



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE LA RED DE TIERRA PARA LA
SUBESTACION TECALI 400 KV

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n

SANDRA CRISTINA HERNANDEZ SILVA
LUIS CARLOS ACUÑA VAZQUEZ
JOSE ANTONIO G. CAMARGO PEREGRINA
JESUS ARMANDO GANDARA FERNANDEZ

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

		PAGINA
INTRODUCCIÓN.		1
CAPÍTULO I	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	3
I.1	FACTORES QUE PROVOCAN UN ACCIDENTE.	3
I.2	LÍMITES TOLERABLES DE LA CORRIENTE EN EL CUERPO HUMANO.	4
I.2.1	LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE.	4
I.2.2	DURACIÓN DEL CHOQUE.	5
I.2.3	RECIERRES.	9
I.2.4	IMPORTANCIA DE LA LIBRANZA RÁPIDA DE FALLAS.	10
I.3	RED DE TIERRAS.	10
I.3.1	OBJETIVO.	11
I.3.2	VENTAJAS.	11
I.4	CRITERIOS DE DISEÑO.	12
I.5	PARÁMETROS DE DISEÑO.	17
I.5.1	CORRIENTE DE FALLA.	19
I.5.2	RESISTIVIDAD DEL TERRENO.	19
I.5.2.1	FACTORES QUE AFECTAN LA CONDUCTANCIA DEL SUELO.	20
I.5.3	TIEMPO DE APERTURA DE INTERRUPTORES.	27
I.5.4	NIVEL DE AISLAMIENTO DE EQUIPO DE - COMUNICACIONES.	29
I.5.5	POTENCIAL DE TOQUE.	29
I.5.6	POTENCIAL DE PASO.	30
CAPÍTULO II	MÉTODO PARA LA MEDICIÓN.	31
II.1	AREA DE RESISTENCIA.	31
II.2	RESISTENCIA TOTAL.	37
II.3	MÉTODO DE WENNER.	39
II.4	MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL - SUELO.	41
II.5	PROGRAMA "RESIS".	45

		PAGINA
CAPÍTULO III	CÁLCULO Y DISEÑO DE LA RED HASTA OPTIMIZARLA.	51
III.1	DISEÑO POR EL MÉTODO CONVENCIONAL.	51
III.2	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DIGITAL - "MALT" Y SUS BASES TEÓRICAS.	58
III.3	DISEÑO DE LA RED UTILIZANDO EL - - PROGRAMA "MALT".	65
III.3.1	OPTIMIZACIÓN DE LA PRIMERA CORRIDA DE "MALT".	69
III.3.2	OPTIMIZACIÓN DE LA SEGUNDA CORRIDA DE "MALT".	74
III.3.3	RED DE TIERRAS OPTIMIZADA.	80
III.3.3.1	PERFILES DE POTENCIAL.	80
III.4	MATERIALES Y COSTOS.	114
III.4.1	PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN.	114
III.4.2	COSTO DE MANO DE OBRA.	117
III.4.3	MATERIALES.	121
III.4.4	COSTO TOTAL.	127
CONCLUSIONES.		128
REFERENCIAS.		130

INTRODUCCION.-

LA INDUSTRIA ELÉCTRICA NACIONAL CONSTITUYE UNOS DE LOS FACTORES DE MAYOR INFLUENCIA EN EL DESARROLLO INTEGRAL DEL PAÍS, ESTO ES DEBIDO A QUE SON POCAS LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y SOCIALES QUE ESCAPAN A LA INGERENCIA DEL FLUIDO ELÉCTRICO. POR LO ANTERIOR, LA PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL, SE BASA EN PRIORIDADES TANTO A LOS POLOS DE DESARROLLO ECONÓMICO COMO A LOS NÚCLEOS DE POBLACIÓN URBANOS Y RURALES DE ACUERDO A LOS ESTUDIOS SOCIO-ECONÓMICOS REALIZADOS POR LOS ORGANISMOS GUBERNAMENTALES COMPETENTES.

CADA UNA DE LAS PARTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL SON DE SIMILAR IMPORTANCIA YA QUE PARA HACER LLEGAR LA ENERGÍA GENERADA A LOS USUARIOS ES MENESTER TRANSMITIRLA, TRANSFORMARLA Y DISTRIBUIRLA EN RELACIÓN A SU DEMANDA, ASÍ MISMO, DEBIDO A SU CONSTANTE INCREMENTO, DICHO SISTEMA SE HA CONVERTIDO EN UNA ORGANIZACIÓN CUYA MAGNITUD Y COMPLEJIDAD SE HA HECHO PATENTE EN EL TRANSCURSO DE LOS ÚLTIMOS AÑOS, SUS REQUERIMIENTOS ESTABLECEN LA NECESIDAD DE UTILIZAR CON MAYOR FRECUENCIA ALTAS TENSIONES.

LA NECESIDAD DE PODER DISPONER DE FUENTES DE ENERGÍA EN FORMA CONFIABLE Y CON SENTIDO ECONÓMICO ORIGINAN LA INTERCONEXIÓN DE LOS SISTEMAS Y EL MANEJO DE GRANDES CANTIDADES DE ENERGÍA ENTRE PUNTOS LEJANOS, LO CUAL OBLIGA A REALIZAR UN BUEN DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

EL EQUIPO EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA ES MUY COSTOSO ASÍ COMO LOS DAÑOS QUE LAS FALLAS A TIERRA OCASIONAN, POR LO QUE ES NECESARIO QUE TODAS LAS INSTALACIONES, PRINCIPALMENTE LAS SUBESTACIONES, CUENTEN CON LOS MEDIOS SUFICIENTES DE PROTECCIÓN PARA EL PERSONAL Y EQUIPO.

UNO DE LOS ASPECTOS IMPORTANTES EN LA SEGURIDAD Y LA PROTECCIÓN

CIÓN IMPRESCINDIBLE EN TODA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA, ESTÁ BASADO EN EL DISEÑO DE UN BUEN SISTEMA DE TIERRAS.

LOS MÉTODOS DE CÁLCULO TRADICIONALES SE BASAN EN FÓRMULAS EMPÍRICAS, QUE NO OFRECEN LA SUFICIENTE EXACTITUD EN CUANTO A LAS NECESIDADES REALES DE LAS SUBESTACIONES, DANDO POR RESULTADO REDES SUBDISEÑADAS O SOBREDISEÑADAS.

ACTUALMENTE COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DISPONE DE PROGRAMAS DE COMPUTADORA QUE REALIZAN UN CÁLCULO COMPLETO Y RIGUROSO PARA LAS REDES DE TIERRA DE LAS SUBESTACIONES, PROPORCIONANDO AL INGENIERO UN MEDIO PARA DECIDIR CUAL SERÁ LA RED ÓPTIMA TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE, QUE CUMPLA CON LAS NORMAS DE SEGURIDAD.

EN EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZA UN ANÁLISIS DE LAS CONSIDERACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE TIERRA. SE PROPONE UN MÉTODO GENERAL PARA CONOCER LA RESISTIVIDAD DEL SUELO Y SE PRESENTAN RECOMENDACIONES PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.

I.- FUNDAMENTOS TEORICOS.-

I.1.- FACTORES QUE PROVOCAN UN ACCIDENTE.

LAS CIRCUNSTANCIAS QUE HACEN POSIBLES LOS ACCIDENTES DE CHOQUES ELÉCTRICOS DEL TIPO QUE ESTAMOS CONSIDERANDO, REQUIEREN LA COINCIDENCIA DE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- 1.- LA CORRIENTE DE FALLA A TIERRA RELATIVAMENTE ELEVADA CON RELACIÓN AL TAMAÑO DEL SISTEMA DE TIERRA Y A LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.
- 2.- LA RESISTIVIDAD DEL SUELO Y DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO DE CORRIENTE A TIERRA DE MANERA QUE LOS GRADIENTES DE ELEVADO POTENCIAL SEAN POSIBLES EN UNO O MÁS PUNTOS.
- 3.- LA PRESENCIA DEL INDIVIDUO EN ESE PUNTO, EN ESE MOMENTO, Y EN TAL POSICIÓN QUE SU CUERPO PUENTEÉ DOS PUNTOS DE ELEVADA DIFERENCIA DE POTENCIAL.
- 4.- LA AUSENCIA DE SUFICIENTE RESISTENCIA DE CONTACTO U OTRA RESISTENCIA EN SERIE PARA LIMITAR LA CORRIENTE A TRAVÉS DEL CUERPO A UN VALOR SEGURO BAJO LAS CIRCUNSTANCIAS ANTERIORES.
- 5.- LA DURACIÓN DE LA FALLA Y EL CONTACTO DEL CUERPO, (POR LO TANTO DEL FLUJO DE CORRIENTE A TRAVÉS DE ÉL), DURANTE UN TIEMPO SUFICIENTE PARA OCASIONAR DAÑO A DETERMINADA INTENSIDAD DE CORRIENTE.

LA POCA OCURRENCIA RELATIVA DE ACCIDENTES DEL TIPO-

QUE ESTAMOS ESTUDIANDO, COMPARADO CON ACCIDENTES -- DE OTROS TIPOS, SE DEBE EN GRAN PARTE A LA BAJA PROBABILIDAD DE COINCIDENCIA DE TODAS LAS CONDICIONES-DESFAVORABLES NECESARIAS. SIN EMBARGO, HAN OCURRIDO MUCHAS DEFUNCIONES DEBIDO A GRADIENTES DE POTENCIAL, AFORTUNADAMENTE, EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS - PUEDE REDUCIRSE ESTE RIESGO A UN VALOR EXTREMADAMENTE BAJO POR MEDIO DE UN BUEN DISEÑO DE LA RED DE -- TIERRA.

I.2.- LÍMITES TOLERABLES DE LA CORRIENTE EN EL CUERPO - - HUMANO.

LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL PASO DE LAS CORRIENTES - ELÉCTRICAS A TRAVÉS DEL CUERPO, CUANDO ÉSTE PASA A FORMAR PARTE DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO, SON CONSE-- CUENCIA DE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE Y LA DURA-- CIÓN DEL CHOQUE.

I.2.1.- LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE.

ESTA SE DA POR LA LEY DE OHM $I = \frac{V}{Z}$, SIENDO

V LA TENSIÓN APLICADA ENTRE DOS PUNTOS DEL CIRCUITO DEL QUE FORMA PARTE EL CUERPO HUMANO Y Z ES LA IMPEDANCIA TOTAL ENTRE ESOS -- DOS PUNTOS.

LA RESISTENCIA DE LA PIEL HUMANA, LA FORMA-PRINCIPALMENTE LA CAPA CALLOSA DE LA EPIDERMIS Y ESTA VARÍA EN LAS DISTINTAS PARTES -- DEL CUERPO Y MUY NOTORIAMENTE ENTRE DIFERENTES INDIVIDUOS. LA PIEL SECA PUEDE TENER - RESISTENCIA DE 100,000 A 300,000 OHMS/CM², - PERO HÚMEDA PUEDE ABATIRSE AL 1% DE ESTOS -

VALORES. LOS CONTACTOS HÚMEDOS O LÍQUIDOS, PRODUCEN RESISTENCIAS BAJAS Y LA PIEL SUDOROSA DISMINUYE FUERTEMENTE LA RESISTENCIA DE LA CAPA SUPERIOR. POR LO ANTERIOR, PUEDE VERSE QUE UNA PERSONA TRABAJANDO EN TEMPERATURAS ALTAS DEL AMBIENTE Y ASOCIADO A ALTA HUMEDAD, LOS INDIVIDUOS QUEDAN MÁS EXPUESTOS A DAÑOS POR CORRIENTES DE MAGNITUDES INFERIORES. LAS CONDICIONES FISIOLÓGICAS Y PSICOLÓGICAS TIENEN TAMBIÉN GRAN INFLUENCIA SOBRE LA RESISTIVIDAD DE LA PIEL Y ADQUIEREN IMPORTANCIA CUANDO UNA CORRIENTE INTENSA CIRCULA DURANTE MAS DE 1 Ó 2 SEGUNDOS. CUANDO LA CORRIENTE PERSISTE POR MAS DE UNOS CUANTOS SEGUNDOS, SE FORMAN AMPOLLAS QUE REDUCEN AÚN MÁS LA RESISTENCIA Y LOS CONTACTOS SOBRE UNA PIEL LASTIMADA POR UNA CORTADURA O EN UNA ABRASIÓN PUEDE RESULTAR MUY DOLOROSO, CON CORRIENTES DE SOLO UNOS CUANTOS MILIAMPERES.

I.2.2.- DURACIÓN DEL CHOQUE.

POR MEDIO DE EXPERIMENTOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN ANIMALES DE CORAZÓN Y PESO CORPORAL SIMILARES A LOS DEL HOMBRE, SE HA DEMOSTRADO QUE EL PASO DE CORRIENTES ALTAS Y DE CORTA DURACIÓN A TRAVÉS DE SUS CUERPOS NO CAUSAN FIBRILACIÓN VENTRICULAR.

EL SR. DALZIEL CONCLUYE, QUE EL 99.5% DE TODAS LAS PERSONAS PUEDEN SOPORTAR SIN FIBRILACIÓN VENTRICULAR, CORRIENTES DETERMINADAS POR LA ECUACIÓN (1):

$$I_K = \frac{0.116}{\sqrt{T}} \quad (1)$$

DONDE:

I_K = CORRIENTE RMS A TRAVÉS DEL CUERPO EN MÁ.

T = DURACIÓN TEMPORAL DEL CHOQUE EN SEGUNDOS.

0.116 = FACTOR PREVIAMENTE ACEPTADO - COMO EL PESO CORPORAL DE UNA PERSONA DE 50 KG.

NÓTESE QUE LA ECUACIÓN (1), DA VALORES DE 116 MÁ PARA T=1 SEG. Y 367 MÁ PARA T=.1 SEG. (6 CICLOS).

LA ECUACIÓN (1) ESTÁ BASADA EN PRUEBAS LIMITADAS A 3 SEG. DE DURACIÓN Y CONSECUENTEMENTE NO ES VÁLIDA PARA DURACIONES MUY LARGAS, YA QUE ALGUNOS VALORES DE CORRIENTE PUEDEN TOLERARSE INDEFINIDAMENTE.

BASADOS EN LAS PRUEBAS DE LA UNIVERSIDAD DE COLUMBIA, FERRIS, KING, SPENCE Y WILLIAMS - SUGIRIERON 100 MÁ COMO EL UMBRAL DE FIBRILACIÓN VENTRICULAR NO ESPECIFICANDO LA DURACIÓN DEL CHOQUE. DADO QUE ESTAS PRUEBAS NO CUBREN DURACIONES DE CHOQUE MÁS LARGAS, EXISTE LA POSIBILIDAD DE ASFIXIA OCASIONADA POR LA ACCIÓN PROLONGADA DE LOS MÚSCULOS DEL PECHO, SE PUEDE PREFERIR USAR UNA CIFRA

TAN BAJA COMO 25 MÁ O LOS VALORES DE SEGURIDAD DE PODER SOLTAR EL CONDUCTOR, SEGÚN DALZIEL (PARA LOS HOMBRES 9 MÁ Y MUJERES 6-MÁ), EN LOS CASOS DONDE LOS POTENCIALES DE CHOQUE PUEDAN PERSISTIR DURANTE UNOS CUANTOS MINUTOS O MÁS SIN LA SEGURIDAD DE UN RESCATE RÁPIDO.

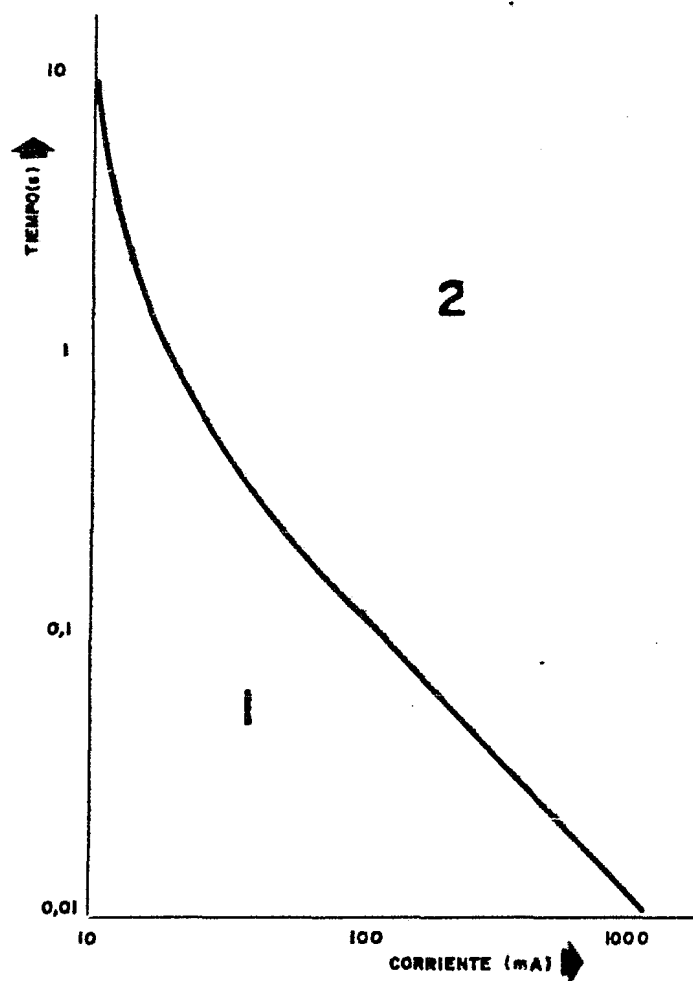
EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CUERPO HUMANO

CORRIENTE QUE ATRAVIESA EL CUERPO HUMANO (MÁ)

EFFECTOS

HASTA 1	IMPERCEPTIBLE PARA EL HOMBRE.
2 A 3	SENSACIÓN DE HORMIGUEO.
3 A 10	EL SUJETO CONSIGUE, GENERALMENTE, DESPRENDERSE DEL CONTACTO (LIBERACIÓN). DE TODAS FORMAS, LA CORRIENTE NO ES MORTAL.
10 A 50	LA CORRIENTE NO ES MORTAL SI SE APLICA DURANTE INTERVALOS DECRECIENTES A MEDIDA QUE AUMENTA SU INTENSIDAD (VER LA CURVA DE PELIGROSIDAD), DE LO CONTRARIO, LOS MÚSCULOS DEL APARATO RESPIRATORIO SEVEN AFECTADOS POR CALAMBRES QUE PUEDEN PROVOCAR LA MUERTE POR ASFIXIA.
50 A 500	CORRIENTE DECIDIDAMENTE PELIGROSA, EN FUNCIÓN CRECIENTE CON LA DURACIÓN DEL CONTACTO, QUE DA LUGAR A LA FIBRILACIÓN CARDIACA (FUNCIONAMIENTO IRREGULAR CON CONTRACCIONES MUY FRECUENTES E INEFICACES). POSIBLE DEFUNCIÓN DEL INDIVIDUO.
MÁS DE 500	DECRECE LA POSIBILIDAD DE FIBRILACIÓN PERO AUMENTA EL RIESGO DE MUERTE POR PARÁLISIS DE LOS CENTROS NERVIOSOS A CAUSA DE FENÓMENOS SECUNDARIOS.

CURVA DE PELIGROSIDAD



1.- ZONA ESTADISTICAMENTE NO PELIGROSA PARA LA INTEGRIDAD FISICA DE LAS PERSONAS.

2.- ZONA PELIGROSA : SIGUIENDO LA VARIACION DE LA CURVA DESDE ARRIBA HACIA ABAJO SE PASA DEL PELIGRO DE TETANIZACION AL DE ASFIXIA Y LUEGO A LA FIBRILACION CARDIACA

I.2.3.- RECIERRES.

EN LA FORMA ACTUAL DE OPERACIÓN, SON COMUNES LOS RECIERRES CASI INMEDIATOS A LA FALLA LO QUE OFRECE MUY POCOA OPORTUNIDAD A LA VÍCTIMA PARA LIBERARSE DE UN SEGUNDO CHOQUE, PRINCIPALMENTE SI SUFRIÓ ENGARROTAMIENTO.

CON RECIERRES MANUALES E INTERVALOS DE VARIOS SEGUNDOS A UNOS MINUTOS CABRÍA LA POSIBILIDAD PERO NO LA SEGURIDAD DE QUE LA VÍCTIMA EVITARA UN SEGUNDO CHOQUE.

AUNQUE EL INFORME DE LA UNIVERSIDAD DE COLUMBIA REPORTA QUE LOS CHOQUES SUCEIVOS NO TIENEN EFECTO ACUMULATIVO SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL CORAZÓN A LA FIBRILACIÓN, NO SE JUSTIFICA APLICAR ESTE CRITERIO AL CASO EN ESTUDIO CON INTERVALOS DE CORTA DURACIÓN, YA QUE EN DICHO INFORME SE ENCONTRÓ QUE EL CORAZÓN SIEMPRE VUELVE A LA NORMALIDAD EN LOS 5 MINUTOS SIGUIENTES A LA APLICACIÓN DE LA CORRIENTE SIEMPRE QUE NO SE PRODUJERA FIBRILACIÓN.

ESTO SUGIERE QUE ES POSIBLE SE PRESENTE CIERTA TOLERANCIA EN LOS CHOQUES POR RECIERRE, PERO NO ES ACONSEJABLE FIJAR UNA GUÍA-CUANTITATIVA A ESTE RESPECTO.

POR CONSIGUIENTE EL DISEÑADOR NO DEBE IGNORAR ESTE FACTOR, SINO PERMITIR UN AUMENTO EN EL VALOR DE "T" EN LA ECUACIÓN (1). PUEDE POR EJEMPLO CONSIDERAR QUE LA SEVERIDAD DE DOS CHOQUES SEGUIDOS CON DURACIÓN CADA

UNO DE 0.1 SEG. SEA MAYOR QUE LA DE UN CHOQUE DE LA MISMA DURACIÓN, Y QUE NO SEA TAN SEVERO COMO UN CHOQUE ÚNICO CON DURACIÓN DE 0.2 SEG. DEBIDO A QUE EL TIEMPO APARACE EN LA ECUACIÓN (1) ELEVADO A LA POTENCIA 1/2, - AÚN ASÍ QUEDARÍA LA CORRIENTE I_K LIMITADA A UN VALOR MENOR QUE SE USARÁ PARA EL DISEÑO DE LA RED.

I.2.4.- IMPORTANCIA DE LA LIBRANZA RÁPIDA DE FALLAS.

ES MUY IMPORTANTE ELIMINAR LA FALLA EN CORTO TIEMPO POR MEDIO DE INTERRUPTORES RÁPIDOS YA QUE LA PROBABILIDAD DE UN CHOQUE SE REDUCE Y EN CONTRAPOSICIÓN A ÉSTO EXISTEN SITUACIONES EN LAS CUALES LAS FALLAS PERSISTEN DURANTE VARIOS MINUTOS O QUIZÁ HORAS. - LAS EXPERIENCIAS EN CAMPO DEMUESTRAN QUE LA CANTIDAD DE ACCIDENTES CON DAÑOS SEVEROS O FATALES SE REDUCE EN MUCHO CUANDO EL PASO DE LA CORRIENTE POR EL CUERPO ES DE MUY CORTA DURACIÓN.

I.3.- RED DE TIERRAS.

