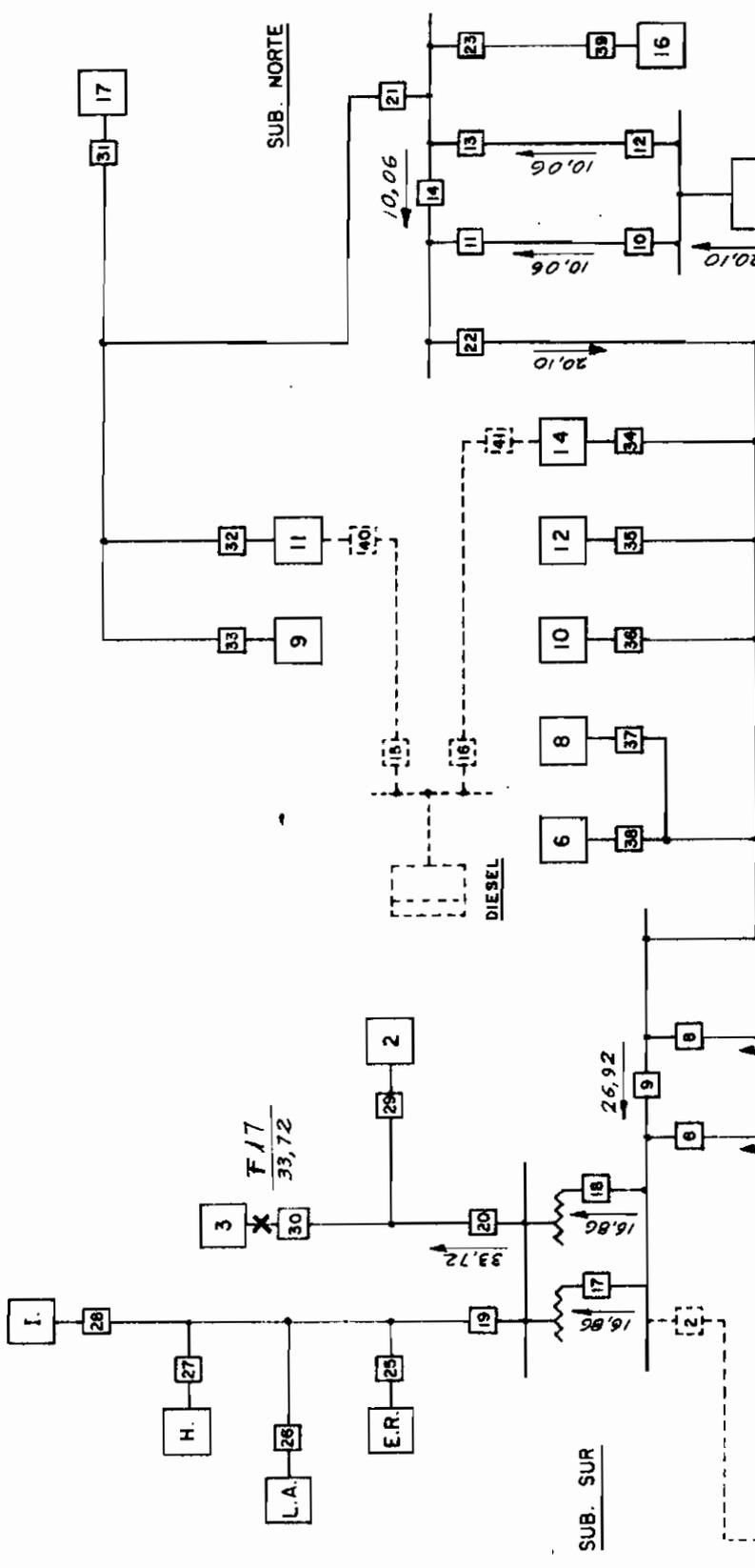
INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION.
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULARES.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

PASOCHOA

LOS CHILLOS

GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F17	
CALCULO: G.S.	FECHA: DIC-66-ENE-67
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 27

INDICACIONES:

- 
 CENTRAL DE GENERACION
- 
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

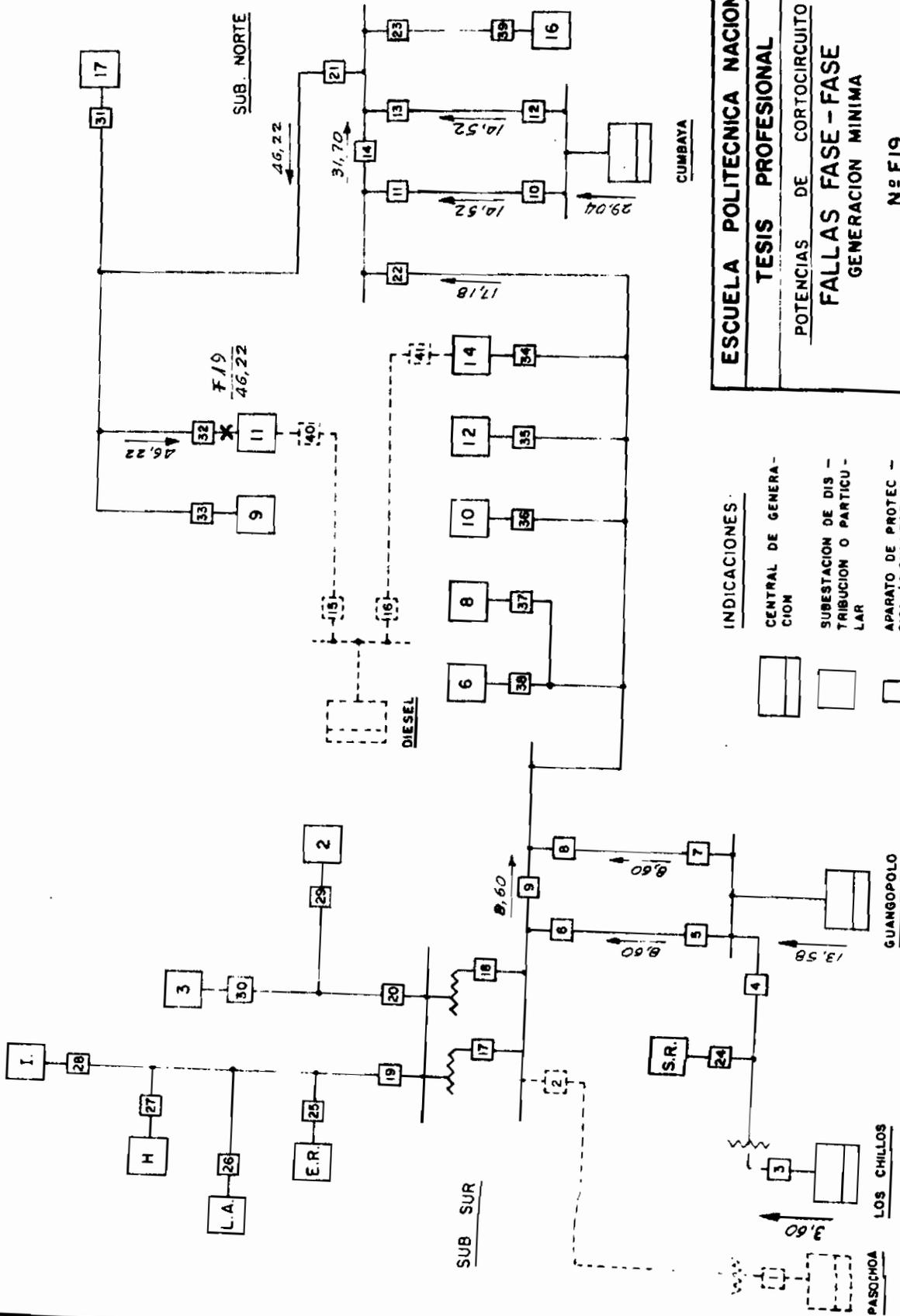
PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA

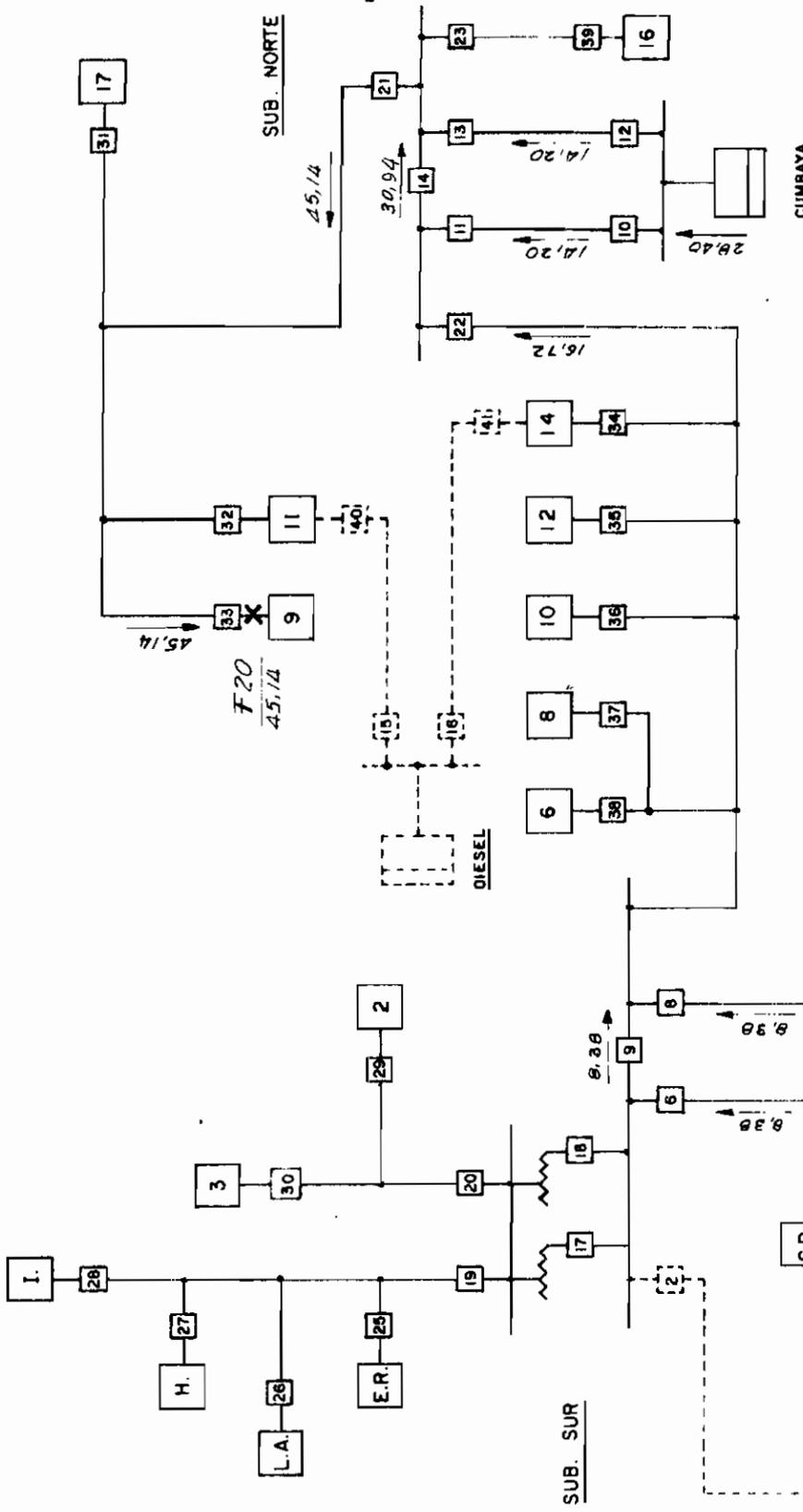
SUB. NORTE

SUB. SUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
 N° F19
 FECHA: D/C-66-ENE-67
 PLANO N° PC-09
 HOJA N° 29
 CALCULO: G.S.
 REVISION:

- INDICACIONES:**
- CENTRAL DE GENERACION
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA.