UNA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA SE COMPONE ESENCIALMENTE DE UNOS ELECTRODOS (VARILLAS, PLACAS Ó CONDUCTORES QUE ESTÉN EN ÍNTIMO CONTACTO CON EL TERRENO) Y DE UNA RED DE CONDUCTORES QUE LOS CONECTAN A LAS PARTES DE LA INSTALACIÓN QUE DEBEN DE SER PUESTAS A TIERRAS.

LA CONEXIÓN A TIERRA DE LAS PARTES METÁLICAS DE LA SUBESTACIÓN DEBERÁ SER TANTO MÁS EFECTIVA CUANTO MAYOR SEA LA POSIBILIDAD DE QUE POR ELLA FLUYAN

HACIA EL TERRENO CORRIENTES DE FALLA, A FIN DE DISPERSAR DE MANERA UNIFORME Y SIN ORIGINAR ZONAS DE CONCENTRACIÓN QUE A SU VEZ PODRÍAN SER FUENTE DE RIESGO PARA LA INTEGRIDAD FÍSICA DE LAS PERSONAS QUE SE ENCUENTRAN CERCA DE ESA ZONA.

ADemás, PARA EVITAR QUE EN EL PROPIO LUGAR DE LA INSTALACIÓN PUEDAN APARECER TENSIONES PELIGROSAS ENTRE DOS PARTES QUE NORMALMENTE NO ESTÁN SOMETIDAS A TENSIÓN PERO QUE PUEDEN ESTARLO FORTUITAMENTE.

I.3.1.- OBJETIVO.

EL OBJETIVO PRINCIPAL DE UNA RED DE TIERRAS, ES EL DE PROTEGER CONTRA SOBRETENSIONES QUE EN CASO DE FALLA PUDIERAN GENERARSE EN LOS PARARRAYOS, CABLES DE GUARDA, ESTRUCTURAS METÁLICAS, TANQUES, NEUTROS DE LOS APARATOS Y TODAS AQUELLAS OTRAS PARTES METÁLICAS QUE DEBEN ESTAR AL POTENCIAL DE TIERRA.

I.3.2.- VENTAJAS.

- A).- REDUCE EL COSTO DEL EQUIPO.
- B).- LIMITA LAS ELEVACIONES DE POTENCIAL.
- C).- FACILIDAD DE LA LOCALIZACIÓN DE LAS FALLAS.
- D).- OPERACIÓN SATISFACTORIA DE LOS RELEVADORES.
- E).- APLICACIÓN ADECUADA DE NIVELES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO (BIL).
- F).- CONFIABILIDAD Y CONTINUIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA.

I.4.- CRITERIOS DE DISEÑO.

LOS CRITERIOS DE DISEÑO QUE SON APLICABLES AL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN ELECTRODO O RED DE TIERRA EN UNA SUBESTACIÓN, SE PUEDEN DIVIDIR EN DOS GRUPOS.

GRUPO I.- SEGURIDAD DEL PERSONAL.

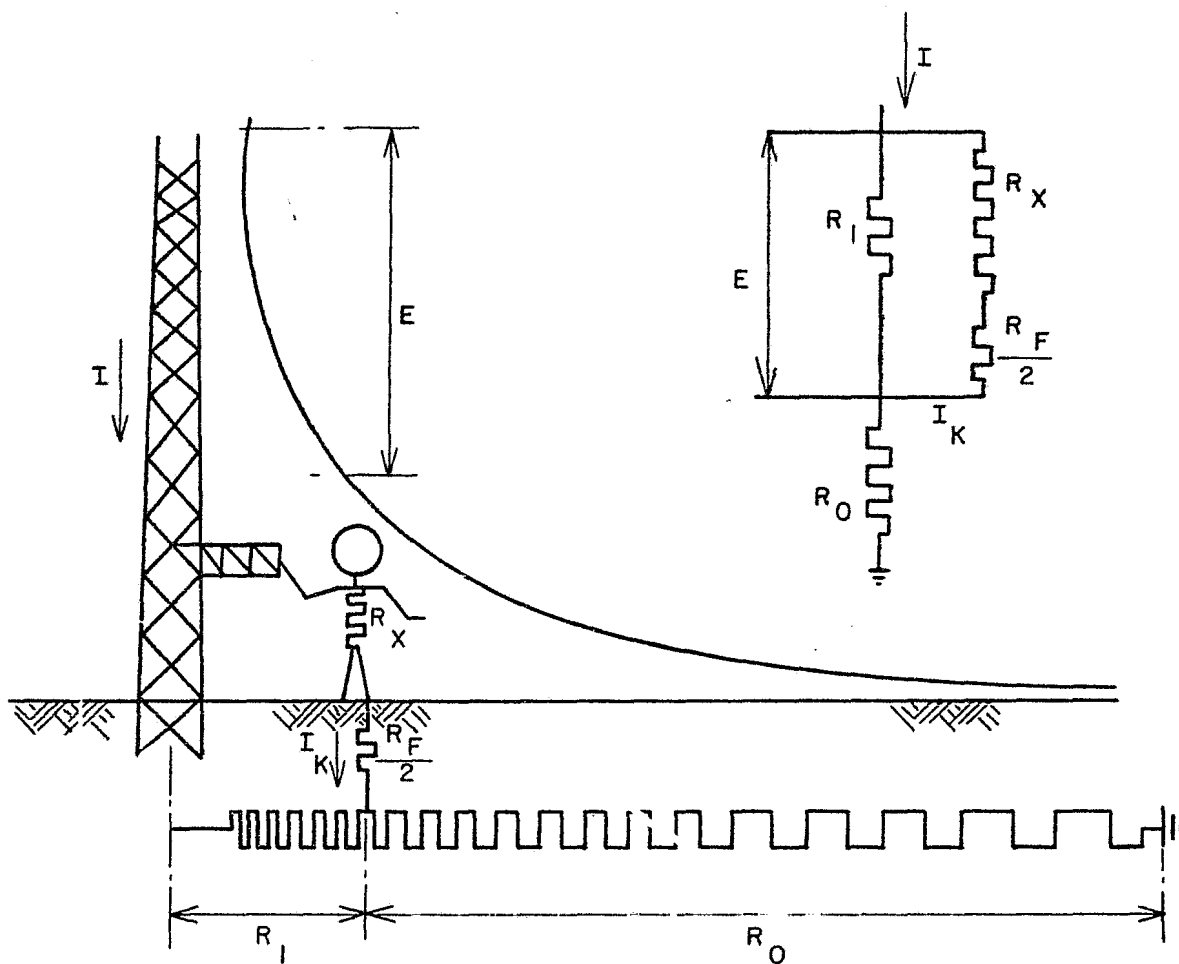
SE HA MENCIONADO QUE EL COMPORTAMIENTO DE LA MALLA DE TIERRA AL PRESENTARSE UN ESTADO ANORMAL INTRODUCE SITUACIONES QUE PUEDEN PONER EN PELIGRO LA VIDA DEL PERSONAL QUE SE ENCUENTRE DENTRO DEL ÁREA DE LA SUBESTACIÓN O EN SU VECINDAD.

LAS SITUACIONES PELIGROSAS Y SU DESIGNACIÓN DENTRO DE LA TERMINOLOGÍA DE LAS REDES DE TIERRA, ASÍ COMO SU SIGNIFICADO CONCEPTUAL ES EL SIGUIENTE:

A).- POTENCIAL DE TOQUE.

SE DEFINE COMO "EL POTENCIAL MÁXIMO QUE EXPERIMENTA UNA PERSONA QUE SE ENCUENTRA DE PIE DENTRO DEL ÁREA DE LA SUBESTACIÓN Y QUE DURANTE LA OCURRENCIA DE UNA FALLA ESTA TOCANDO CON UNA O AMBAS MANOS UNA ESTRUCTURA O CUALQUIER ELEMENTO CONDUCTOR DIRECTAMENTE UNIDO A LA RED DE TIERRA", - FIG. 1.

DESDE EL PUNTO DE VISTA PRÁCTICO, EL POTENCIAL DE TOQUE QUEDA ESTABLECIDO



TENSION DE CONTACTO

FIG. 1

POR LA DIFERENCIA DE POTENCIAL MÁXIMA QUE EXISTE EN CONDICIONES DE FALLA, ENTRE LA RED DE TIERRA Y UN PUNTO CUALQUIERA SOBRE LA SUPERFICIE DEL TERRENO.

ESTA DIFERENCIA DE POTENCIAL SE OBTIENE AL COMPARAR EL POTENCIAL DE LA RED CON EL POTENCIAL DE MALLA SIENDO:

$$EPR = I_F R_T \quad (2)$$

DONDE:

EPR = ELEVACIÓN DE POTENCIAL DE LA RED.

I_F = CORRIENTE DE FALLA A TRAVÉS DE LA RED.

R_T = RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED.

EL POTENCIAL DE MALLA ES AQUEL QUE EXISTIRÁ SOBRE LA SUPERFICIE DEL SUELO EN EL CENTRO DE UNA DE LAS MALLAS DE LA RED, POR LO TANTO:

$$V_{TOQUE} = EPR - V_M \quad (3)$$

DONDE:

V_{TOQUE} = POTENCIAL DE TOQUE.

V_M = POTENCIAL DE MALLA.

B).- POTENCIAL DE PASO,

SE DEFINE COMO "EL POTENCIAL MÁXIMO- QUE SE APLICARÁ A UNA PERSONA ENTRE- SUS PIES, CUANDO EN EL INSTANTE DE - UNA FALLA SE ENCUENTRE CAMINANDO EN- EL ÁREA DE LA RED O EN SU VECINDAD", FIG. 2.

PRÁCTICAMENTE EL POTENCIAL DE PASO - ES AQUEL QUE EXISTE ENTRE DOS PUNTOS SEPARADOS UN METRO, DISTANCIA EQUIVALENTE A UN PASO, SOBRE LA SUPERFICIE DEL SUELO, POR LO TANTO:

$$V_P = V_A - V_B \quad (4)$$

DONDE ^

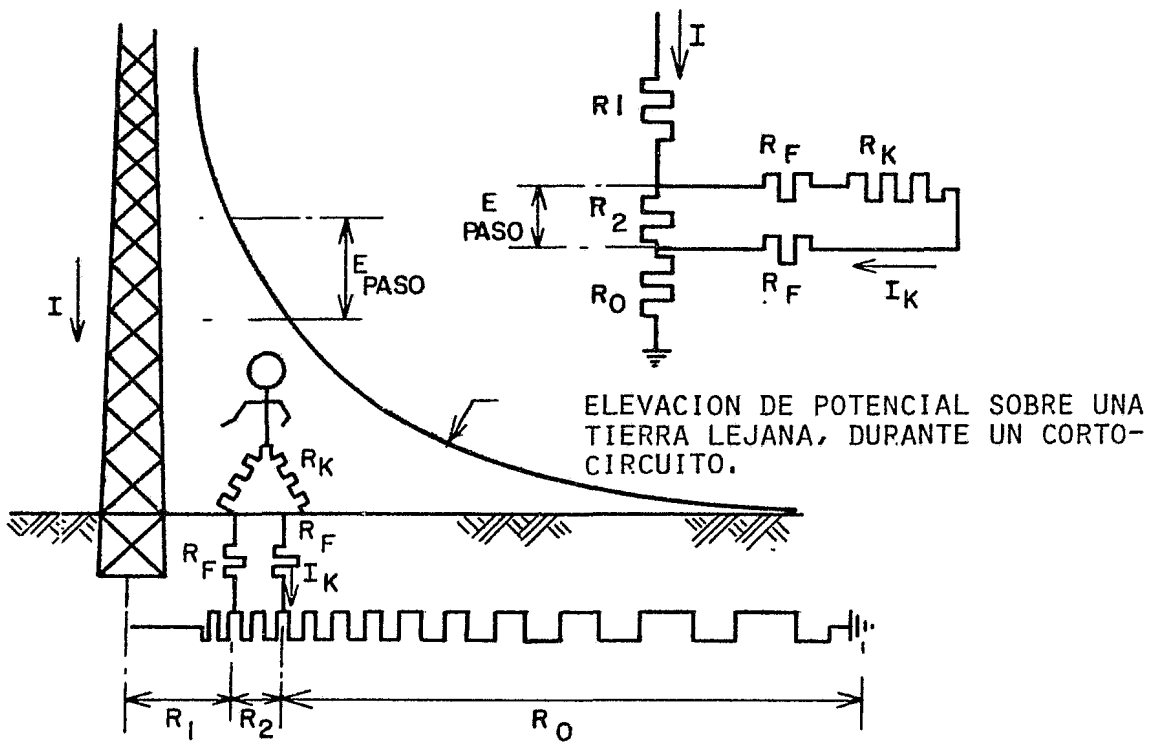
V_P = POTENCIAL DE PASO.

V_A = POTENCIAL DEL PUNTO A.

V_B = POTENCIAL DEL PUNTO B (LO CALIZADO A 1 M. DEL PUNTO A).

C).- POTENCIAL DE TRANSFERENCIA.

ES AQUÉL QUE APARECE EN LUGARES ALEJADOS AL SITIO DONDE OCURRE LA FALLA, GENERALMENTE ES DEBIDO A LA PRESENCIA DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS EN LA CERCANÍA DE LA SUBESTACIÓN, TALES -- COMO TUBERÍAS, VÍAS DE FERROCARRIL,-



TENSION DE PASO

FIG. 2

CERCA METÁLICA, ETC.,, O BIEN A NEUTROS E HILOS DE COMUNICACIONES QUE - SALEN DE LA SUBESTACIÓN, FIG. 3.

ESTE POTENCIAL DE TRANSFERENCIA PUEDE CONSIDERARSE UN CASO ESPECIAL DEL POTENCIAL DE TOQUE.

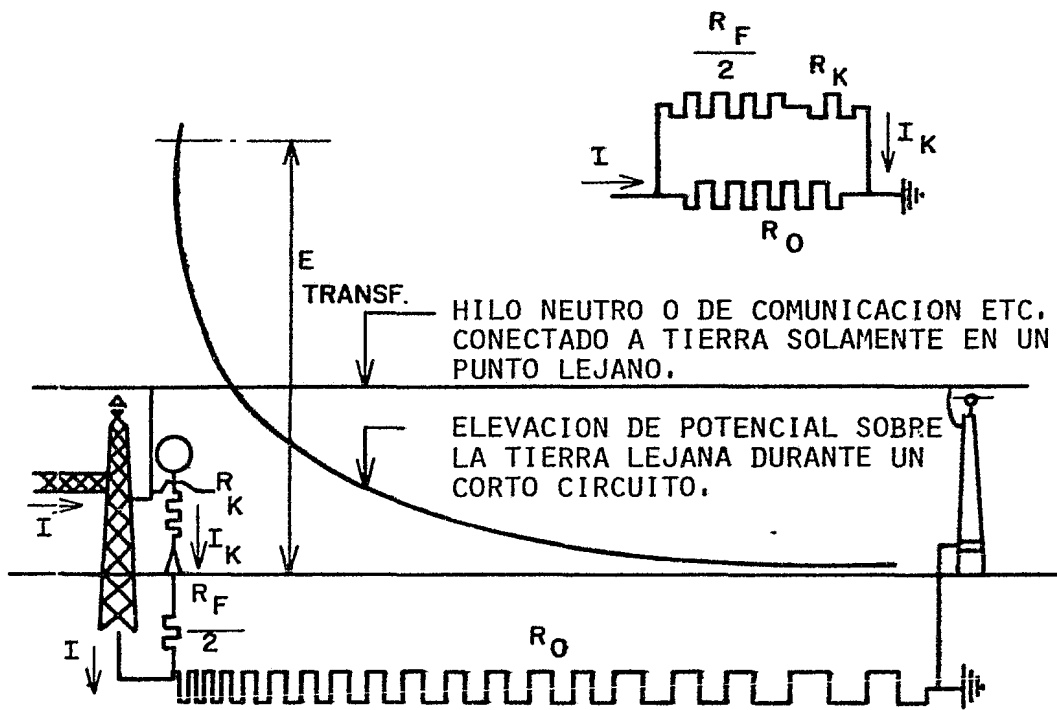
GRUPO 2.- PROTECCIÓN DE EQUIPO DE CONTROL Y COMUNICACIONES.

PARA LOS CIRCUITOS DE COMUNICACIONES SE HAN DESARROLLADO ESQUEMAS QUE INVOLUCRAN DISPOSITIVOS PROTECTORES, TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO Y NEUTRALIZACIÓN PARA PROTEGER AL PERSONAL Y AL EQUIPO. LA APLICACIÓN CORRECTA EN AISLAMIENTO Y LA SEPARACIÓN ADECUADA DEL CONTACTO ACCIDENTAL DE CUALQUIERA DE ESTOS DISPOSITIVOS Y SUS -- CONEXIONES, EVITAN QUE SE PUEBAN ALCANZAR SOBREVOLTAJES PELIGROSOS.

1.5.- PARÁMETROS DE DISEÑO.

EN EL DISEÑO DE LA RED DE TIERRA, LOS PARÁMETROS -- BÁSICOS ESTÁN DETERMINADOS POR LA CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO DE LA RED ELÉCTRICA EN EL LUGAR DE LA -- INSTALACIÓN Y POR LAS CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL -- SUELO, LOS FACTORES INDISPENSABLES PARA EL DISEÑO -- SON:

- 1.- CORRIENTE DE FALLA.
- 2.- RESISTIVIDAD DEL TERRENO.
- 3.- TIEMPO DE APERTURA DE INTERRUPTORES.



POTENCIAL TRANSFERIDO

FIG. 3

- 4.- NIVEL DE AISLAMIENTO DEL EQUIPO DE COMUNI--
CACIONES.
- 5.- POTENCIAL DE TOQUE.
- 6.- POTENCIAL DE PASO.

I.5.1.- CORRIENTE DE FALLA.

LA CORRIENTE DE FALLA DEL SISTEMA, ES EL --
PUNTO DE PARTIDA PARA ESTABLECER LA MAGNI--
TUD DE LA CORRIENTE QUE SE INYECTARÁ A TIE--
RRA A TRAVÉS DEL ELECTRODO O RED DE TIERRA.
ESTA CORRIENTE ES MENOR QUE LA CORRESPON---
DIENTE DE FALLA DE UNA FASE A TIERRA, CALCULADA POR ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO.

SIN EMBARGO, DEBIDO A LA COMPLEJIDAD QUE --
REPRESENTA EL HECHO DE CALCULAR LAS APORTA--
CIONES DE LAS DIFERENTES LÍNEAS DE TRANSMI--
SIÓN A LA FALLA DE CORTOCIRCUITO, USAREMOS--
PARA EL DISEÑO DE NUESTRA RED, LA CORRIENTE
DE FASE A TIERRA PROPORCIONADA POR EL DEPAR--
TAMENTO DE ANÁLISIS DE REDES DE LA COMISIÓN
FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

SE HACE NOTAR QUE LA CORRIENTE DE FALLA ES--
LA EQUIVALENTE A LA DE FASE Y EN NINGÚN CA--
SO SE USARÁ PARA EL CÁLCULO LA CORRIENTE DE
FALLA TRIFÁSICA, ÚTIL SOLAMENTE PARA ESPECI--
FICACIONES DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE ---
EQUIPO, PERO QUE DAN VALORES MAYORES A LOS--
DE LA CORRIENTE DE FASE A TIERRA.

I.5.2.- RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO ES UNA CARACTE--

RÍSTICA PROPIA DEL MISMO, DEFINIDA COMO LA-
RESISTENCIA AL PASO DE CORRIENTE QUE PRESEN
TA UN CM³ DE SUELO, MEDIDA ENTRE CARAS - --
OPUESTAS.

ESTE FACTOR JUNTO CON LA CORRIENTE DE FALLA,
ES EL QUE MÁ S INFLUYE EN EL DISEÑO DE LAS -
CARACTERÍSTICAS DE UNA RED DE TIERRA, POR -
LO QUE HACE INDISPENSABLE CONOCER SU VALOR-
Y ESTRUCTURA A TRAVÉS DE MEDICIONES DIREC--
TAS DE CAMPO. CUALQUIER DISEÑO QUE NO PAR-
TA DE MEDICIONES DIRECTAS DE CAMPO POR PRE-
CISO Y EFICIENTE QUE SEA, SERÁ INADECUADO -
TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE.

I.5.2.1.- FACTORES QUE AFECTAN LA CONDUCTAN TANCIA DEL SUELO.

LA CONDUCTANCIA DEL SUELO, EN ES-
PECIAL EL SUBSUELO ES UN FACTOR -
MUY IMPORTANTÉ EN LA RESISTENCIA-
DE UN ELECTRODO A TIERRA Y ÉSTA -
PUEDE VARIAR A TRAVÉS DE UN RANGO
AMPLIO.

LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CON--
DUCTANCIA DEL SUELO O LA RESISTEN
CIA DE UNA PUESTA A TIERRA, YA --
QUE CONSTITUYEN LOS PRINCIPIOS --
BÁSICOS PARA HACER EL CONTACTO --
ELÉCTRICO A TIERRA SON:

A).- EFECTO DEL SUELO SOBRE LA RESIS-- TENCIA.

NO SE PUEDE CONSIDERAR QUE TODAS-

LAS CONEXIONES A TIERRA TIENEN LA MISMA CARACTERÍSTICA, DEBIDO A -- QUE LA CONDUCTANCIA ELÉCTRICA DEL SUELO SE DETERMINA POR LOS INGREDIENTES QUÍMICOS Y LA CANTIDAD DE HUMEDAD QUE CONTIENE. .

LA FIG. 4, MUESTRA QUE LA RESIS-- TENCIA DE UNA CONEXIÓN A TIERRA - DEPENDE PRINCIPALMENTE DEL TIPO - DE TERRENO QUE RODEA AL ELECTRO-- DO. LAS CELDAS CILÍNDRICAS DE -- TIERRA QUE RODEAN EL ELECTRODO - TIENEN EL MISMO ESPESOR, INCREMEN TANDO LA DISTANCIA DEL ELECTRODO, ÉSTAS CELDAS TIENEN UN ÁREA MAYOR Y POR LO TANTO UNA RESISTENCIA -- MÁS BAJA.

CONSIDERANDO UN TERRENO DE RESIS- TIVIDAD UNIFORME, LA RESISTENCIA- MÁS ALTA SE ENCUENTRA EN LA CELDA INMEDIATA QUE RODEA AL ELECTRODO, LA CUAL TIENE LA SECCIÓN TRANSVER SAL MÁS PEQUEÑA DE TERRENO PARA - FLUJO DE CORRIENTE A TRAVÉS DEL - SUELO.

CADA CELDA SUCESIVA INCREMENTA SU SECCIÓN TRANSVERSAL Y CON ESTO -- REDUCE SU RESISTENCIA Y A UNA DIS TANCIA APROXIMADA DE 3 M. DE LA - VARILLA, EL ÁREA DE LA CURVA ES - TAN GRANDE QUE LA RESISTENCIA DE- LAS CELDAS SUCESIVAS ES TAMBIÉN -

VARILLA ENTERRADA

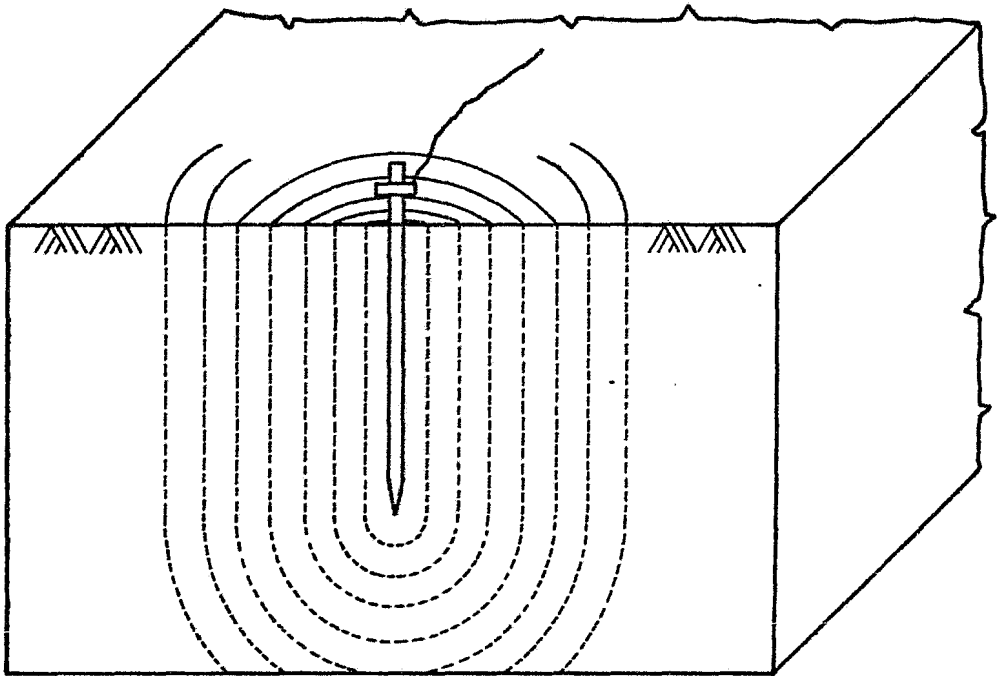


FIGURA 4

DESPRECIABLE COMPARADA CON LA QUE RODEA INMEDIATAMENTE AL ELECTRODO.

DE AQUÍ SE ESTABLECE QUE LA RESISTENCIA VARÍA INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA SECCIÓN TRANSVERSAL Y A UNA DISTANCIA PEQUEÑA DEL ELECTRODO DONDE LAS CURVAS DE CONDUCCIÓN SON PEQUEÑAS, TAMBIÉN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO ES UN FACTOR IMPORTANTE.

LAS MEDICIONES MUESTRAN QUE EL 90% DE LA RESISTENCIA TOTAL QUE RODEA AL ELECTRODO ESTÁ GENERALMENTE DENTRO DE UN RADIO APROXIMADO DE 3 M. DE ÉSTE.

B).- EFECTO DE LA TEMPERATURA.

LA FIG. 5, MUESTRA LAS VARIACIONES DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO CON LA TEMPERATURA PARA SUELO DE ARCILLA ROJA CON UN CONTENIDO DE HUMEDAD DE 18.6%.

ESTE ES UN FACTOR MUY IMPORTANTE EN LUGARES DONDE LAS TEMPORADAS DE INVIERNO SON MUY SEVERAS, Y LAS HELADAS DE LA TIERRA ALCANZAN UNA CONSIDERABLE PROFUNDIDAD DEBAJO DE LA SUPERFICIE.

LA FIGURA MUESTRA QUE DEBAJO DE 32 °F LA RESISTIVIDAD SE INCREMENTA

RESISTIVIDAD DEL SUELO (ohms por cm³) x 1 000

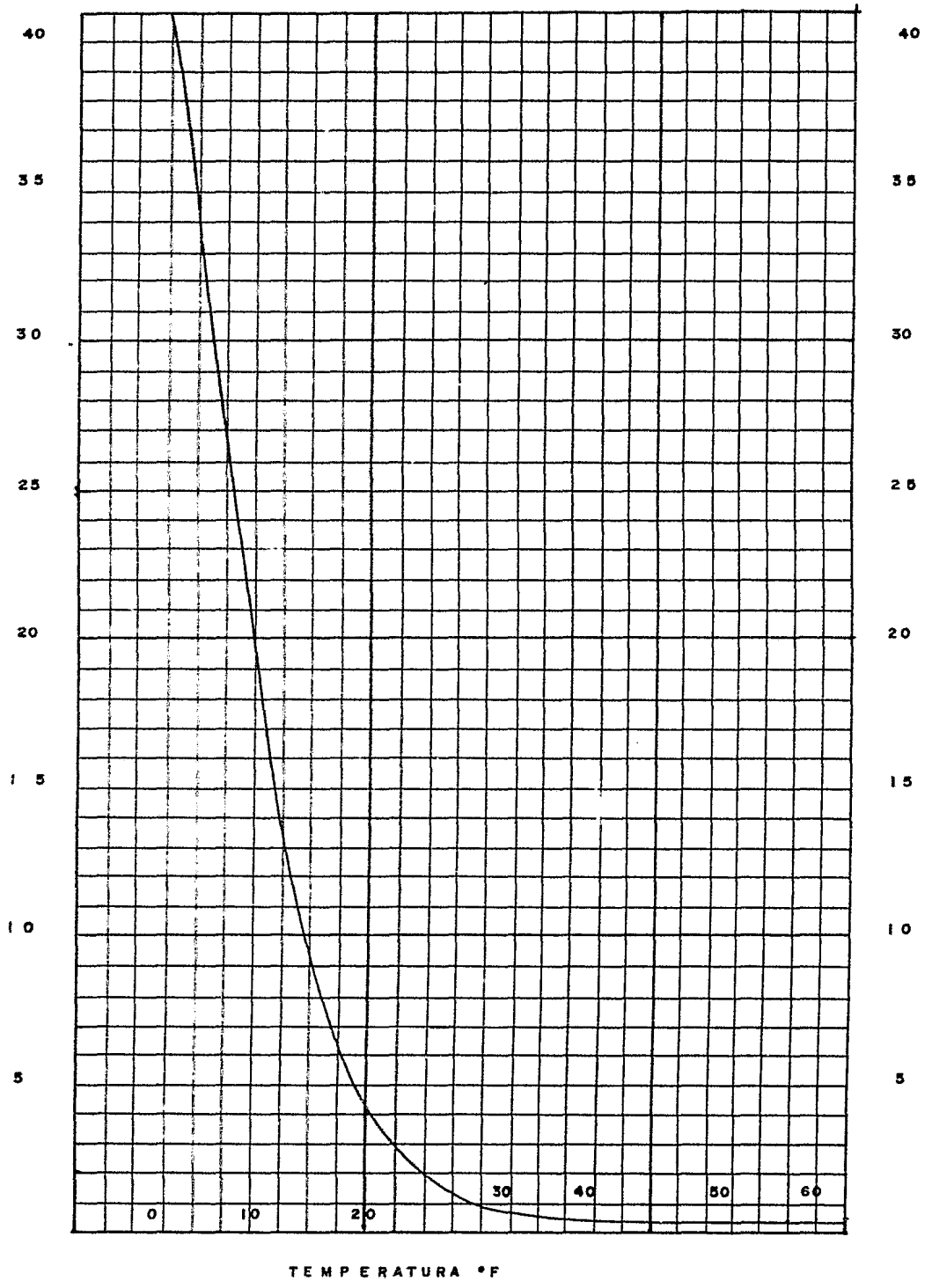


FIGURA 5

VARIACION DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO CON TEMPERATURA

TA Y POR LO TANTO, LA RESISTENCIA DE LA CONEXIÓN A TIERRA TAMBIÉN SE INCREMENTA. POR TANTO, A MENOR TEMPERATURA EN EL SUELO, LA RESISTIVIDAD SE INCREMENTA.

c).- EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL TERRENO.

LA CANTIDAD QUE CONTIENE EL TERRENO ES DE GRAN IMPORTANCIA, YA QUE UNA PEQUEÑA VARIACIÓN DEL PORCIENTO DE HUMEDAD HACE UNA MARCADA DIFERENCIA EN LA EFECTIVIDAD DE UNA CONEXIÓN A TIERRA HECHA CON ELECTRODOS DE UN TAMAÑO DADO.

EN LA FIG. 6, SE MUESTRAN LAS VARIACIONES HECHAS CON ARCILLA ROJA Y SE PUEDE VER QUE CON UN CONTENIDO DE HUMEDAD DEL 10% LA RESISTIVIDAD SE INCREMENTA COMO 30 VECES PARA EL MISMO TERRENO COMPARADO CON UN CONTENIDO DE HUMEDAD DEL 20%. ASÍ, LA RESISTIVIDAD SE INCREMENTA RÁPIDAMENTE CON POCO CONTENIDO DE HUMEDAD.

d).- VENTAJAS EN LA PROFUNDIDAD DE LA VARILLA.

LA PROFUNDIDAD DEL ELECTRODO A TIERRA ES UN FACTOR IMPORTANTE EN LA FUNCIÓN ELÉCTRICA. LOS ELECTRODOS ENTERRADOS DEBEN SER LO

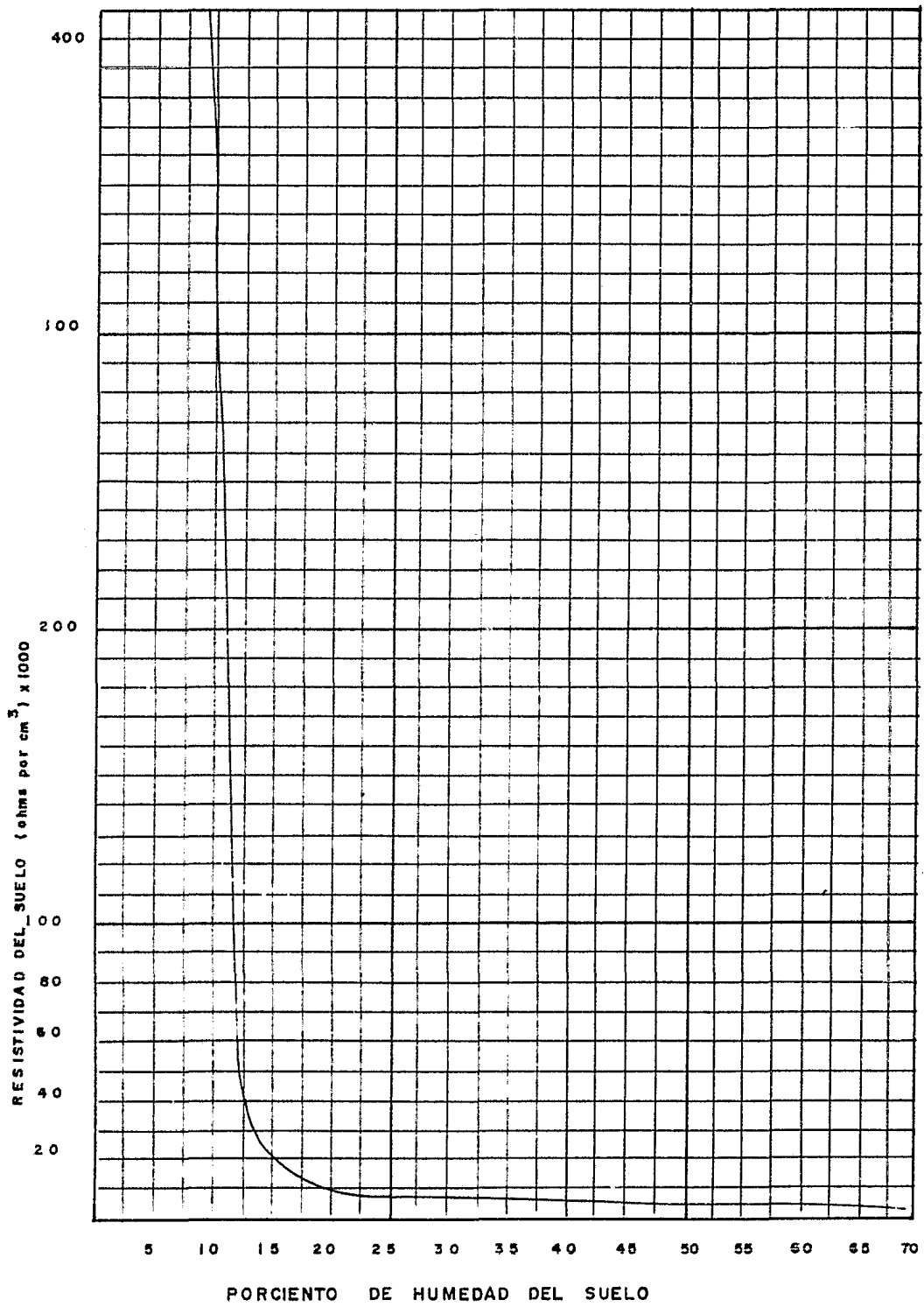


FIGURA 6

SUFICIENTEMENTE LARGOS PARA ALCANZAR EL NIVEL PERMANENTE DE LA HUMEDAD DEL TERRENO.

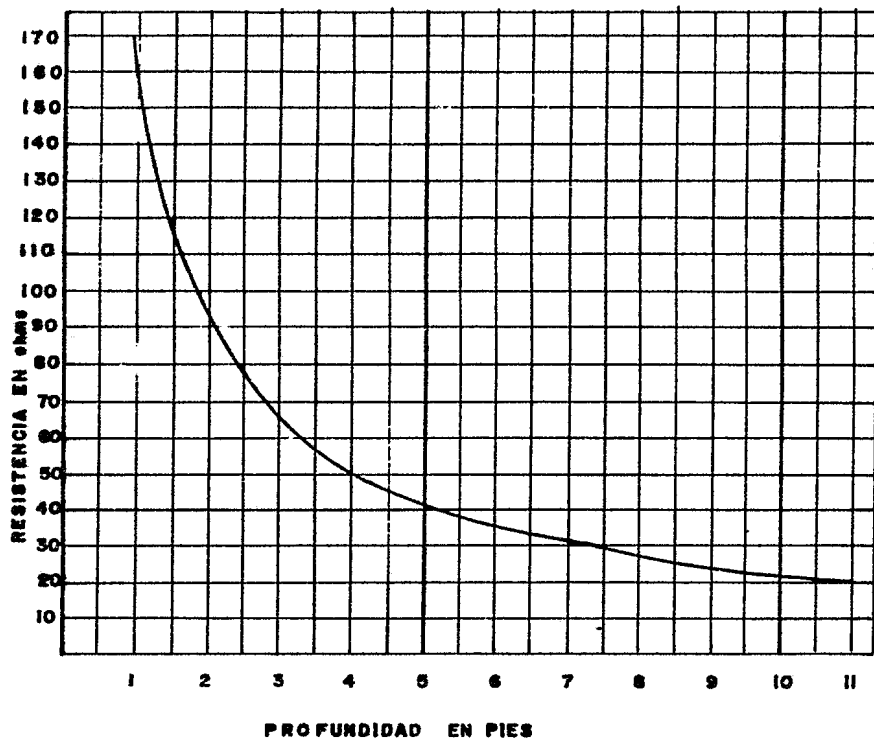
EL SUELO ES A MENUDO DE RESISTIVIDAD UNIFORME A TRAVÉS DE LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, Y USUALMENTE LOS PRIMEROS CMS, CERCA DE LA SUPERFICIE TIENEN RELATIVAMENTE RESISTIVIDAD ALTA Y ESTÁN SUJETOS A CAMBIOS ALTERNADOS DE MOJADO Y SECADO POR LAS LLUVIAS.

LAS CAPAS MÁS PROFUNDAS SON MÁS ESTABLES Y MENOS SUJETAS A TALES FLUCTUACIONES, Y LO PODEMOS VER EN LA FIG. 7, QUE MUESTRA LOS EFECTOS DE LA RESISTENCIA CON ELECTRODOS A VARIAS PROFUNDIDADES.

ESTA GRÁFICA SE BASA EN LA CONSIDERACIÓN DEL TERRENO UNIFORME A TODAS LAS PROFUNDIDADES Y MUESTRA QUE A MEDIDA QUE AUMENTA LA PROFUNDIDAD LA RESISTENCIA DISMINUYE CONSIDERABLEMENTE.

I.5.3.- TIEMPO DE APERTURA DE INTERRUPTORES.

EN LA ACTUALIDAD EL USO DE INTERRUPTORES RÁPIDOS COMO RESPALDO PARA LA LIBERACIÓN DE FALLAS, REDUCIRÁ LA MAGNITUD DE LAS ELEVACIONES DE POTENCIAL A NIVELES SEGUROS Y SE SUGIERE UN VALOR DE $T = 0,5$ SEG. COMO EL TIEMPO DE APERTURA DE INTERRUPTORES.



RELACION ENTRE LA PROFUNDIDAD Y LA RESISTENCIA DE-
UN SUELO CON CONTENIDO DE HUMEDAD UNIFORME

FIGURA 7

I.5.4.- NIVEL DE AISLAMIENTO DE EQUIPO DE COMUNICACIONES.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RED DE TIERRA ES IMPORTANTE LA POSIBILIDAD DE QUE EXISTA POTENCIAL MUY ELEVADO DENTRO DE LA SUBESTACIÓN. ÉSTE POTENCIAL DEL SUELO OBLIGA A TENER UNA COORDINACIÓN EN EL AISLAMIENTO DEL EQUIPO DE CONTROL Y COMUNICACIONES, YA QUE POR NORMA DE DISEÑO EL NIVEL DE AISLAMIENTO DE ESTOS EQUIPOS ES DE 5 KV, POR LO QUE ESTE VALOR SE PRESENTARÁ COMO UNA LIMITACIÓN PARA EL VALOR DE LA RESISTENCIA DE LA RED, DADA POR LA EXPRESIÓN (2).

$$EPR = I_F R_T$$

DONDE:

$$R_T = \frac{5 \text{ KV}}{I_F} \quad (5)$$

I.5.5.- POTENCIA DE TOQUE.

LA PROTECCIÓN DEL PERSONAL, DENTRO DEL ÁREA DE LA INSTALACIÓN, AL OCURRIR UNA FALLA ESTÁ REGIDA POR LA SIGUIENTE FORMA, SI CONSIDERAMOS QUE EL 99,5% DE TODAS LAS PERSONAS PUEDEN SOPORTAR SIN FIBRILACIÓN VENTRICULAR CORRIENTES DETERMINADAS POR LA ECUACIÓN (1):

$$I_K = \frac{0.116}{\sqrt{T}}$$

DONDE:

$$T = 0.5 \text{ SEG.}$$

SI TOMAMOS AL PIE COMO UN ELECTRODO DE PLACA CIRCULAR, LA RESISTENCIA APROXIMADA ES 3 VECES LA RESISTIVIDAD DEL SUELO (ρ_s). DESDE EL PUNTO DE VISTA EXPERIMENTAL SE RECOMIENDA 1000 OHMS COMO LA RESISTENCIA QUE PRESENTA EL CUERPO HUMANO.

EN EL MOMENTO DE OCURRENCIA DEL DISTURBIO, SE CONSIDERA QUE LA PERSONA ESTÁ TOCANDO EL ELEMENTO CONDUCTOR DE LA CORRIENTE DE FALLA POR LO QUE LA RESISTENCIA EQUIVALENTE DE LOS PIES EN PARALELO SERÁ:

$$R = 1000 + 1.5 \rho_s \quad (6)$$

$$V_{\text{TOQUE}} = (1000 + 1.5 \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{T}} \right)$$

$$V_{\text{TOQUE}} = \frac{116 + 0.174 \rho_s}{\sqrt{T}} \quad (7)$$

I.5.6.- POTENCIAL DE PASO.

LA RESISTENCIA EQUIVALENTE A LOS PIES EN SERIE EN EL MOMENTO DEL DISTURBIO SERÁ:

$$R = 1000 + 6 \rho_s \quad (8)$$

$$V_{\text{PASO}} = (1000 + 6 \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{T}} \right)$$

$$V_{\text{PASO}} = \frac{116 + 0.696 \rho_s}{\sqrt{T}} \quad (9)$$

II.- METODO PARA LA MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO:

PARA MEDIR LA RESISTENCIA DEL TERRENO DONDE SE INSTALARÁ LA SUBESTACIÓN, ES NECESARIO PASAR CORRIENTE A TRAVÉS DE ÉL, INSERTANDO ELECTRODOS. ANTES DE DESCRIBIR EL MÉTODO, ES NECESARIO TENER CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA RESISTENCIA A TIERRA.

II.1.- AREA DE RESISTENCIA.

TOMEMOS EL CASO DE UN ELECTRODO DE TIERRA FORMADO POR UN TUBO ENTERRADO EN EL SUELO, Y SUPONGAMOS QUE SE APLICA UN POTENCIAL ENTRE EL TUBO E Y LA VARILLA C SEPULTADA EN TIERRA A UNA DISTANCIA INFINITAMENTE LEJANA Y LA CORRIENTE QUE FLUYE SE MIDE CON EL AMPÉRMETRO A. (FIG. 8).

SI UNA SEGUNDA VARILLA P SE ENTIERRA AHORA EN EL SUELO EN LÍNEA RECTA ENTRE LA VARILLA C Y EL TUBO E, EL VÓLTMETRO V MEDIRÁ LA DIFERENCIA DEL POTENCIAL ENTRE EL TUBO Y LOS DIFERENTES PUNTOS DEL SUELO CIRCUNDANTE.

DE ACUERDO A LA LEY DE OHM, ESTA DIFERENCIA DE POTENCIAL SERÁ DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA RESISTENCIA DE LA TIERRA HASTA EL PUNTO MEDIDO, Y POR TANTO, LA RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA Y LA DISTANCIA DEL TUBO BAJO PRUEBA PUEDE CONOCERSE GRÁFICAMENTE COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 8.

SE VERÁ QUE LA RESISTENCIA AUMENTA SEGÚN SE ALEJE LA VARILLA P DEL TUBO BAJO PRUEBA Y QUE EL ÍNDICE DE INCREMENTO DISMINUYE DE MANERA QUE A LA DISTANCIA LM_1 ESTE ÍNDICE DE INCREMENTO SERÁ PEQUEÑO Y CASI INTRASCENDENTE.