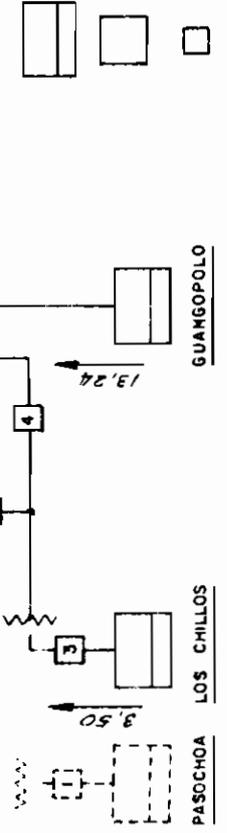
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

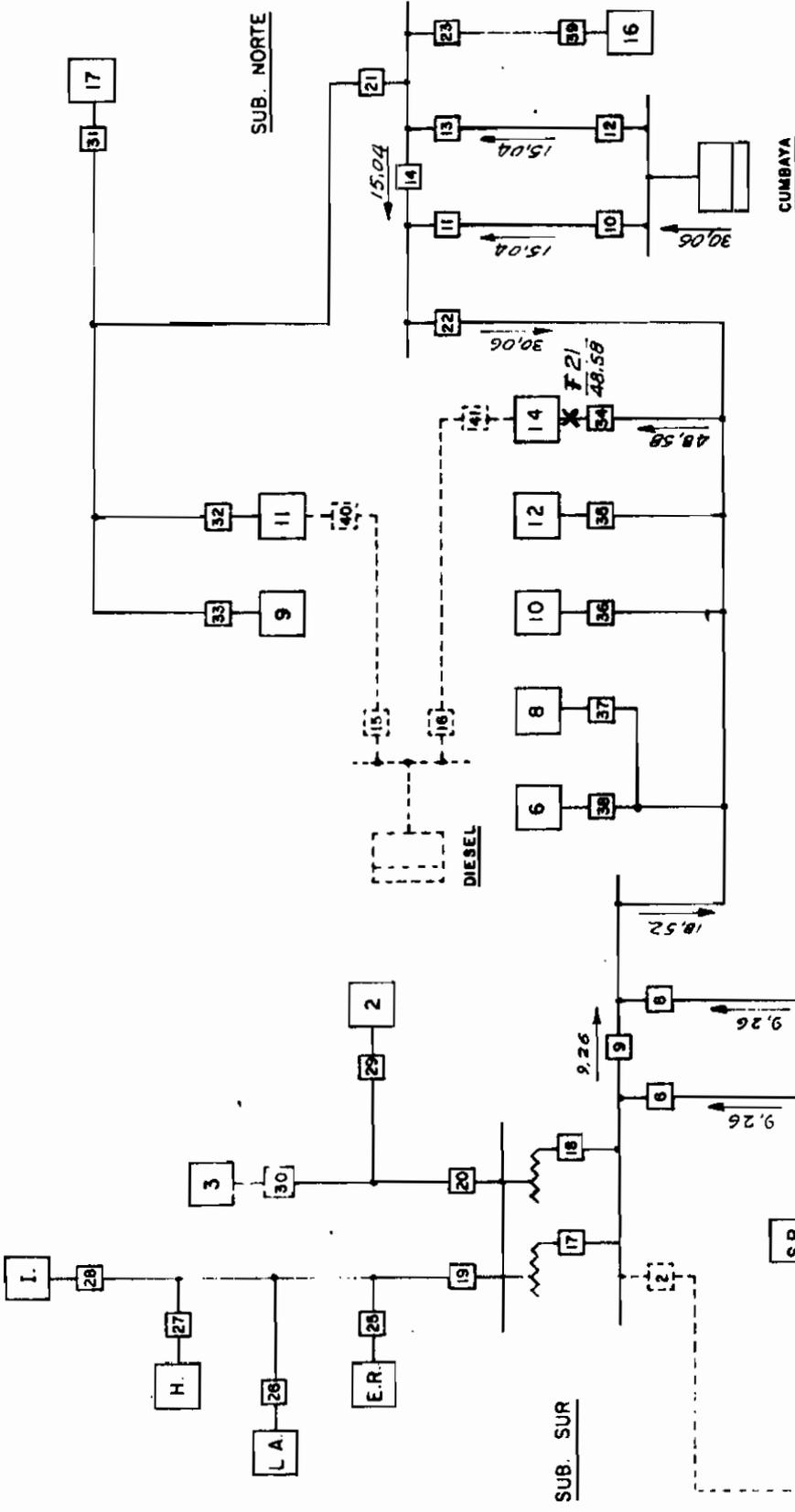
Nº F20
 FECHA: DIC-66-ENE-67
 PLANO Nº PC-09

CALCULO: G S
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 30

INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION.
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

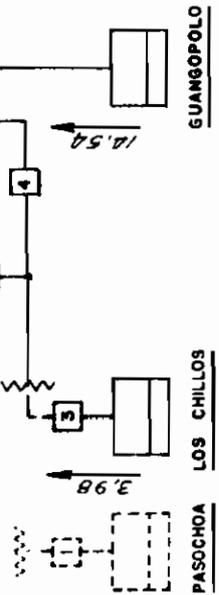


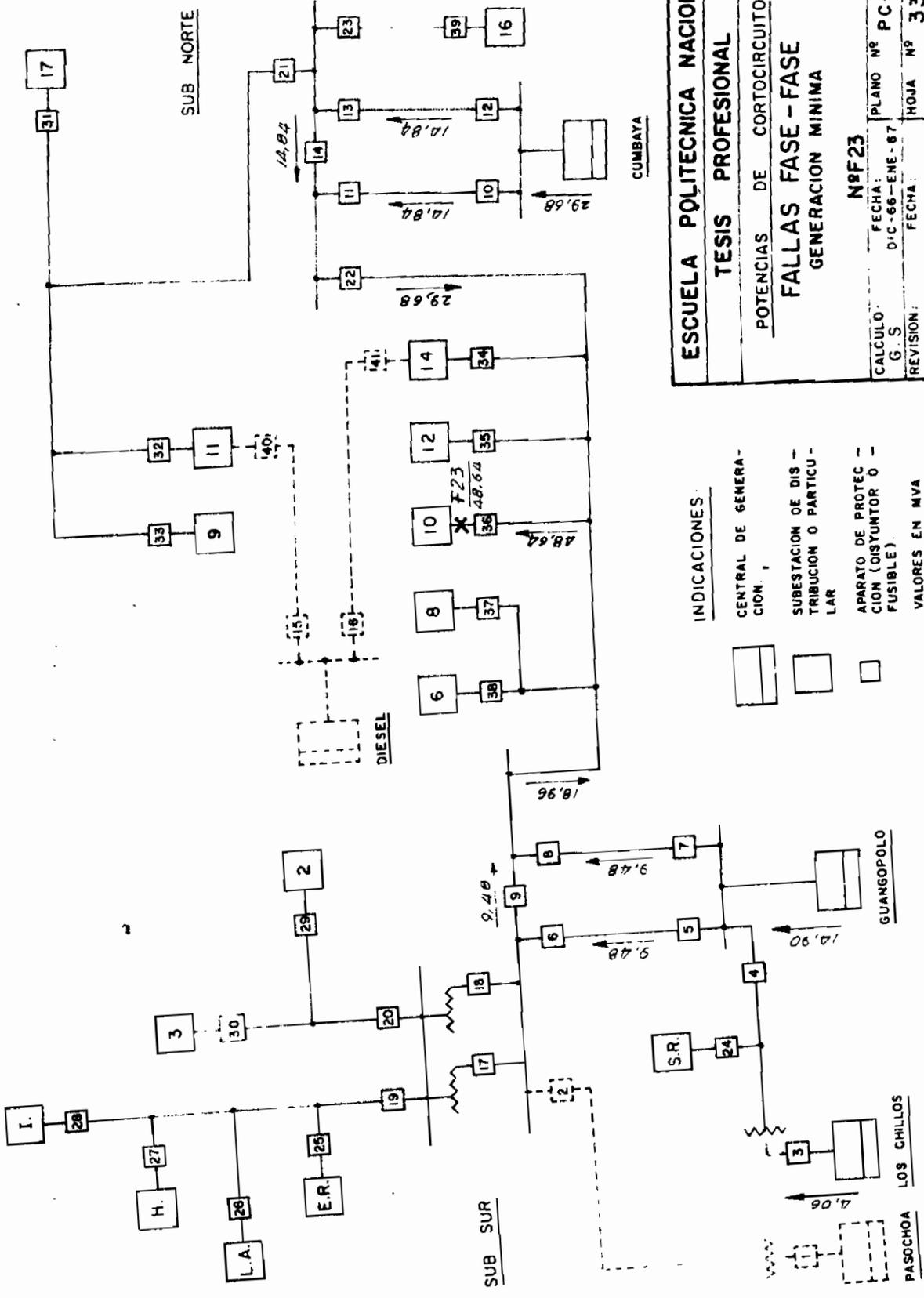


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
Nº F 21
 CALCULO: G. S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 31

INDICACIONES:

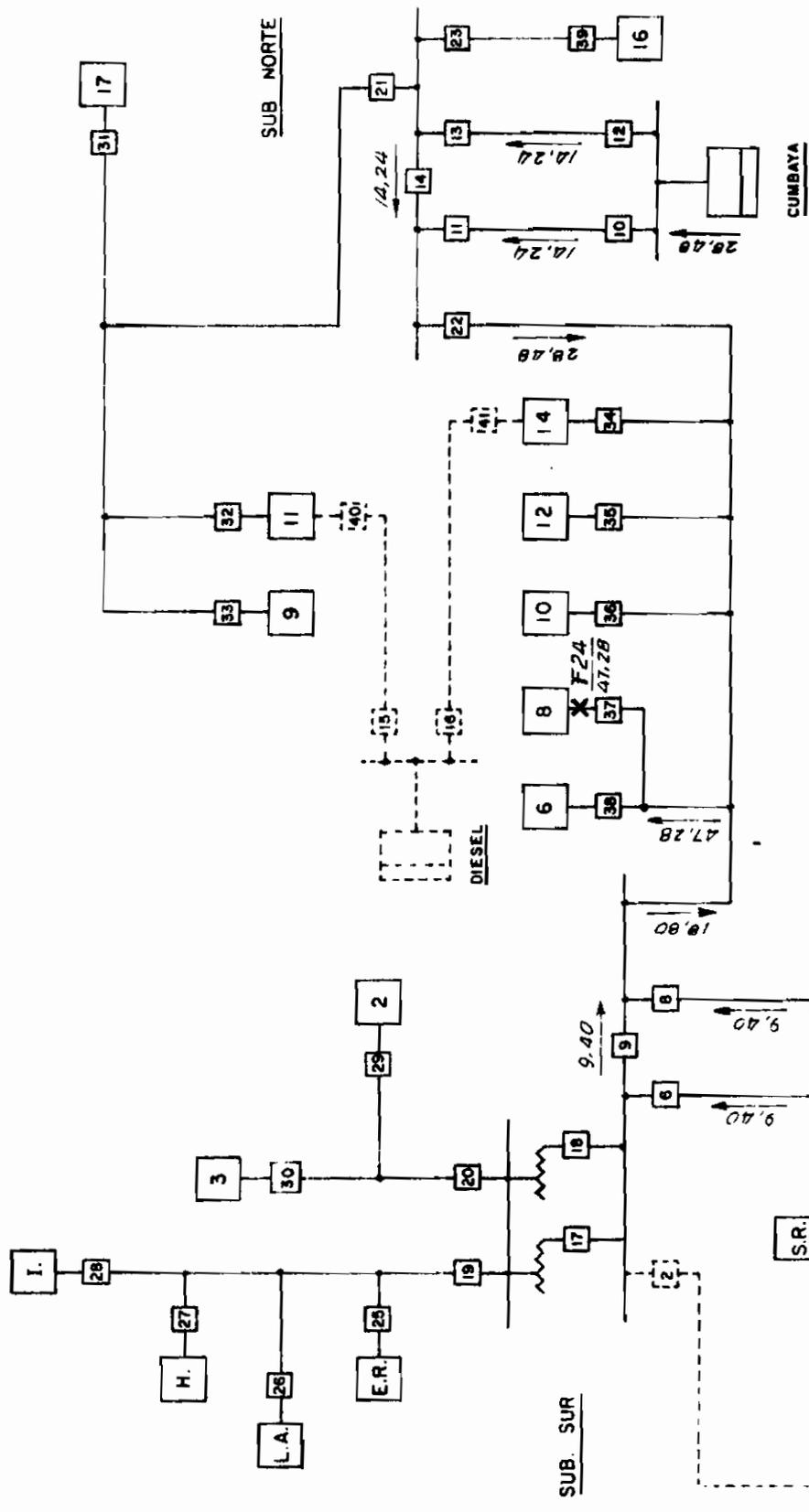
-  CENTRAL DE GENERACION.
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
NºF23
 CALCULO: G.S. FECHA: D' C - 66 - ENE - 87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 33