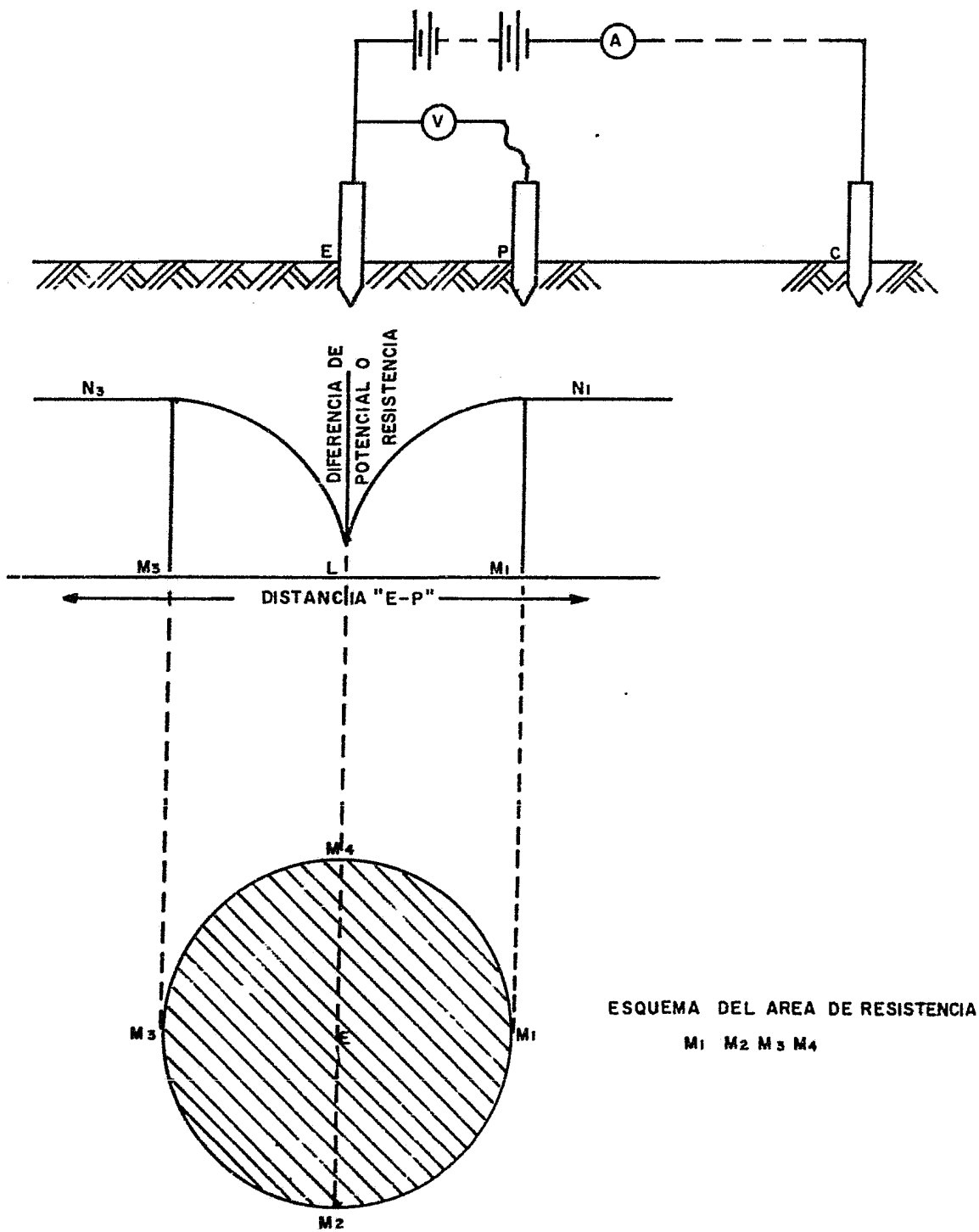


FIG. 8

EN REALIDAD, LA RESISTENCIA REPRESENTADA POR $M_1 N_1$ SERÁ, DIGAMOS, 99% DE LA RESISTENCIA TOTAL A UNA DISTANCIA INFINITA.

SE PUEDEN CONSTRUIR CURVAS SEMEJANTES EN OTRAS DIRECCIONES RADIALES A PARTIR DEL TUBO BAJO PRUEBA Y SE PUEDEN OBTENER UNA SERIE DE PUNTOS M_1 , M_2 , M_3 , ETC., QUE ENCERRARÁN UN ÁREA M_1, M_2, M_3, M_4 , QUE PARA FINES PRÁCTICOS PUEDE CONSIDERARSE QUE CONTIENE EL TOTAL DE LA RESISTENCIA DEL TUBO A LA TIERRA.

ESTA ÁREA SE CONOCE COMO "ÁREA DE RESISTENCIA" DEL ELECTRODO DE TIERRA BAJO PRUEBA Y SU FORMA Y MAGNITUD DEPENDERÁN ÚNICAMENTE DE LAS DIMENSIONES DEL ELECTRODO. POR LO TANTO, UN ELECTRODO FORMADO POR UNA SIMPLE VARILLA O UN TUBO ENTERRADO EN EL SUELO TENDRÍAN UNA ÁREA DE RESISTENCIA COMPARATIVAMENTE REDUCIDA, EN TANTO QUE UNA CONEXIÓN A TIERRA FORMADA POR UN CONJUNTO DE VARILLAS CONECTADAS EN PARALELO O DE UN NÚMERO DE ESTRUCTURAS UNIDAS (ELÉCTRICAMENTE) TENDRÁN EN CONSECUENCIA UNA ÁREA GRANDE DE RESISTENCIA.

LAS DIMENSIONES DE UNA ÁREA DE RESISTENCIA SON DE IMPORTANCIA, TANTO QUE EL OPERADOR PODRÁ CONOCER LA DISTANCIA MÍNIMA QUE TENDRÁ QUE SEPARARSE DEL ELECTRODO DE MANERA DE ABARCAR SUBSTANCIALMENTE LA TOTALIDAD DE LA RESISTENCIA A TIERRA.

LA VARILLA LEJANA C TENDRÁ TAMBIÉN UNA ÁREA DE RESISTENCIA Y EL EFECTO DE ESTA ÁREA EN LA MEDICIÓN TAMBIÉN DEBERÁ TOMARSE EN CONSIDERACIÓN. SI ENTONCES LAS PRUEBAS DE CAÍDA DE POTENCIAL SE CONTINÚAN HASTA QUE LA VARILLA P QUEDE EN GRAN PROXIMIDAD A-

A VARILLA C QUE DE ACUERDO A SU POSICIÓN ORIGINAL - FUE SITUADA A CONSIDERABLE DISTANCIA, SE PODRÁ OBTENER UNA CURVA COMO LA QUE SE MUESTRA EN LA FIG.9.

SE OBSERVARÁ QUE ESTA CURVA DE RESISTENCIA CRECE - EN UN PRINCIPIO RÁPIDAMENTE, LUEGO SE MANTIENE --- CASI HORIZONTAL, PARA LUEGO LEVANTARSE DE NUEVO AL PENETRAR EN EL ÁREA DE RESISTENCIA DE LA VARILLA C. SI LA VARILLA P SE COLOCA EN CUALQUIER SITIO DEN-- TRO DE LA PORCIÓN CASI HORIZONTAL DE LA CURVA DE - INCREMENTO, SE OBTENDRÁ UNA BUENA APROXIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A TIERRA DEL ELECTRODO BAJO PRUEBA, SEGÚN SE DESCRIBIÓ PREVIAMENTE.

SUPONGAMOS AHORA QUE LA VARILLA LEJANA C SE COLOCA TAN CERCA DEL ELECTRODO BAJO PRUEBA QUE LAS ÁREAS- DE RESISTENCIA SE SOBREPONEN, LA CURVA DE INCREMEN TO TOMARÁ LA FORMA MOSTRADA EN LA FIG. 10.

SE VERÁ EN ESTE CASO QUE LA CURVA NO PRESENTA POR- CIÓN HORIZONTAL Y SERÁ IMPOSIBLE PRECISAR LA RESIS TENCIA A TIERRA DEL ELECTRODO BAJO PRUEBA. MÁS -- AÚN, LA RESISTENCIA REPRESENTADA POR $W_1 T_1$ NO SERÁ LA SUMA DE LA RESISTENCIA TOTAL DE LOS DOS ELECTRO DOS EN SERIE, PUES SERÁ DE UN VALOR INFERIOR.

POR LO ANTERIOR, DEBEMOS CONSIDERAR QUE AL MEDIR - LA RESISTENCIA DE UN ELECTRODO DE TIERRA, SON DE - FUNDAMENTAL IMPORTANCIA LAS DIMENSIONES DE LAS --- ÁREAS CORRESPONDIENTES, YA QUE POR SÍ SOLAS DETER- MINAN LA SEPARACIÓN CORRECTA DE LOS ELECTRODOS MÓ VILES P, C, USADOS EN LA MEDICIÓN.

LOS REQUISITOS RELATIVOS A LA SEPARACIÓN DE ESTOS- ELECTRODOS PUEDEN RESUMIRSE COMO SIGUE:

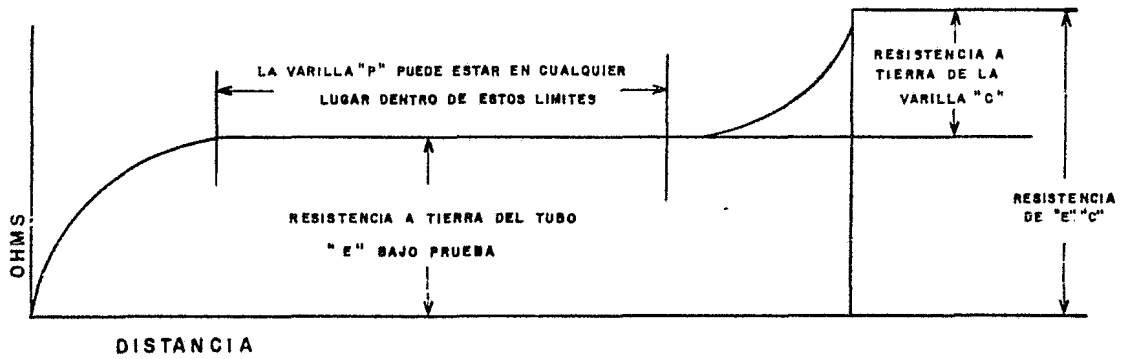
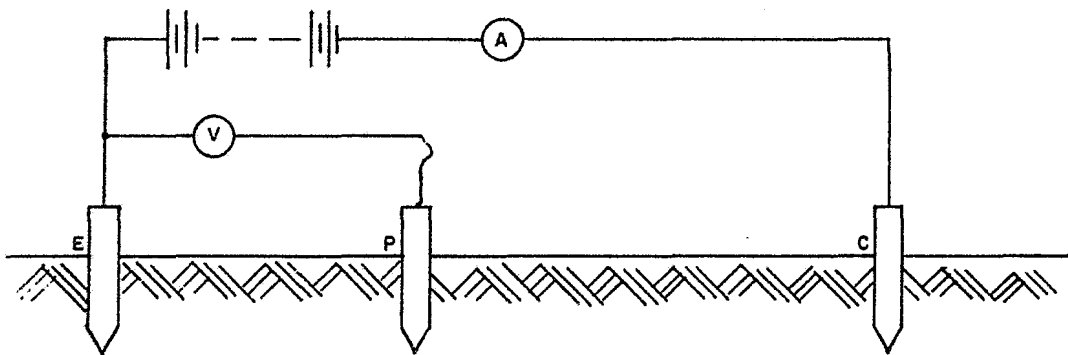


FIG. 9

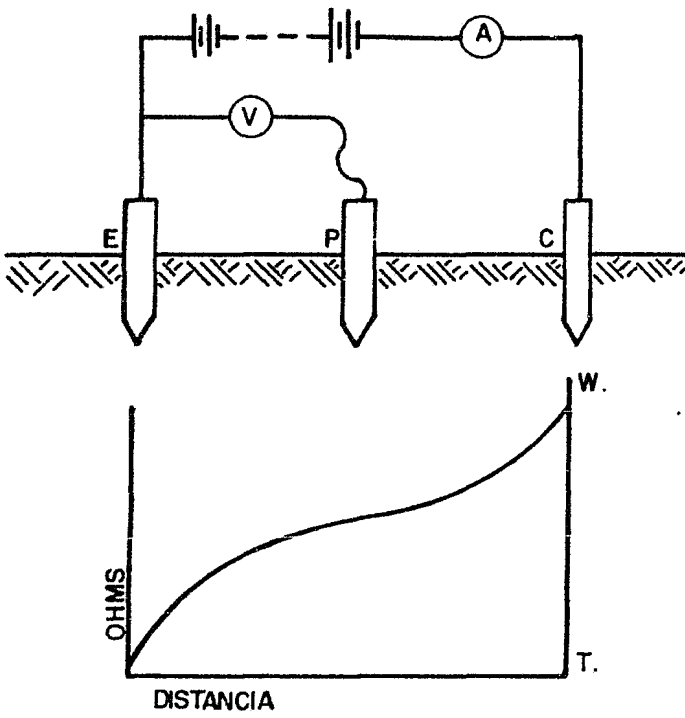


FIG. 10

- A).- EL ELECTRODO C DE CORRIENTE DEBERÁ ESTAR ALEJADO DEL ELECTRODO E BAJO PRUEBA UNA DISTANCIA SUFICIENTE PARA QUE LAS ÁREAS DE RESISTENCIA NO SE SOBREPONGAN. ES DECIR, QUE LA CURVA DE RESISTENCIA TENGA UNA PARTE CASI HORIZONTAL. FIG. 11,
- B).- EL ELECTRODO DE POTENCIAL P DEBERÁ SITUARSE FUERA DE LAS ÁREAS DE RESISTENCIA. ES DECIR, QUE ESTE ELECTRODO SE SITUARÁ DENTRO DE LA PORCIÓN HORIZONTAL DE LA CURVA DE RESISTENCIA.
- C).- EL ELECTRODO DE POTENCIAL P DEBERÁ SITUARSE ENTRE LOS ELECTRODOS C, E, SOBRE LA LÍNEA RECTA QUE LOS UNA.

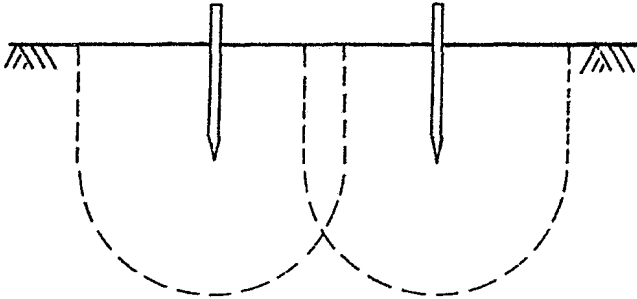
II.2.- RESISTENCIA TOTAL.

LA DIMENSIÓN Y FORMA DE LAS ÁREAS DE RESISTENCIA DEPENDEN, COMO SE DIJO ANTES, DE LAS DIMENSIONES Y PROFUNDIDAD A QUE ESTÉN ENTERRADAS LAS VARILLAS DE TIERRA. AUNQUE EN TEORÍA SERÍA NECESARIA UNA DISTANCIA INFINITA PARA OBTENER LA VERDADERA RESISTENCIA TOTAL, EN LA PRÁCTICA LA DISTANCIA QUE SE TOMA ESTARÁ GOBERNADA POR LA PRECISIÓN QUE SE PRETENDA.

LA RESISTENCIA MEDIDA DEPENDE DE LAS DIMENSIONES DEL ÁREA DE RESISTENCIA Y DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO DE ESA ÁREA. MÁS AÚN, ESTA RESISTIVIDAD VARÍA CONSIDERABLEMENTE CON EL TIPO DE SUELO Y LA ÉPOCA DEL AÑO, PUES DEPENDE EN GRAN PARTE DEL ÍNDICE DE HUMEDAD.

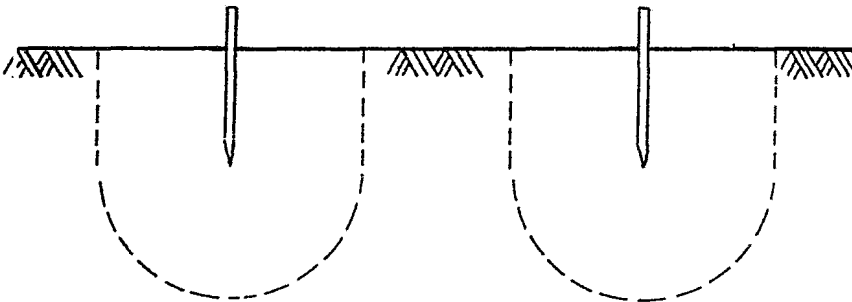
SI BIEN, CON EL MÉTODO DE PRUEBA DESCRITO, DEL AMPÉRMETRO Y VÓLTMETRO, CONOCIDO COMO MÉTODO DE

ELECTRODOS MUY PRÓXIMOS



Zona de influencia reciproca

ELECTRODOS OPORTUNAMENTE DISTANCIADOS



SEPARACION DE LOS ELECTRODOS DE
MEDICION

Figura II

CAÍDA DE POTENCIAL, PUEDE ELIMINARSE EL EFECTO DE LA TENSION DE REGRESO SI USAMOS CORRIENTE ALTERNA, LOS RESULTADOS QUE SE OBTENGAN PUEDEN ESTAR AFECTADOS POR LAS CORRIENTES ERRÁTICAS. POR TAL RAZÓN, SE RECOMIENDAN LOS MEDIDORES DE TIERRAS MEGGER DE EQUILIBRIO EN CERO PARA HACER DICHAS PRUEBAS,

II.3.- MÉTODO DE WENNER.

LA INYECCIÓN DE CORRIENTE AL SUELO PERMITE MEDIR SU RESISTIVIDAD, ESTO SE LOGRA AL ENTERRAR CUATRO ELECTRODOS A LA MISMA PROFUNDIDAD, EN LÍNEA RECTA Y CON SEPARACIONES IGUALES ENTRE ELLOS COMO SE INDICA EN LA FIG. 12.

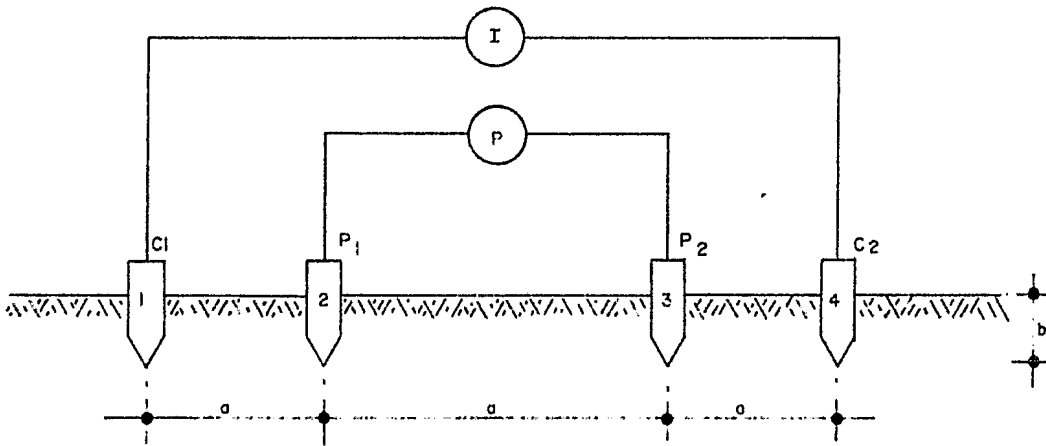


FIG. 12

EN LA CONFIGURACIÓN ANTERIOR SI SE CONOCE LA PROFUNDIDAD DE LOS ELECTRODOS, LA DISTANCIA ENTRE ELLOS Y LA RESISTENCIA QUE SE OPONE AL PASO DE LA CORRIENTE; SIEMPRE QUE EN LA MEDICIÓN SE UTILICEN LOS ELECTRODOS 1 Y 4 PARA LA INYECCIÓN DE LA CORRIENTE Y EN LOS ELECTRODOS 2 Y 3 SE MIDA LA DIFERENCIA DE POTENCIAL, LA RESISTIVIDAD ESPECÍFICA DEL SUELO ESTARÁ DADA POR LA SIGUIENTE EXPRESIÓN,

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4b^2 + 4b^2}}} = \frac{4 \pi a R}{n} \quad (10)$$

DONDE:

ρ , - RESISTIVIDAD DEL TERRENO, EN OHM-METRO.

R , - RESISTENCIA MEDIDA, EN OHMS.

a , - DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS, EN METROS.

b , - PROFUNDIDAD DE LOS ELECTRODOS, EN METROS.

n , - FACTOR APROXIMADO QUE TIENE UN VALOR ENTRE 1 Y 2 (DEPENDE DE LA RELACIÓN b/a ; SI $b = a$, $n=1.187$; SI $b=2a$ $n=1.038$; SI $b=4a$, $n=1.003$)

LA ECUACIÓN (10) PUEDE APROXIMARSE:

$$\rho = 4 \pi a R \quad \text{SI} \quad b \gg a \quad (11)$$

$$\rho = 2 \pi a R \quad \text{SI} \quad b \ll a \quad (12)$$

UNA VEZ REALIZADA LA PRIMERA LECTURA, LA DISTANCIA 'a' DEBERÁ INCREMENTARSE COLOCANDO LAS VARILLAS Y HACIENDO LA MEDICIÓN NUEVAMENTE, DEBEN HACERSE TANTAS LECTURAS COMO LO PERMITA LA ESTABILIDAD DEL APARATO, CUANDO 'a' ES MUY GRANDE EL APARATO PIERDE PRECISIÓN. CON LAS LECTURAS DE RESISTENCIA OB-

TENIDAS, SE PROCEDE A CALCULAR LA RESISTIVIDAD CORRESPONDIENTE A CADA SEPARACIÓN MEDIANTE LA ECUACIÓN (12).

II.4.- MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO EN DONDE SE CONSTRUIRÁ LA SUBESTACIÓN, SE HACE SIGUIENDO EL MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS Y UTILIZANDO EL VIBROGROUND COMO EQUIPO DE MEDICIÓN.

LA FIG. 13, MUESTRA QUE CON LOS CABLES, PARA CONECTAR LOS ELECTRODOS DE PRUEBA, SUMINISTRADOS POR EL FABRICANTE DEL EQUIPO, CON LONGITUDES DE 15 Y 6 M, SE TIENE UNA ZONA DE PROFUNDIDAD HEMISFÉRICA DE INFLUENCIA EN LA MEDICIÓN DE RADIO 10 M, Y QUE AL TRAZARLA CONCÉNTRICAMENTE A UN CUADRADO, ABARCA HASTA 20 M, POR LADO DE ÉSTE.

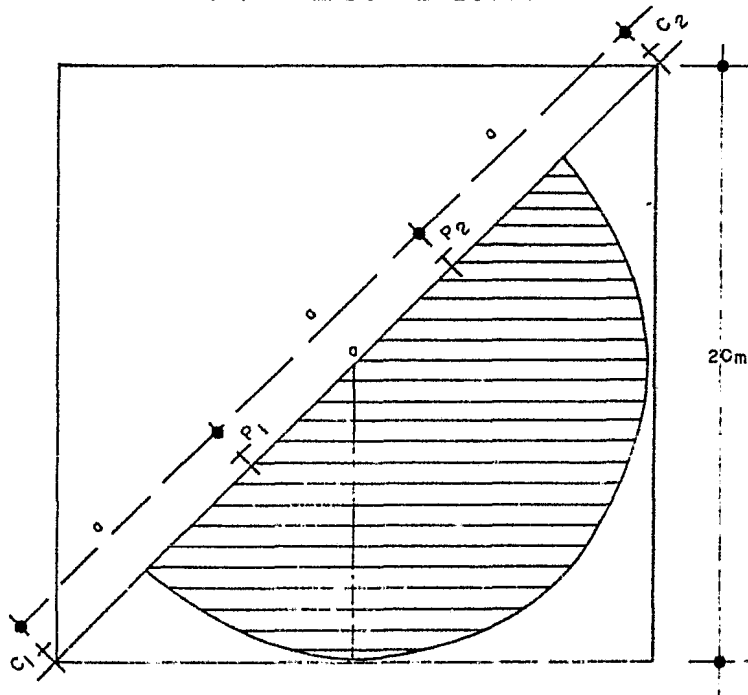


FIG. 13

CON LA AYUDA DEL PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA SUBESTACIÓN SE DIVIDE EL TERRENO EN SECCIONES CUADRADAS IGUALES ENTRE SÍ CON DIMENSIONES MÁXIMAS DE 20 M. POR LADO, Y SE NUMERAN COMO EN LA FIG. 14.

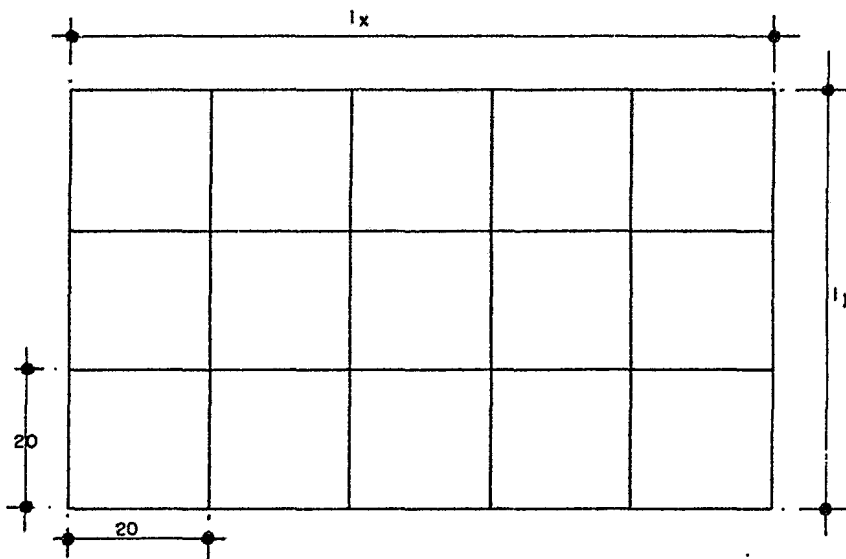


FIG. 14

LA MEDICIÓN DEBE HACERSE EN CADA UNO DE LOS CUADROS NUMERADOS, SIGUIENDO LAS LÍNEAS GUÍAS (LN) MARCADAS EN EL PLANO. VER FIG. 15.

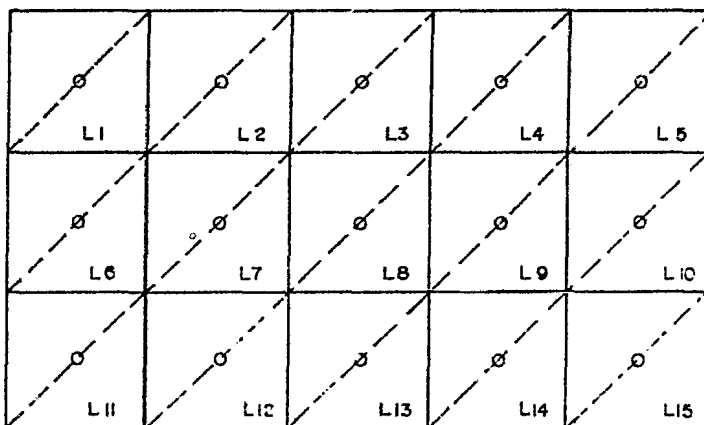


FIG. 15

SUPONIENDO QUE EL CUADRADO A MEDIR SEA EL NÚMERO 1, SE SITÚA EL EQUIPO EN EL CENTRO DEL MISMO, Y SE EFECTÚA LA LECTURA CON UNA SEPARACIÓN ENTRE ELECTRODOS DE 1.5 M., SE MIDE Y SE AUMENTA LA SEPARACIÓN A 3 M., LOS INCREMENTOS SIGUIENTES SERÁN DE 1.5 M., HASTA LLEGAR A LOS 10.0 M, ENTRE CADA UNO DE LOS CUATRO ELECTRODOS, VER FIG. 16.

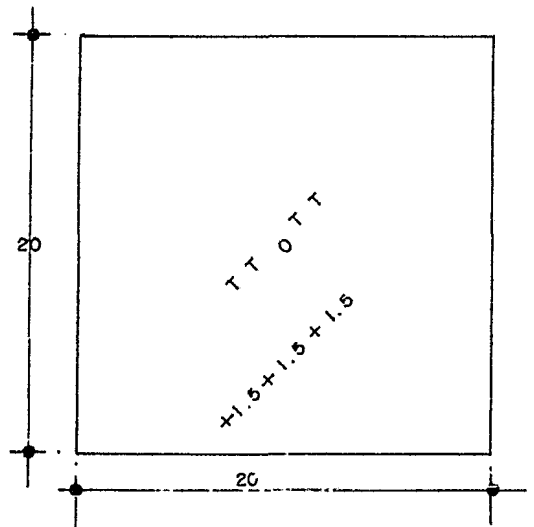


FIG. 16

SE TENDRÁ CUIDADO QUE AL ENTERRAR LAS VARILLAS A LA PROFUNDIDAD DE 35 CM., NO QUEDEN HUECOS ENTRE ÉSTAS Y LA TIERRA CIRCUNDANTE.

SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES PROPIAS DEL MÉTODO DE MEDICIÓN, SE OBTIENE LA LECTURA CORRESPONDIENTE Y SE ANOTA EN LA FORMA N.º 1.

FORMA No. 1.- MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

SUBESTACIÓN TECALI ENTIDAD PUEBLA FECHA 830329

DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES

ESTADO SUPERFICIAL DEL TERRENO HÚMEDO () SECO (X) OTRO _____

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

SEPARACIÓN EN METROS a	LÍNEAS GUÍAS DE LA MEDICIÓN				
	L1	L2	L3	L4	L5
1.5	R = 10 ρ = 94.24	6 56.54	6 56.54	5 47.12	6 56.54
3.0	R = 6 ρ = 113.09	5 94.24	4 75.39	3 56.54	5 94.24
4.5	R = 4 ρ = 113.09	4 113.09	4 113.09	3 84.82	4 113.09
6.0	R = 4 ρ = 150.79	4 150.79	3 113.09	3 113.09	4 150.79
7.5	R = 3 ρ = 141.37	4 188.50	3 141.37	3 141.37	4 188.50
9.0	R = 3 ρ = 169.7	2 113.09	2 113.09	3 169.7	3 169.7

DONDE:

a - ES LA SEPARACIÓN ENTRE ELECTRODOS DE MEDICIÓN EN METROS.

L_n - ES LA LÍNEA GUÍA DE LA MEDICIÓN (1, 2, 3,.....n)

R - ES LA RESISTENCIA MEDIDA EN LA CARÁTULA DEL APARATO.

ρ - ES LA RESISTIVIDAD DEL SUELO EQUIVALENTE A LA CONVERSIÓN DE $\rho = 2 \pi a R$ ohm-m.

II.5.- PROGRAMA "RESIS".

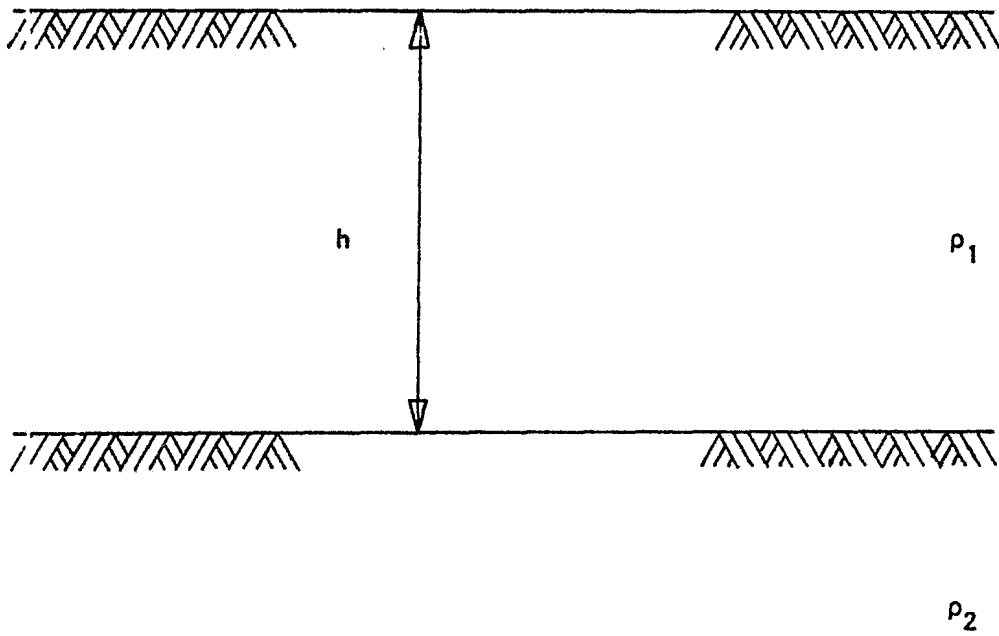
LA CONDUCCIÓN ELÉCTRICA EN LA RED DE UN SISTEMA DE POTENCIA ES BIEN DEFINIDA, PUESTO QUE LA CORRIENTE CIRCULARÁ EN TRAYECTORIAS PREDETERMINADAS, Y ESTÁN FORMADAS DE CONDUCTORES METÁLICOS HOMOGÉNEOS.

POR EL CONTRARIO, LA CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL SUELO NO ES FACILMENTE PREDECIBLE, YA QUE ES UN MEDIO -- SEMINFINITO GENERALMENTE HETEROGÉNEO. ÉSTO ORIGINA EL FLUJO DE LAS CORRIENTES EN TRAYECTORIAS SUMAMENTE COMPLEJAS, DETERMINADAS POR LA RESISTIVIDAD DE LA REGIÓN DEL SUELO DONDE CIRCULA LA CORRIENTE. DESAFORTUNADAMENTE, NO ES POSIBLE NI PRÁCTICO ESTUDIAR EL PROBLEMA SUPONIENDO LA ESTRUCTURA REAL DEL SUELO, TENIENDO QUE DEFINIRSE UNA ESTRUCTURA EQUIVALENTE A TRAVÉS DE UN MODELO.

EL PROGRAMA DIGITAL "RESIS" PUEDE APLICARSE PARA OBTENER UN MODELO EQUIVALENTE EN BASE A LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

EL MÉTODO ANÁLITICO APLICADO EN EL PROGRAMA, SE DEBE A LOS TRABAJOS REALIZADOS POR TAGG QUE CONSIDERA UN MODELO DEL SUELO FORMADO POR 2 CAPAS HORIZONTALES DE RESISTIVIDAD UNIFORMES ρ_1 Y ρ_2 (FIG.17).

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{k^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}} - \frac{k^n}{\sqrt{4 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}} \right) \quad (13)$$



ESTRATIFICACIÓN DE DOS CAPAS.

FIG. 17

DONDE:

$$k = \text{FACTOR DE REFLEXIÓN} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 + \rho_1}$$

ρ_a = RESISTIVIDAD APARENTE CALCULADA POR EL --
MÉTODO DE WENNER.

ρ_1 = RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA.

h = ALTURA DE LA PRIMERA CAPA.

a = ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS EN EL MÉTO
DO DE WENNER.

EL PROGRAMA "RESIS" UTILIZA LA DERIVADA DE LA FUN-
CIÓN DE RESISTIVIDAD APARENTE PARA OPTIMIZAR EL --
AJUSTE DEL MODELO DE LAS DOS CAPAS ESTRATIFICADAS-
HORIZONTALMENTE.

DATOS DE ENTRADA.

LOS DATOS NECESARIOS DE ENTRADA SON:

- a) RESISTIVIDAD O RESISTENCIA APARENTE.
- b) LA SEPARACIÓN ENTRE ELECTRODOS CORRESPONDIENTE.
- c) CONSTANTES PARA LA PRECISIÓN DEL PROCESO DE ---
AJUSTE.

RESULTADOS BÁSICOS.

- a) RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA (ρ_1)
- b) RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA (ρ_2)
- c) ALTURA O PROFUNDIDAD DE LA PRIMERA CAPA (h)

LOS RESULTADOS OBTENIDOS SERÁN UTILIZADOS COMO PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA "MALT".

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56

MODELO DE DOS CAPAS

ANALISIS DE LA CURVA DE RESISTIVIDAD

SEPARACION ENTRE ELECTRODOS METROS	RESISTIVIDAD OHMS-METRO
1.5	94.24
3.0	113.00
4.5	113.00
6.0	150.79
7.5	141.37
9.0	169.70

NUMERO DE PUNTOS MUESTRA 6

ITERACIONES PARA LA OPTIMIZACION DE LA CURVA 200

PRECISION DE LA OPTIMIZACION .100000002

VALOR INICIAL DE LA RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA 94.24

VALOR INICIAL DE LA RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA 169.7

VALOR INICIAL DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA 3.5

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33

RESULTADOS PROGRAMA RESIS

21 RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA = 90.00 OHMS-METROS

25 ALTURA DE LA PRIMERA CAPA = 2.56 METROS

29 RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA = 251.00 OHMS-METROS

33 FACTOR DE REFLEXION = 0.457505 P.U.

II.- CALCULO Y DISEÑO DE LA RED HASTA OPTIMIZARLA.

III.1.- DISEÑO POR EL MÉTODO CONVENCIONAL:

SE DEFINIRÁN LOS VOLTAJES DE PASO Y TOQUE TOLERABLES, UTILIZANDO LAS ECUACIONES 7 Y 9.

$$E_{\text{TOQUE}} = \frac{116 + 0.174 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{PASO}} = \frac{116 + 0.696 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

DONDE:

$$\rho_s = 3\rho$$

OBTENIENDO LA MEDIA A LAS LECTURAS DE CAMPO:

$$\rho = 116 \Omega - m$$

$$\therefore \rho_s = 3 (116) = 348 \Omega - m$$

PARA UN TIEMPO DE 0.5 SEG.

$$E_{\text{TOQUE}} = \frac{116 + 0.174 (348)}{\sqrt{.5}} = 250.0 \text{ VOLTS.}$$

$$E_{\text{PASO}} = \frac{116 + 0.696 (348)}{\sqrt{.5}} = 507 \text{ VOLTS.}$$

HABIENDO FIJADO LOS LÍMITES DE TENSION, SE PROCEDE AL DISEÑO DEL SISTEMA DE TIERRAS.

A).- DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE MÁXIMA DE --- FALLA:

ESTE VALOR SE INVESTIGÓ EN EL DEPARTAMENTO-
DE ANÁLISIS DE REDES.

$$I_F = 8628 \text{ AMP.}$$

B).- PARA SELECCIONAR EL DIÁMETRO DEL CONDUCTOR-
DE COBRE, UTILIZAREMOS LA ECUACIÓN DE ONDER
DONK:

$$I_F = A \sqrt{\frac{\log_{10} \left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}{33 t}} \quad (14)$$

DONDE:

A = SECCIÓN DE COBRE EN CIRCULAR MILS.

t = TIEMPO DE DURACIÓN DE LA FALLA EN-
SEG.

T_m = 250°C, TEMPERATURA PÉRMISIBLE PARA
LAS UNIONES CON CONECTORES.

T_a = 30°C, TEMPERATURA AMBIENTE.

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{\log_{10} \left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}{33 t}}} = \frac{8628}{\sqrt{\frac{\log_{10} \left(\frac{250 - 30}{234 + 30} + 1 \right)}{33 (.5)}}$$

$$A = 196,799.4 \text{ CM.}$$

EL CONDUCTOR QUE SE UTILIZARÁ SERÁ CAL. 4/0 AWG. QUE TIENE UNA SECCIÓN DE 211 MCM. Y -- DIÁMETRO (d) DE 1.34×10^{-2} M.

c).- LONGITUD DEL CONDUCTOR:

$$L = \frac{K_m K_i \rho I \sqrt{t}}{116 + 0.174 \rho_s} \quad (15)$$

DONDE:

K_m = FACTOR QUE TOMA EN CUENTA EL EFECTO DEL NÚMERO DE CONDUCTORES PARALELOS 'n', EL ESPACIAMIENTO 'D', EL DIÁMETRO 'd' Y LA PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO 'h' DE LOS CONDUCTORES QUE FORMAN LA RED.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \dots \text{etc} \quad (16)$$

EL NÚMERO DE FACTORES DEL SEGUNDO TÉR--MINO ES DOS MENOS QUE EL NÚMERO DE CONDUCTORES PARALELOS EN LA RED, VISTOS EN UN CORTE TRANSVERSAL POR EL LADO MAS ANGOSTO DE LA RED.

K_i = FACTOR DE NO UNIFORMIDAD

$$K_i = (.65) + (1.72) (n) \quad (17)$$

1ER. TANTEO:

LA INSTALACIÓN SE HARÁ A UNA PROFUNDI--DAD $h = 40$ CM. Y LA SEPARACIÓN ENTRE CONDUCTORES SERÁ DE 20 M. ESTA DISTANCIA -

ENTRE CONDUCTORES SE DISTRIBUYE EN EL -
 ÁREA, POR LO TANTO EN EL LADO MAS ANGOS
 TO SE TENDRÁN 10 CONDUCTORES (FIG. No.
 18).

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(20)^2}{16(.4)(.0134)} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{7}{8}, \right. \\ \left. \frac{9}{10}, \frac{11}{12}, \frac{13}{14}, \frac{15}{16}, \frac{17}{18} \right)$$

$$K_m = 1.0288$$

$$K_i = .65 + (.172) (10) = 2.37$$

$$K_m K_i = (1.0288) (2.37) = 2.43 \quad (18)$$

EL PRODUCTO $K_m K_i$ NUNCA DEBERÁ SER MU--
 CHO MAYOR DE 2, POR LO QUE EL PRODUCTO--
 OBTENIDO SE ACEPTA.

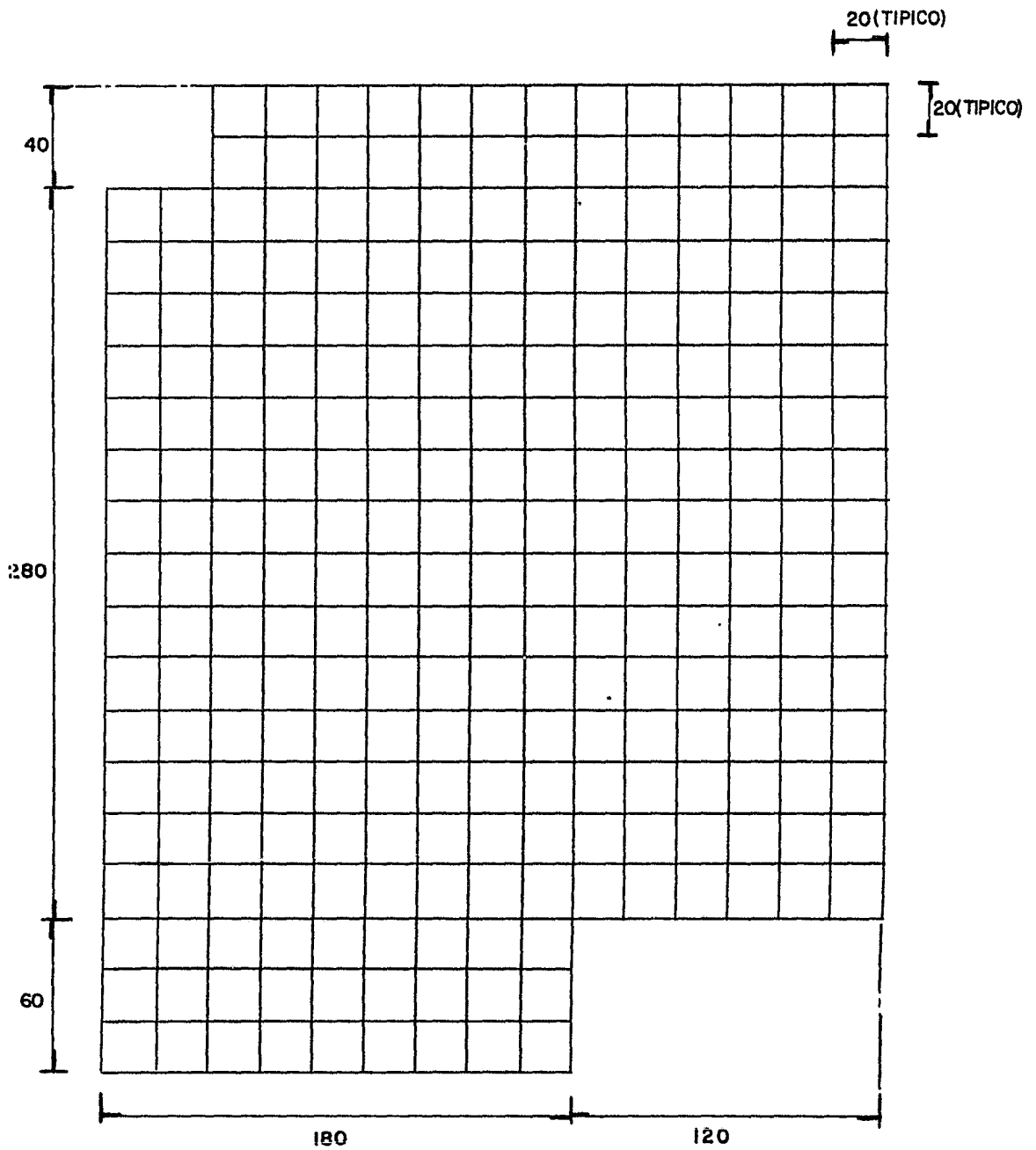
$$L = \frac{2.43 (116)(8628) \sqrt{.5}}{116 + 0.174 (348)} = 9740.6$$

LONG. PROPUESTA EN LA FIG. No. 18

LONG. CONDUCTORES VERTICALES = 5540

LONG. CONDUCTORES HORIZONTALES = 5100

TOTAL = 10640



ACOTACIONES EN m.

FIGURA 18

COMO LA LONGITUD DE CONDUCTOR PROPUESTA ES MAYOR QUE LA OBTENIDA EN LA FÓRMULA, NO ES NECESARIO HACER OTRO TANTEO, SIN- EMBARGO, DEBE AÚN REVISARSE LA ELEVA- CIÓN DE POTENCIAL DE PASO EN LA PERIFE- RIA.

$$E_{PASO} = K_s K_i \rho \frac{I}{L} \quad (19)$$

DONDE:

K_s ES UN COEFICIENTE QUE TOMA EN- CUENTA EL EFECTO DE n , D , Y h -- DEFINIDO COMO:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots \text{etc.} \right) \quad (20)$$

EL NÚMERO DE TÉRMINOS DENTRO DEL PARÉN- TESIS, ES IGUAL A LA CANTIDAD n DE CON- DUCTORES DEFINIDO ANTERIORMENTE.

PARA EL CASO QUE SE ESTÁ CONSIDERANDO.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2(0.4)} + \frac{1}{20+0.4} + \frac{1}{2(20)} + \frac{1}{3(20)} + \frac{1}{4(20)} + \frac{1}{5(20)} + \frac{1}{6(20)} + \frac{1}{7(20)} + \frac{1}{8(20)} + \frac{1}{9(20)} \right)$$

$$K_s = 0.4426$$

DE DONDE

$$E_{PASO} = 0.4426 (2.37) (116) \left(\frac{8628}{9741} \right)$$

EPASO = 107.77 VOLTS.

LA RESISTENCIA DE LA RED ES:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad (21)$$

r = RADIO DE UN CIRCULO QUE TENGA LA MISMA ÁREA QUE LA OCUPADA POR LA REJILLA.

L = LONGITUD DEL CABLE ENTERRADO.