INDICACIONES:
 CENTRAL DE GENERACION: [Symbol]
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR: [Symbol]
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE): [Symbol]
 VALORES EN MVA

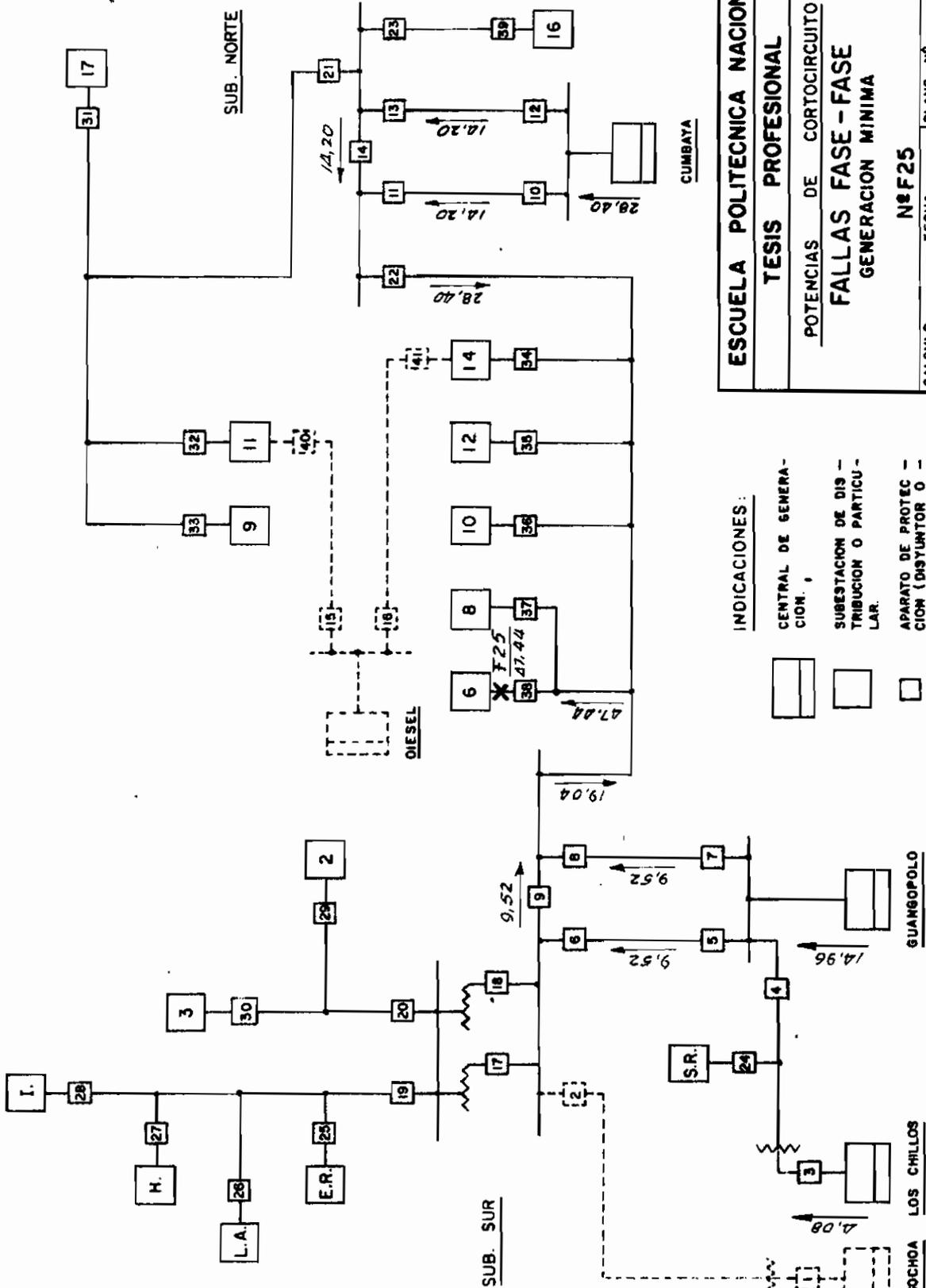


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
GENERACION MINIMA

Nº F24
 FECHA: DIC-66-67
 PLANO Nº PC-09
 G.S.
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 34

INDICACIONES:

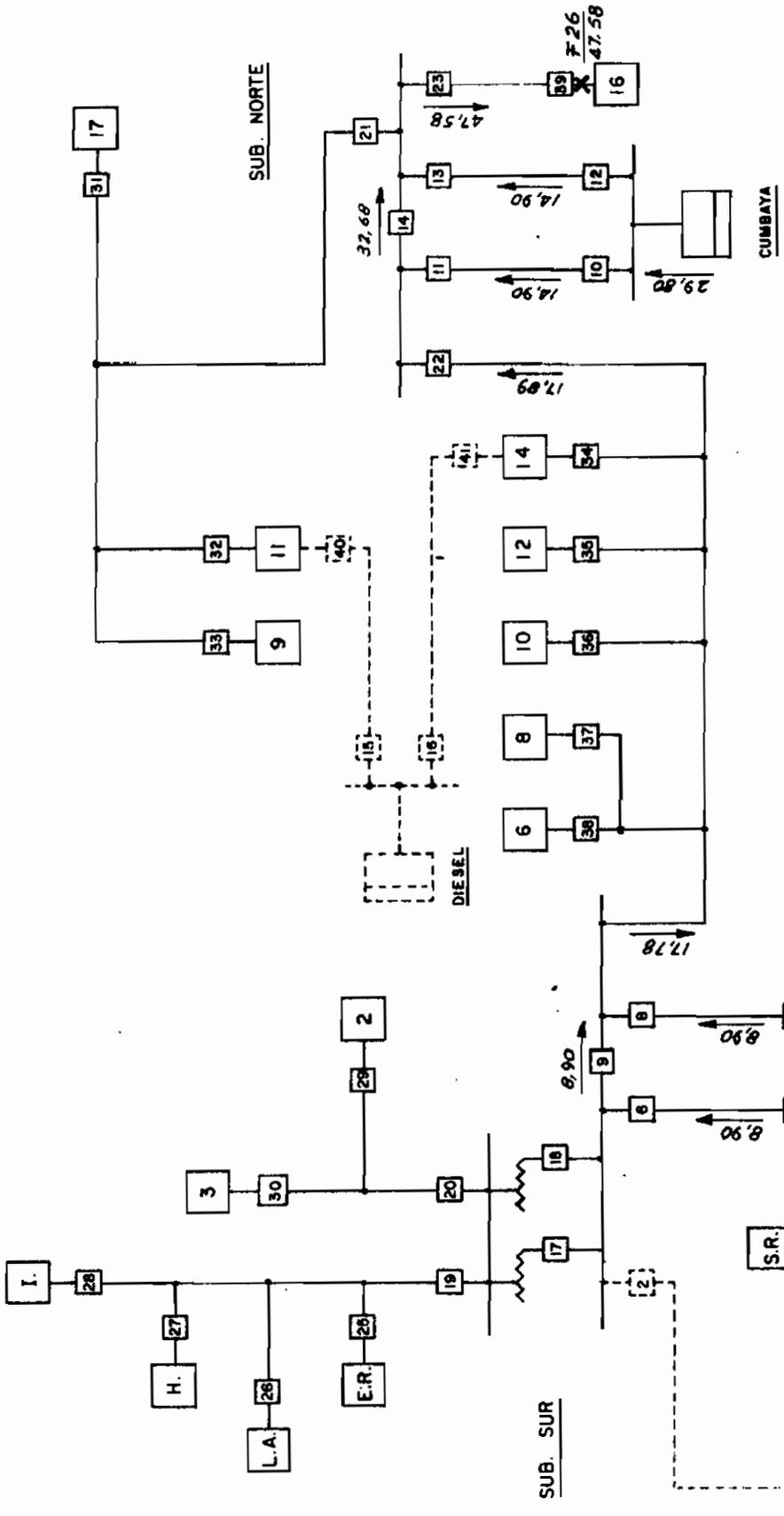
- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAS
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
GENERACION MINIMA
Nº F25

CALCULO: G. S. FECHA: DIC-86-ENE-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 35

- INDICACIONES:**
- CENTRAL DE GENERACION.
 - SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 - VALORES EN MVA.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS FASE - FASE