EL ÁREA CUBIERTA POR LA REJILLA ES DE 105 200 M² Y EL CIRCULO QUE ABARCA ÉSTA ÁREA TENDRÁ UN RADIO DE:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (22)$$

$$r = \sqrt{\frac{105\,200}{\pi}} = 183 \text{ MTS.}$$

$$\therefore R = \frac{116}{4(183)} + \frac{116}{9741} = 0.17 \, \Omega$$

LA MÁXIMA ELEVACIÓN DE POTENCIAL EN LA RED SERÁ:

$$E_{RED} = RI \quad (23)$$

$$E_{RED} = 0.17 (3628)$$

$$E_{RED} = 1470 \text{ VOLTS.}$$

LA ELEVACIÓN DE POTENCIAL MÁXIMA ESTÁ --
POR ABAJO DE EL VALOR NORMALIZADO PARA--
LA PROTECCIÓN DE EQUIPO, ESTE VALOR ES--
ACEPTADO, SIN EMBARGO, LA SEPARACIÓN EN
TRE CONDUCTORES ES DE 20 X 20 M, EXISTE
EL RIESGO DE QUE LA DIFERENCIA DE POTEN
CIAL DEL CENTRO DE UNA MALLA HACIA CUAL
QUIERA DE LOS EXTREMOS DE ÉSTA, SEA PE--
LIGROSAMENTE ELEVADA EN ÁREAS DE ACCESO
Y CASETAS DE CONTROL, POR LO QUE ES NE--
CESARIO REDUCIR LA CUADRÍCULA DE LA RED
EN DICHAS ZONAS.

DEBIDO A QUE EL MÉTODO DE CÁLCULO EXIGE
UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LOS CONDU
CTORES EN LA RED, REQUERIMOS AUMENTAR --
ÉSTOS.

LA EXPERIENCIA EN EL DISEÑO DE REDES DE
TIERRA, INDICA QUE LA SEPARACIÓN MÁS --
CONVENIENTE ENTRE CONDUCTORES ES DE 11--
METROS POR LADO, RAZÓN POR LA CUAL EL -
DISEÑO ORIGINAL SE MODIFICA. FIG. 19.

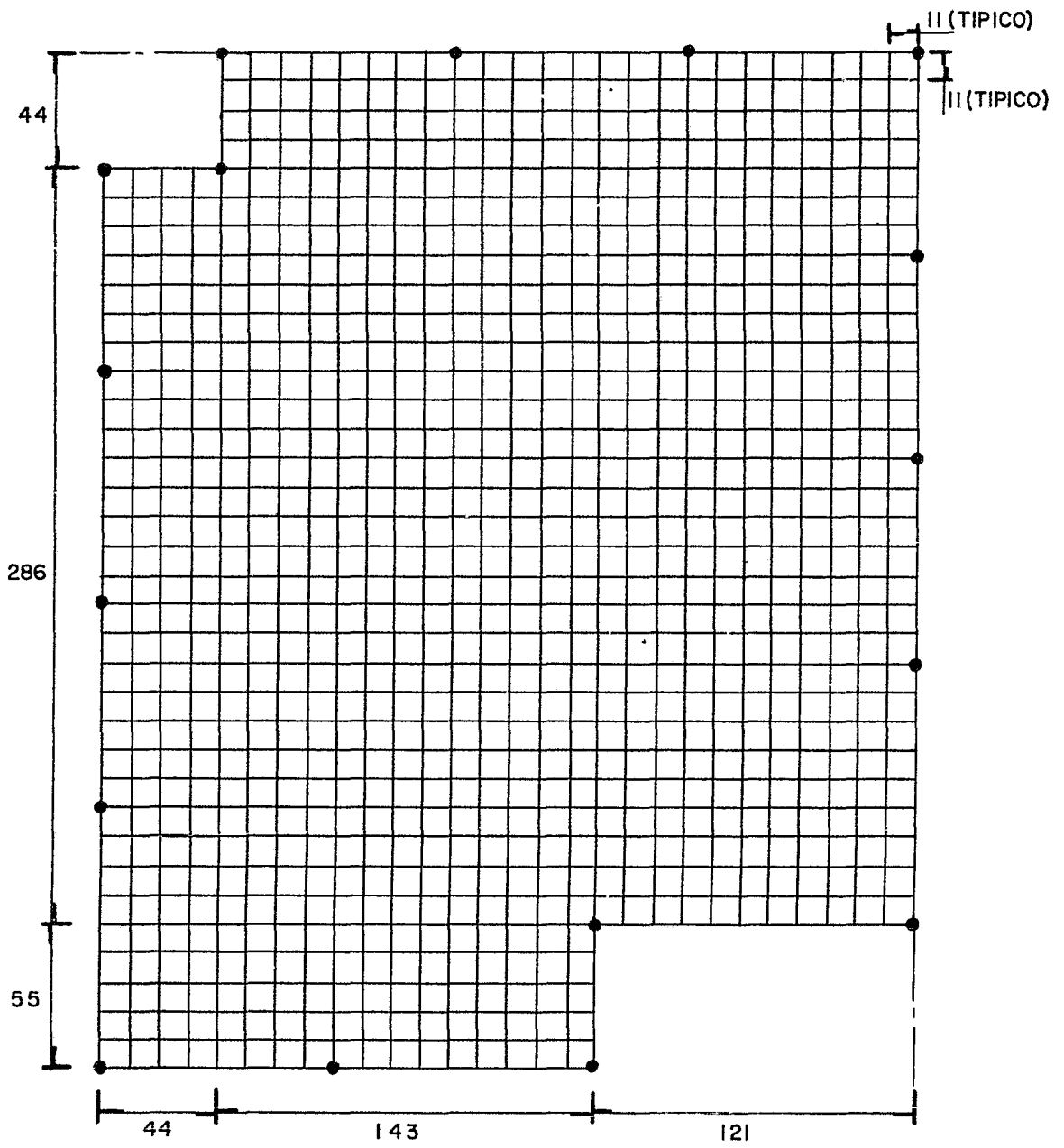
CONDUCTORES VERTICALES = 10384

CONDUCTORES HORIZONTALES = 10307

TOTAL = 20691

III.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DIGITAL "MALT" Y SUS -- BASES TEÓRICAS.

EL PROGRAMA DIGITAL "MALT" DESARROLLADO POR LA -
UNIVERSIDAD DE MONTREAL, PARA EL CÁLCULO DE LA -



ACOTACIONES EN m.

FIGURA 19

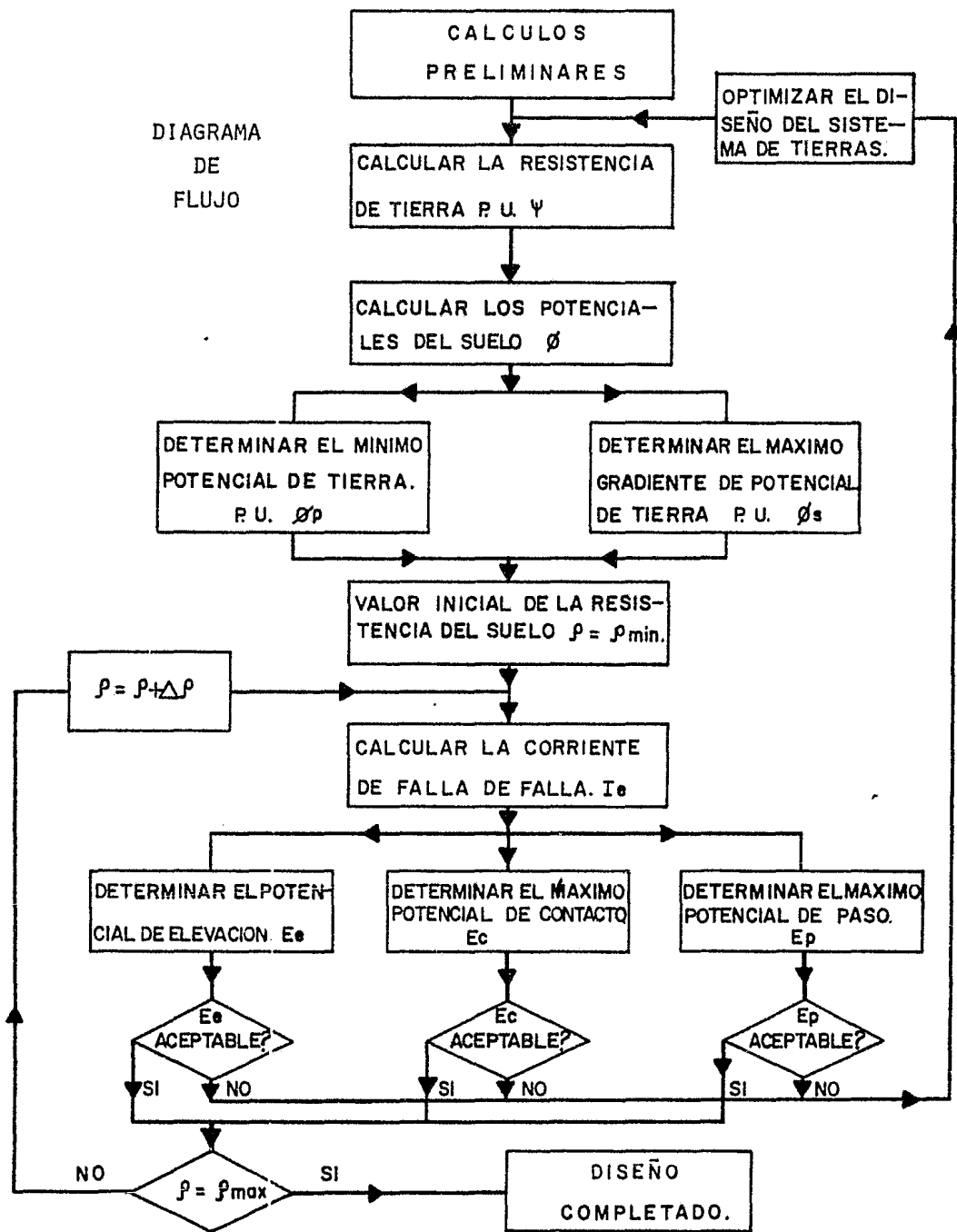
RESISTENCIA A TIERRA Y DE LOS GRADIENTES DE POTENCIAL QUE SE PRESENTEN EN SITUACIONES DE FALLA, SE INICIÓ EN 1971 Y SE LOGRÓ SU PRIMER ESTADO OPERATIVO EN 1973. DESDE ENTONCES SE HA REVISADO Y ACTUALIZADO CONTINUAMENTE, BUSCANDO PRINCIPALMENTE FACILITAR LA PREPARACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA Y LA OBTENCIÓN DE UNA PRESENTACIÓN ADECUADA DE LOS RESULTADOS PARA SU INTERPRETACIÓN. EN LA ACTUALIDAD COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, CUENTA CON ESTE PROGRAMA PARA DISEÑO DE REDES A TIERRA ÓPTIMAS.

LAS BASES TEÓRICAS EN QUE SE FUNDA ESTE PROGRAMA, SE HAN DESARROLLADO A TRAVÉS DE ANÁLISIS MATEMÁTICOS RESPALDADOS POR EXPERIMENTOS EN MODELOS A ESCALA Y LA FORMA EN QUE OPERA SE INDICA EN EL DIAGRAMA DE FLUJO.

ÁREAS DE APLICACIÓN.

EL PROGRAMA DIGITAL "MALT", ES UNA HERRAMIENTA DE TRABAJO PODEROSA EN LA SOLUCIÓN DE LA MAYORÍA DE LOS PROBLEMAS DE REDES A TIERRA QUE SE PRESENTEN EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS. Y LA APLICACIÓN PRINCIPAL ES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, SUBESTACIONES, CENTRALES GENERADORAS Y SISTEMAS INDUSTRIALES.

LAS LIMITACIONES QUE PRESENTEN LOS ENFOQUES SIMPLIFICADOS NO SON APLICABLES A LOS PRÁCTICOS DE ATERRIZAMIENTO EN LOS SISTEMAS DE POTENCIA MODERNOS. ESTO SE DEBE A QUE LOS CÁLCULOS SIMPLIFICADOS NO PROPORCIONAN ELEMENTOS QUE GARANTICEN LA PROTECCIÓN Y LA CONFIABILIDAD, LO ANTERIOR



PUEDA CONducIR EN FORMA SISTEMÁTICA A DOS SITUACIONES.

1.- SISTEMA DE TIERRA SUBDISEÑADO E INSEGURO.

2.- SISTEMA DE TIERRA SOBREDISEÑADO.

MIENTRAS QUE LA PRIMERA SITUACIÓN PUEDE PROVOCAR LA PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS O EL DAÑO DE LOS EQUIPOS, LA SEGUNDA SITUACIÓN CONDUCE A COSTOS DE MATERIAL Y MANO DE OBRA INJUSTIFICADOS.

EL PROGRAMA "MALT", PERMITE OPCIONES QUE LO HACEN VERSÁTIL Y ENTRE SUS VENTAJAS SE MENCIONAN LAS SIGUIENTES:

1.- ES POSIBLE PARA EL CÁLCULO ANALIZAR CUALQUIER CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS A TIERRA Y MANEJAR UNA REPRESENTACIÓN ESTRATIFICADA DE SUELO DE DOS CAPAS O SUELO HOMOGÉNEO REFERIDOS A VALORES DE RESISTIVIDAD.

2.- PERMITE EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE TIERRA EN PRESENCIA DE UN ELECTRODO DE RETORNO CERCANO, ES DECIR, EN LAS FALLAS PRÓXIMAS A UNA SUBESTACIÓN, COMO PUEDEN SER EN LAS TORRES O ESTRUCTURAS VECINAS.

3.- SE EMPLEA PARA EL ANÁLISIS DE UNA RED DE TIERRA COMPLEJA INCLUYENDO CONDUCTORES Y VARILLAS ESPACIADAS DESIGUALMENTE, CONDUCTORES INCLINADOS, VERTICALES, HORIZONTALES Y ESTRUCTURAS METÁLICAS ENTERRADAS EN EL ÁREA DE LA SUBESTACIÓN.

DATOS DE ENTRADA.

LOS DATOS NECESARIOS DE ENTRADA AL PROGRAMA, SON LOS SIGUIENTES:

- A).- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.- CONSISTENCIA DEL TIPO DE SUELO, SU RESISTIVIDAD Y ALTURA DE LA PRIMERA CAPA, OBTENIDOS PREVIAMENTE CON LA AYUDA DEL PROGRAMA "RESIS".
- B).- CONFIGURACIÓN DEL ELECTRODO.- ES LA LOCALIZACIÓN FÍSICA EN EL ESPACIO DE CADA UNO DE LOS ELECTRODOS QUE FORMAN LA RED.
- C).- PERFILES DE POTENCIAL.- SE SUMINISTRAN DATOS NECESARIOS PARA ESPECIFICAR EL NÚMERO DE PUNTOS Y DIRECCIÓN DE PERFIL O PERFILES DE POTENCIAL DESEADOS.

RESULTADOS BÁSICOS.

LA INFORMACIÓN MÁS IMPORTANTE PROPORCIONADA EN LOS CÁLCULOS DEL PROGRAMA, ADEMÁS DE LOS MENSAJES DE ERROR Y DIAGNÓSTICO COMPENSIBLES SON:

- 1.- RESISTENCIA A TIERRA Y ELEVACIÓN DE POTENCIAL DE LA RED.
- 2.- DENSIDAD DE CORRIENTE EN CADA UNO DE LOS CONDUCTORES DE LA RED.
- 3.- VALORES DE POTENCIAL EN CUALQUIER PUNTO DE LA TIERRA Y EN CUALQUIER DIRECCIÓN ESPECIFICADA.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA PREPARACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA.

EL DISEÑO PRELIMINAR DE LA RED DE UNA SUBESTACIÓN SE REALIZA EN BASE AL ÁREA DE LA SUBESTACIÓN Y ARREGLO DE EL EQUIPO, PROCEDIENDO A DIBUJAR LA MALLA, ESCOGIENDO UN SISTEMA DE COORDENADAS Y DESCRIBIENDO A LOS CONDUCTORES CILÍNDRICOS COMO VECTORES.

PUEDA SELECCIONARSE CUALQUIER SISTEMA ARBITRARIO DE COORDENADAS, SIN EMBARGO, ES IMPORTANTE QUE EL PLANO XOY SEA LA SUPERFICIE DEL SUELO Y QUE EL EJE OZ, ESTÉ DIRIGIDO HACIA ABAJO, POR EJEMPLO, LA MALLA MOSTRADA EN LA FIG. No. 20, NOS INDICA LA POSICIÓN DE LOS CONDUCTORES, DONDE OX Y OY SON EJES PARALELOS A LOS CONDUCTORES DE LA RED, Y OZ ES PARALELO A LOS CONDUCTORES VERTICALES.

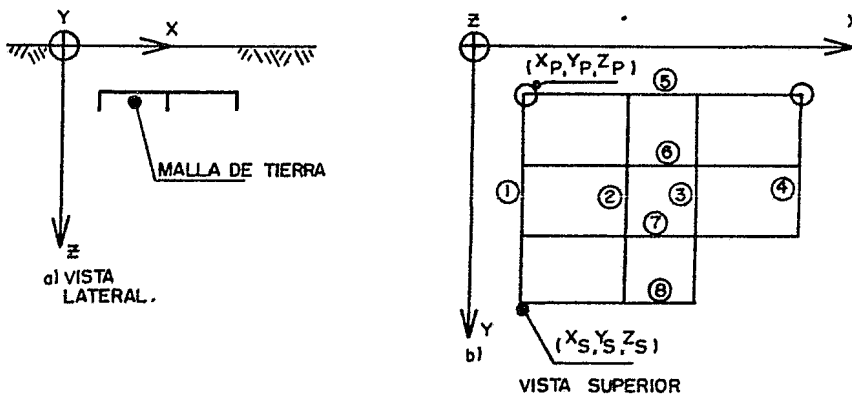


FIG. 20

CON EL FIN DE ESPECIFICAR COMPLETAMENTE LA POSICIÓN DE LOS CONDUCTORES, ES NECESARIO INDICAR -- LAS COORDENADAS DEL ORIGEN X_s , Y_s , Z_s , Y LAS DEL EXTREMO X_p , Y_p , Y Z_p ., INCLUYENDO LAS VARILLAS.- ASÍMISMO, DEBERÁ ESPECIFICARSE EL RADIO DE CADA CONDUCTOR.

III.3.- DISEÑO DE LA RED UTILIZANDO EL PROGRAMA "MALT".

UNA VEZ ENCONTRADOS LOS DATOS DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA "MALT", SE INICIA LA ETAPA DE LOS CÁLCU LOS CORRESPONDIENTES.

COMO SE HA MENCIONADO ANTERIORMENTE, LOS DATOS - PRINCIPALES DE ENTRADA SON:

RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA = $90,0 \Omega - m$.

ALTURA DE LA PRIMERA CAPA = $2,54$ MTS.

RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA = $241,8 \Omega - m$.

FACTOR DE REFLEXIÓN = $0,457505$ P.U.

CORRIENTE ELÉCTRICA = 8623 AMP.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA LA LOCALIZACIÓN DE -- LOS CONDUCTORES, MOSTRANDO SUS COORDENADAS DE -- INICIO Y DE TERMINACIÓN EN EL PLANO No. 1 Y EN - LA TABLA No. 1.

PARAMETROS

1		
2	RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA	= 97.00 OHM-METRO
3	ALTURA DE LA PRIMERA CAPA	= 2.54 METROS
4	RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA	= 241.80 OHM-METRO
5	FACTOR DE REFLEXION	= .457505 P.U.
6	CORRIENTE DE FALLA	= 9609.00 AMPERES
7	*	
8	*	

9 NUMERO DE CONDUCTORES DE LA RED 36

10 *
11 *

CONFIGURACION DE LOS CONDUCTORES DE LA RED

12	13								
14	COND	XS	YS	ZS	XP	YP	ZP		RADIO
15	1	-129.0	-127.0	0.4	0.0	-123.0	0.4		0.01
16	2	-86.0	-117.0	0.4	0.0	-113.0	0.4		0.01
17	3	-86.0	-107.0	0.4	0.0	-103.0	0.4		0.01
18	4	-86.0	-97.0	0.4	0.0	-93.0	0.4		0.01
19	5	-86.0	-87.0	0.4	0.0	-81.0	0.4		0.01
20	6	-116.0	-67.0	0.4	-25.0	-60.0	0.4		0.01
21	7	-116.0	-57.0	0.4	-25.0	-50.0	0.4		0.01
22	8	-86.0	-37.0	0.4	-25.0	-33.0	0.4		0.01
23	9	-116.0	-27.0	0.4	-25.0	-23.0	0.4		0.01
24	10	-116.0	-17.0	0.4	-25.0	-13.0	0.4		0.01
25	11	42.0	-17.0	0.4	253.0	-13.0	0.4		0.01
26	12	-116.0	0.0	0.4	253.0	0.0	0.4		0.01
27	13	-116.0	35.0	0.4	157.0	35.0	0.4		0.01
28	14	-116.0	55.0	0.4	157.0	55.0	0.4		0.01
29	15	-116.0	75.0	0.4	157.0	75.0	0.4		0.01
30	16	-116.0	85.0	0.4	157.0	98.0	0.4		0.01
31	17	-129.0	105.0	0.4	157.0	105.0	0.4		0.01
32	18	-125.0	127.0	0.4	157.0	127.0	0.4		0.01
33	19	-125.0	157.0	0.4	157.0	153.0	0.4		0.01
34	20	-125.0	165.0	0.4	157.0	165.0	0.4		0.01
35	21	-125.0	176.0	0.4	157.0	176.0	0.4		0.01
36	22	-116.0	-127.0	0.4	-116.0	125.0	0.4		0.01
37	23	-86.0	-123.0	0.4	-86.0	0.0	0.4		0.01
38	24	-79.0	0.0	0.4	-79.0	105.0	0.4		0.01
39	25	-60.0	-127.0	0.4	-60.0	-60.0	0.4		0.01
40	26	-48.0	-127.0	0.4	-48.0	-60.0	0.4		0.01
41	27	-41.0	0.0	0.4	-41.0	175.0	0.4		0.01
42	28	-31.0	-127.0	0.4	-31.0	-60.0	0.4		0.01
43	29	-25.0	-127.0	0.4	-25.0	0.0	0.4		0.01
44	30	-25.0	105.0	0.4	-25.0	176.0	0.4		0.01
45	31	0.0	-127.0	0.4	0.0	176.0	0.4		0.01
46	32	0.0	105.0	0.4	0.0	176.0	0.4		0.01
47	33	0.0	-17.0	0.4	42.0	175.0	0.4		0.01
48	34	0.0	-17.0	0.4	80.0	176.0	0.4		0.01
49	35	125.0	-17.0	0.4	125.0	176.0	0.4		0.01
50	36	157.0	-17.0	0.4	157.0	224.0	0.4		0.01
51									

TABLA No. 1

1 CALCULO DE LAS CORRIENTES EN EL ELECTRODO

2	3 COND	4 DIST. CORR.	5 LONGITUD	6 CORR. TOTAL	7 ACUMULA
8	9 NUM.	10 AMPERES	11 METROS	12 AMPERES	13 AMPERES
14	1	7.7300	220.000	853.9231	853.923
15	2	7.1578	86.700	90.5984	944.522
16	3	7.9463	86.700	81.3832	1025.905
17	4	7.2185	86.700	78.9886	1104.893
18	5	7.9302	86.700	81.8925	1186.785
19	6	7.1098	91.000	105.5445	1292.326
20	7	7.1778	91.000	98.1963	1390.412
21	8	7.2879	61.000	60.0187	1450.431
22	9	7.8675	91.000	78.9382	1529.369
23	10	7.8419	91.000	76.6987	1605.978
24	11	7.8512	211.000	543.8032	2249.781
25	12	7.4526	369.000	579.6027	2789.473
26	13	7.1700	273.000	721.9257	3111.398
27	14	7.8137	273.000	754.3405	3561.739
28	15	7.7974	273.000	216.5912	3578.330
29	16	7.6566	273.000	179.2507	3757.581
30	17	7.6038	396.000	619.1666	4376.647
31	18	7.1979	183.000	219.2143	4595.861
32	19	7.7007	183.000	253.2201	4849.081
33	20	7.5704	183.000	221.7095	5130.191
34	21	7.6369	183.000	488.0360	5618.827
35	22	7.7424	228.000	625.4848	6244.312
36	23	7.7679	127.000	121.2343	6375.506
37	24	7.4920	115.000	156.3426	6531.938
38	25	7.7704	67.000	48.8479	6580.786
39	26	7.6008	67.000	38.6152	6619.401
40	27	7.8277	145.000	93.2771	6712.678
41	28	7.6104	67.000	78.4543	6751.163
42	29	7.7170	127.000	162.1063	6913.159
43	30	7.4500	71.000	173.1112	7086.170
44	31	7.7006	399.000	358.1387	7294.319
45	32	7.1279	71.000	72.6937	7467.012
46	33	7.2018	119.000	98.1611	7565.172
47	34	7.8000	199.000	152.2546	7717.427
48	35	7.3509	189.000	256.8273	7974.254
49	36	7.7504	277.000	663.7455	8628.000

RESULTADOS IA. CORRIDA.