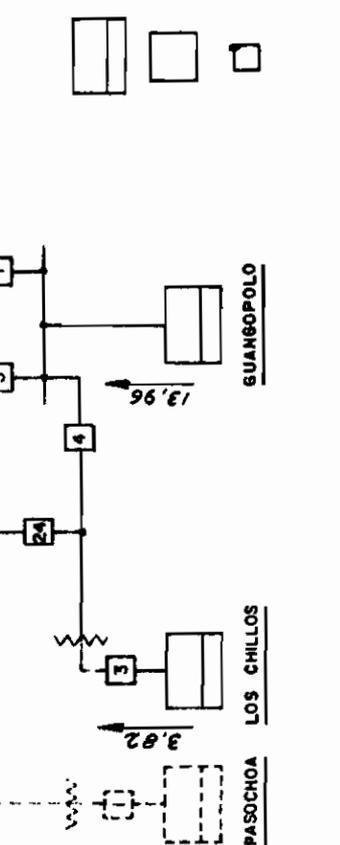
GENERACION MINIMA

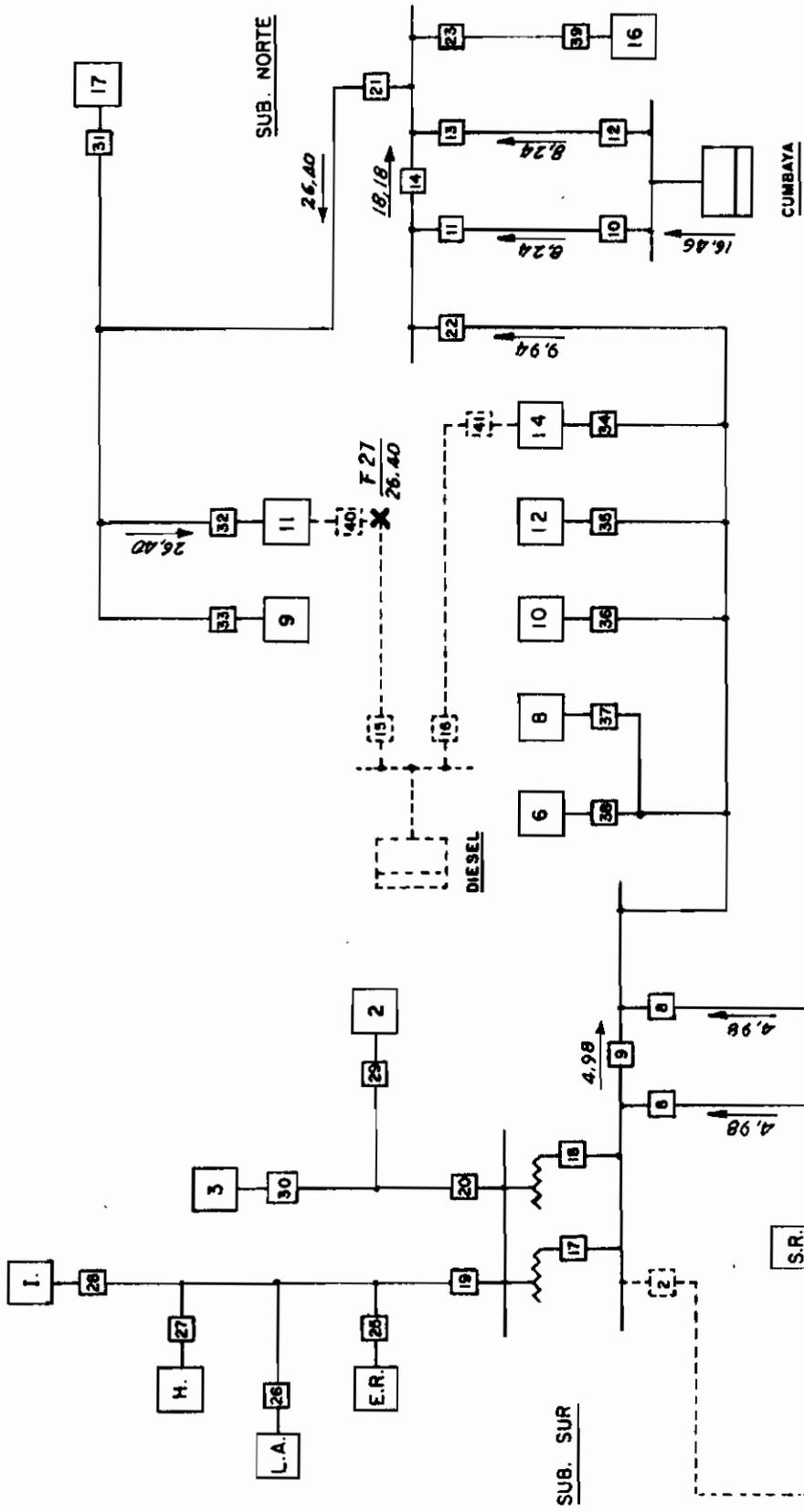
NºF26

CALCULO: G.S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09

REVISION: FECHA: HOJA Nº 36

- INDICACIONES:**
- CENTRAL DE GENERACION.
 - SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
 - APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 - VALORES EN MVA.





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

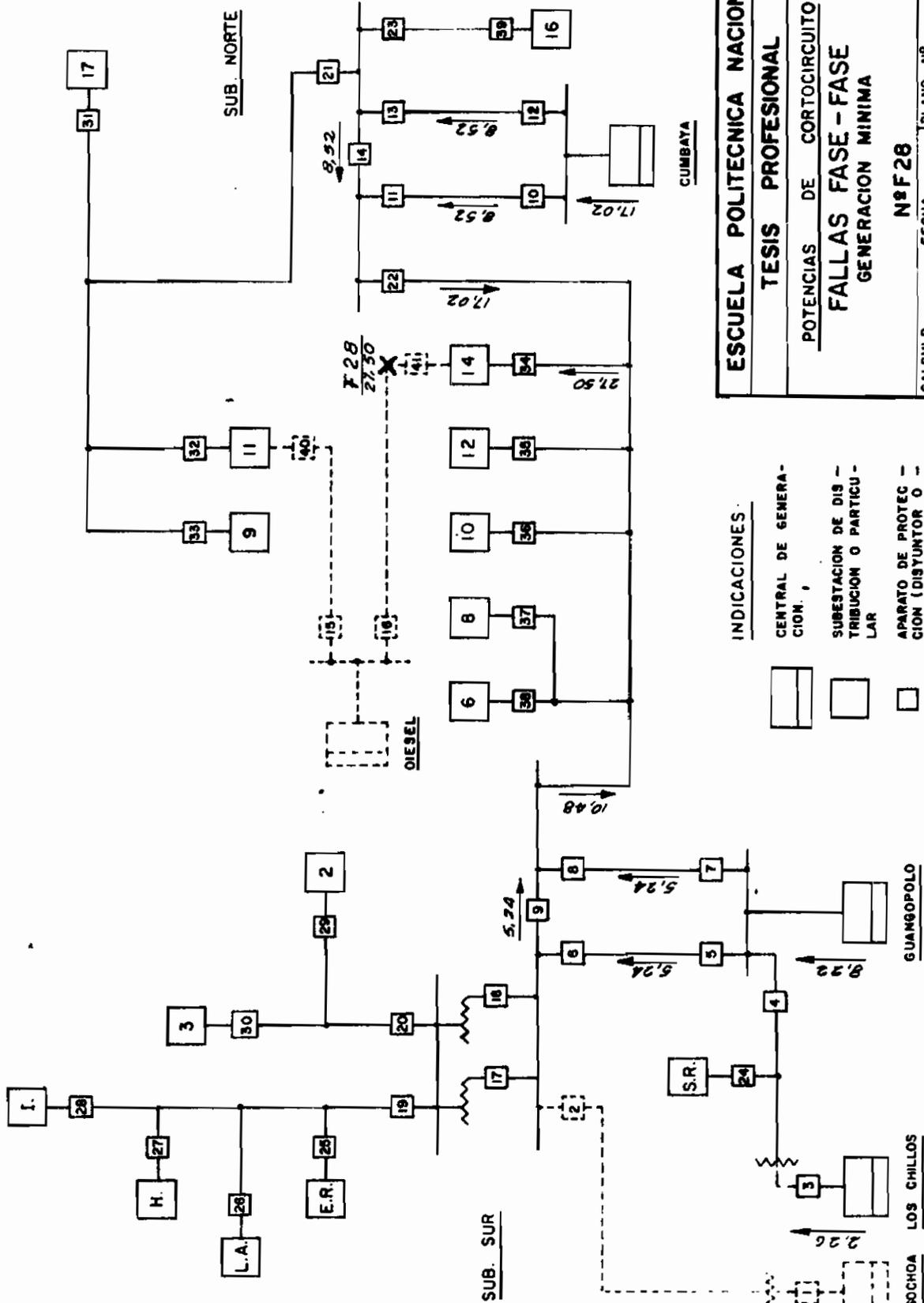
Nº F.27
 CALCULO: G. S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 37

- INDICACIONES:**
- 
 CENTRAL DE GENERACION
 - 
 SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
 - 
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
 - VALORES EN MVA.

GUANGOPOLO

PASOCHOA LOS CHILLOS

CUMBAYA

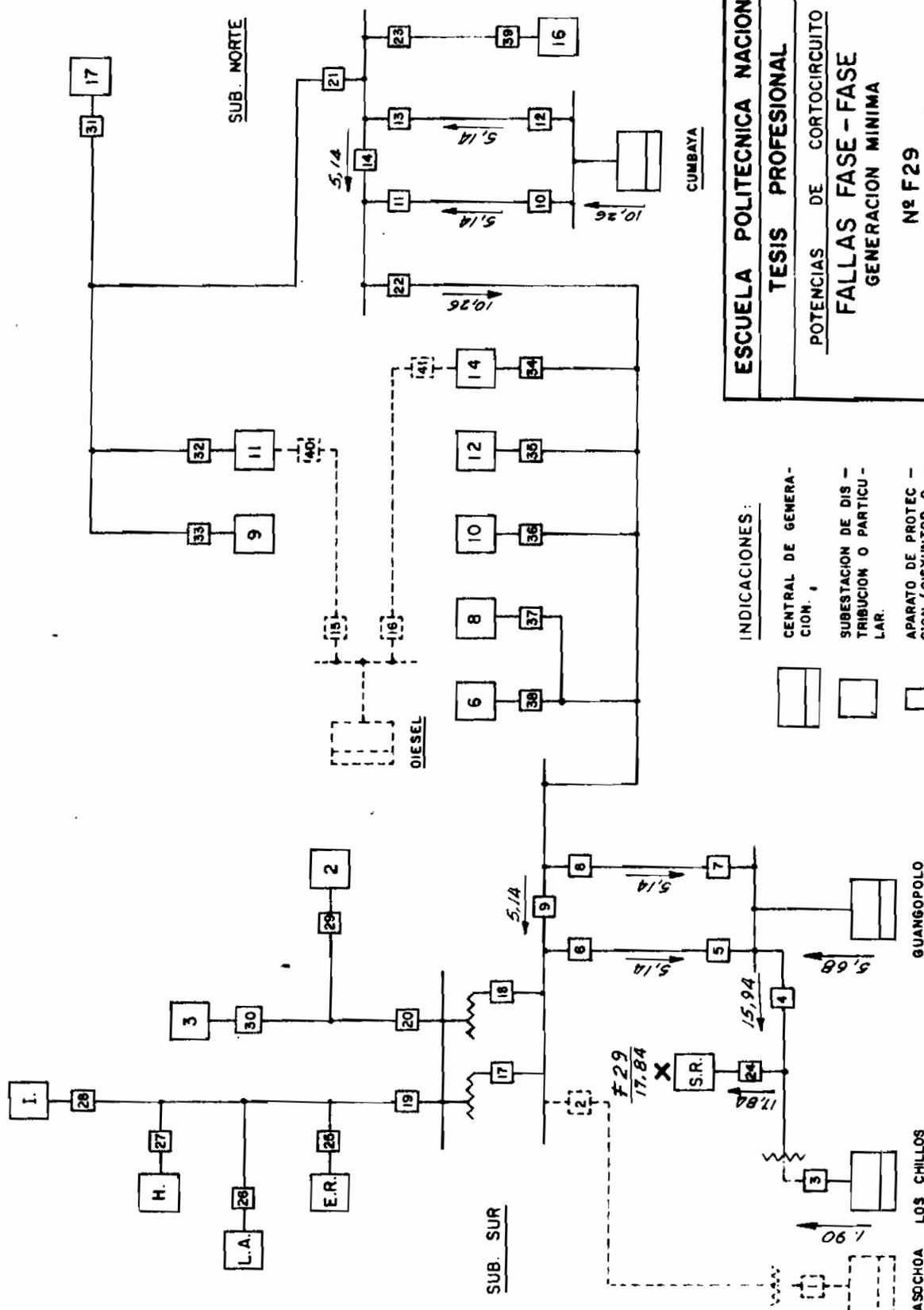


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F 28	
CALCULO: G.S.	FECHA: DIC-66-ENE-67
REVISION:	FECHA:
	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 38

INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION.
- SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA.

PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLLO

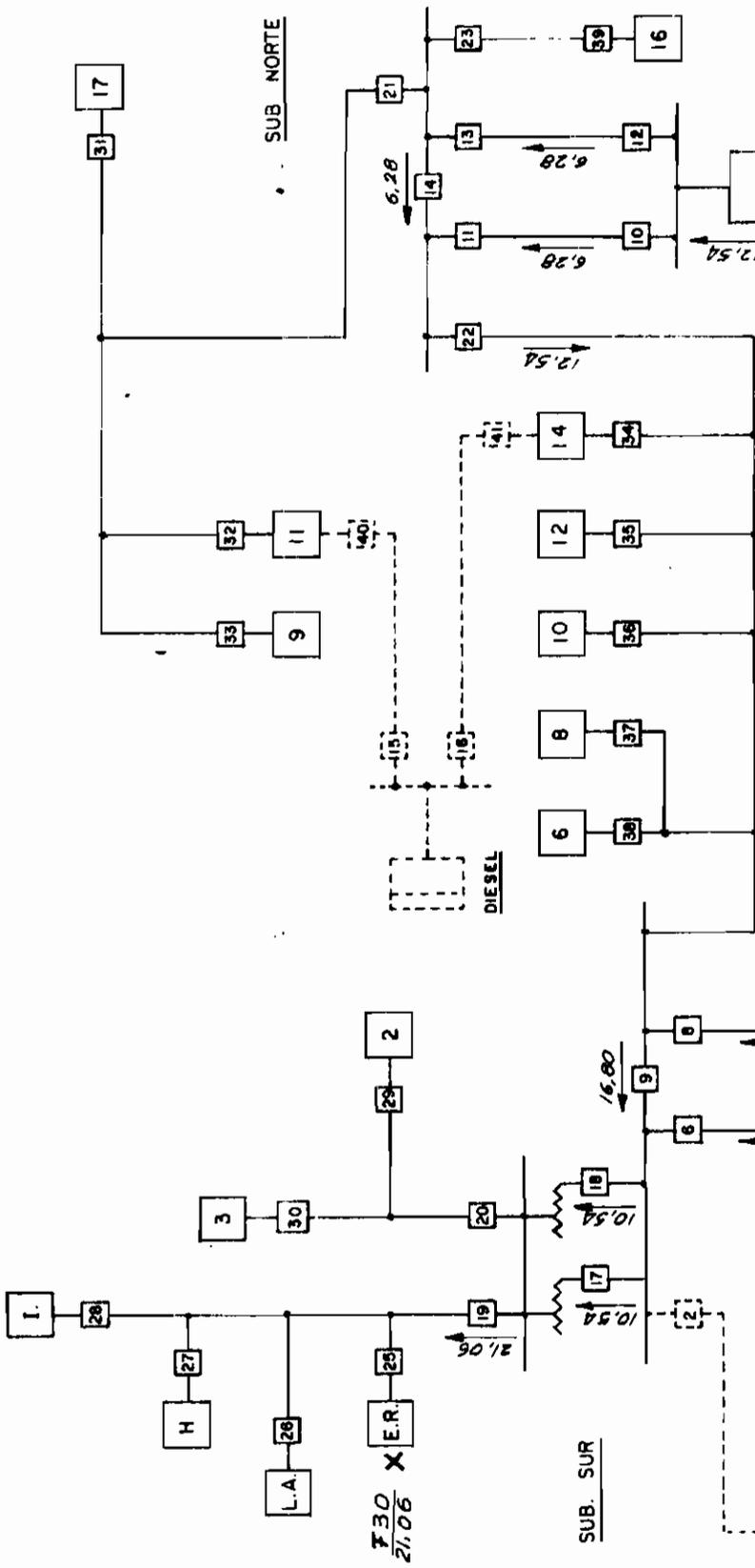


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F29	
CALCULO: G. S.	PLANO Nº PC-09
REVISION:	FECHA: DIC-86-ENE-67
	FECHA: HOJA Nº 39

INDICACIONES:

 CENTRAL DE GENERACION.
 SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR.
 APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
 VALORES EN MVA.

PASOCHO LOS CHILLOS
GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
GENERACION MINIMA
Nº F 30
 CALCULO: G S. FECHA: DIC-66-EME-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 40

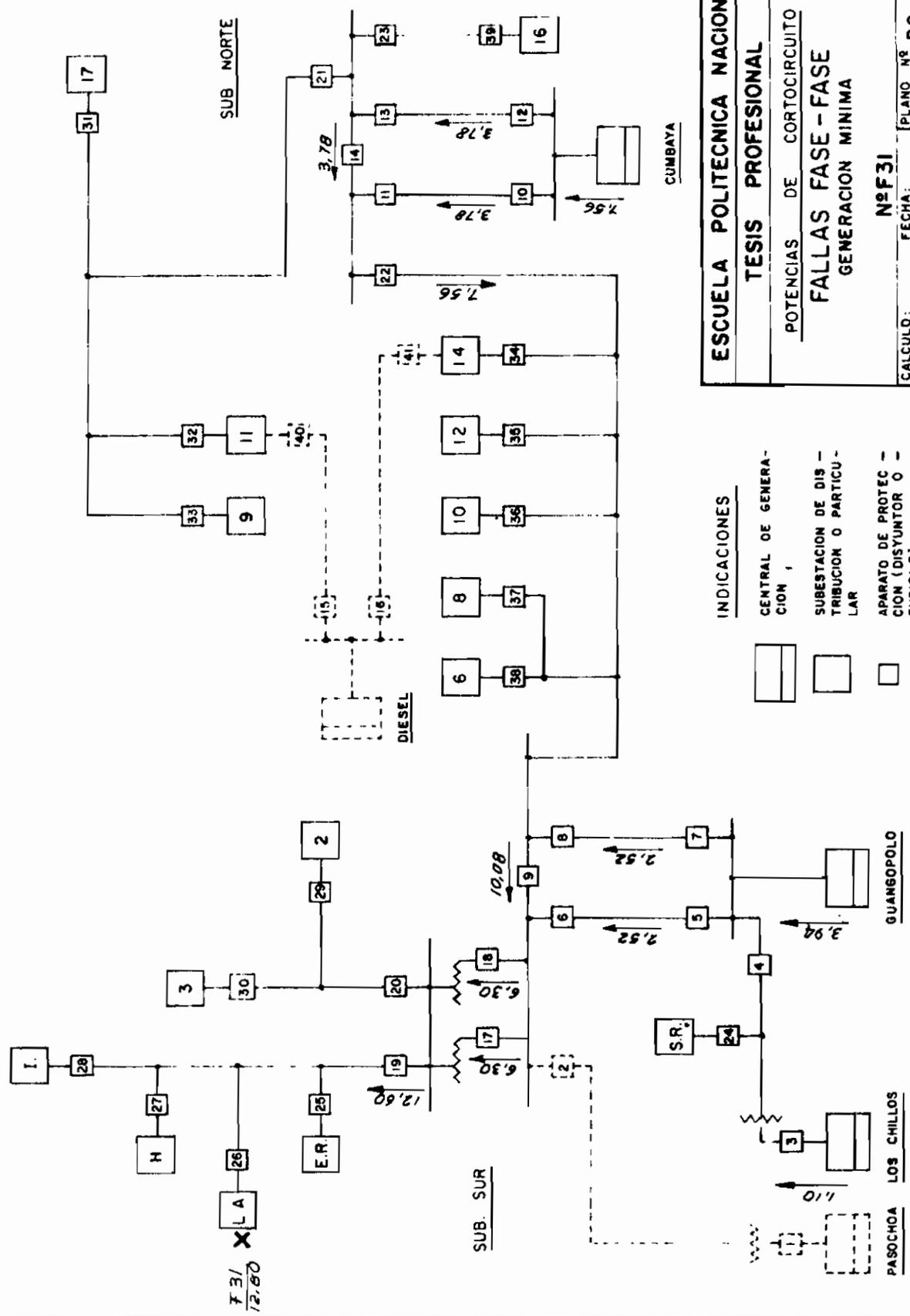
INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
-  VALORES EN MVA

GUANGOPOLO

LOS CHILLOS

PASOCHOA



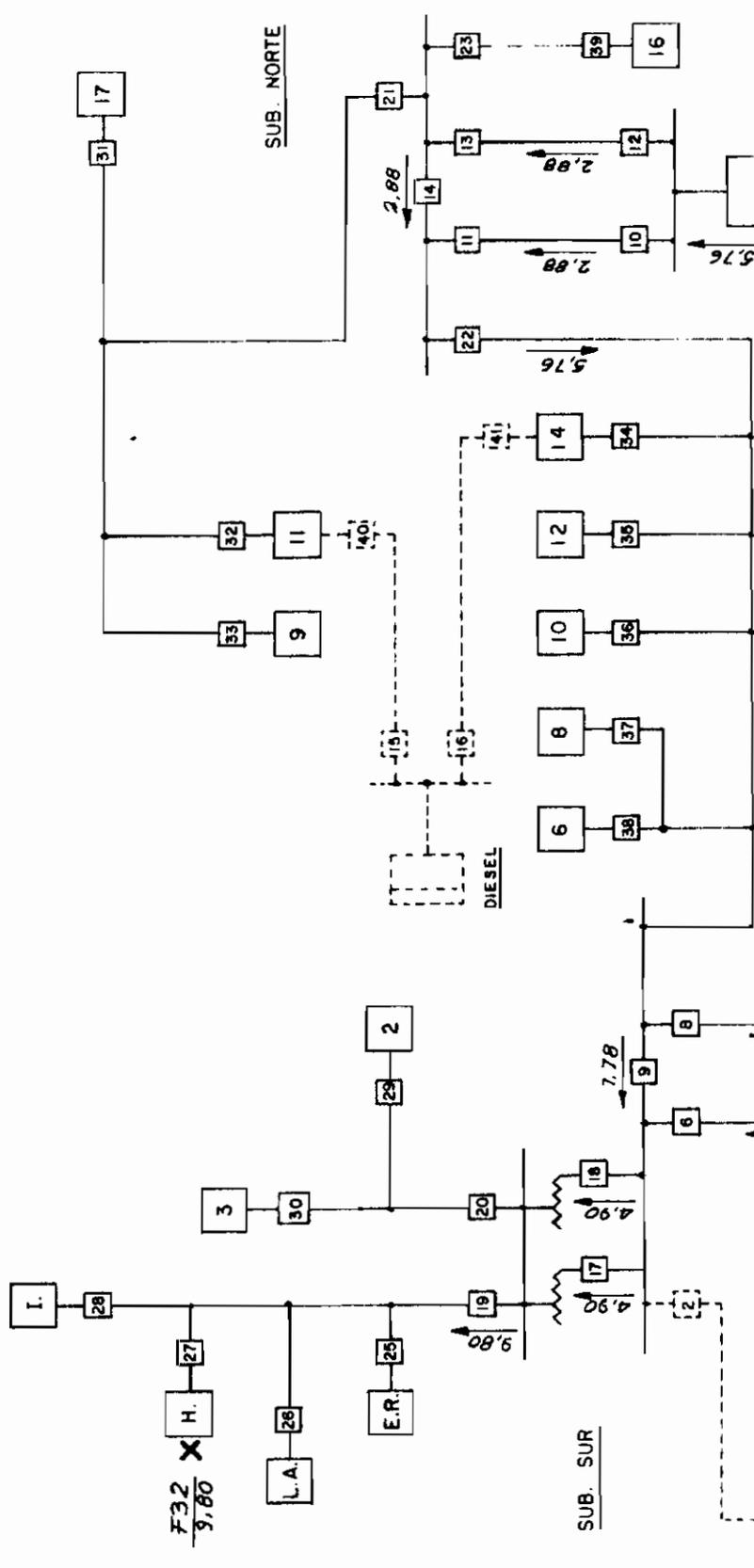
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F31
 CALCULO: G S FECHA: DIC-86-ENE-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 41

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
-  VALORES EN MVA

$\frac{7.31}{12.60}$



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F32
 CALCULO: G.S. FECHA: DIC-66-ENE-67 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 42

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE OIS - TRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE).
- VALORES EN MVA