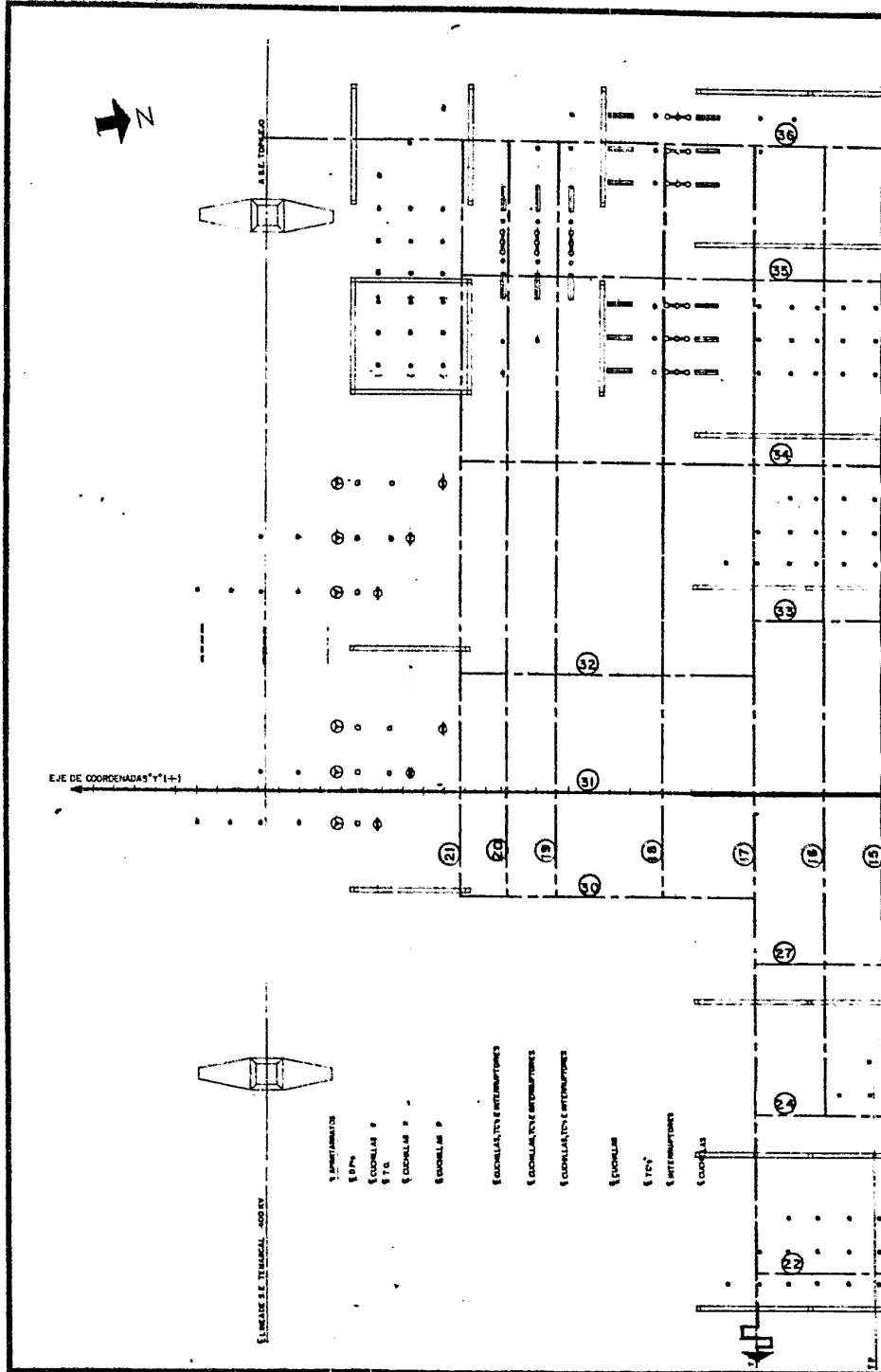
45 CORRIENTE TOTAL EN LA RED = 3 678 AMPERES

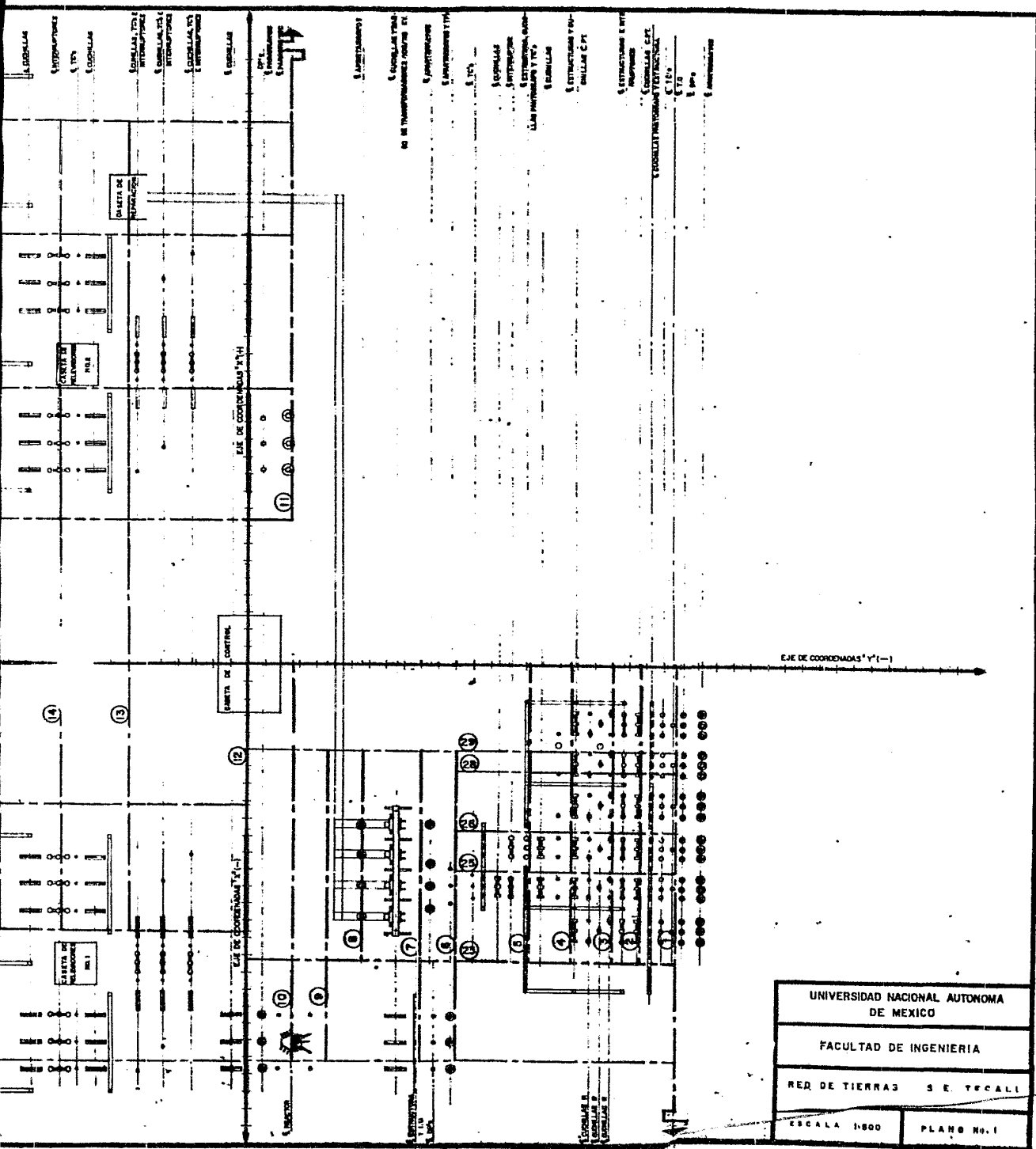
46 RESISTENCIA PROMEDIO DE CORRIENTE = 1.3 AMPERES/METRO

47 LONGITUD TOTAL DE LA RED = 6 589.9 METROS

48 ELEVACION DE POTENCIAL DE LA RED = 3 001.878 VOLTS

49 RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED = 1.7878 OHMS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
RED DE TIERRAS	S. E. TFCALI
ESCALA 1:800	PLANO No. 1

COMO SE OBSERVA EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA CORRIJA, EXISTEN CONDUCTORES QUE ESTÁN DISIPANDO UNA CANTIDAD DE CORRIENTE MAYOR QUE OTROS, CON LAS CONSECUENCIAS QUE LAS ELEVACIONES DE POTENCIAL EN ESOS PUNTOS SON MAYORES TAMBIÉN. LA ELEVACIÓN DE POTENCIAL EN LA RED ES LIGERAMENTE ALTA PERO SE ENCUENTRA POR DEBAJO DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO QUE EXIGEN 5 KV. PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DEL EQUIPO DE COMUNICACIÓN.

III.3.1.- OPTIMIZACIÓN A LA PRIMERA CORRIDA DE - "MALT".

LA MANERA MAS ADECUADA PARA REDUCIR LA DENSIDAD DE CORRIENTE ELEVADA QUE EXISTE EN ALGUNOS CONDUCTORES, ES LA SIGUIENTE:

- A).- LOS CONDUCTORES 10 Y 11 REFERIDOS EN EL PLANO No. 1, SE CONVIRTIERON EN UN SOLO CONDUCTOR DESIGNADO AHORA CON EL No. 10 EN EL PLANO No. 2, Y PROLONGADO HASTA LA PERIFERIA EN EL SENTIDO - X.
- B).- DE LA MISMA MANERA, EL CONDUCTOR No. 12 SE PROLONGA HASTA LA PERIFERIA EN EL SENTIDO - X, CONVIRTIÉNDOSE AHORA EN EL CONDUCTOR No. 11. ESTO AYUDARÁ EN EL RESPALDO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE AL CONDUCTOR No. 22.
- C).- SE CONECTÓ EL CONDUCTOR No. 30 AL No. 29, FORMANDO ASÍ UNO NUEVO DESIGNADO CON EL No. 29.
- D).- SE AGREGÓ UN CONDUCTOR PARALELO AL No. 22 CON EL OBJETO DE RESPALDARLO, DESIGNÁNDOSE CON EL No. 21.
- E).- EL CONDUCTOR No. 21, SE PROLONGÓ HASTA LA PERIFERIA EN EL SENTIDO - X QUEDANDO CON EL No. 20.

f).- SE AGREGARON LAS VARILLAS Nos.36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, - 45 Y 46 PARA DISIPAR UNA CANTIDAD MAYOR DE CORRIENTE AL ENCONTRAR - QUE LOS CONDUCTORES EN QUE SE UNIRÁN ESTAS VARILLAS REBASAN LA DENSIDAD PROMEDIO DE CORRIENTE CALCULADA EN 1.5 AMP-M.

g).- LA NUEVA DISPOSICIÓN DE LOS CONDUCTORES EN LA RED SE MUESTRA EN EL PLANO No. 2. SE PROCESARÁN Y SE OBTENDRÁN NUEVOS RESULTADOS EN BASE A UN NÚMERO TOTAL DE 46 CONDUCTORES QUE ESTARÁN DEFASADOS -- TANTO EN NÚMERO COMO EN LOCALIZACIÓN RESPECTO AL PLANO No. 1.

1 CALCULO DE LAS CORRIENTES EN EL ELECTRODO

2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37
38	39	40	41	42	43
44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55
56	57	58	59	60	61
62	63	64	65	66	67
68	69	70	71	72	73
74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85
86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97
98	99	100	101	102	103
104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115
116	117	118	119	120	121
122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133
134	135	136	137	138	139
140	141	142	143	144	145
146	147	148	149	150	151
152	153	154	155	156	157
158	159	160	161	162	163
164	165	166	167	168	169
170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181
182	183	184	185	186	187
188	189	190	191	192	193
194	195	196	197	198	199
200	201	202	203	204	205
206	207	208	209	210	211
212	213	214	215	216	217
218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229
230	231	232	233	234	235
236	237	238	239	240	241
242	243	244	245	246	247
248	249	250	251	252	253
254	255	256	257	258	259
260	261	262	263	264	265
266	267	268	269	270	271
272	273	274	275	276	277
278	279	280	281	282	283
284	285	286	287	288	289
290	291	292	293	294	295
296	297	298	299	300	301
302	303	304	305	306	307
308	309	310	311	312	313
314	315	316	317	318	319
320	321	322	323	324	325
326	327	328	329	330	331
332	333	334	335	336	337
338	339	340	341	342	343
344	345	346	347	348	349
350	351	352	353	354	355
356	357	358	359	360	361
362	363	364	365	366	367
368	369	370	371	372	373
374	375	376	377	378	379
380	381	382	383	384	385
386	387	388	389	390	391
392	393	394	395	396	397
398	399	400	401	402	403
404	405	406	407	408	409
410	411	412	413	414	415
416	417	418	419	420	421
422	423	424	425	426	427
428	429	430	431	432	433
434	435	436	437	438	439
440	441	442	443	444	445
446	447	448	449	450	451
452	453	454	455	456	457
458	459	460	461	462	463
464	465	466	467	468	469
470	471	472	473	474	475
476	477	478	479	480	481
482	483	484	485	486	487
488	489	490	491	492	493
494	495	496	497	498	499
500	501	502	503	504	505
506	507	508	509	510	511
512	513	514	515	516	517
518	519	520	521	522	523
524	525	526	527	528	529
530	531	532	533	534	535
536	537	538	539	540	541
542	543	544	545	546	547
548	549	550	551	552	553
554	555	556	557	558	559
560	561	562	563	564	565
566	567	568	569	570	571
572	573	574	575	576	577
578	579	580	581	582	583
584	585	586	587	588	589
590	591	592	593	594	595
596	597	598	599	600	601
602	603	604	605	606	607
608	609	610	611	612	613
614	615	616	617	618	619
620	621	622	623	624	625
626	627	628	629	630	631
632	633	634	635	636	637
638	639	640	641	642	643
644	645	646	647	648	649
650	651	652	653	654	655
656	657	658	659	660	661
662	663	664	665	666	667
668	669	670	671	672	673
674	675	676	677	678	679
680	681	682	683	684	685
686	687	688	689	690	691
692	693	694	695	696	697
698	699	700	701	702	703
704	705	706	707	708	709
710	711	712	713	714	715
716	717	718	719	720	721
722	723	724	725	726	727
728	729	730	731	732	733
734	735	736	737	738	739
740	741	742	743	744	745
746	747	748	749	750	751
752	753	754	755	756	757
758	759	760	761	762	763
764	765	766	767	768	769
770	771	772	773	774	775
776	777	778	779	780	781
782	783	784	785	786	787
788	789	790	791	792	793
794	795	796	797	798	799
800	801	802	803	804	805
806	807	808	809	810	811
812	813	814	815	816	817
818	819	820	821	822	823
824	825	826	827	828	829
830	831	832	833	834	835
836	837	838	839	840	841
842	843	844	845	846	847
848	849	850	851	852	853
854	855	856	857	858	859
860	861	862	863	864	865
866	867	868	869	870	871
872	873	874	875	876	877
878	879	880	881	882	883
884	885	886	887	888	889
890	891	892	893	894	895
896	897	898	899	900	901
902	903	904	905	906	907
908	909	910	911	912	913
914	915	916	917	918	919
920	921	922	923	924	925
926	927	928	929	930	931
932	933	934	935	936	937
938	939	940	941	942	943
944	945	946	947	948	949
950	951	952	953	954	955
956	957	958	959	960	961
962	963	964	965	966	967
968	969	970	971	972	973
974	975	976	977	978	979
980	981	982	983	984	985
986	987	988	989	990	991
992	993	994	995	996	997
998	999	1000	1001	1002	1003

RESULTADOS 2A. CORRIDA.

63
64
65

66 CARGA TOTAL DE LA RED = 8.000 AMPERES

67

68 DENSIDAD PROMEDIO DE CARGA = 1.3 AMPERES/METRO

69

70 LONGITUD TOTAL DE LA RED = 6.199.9 METROS

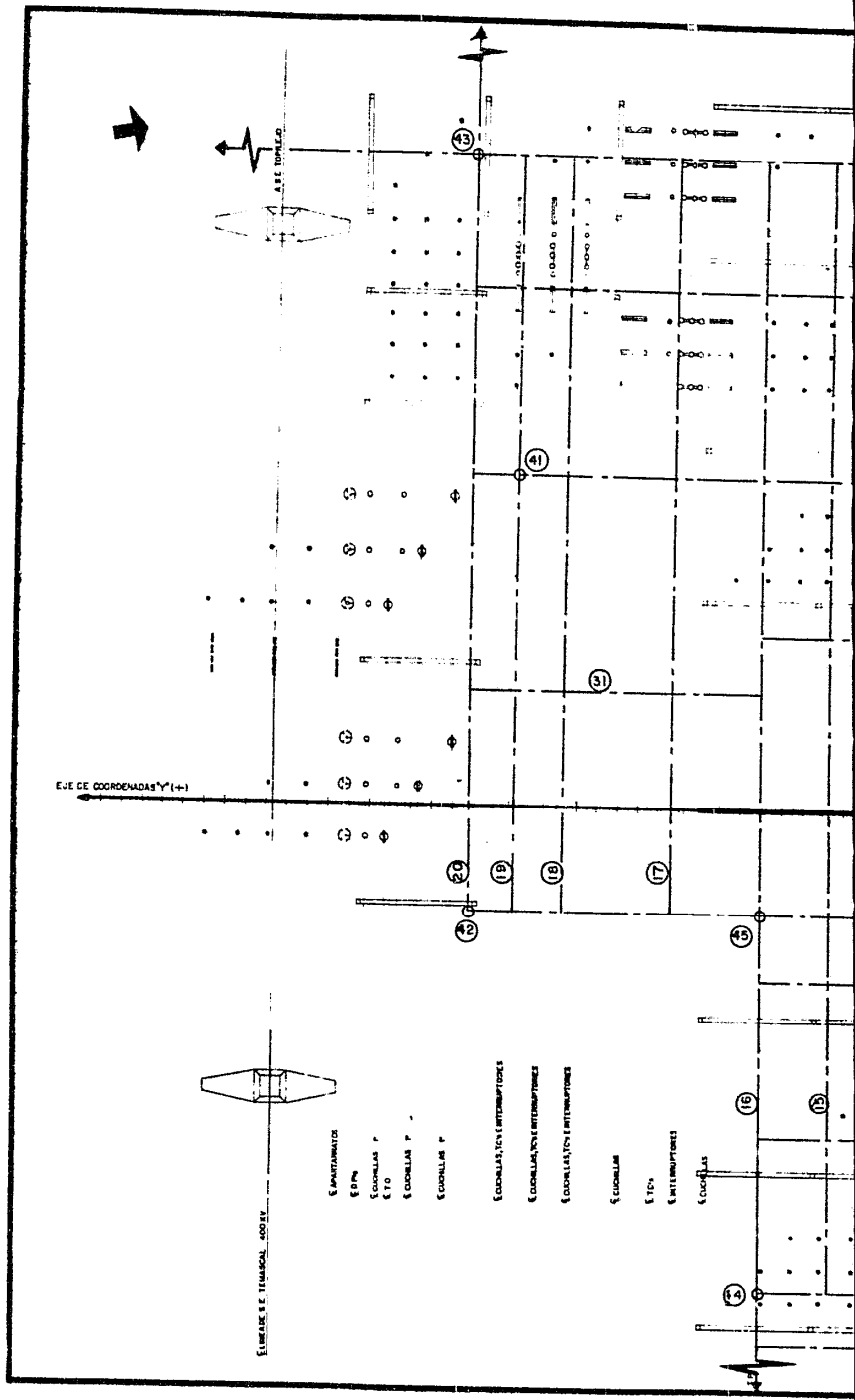
71

72 ELEVACION DE POTENCIAL DE LA RED = 3.221.070 VOLTS

73

74 RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED = 0.2528 OHMS

RESULTADOS 2A. CORRIDA.



EJE DE COORDENADAS Y' (↑)

EJE DE COORDENADAS X' (→)

EJE DE COORDENADAS Y' (↑)

EJE DE COORDENADAS X' (→)

- COMPARTIMENTOS
- EDM
- COQUELLOS P
- ETD
- COQUELLOS P
- COQUELLOS P

- COQUELLOS, TOS E INTERRUPTORES
- COQUELLOS, TOS E INTERRUPTORES
- COQUELLOS, TOS E INTERRUPTORES

- COQUELLOS
- ETD
- E INTERRUPTORES
- COQUELLOS

III.3.2.- OPTIMIZACIÓN A LA SEGUNDA CORRIDA DE - "MALT".

EN VISTA DE QUE AÚN EXISTEN CONDUCTORES CON UNA DENSIDAD DE CORRIENTE SUPERIOR A LA PROMEDIO, ES NECESARIO:

- A).- COMO EL CONDUCTOR No. 9 DISIPA POCAS CORRIENTES SE ELIMINÓ Y EL CONDUCTOR No. 8 SE PROLONGA CON OBJETO DE ABSORBER LA CORRIENTE DEL CONDUCTOR No. 9.
- B).- LA DENSIDAD DE CORRIENTE DEL CONDUCTOR No. 11 ES ELEVADA, SE AGREGA UN CONDUCTOR PARALELO, QUE REFERIDO AL PLANO No. 3, SERÁ EL CONDUCTOR No. 11.
- C).- EL CONDUCTOR No. 1 SE PROLONGA HASTA LA PERIFERIA EN EL SENTIDO DE + X Y - X RESPECTIVAMENTE.
- D).- EL CONDUCTOR No. 19 PASA A OCUPAR LA POSICIÓN DEL CONDUCTOR No. 20- Y ÉSTE ÚLTIMO ADEMÁS DE OCUPAR UNA NUEVA POSICIÓN, SE PROLONGA HASTA LA PERIFERIA EN EL SENTIDO (+) (-) X.
- E).- SE PROLONGARON LOS CONDUCTORES 22, 29, 31, 33 Y 34 EN EL SENTIDO +Y, HASTA CONECTARSE CON EL CONDUCTOR No. 20.