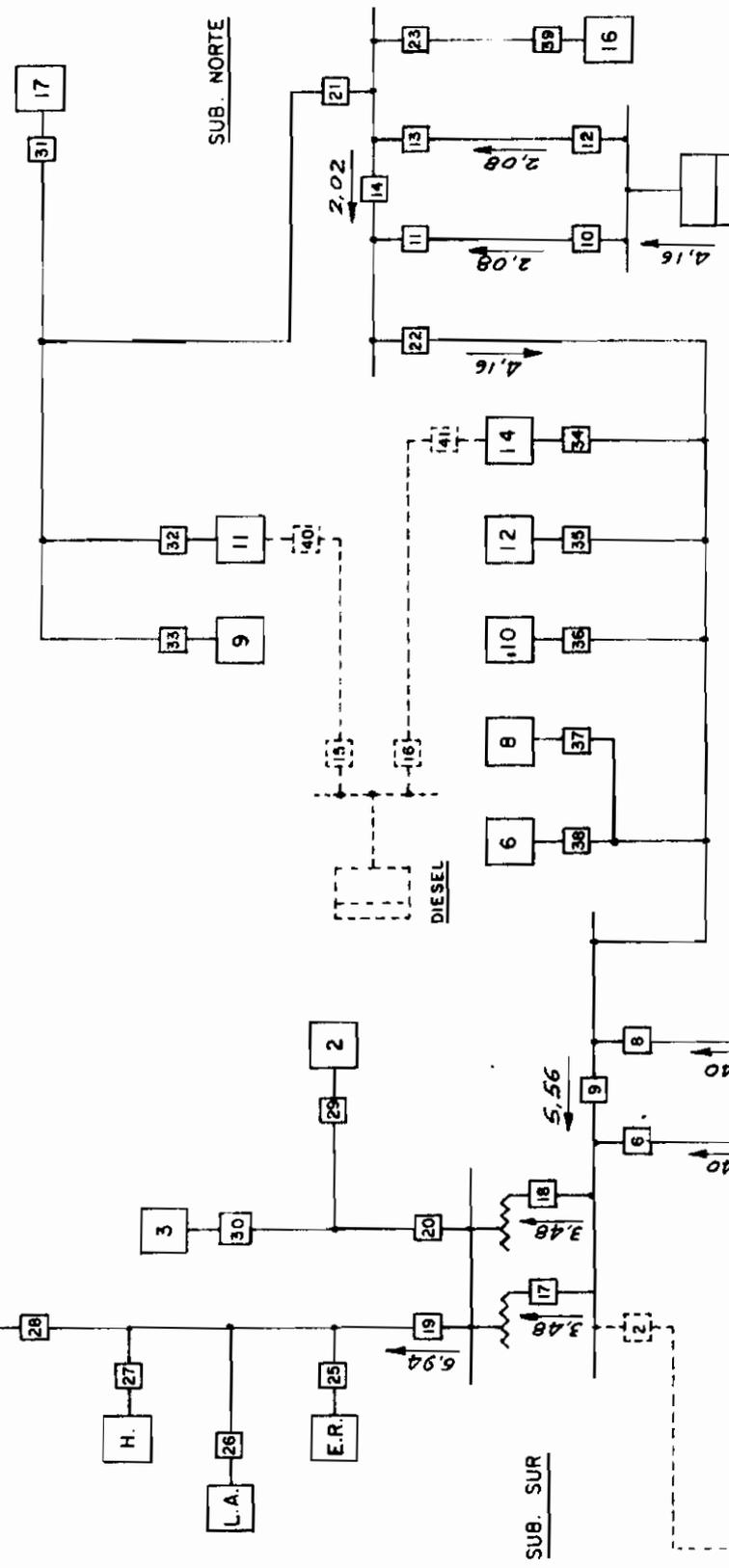
PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA

F.33
6.94

X
I.



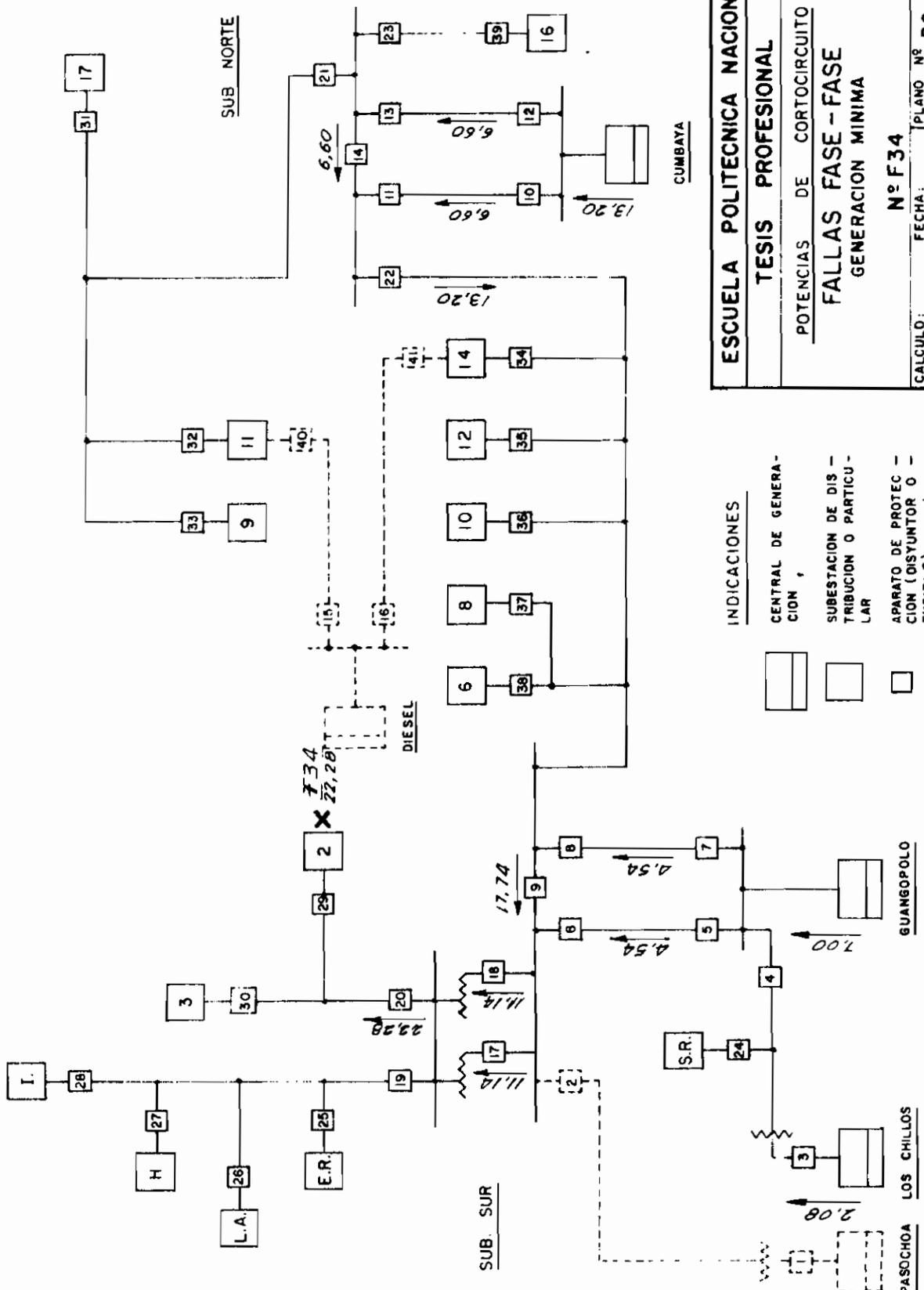
INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-FASE
GENERACION MINIMA

Nº F.33	
CALCULO: G. S.	FECHA: DIC-66-ENE-67
REVISION:	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 43



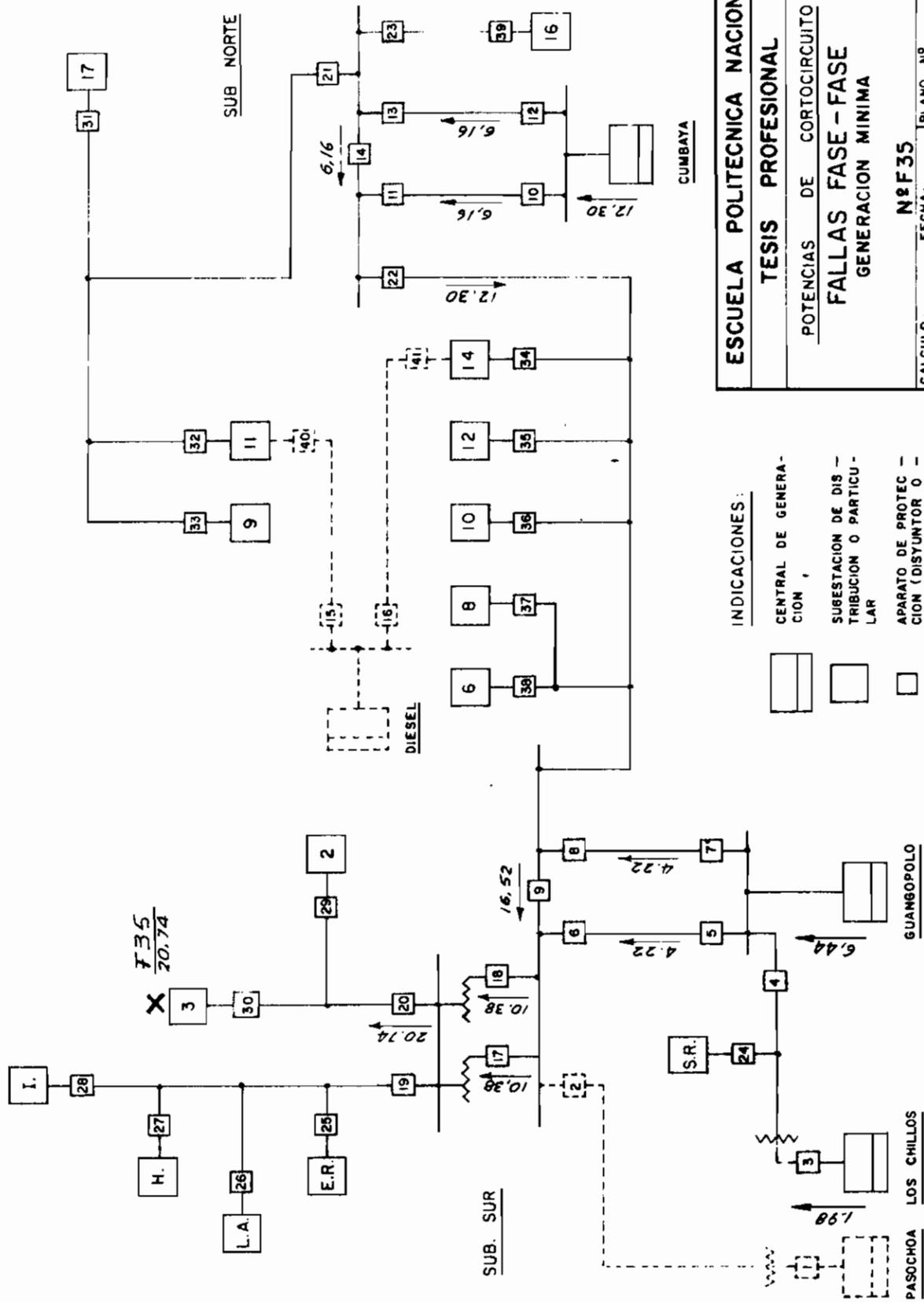
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F34	
CALCULO: G. S.	FECHA: DIC-86-ENE-87
REVISION:	FECHA:
PLANO Nº PC-09	
HOJA Nº 44	

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICION
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
-  VALORES EN MVA.

GUANGOPOLO

PASOCHOA LOS CHILLOS

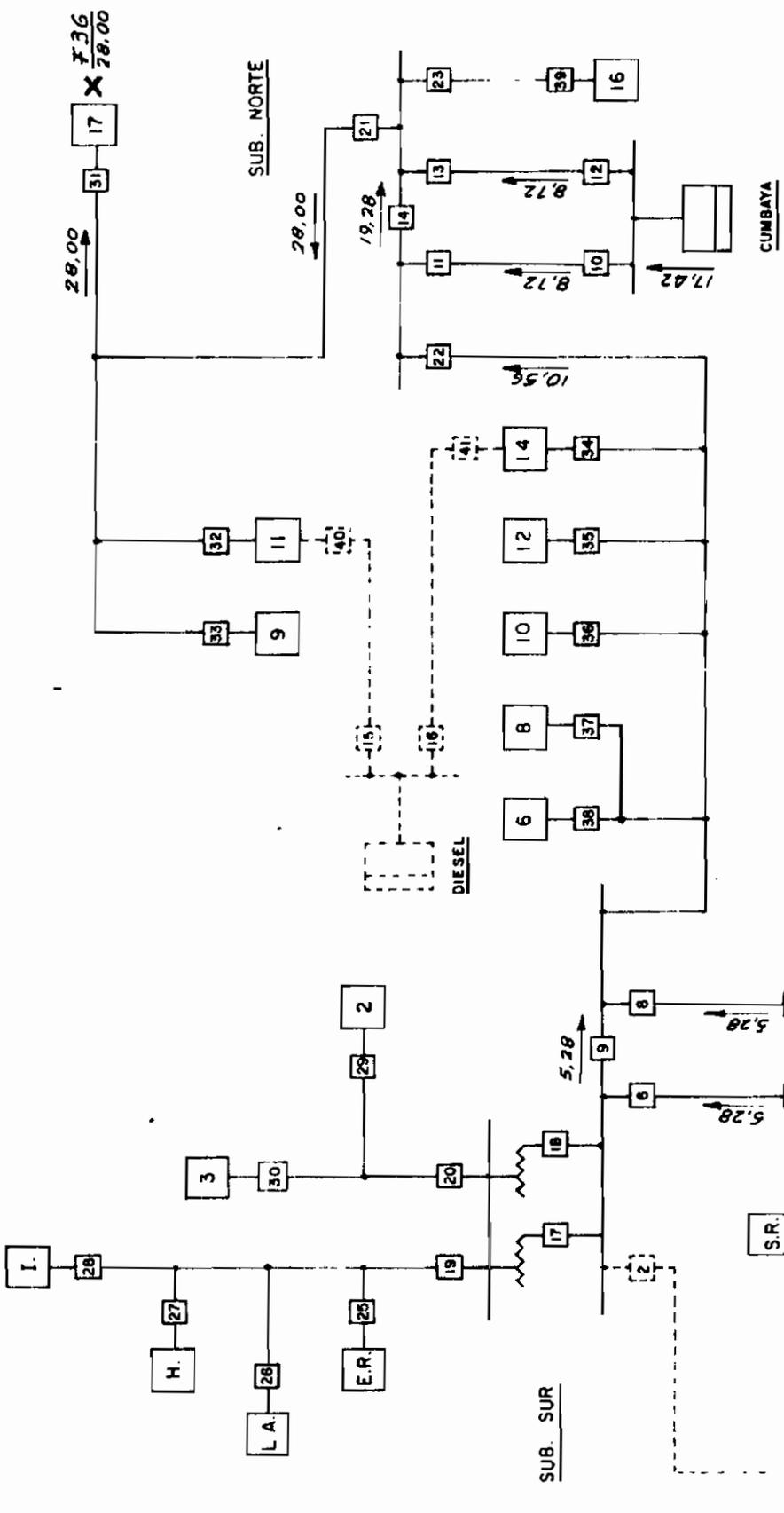


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA
Nº F35
 CALCULO: G S FECHA: DIC-86-ENE-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 45

INDICACIONES:

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.

PASOCHOA LOS CHILLOS GUANGOPOLO

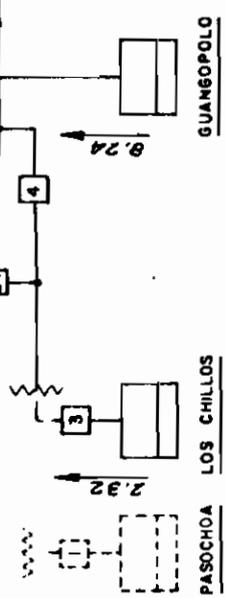


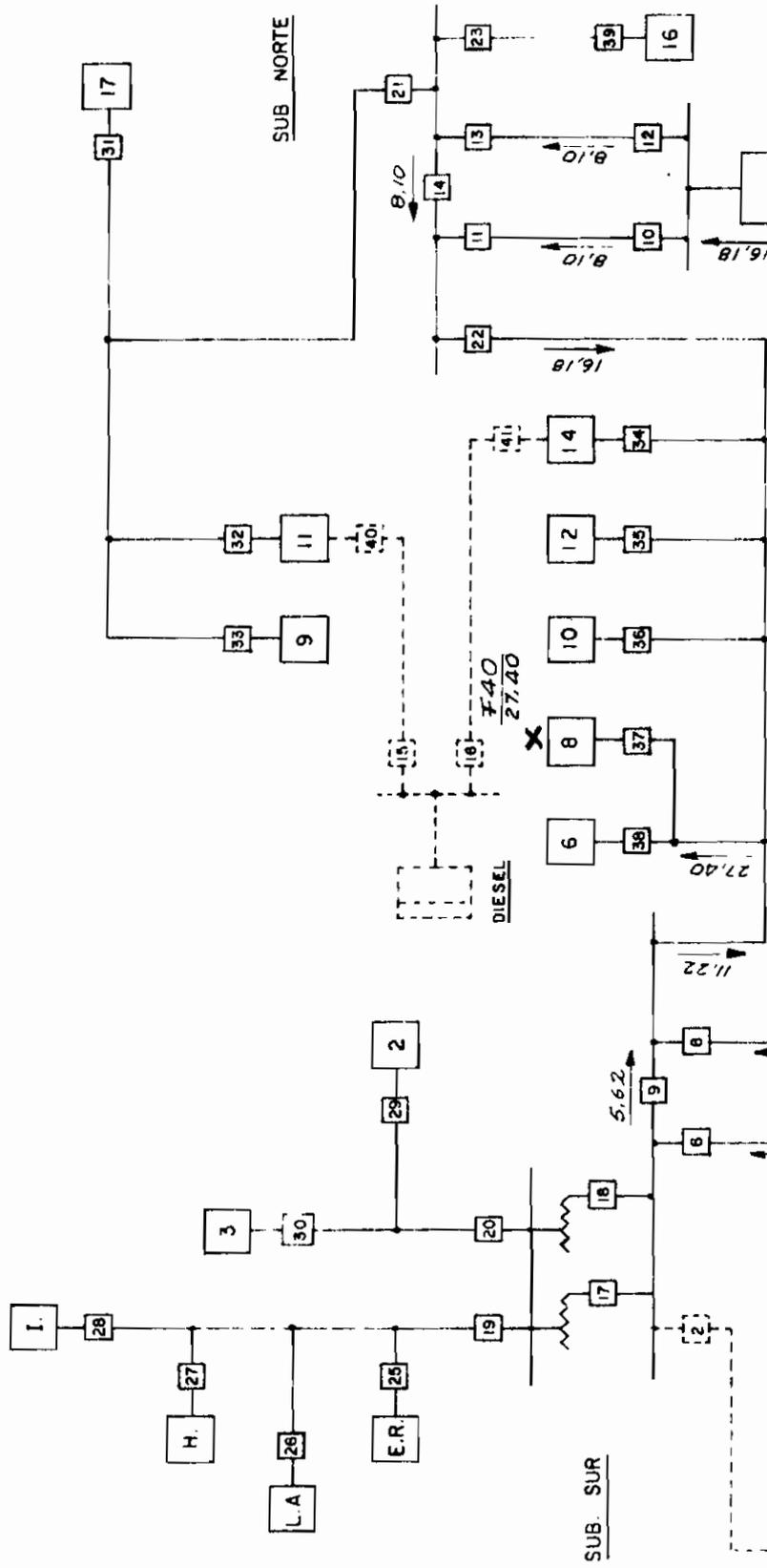
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE - FASE
 GENERACION MINIMA

Nº F36
 CALCULO: G. S. FECHA: DIC-86-ENE-87 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 46

INDICACIONES.

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS PROFESIONAL

POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO

FALLAS FASE - FASE

GENERACION MINIMA

Nº F40

FECHA: DIC-86-ENE-87

PLANO Nº PC-09

REVISION: HOJA Nº 50

INDICACIONES:

CENTRAL DE GENERACION

SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR

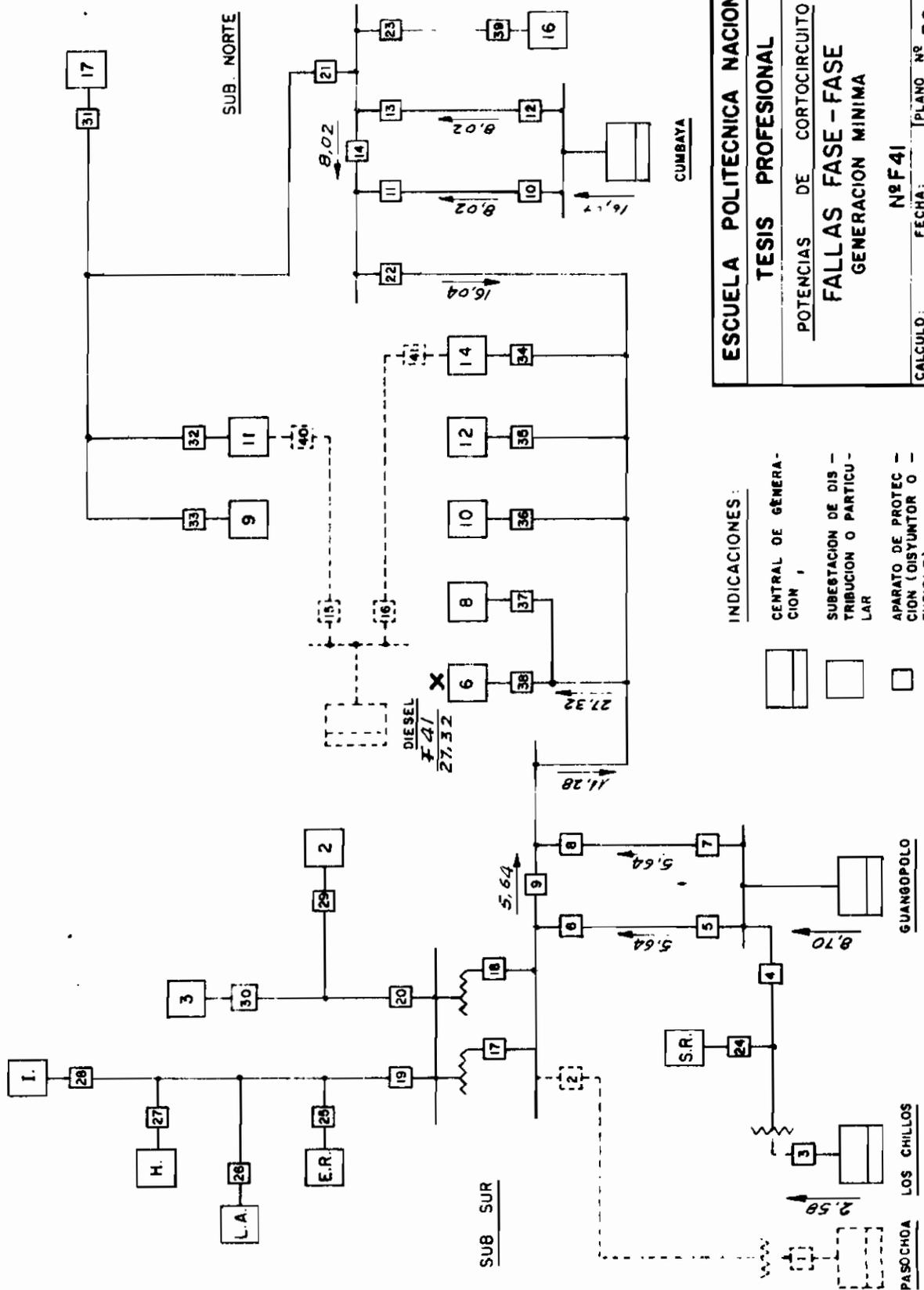
APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)

VALORES EN MVA.

PASOCHOA

LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

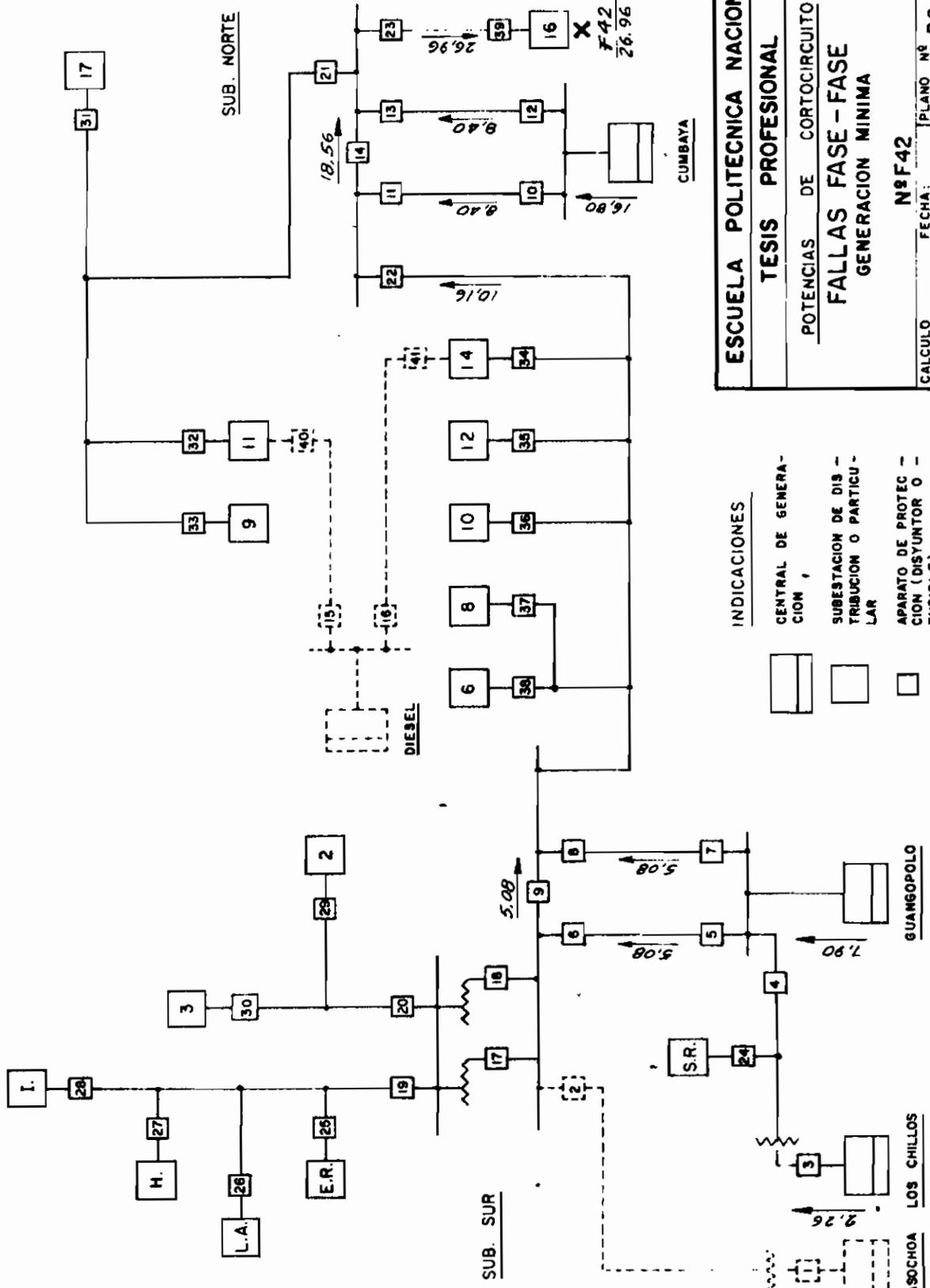


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
TESIS PROFESIONAL	
POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO	
FALLAS FASE - FASE	
GENERACION MINIMA	
Nº F41	
CALCULO: G S.	FECHA: DIC-86-ENE-87
REVISION:	PLANO Nº PC-09
	HOJA Nº 51

INDICACIONES:

- CENTRAL DE GENERACION
- SUBESTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
- APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA

PASOCHOA
LOS CHILLOS
GUANGOPOLO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
TESIS PROFESIONAL
 POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO
FALLAS FASE-FASE
 GENERACION MINIMA

NºF42
 FECHA: DIC-86-ENE-87
 PLANO Nº PC-09
 REVISION: FECHA: HOJA Nº 52

INDICACIONES

-  CENTRAL DE GENERACION
-  SUBSTACION DE DISTRIBUCION O PARTICULAR
-  APARATO DE PROTECCION (DISYUNTOR O FUSIBLE)
- VALORES EN MVA.

PASOCHOA LOS CHILLOS

GUANGOPOLO

CUMBAYA

SUB. NORTE

SUB. SUR

En el plano No. PC-09, hojas Nos. 1-52, se indican los valores en MVA de las potencias de cortocircuito, tanto las totales como las provenientes de cada ramal hasta el sitio de falla.

5.5. CONCLUSIONES

Sobre los cálculos realizados para cada falla e indicados en los planos Nos. PC-07 a PC-09, establecemos comparación entre las potencias de cortocircuito a fin de determinar los máximos valores a que pueden verse sometidos cada uno de los dispositivos de protección. Estos valores, tanto en MVA como en amperios de cortocircuito, se detallan en la tabla 5 - II con la referencia del tipo y número de falla, así como también del plano en que se encuentra representada.

En la publicación ASA C37.5-1953, a la cual ya nos hemos referido anteriormente (en 5.1.3), se indica como emplear los valores obtenidos para las corrientes de cortocircuito de los diversos aparatos de protección, a fin de encontrar sus capacidades momentánea y de interrupción.

Para la primera se utiliza un factor de multi-

T A B L A 5 - I I

Potencias y Corrientes Máximas de Cortocircuito
para cada Dispositivo de Protección

Dispos. Protec. No.	KV Nomi- nales	Pot. Máx. Cortocirc. MVA	Corr. Máx. Cortocirc. A	Falla de Ocurrencia Tipo	Falla de Ourrencia No.	Referencia	
						Plano No.	Hoja No.
35	46	199,20	49.999	"	F22	"	38
36	46	190,48	47.810	"	F23	"	39
37	46	173,82	43.629	3f	F24	PC-08	40
38	46	174,72	43.855	"	F25	"	41
39	46	184,90	46.410	"	F26	"	42
40	6,3	69,12	126.690	f-t	F27	PC-07	43
41	6,3	76,62	140.437	"	F28	"	44

NOTA:

La nomenclatura utilizada en la expresión del tipo de falla es la siguiente:

f-t: Falla de fase a tierra.

3f: Falla trifásica.

- Selección de nuevo equipo: disyuntores, fusibles, relés.
- Coordinación de los dispositivos de protección con el fin de obtener selectividad.

Confiamos en que, el estudio que aquí finaliza sea positivo para el mejor aprovechamiento del sistema de transmisión y subtransmisión de la Empresa Eléctrica "Quito" S. A.; y, esperamos por otra parte, que pueda servir como guía para análisis similares de fallas en sistemas eléctricos en general.

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

- Henriet, Pierre
"Redes Eléctricas, Funcionamiento y Protección"
Editorial Mayo
Madrid, 1961
- Westinghouse Electric Corporation
"Electrical Transmission and Distribution Reference Book"
East Pittsburgh, Pennsylvania, 1964
- Paradinas, Eusebio y otros
"Interconexión de Centrales y Redes Eléctricas"
Escuela Especial de Ingenieros Industriales
Madrid, 1950
- Knowlton, Archer E.
"Manual 'Standard' del Ingeniero Electricista"
Traducción de la 8a. edición norteamericana,
2a. reimpresión
Editorial Labor S. A.
- Allgemeine Elektrizitäts - Gesellschaft
"Manual para Instalaciones Eléctricas de Alumbrado y Fuerza Motriz"
7a. Edición
Editorial Verlag W. Girardet - Essen
Berlin
- Beeman, Donald
"Industrial Power Systems Handbook"
Editorial Mc Graw - Hill Book Company, Inc.
New York, 1955
- Buchhold, Th. - Happoldt, H.
"Centrales y Redes Eléctricas"
Traducción de la 2a. edición alemana
Editorial Labor S. A.
Barcelona, 1959

Marcelic, P.
"Líneas y Redes Eléctricas"
Ediar S. A. Editores
Buenos Aires, 1957

Line Material Industries
"Distribution Protection and Apparatus Coordination"
Mc Graw - Edison Company
Milwaukee, Wisconsin

Zoppetti, Gaudencio
"Estaciones Transformadoras y de Distribución"
2a. edición
Editorial Gustavo Gili S. A.
Barcelona, 1964

Castelfranchi, Guiseppe
"Instalaciones Eléctricas"
Editorial Gustavo Gili S. A.
Barcelona, 1961

Westinghouse Electric Corporation
"Applied Protective Relaying"
(A new 'Silent Sentinels' publication)
Newark, New Jersey, 1958

General Electric
Portable D-C Network Analyzer
Instruction Manual
Schenectady, N. Y., 1958

Sánchez, Gerardo
"Fallas en Sistemas Eléctricos"
(Anotaciones de la asignatura dictada por el profesor Sr.
Ing. Honorato Placencia C.)
Escuela Politécnica Nacional
Quito, 1963 - 64

Tipton and Kalmbach, Inc. Engineers
Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
"Instrucciones de Operación y Mantenimiento para el Sistema de Distribución de Quito - Primera Etapa"
Denver, Colorado, 1961

Tipton and Kalmbach, Inc. Engineers
Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
"Operation and Maintenance Instructions for Cumbaya Power Plant and Appurtenances"
Denver, Colorado, 1961

Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
"Pasochoa Power Plant
Specifications for Alternating Current Generators"
Quito, 1965

Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
"Pasochoa Power Plant
Specifications for Steel-Structure, Electrical Equipment - and Power Transformer for the Step-Up Substation"
Quito, 1965

Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
"Cumbaya Project - Second Stage - Distribution System Specifications for Steel Structures, Electrical Equipment and Transformers for Distribution Substations 9, 11 and 16"
Quito, 1965

Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
Archivo de "Centrales de Generación"
(parte relacionada con Los Chillós, Guangopolo y la central "Diésel")
Quito

Empresa Eléctrica "Quito" S. A.
Proyectos "Segunda Etapa Cumabyá":
- Equipo para la Subestación de Elevación (2,3 a

- 46 KV) y Patio de Maniobras para la Central -
Guangopolo.
- Variante de la Línea de Transmisión "Machachi -
Quito".
 - Línea "Guangopolo - Quito". Remodelación a 46
KV.
 - Nueva Subestación No. 3 (Ciudadela "Atahual-
pa").
 - Subestación de Distribución "La Argelia" (22 a
6,3 KV).
 - Barra Oeste No. 2, Segundo Estudio, Topografía
de la zona de Recorrido de la Línea y Perfil -
Longitudinal.
-