F).- SE PROLONGÓ EL CONDUCTOR No. 21 -
EN SENTIDO (+) (-) Y, HASTA LA -
PERIFERIA.

G).- EL CONDUCTOR No. 22 SE PROLONGÓ -
EN EL SENTIDO + Y, HASTA CONECTAR
SE CON EL CONDUCTOR No. 20.

H).- SE RELOCALIZARON VARILLAS Y SE --
AGREGARON EN TODA LA PERIFERIA.

I).- SE EXTENDIÓ EL CONDUCTOR No. 30 -
EN EL SENTIDO DE - Y HASTA LA PE-
RIFERIA.

LAS NUEVAS COORDENADAS DE LOS CONDUCT--
TORES SE MUESTRAN EN EL PLANO No. 3, -
SIENDO AHORA 59 CONDUCTORES, ORIGINAN-
DO LA TERCERA CORRIDA DEL "MALT".

1 NUMERO DE CONDUCTORES DE LA RED 59

2 *

3 *

4 *

CONFIGURACION DE LOS CONDUCTORES DE LA RED

5 *

6 COND	XS	YS	ZS	XP	YP	ZP	RADIO
7 1	-229.0	-127.0	0.4	0.0	-123.0	0.4	0.01
8 2	-85.0	-113.0	0.4	0.0	-113.0	0.4	0.01
9 3	-86.0	-105.0	0.4	0.0	-105.0	0.4	0.01
10 4	-85.0	-97.0	0.4	0.0	-93.0	0.4	0.01
11 5	-85.0	-81.0	0.4	0.0	-81.0	0.4	0.01
12 6	-115.0	-60.0	0.4	-25.0	-60.0	0.4	0.01
13 7	-115.0	-50.0	0.4	-25.0	-50.0	0.4	0.01
14 8	-85.0	-33.0	0.4	-25.0	-33.0	0.4	0.01
15 9	-115.0	-27.0	0.4	-25.0	-23.0	0.4	0.01
16 10	-229.0	-13.0	0.4	-25.0	-13.0	0.4	0.01
17 11	-229.0	0.0	0.4	253.0	0.0	0.4	0.01
18 12	-116.0	35.0	0.4	157.0	35.0	0.4	0.01
19 13	-116.0	55.0	0.4	157.0	55.0	0.4	0.01
20 14	-116.0	73.0	0.4	157.0	73.0	0.4	0.01
21 15	-116.0	88.0	0.4	157.0	88.0	0.4	0.01
22 16	-229.0	105.0	0.4	157.0	105.0	0.4	0.01
23 17	-25.0	127.0	0.4	157.0	127.0	0.4	0.01
24 18	-25.0	153.0	0.4	157.0	153.0	0.4	0.01
25 19	-25.0	165.0	0.4	157.0	165.0	0.4	0.01
26 20	-25.0	176.0	0.4	157.0	176.0	0.4	0.01
27 21	-129.0	-127.0	0.4	-129.0	224.0	0.4	0.01
28 22	-116.0	-123.0	0.4	-116.0	203.0	0.4	0.01
29 23	-86.0	-123.0	0.4	-86.0	0.0	0.4	0.01
30 24	-79.0	0.0	0.4	-79.0	105.0	0.4	0.01
31 25	-60.0	-123.0	0.4	-60.0	-60.0	0.4	0.01
32 26	-48.0	-123.0	0.4	-48.0	-60.0	0.4	0.01
33 27	-41.0	0.0	0.4	-41.0	105.0	0.4	0.01
34 28	-31.0	-123.0	0.4	-31.0	-60.0	0.4	0.01
35 29	-25.0	-123.0	0.4	-25.0	176.0	0.4	0.01
36 30	0.0	-123.0	0.4	0.0	-176.0	0.4	0.01
37 31	29.0	105.0	0.4	29.0	176.0	0.4	0.01
38 32	42.0	-13.0	0.4	42.0	105.0	0.4	0.01
39 33	80.0	-13.0	0.4	80.0	176.0	0.4	0.01
40 34	125.0	-13.0	0.4	125.0	176.0	0.4	0.01
41 35	157.0	-17.0	0.4	157.0	224.0	0.4	0.01
42 36	-229.0	-123.0	0.4	-229.0	-123.0	3.4	0.008
43 37	-229.0	-13.0	0.4	-229.0	-13.0	3.4	0.008
44 38	-229.0	0.0	0.4	-229.0	0.0	3.4	0.008
45 39	-229.0	105.0	0.4	-229.0	105.0	3.4	0.008
46 40	-229.0	203.0	0.4	-229.0	203.0	3.4	0.008
47 41	-129.0	-254.0	0.4	-129.0	-254.0	3.4	0.008
48 42	-129.0	-123.0	0.4	-129.0	-123.0	3.4	0.008
49 43	-129.0	203.0	0.4	-129.0	203.0	3.4	0.008
50 44	-129.0	224.0	0.4	-129.0	224.0	3.4	0.008
51 45	-116.0	105.0	0.4	-116.0	105.0	3.4	0.008
52 46	-25.0	153.0	0.4	-25.0	153.0	3.4	0.008
53 47	-25.0	176.0	0.4	-25.0	176.0	3.4	0.008
54 48	80.0	176.0	0.4	80.0	176.0	3.4	0.008
55 49	157.0	-13.0	0.4	157.0	-13.0	3.4	0.008
56 50	157.0	35.0	0.4	157.0	35.0	3.4	0.008
57 51	157.0	73.0	0.4	157.0	73.0	3.4	0.008
58 52	157.0	105.0	0.4	157.0	105.0	3.4	0.008
59 53	157.0	153.0	0.4	157.0	153.0	3.4	0.008
60 54	157.0	176.0	0.4	157.0	176.0	3.4	0.008
61 55	157.0	224.0	0.4	157.0	224.0	3.4	0.008
62 56	253.0	-123.0	0.4	253.0	-123.0	3.4	0.008

63 57	253.0	-13.0	0.4	253.0	-13.0	3.4	0.008
64 58	253.0	0.0	0.4	253.0	0.0	3.4	0.008
65 59	253.0	203.0	0.4	253.0	203.0	3.4	0.008

7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80

TABLE NO. 3

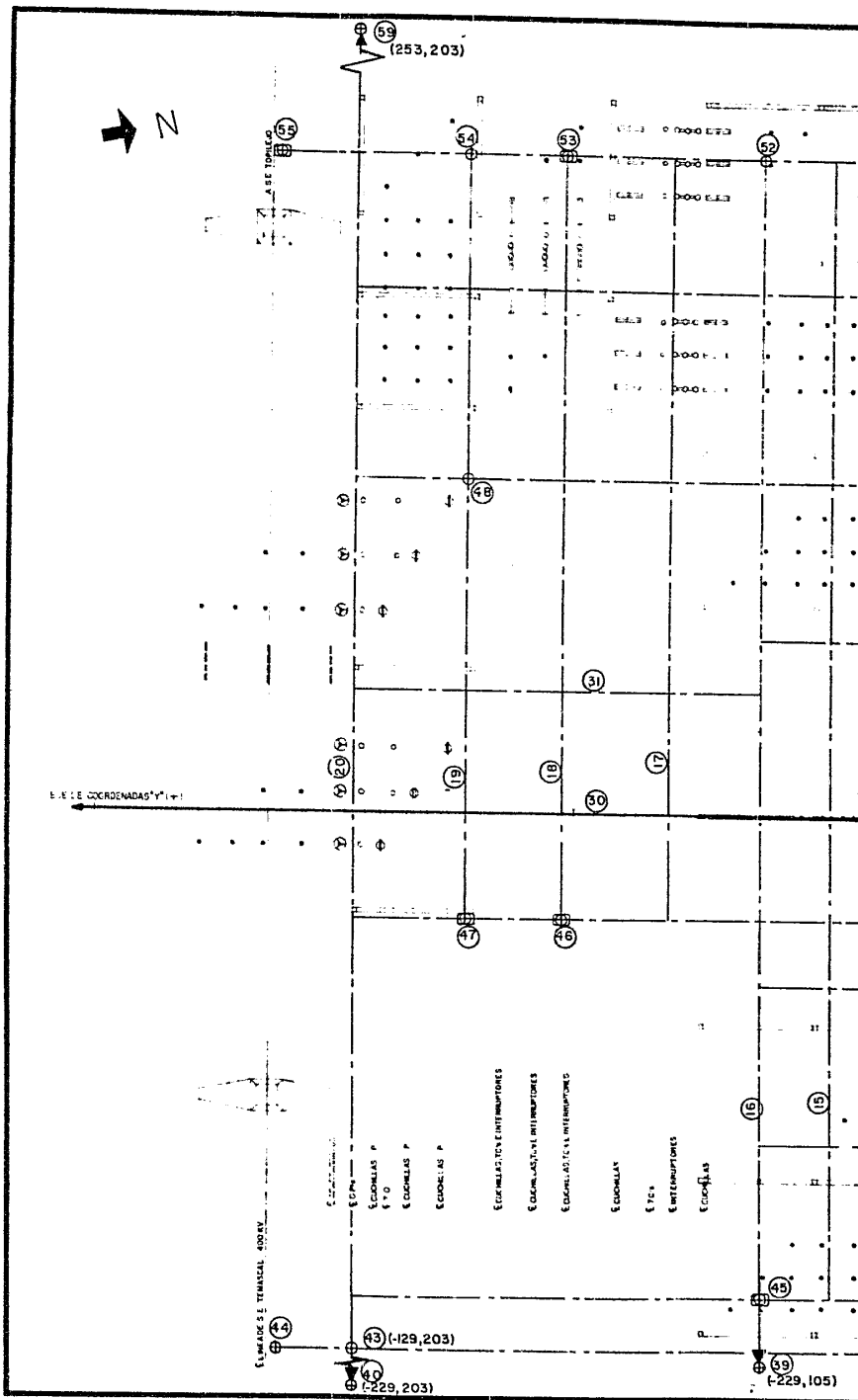
1 CALCULO DE LAS CORRIENTES EN EL ELECTRODO

2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37
38	39	40	41	42	43
44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55
56	57	58	59	60	61
62	63	64	65	66	67
68	69	70	71	72	73
74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85
86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97
98	99	100	101	102	103
104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115
116	117	118	119	120	121
122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133
134	135	136	137	138	139
140	141	142	143	144	145
146	147	148	149	150	151
152	153	154	155	156	157
158	159	160	161	162	163
164	165	166	167	168	169
170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181
182	183	184	185	186	187
188	189	190	191	192	193
194	195	196	197	198	199
200	201	202	203	204	205
206	207	208	209	210	211
212	213	214	215	216	217
218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229
230	231	232	233	234	235
236	237	238	239	240	241
242	243	244	245	246	247
248	249	250	251	252	253
254	255	256	257	258	259
260	261	262	263	264	265
266	267	268	269	270	271
272	273	274	275	276	277
278	279	280	281	282	283
284	285	286	287	288	289
290	291	292	293	294	295
296	297	298	299	300	301
302	303	304	305	306	307
308	309	310	311	312	313
314	315	316	317	318	319
320	321	322	323	324	325
326	327	328	329	330	331
332	333	334	335	336	337
338	339	340	341	342	343
344	345	346	347	348	349
350	351	352	353	354	355
356	357	358	359	360	361
362	363	364	365	366	367
368	369	370	371	372	373
374	375	376	377	378	379
380	381	382	383	384	385
386	387	388	389	390	391
392	393	394	395	396	397
398	399	400	401	402	403
404	405	406	407	408	409
410	411	412	413	414	415
416	417	418	419	420	421
422	423	424	425	426	427
428	429	430	431	432	433
434	435	436	437	438	439
440	441	442	443	444	445
446	447	448	449	450	451
452	453	454	455	456	457
458	459	460	461	462	463
464	465	466	467	468	469
470	471	472	473	474	475
476	477	478	479	480	481
482	483	484	485	486	487
488	489	490	491	492	493
494	495	496	497	498	499
500	501	502	503	504	505
506	507	508	509	510	511
512	513	514	515	516	517
518	519	520	521	522	523
524	525	526	527	528	529
530	531	532	533	534	535
536	537	538	539	540	541
542	543	544	545	546	547
548	549	550	551	552	553
554	555	556	557	558	559
560	561	562	563	564	565
566	567	568	569	570	571
572	573	574	575	576	577
578	579	580	581	582	583
584	585	586	587	588	589
590	591	592	593	594	595
596	597	598	599	600	601
602	603	604	605	606	607
608	609	610	611	612	613
614	615	616	617	618	619
620	621	622	623	624	625
626	627	628	629	630	631
632	633	634	635	636	637
638	639	640	641	642	643
644	645	646	647	648	649
650	651	652	653	654	655
656	657	658	659	660	661
662	663	664	665	666	667
668	669	670	671	672	673
674	675	676	677	678	679
680	681	682	683	684	685
686	687	688	689	690	691
692	693	694	695	696	697
698	699	700	701	702	703
704	705	706	707	708	709
710	711	712	713	714	715
716	717	718	719	720	721
722	723	724	725	726	727
728	729	730	731	732	733
734	735	736	737	738	739
740	741	742	743	744	745
746	747	748	749	750	751
752	753	754	755	756	757
758	759	760	761	762	763
764	765	766	767	768	769
770	771	772	773	774	775
776	777	778	779	780	781
782	783	784	785	786	787
788	789	790	791	792	793
794	795	796	797	798	799
800	801	802	803	804	805
806	807	808	809	810	811
812	813	814	815	816	817
818	819	820	821	822	823
824	825	826	827	828	829
830	831	832	833	834	835
836	837	838	839	840	841
842	843	844	845	846	847
848	849	850	851	852	853
854	855	856	857	858	859
860	861	862	863	864	865
866	867	868	869	870	871
872	873	874	875	876	877
878	879	880	881	882	883
884	885	886	887	888	889
890	891	892	893	894	895
896	897	898	899	900	901
902	903	904	905	906	907
908	909	910	911	912	913
914	915	916	917	918	919
920	921	922	923	924	925
926	927	928	929	930	931
932	933	934	935	936	937
938	939	940	941	942	943
944	945	946	947	948	949
950	951	952	953	954	955
956	957	958	959	960	961
962	963	964	965	966	967
968	969	970	971	972	973
974	975	976	977	978	979
980	981	982	983	984	985
986	987	988	989	990	991
992	993	994	995	996	997
998	999	1000	1001	1002	1003

RESULTADOS 3A. CORRIDA.

1						
2	63	58	13.7989	2.132	29.4193	8524.005
3	64	59	14.3552	2.132	30.6097	8554.610
4	65	60	5.5431	0.852	4.7269	8559.337
5	66	61	5.2095	0.852	4.4351	8562.772
6	67	62	5.2599	0.852	4.4815	8568.254
7	68	63	5.6496	0.852	4.8135	8573.067
8	69	64	5.9583	0.852	5.0765	8578.143
9	70	65	6.7022	0.852	5.7112	8583.854
10	71	66	1.2359	0.852	1.0537	8584.907
11	72	67	2.2452	0.852	1.9117	8586.918
12	73	68	5.2332	0.852	4.4580	8591.276
13	74	69	3.8886	0.852	4.7571	8592.333
14	75	70	1.2541	0.852	1.0685	8593.182
15	76	71	1.5347	0.852	1.3502	8594.452
16	77	72	3.9528	0.852	4.8118	8595.264
17	78	73	2.5921	0.852	2.2084	8597.472
18	79	74	1.7200	0.852	1.4727	8598.944
19	80	75	1.5797	0.852	1.3459	8600.290
20	81	76	1.3699	0.852	1.1672	8601.457
21	82	77	1.3675	0.852	1.1651	8602.622
22	83	78	1.5130	0.852	1.1180	8603.741
23	84	79	4.7978	0.852	4.5792	8607.820
24	85	80	6.2161	0.852	5.2901	8613.116
25	86	81	5.7073	0.852	4.8626	8617.979
26	87	82	5.7256	0.852	4.8782	8622.857
27	88	83	5.0369	0.852	5.1434	8628.000
28	89					
29	90					
30	91					
31	92	COEFICIENTE TOTAL EN LA RED = 8 628 AMPERES				
32	93					
33	94					
34	95	DENSIDAD PROMEDIO DE COEFICIENTE = 1.1 AMPERES/METRO				
35	96					
36	97					
37	98	LONGITUD TOTAL DE LA RED = 7 748.6 METROS				
38	99					
39	100					
40	101	ELEVACION DE POTENCIAL DE LA RED = 2 923.602 VOLTS				
41	102					
42	103					
43	104	RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED = 0.3376 OHMS				

RESULTADOS 3A. CORRIDA.



EJE DE COORDENADAS Y

(253, 203)

EQUILIBRIO TÉRMICO 4000W

43 (-129, 203)

49 (-229, 105)

49 (-229, 105)

ESCALAS P
ESCALAS T
ESCALAS I
ESCALAS A
ESCALAS B
ESCALAS C
ESCALAS D
ESCALAS E
ESCALAS F
ESCALAS G
ESCALAS H
ESCALAS J
ESCALAS K
ESCALAS L
ESCALAS M
ESCALAS N
ESCALAS O
ESCALAS P
ESCALAS Q
ESCALAS R
ESCALAS S
ESCALAS T
ESCALAS U
ESCALAS V
ESCALAS W
ESCALAS X
ESCALAS Y
ESCALAS Z

ESCALAS P

ESCALAS T

ESCALAS I

ESCALAS A

ESCALAS B

ESCALAS C

ESCALAS D

ESCALAS E

ESCALAS F

ESCALAS G

ESCALAS H

ESCALAS J

ESCALAS K

ESCALAS L

ESCALAS M

ESCALAS N

ESCALAS O

ESCALAS P

ESCALAS Q

ESCALAS R

ESCALAS S

ESCALAS T

ESCALAS U

ESCALAS V

ESCALAS W

ESCALAS X

ESCALAS Y

ESCALAS Z

III.3.3.- RED DE TIERRAS OPTIMIZADA.

EN LA DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE DE LA-CORRIDA No. 3 SE PUEDE OBSERVAR QUE -- LOS CONDUCTORES Nos. 1, 20, 21, 22, 30, 34 Y 35 DISIPAN UNA CORRIENTE UN POCO-MAYOR A LA DENSIDAD DE CORRIENTE PROME-DIO CALCULADO EN 1.1 A/M, RAZÓN POR LA CUAL SE VERIFICARÁN LOS POTENCIALES DE PASO EN LAS ZONAS LOCALIZADAS EN EL -- PLANO No. 4.

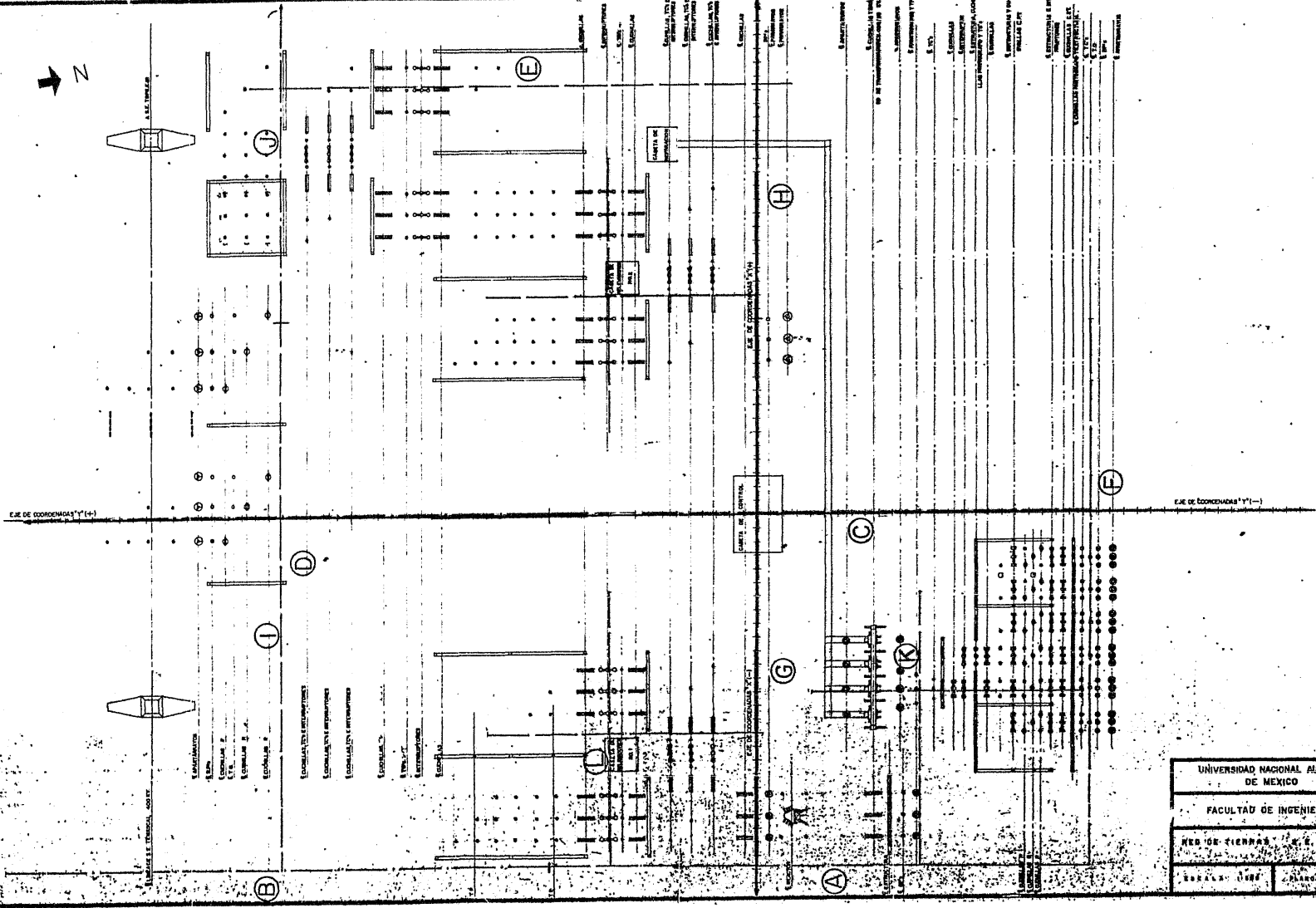
III.3.3.1 PERFILES DE POTENCIAL.

EL PROGRAMA "MALT" PROPORCIO-NA TAMBIÉN LOS PERFILES DE -POTENCIAL EN LAS ZONAS DONDE SEA NECESARIA ALGUNA MUESTRA DE LOS VOLTAJES DE PASO EXIS-TENTES.



EJE DE COORDINADAS "Y" (1-4)

EJE DE COORDINADAS "Y" (1-1)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
RED DE TIERRAS Y E. TRES	
FECHA: 1988	ALVARO

STARTING PROFILES PLOTS.

PLC NUMBER = 1

2677.731 2681.046 2674.358 2707.071 2740.983 2774.296 2840.921 2907.546
2874.233 2990.858

-121.0200

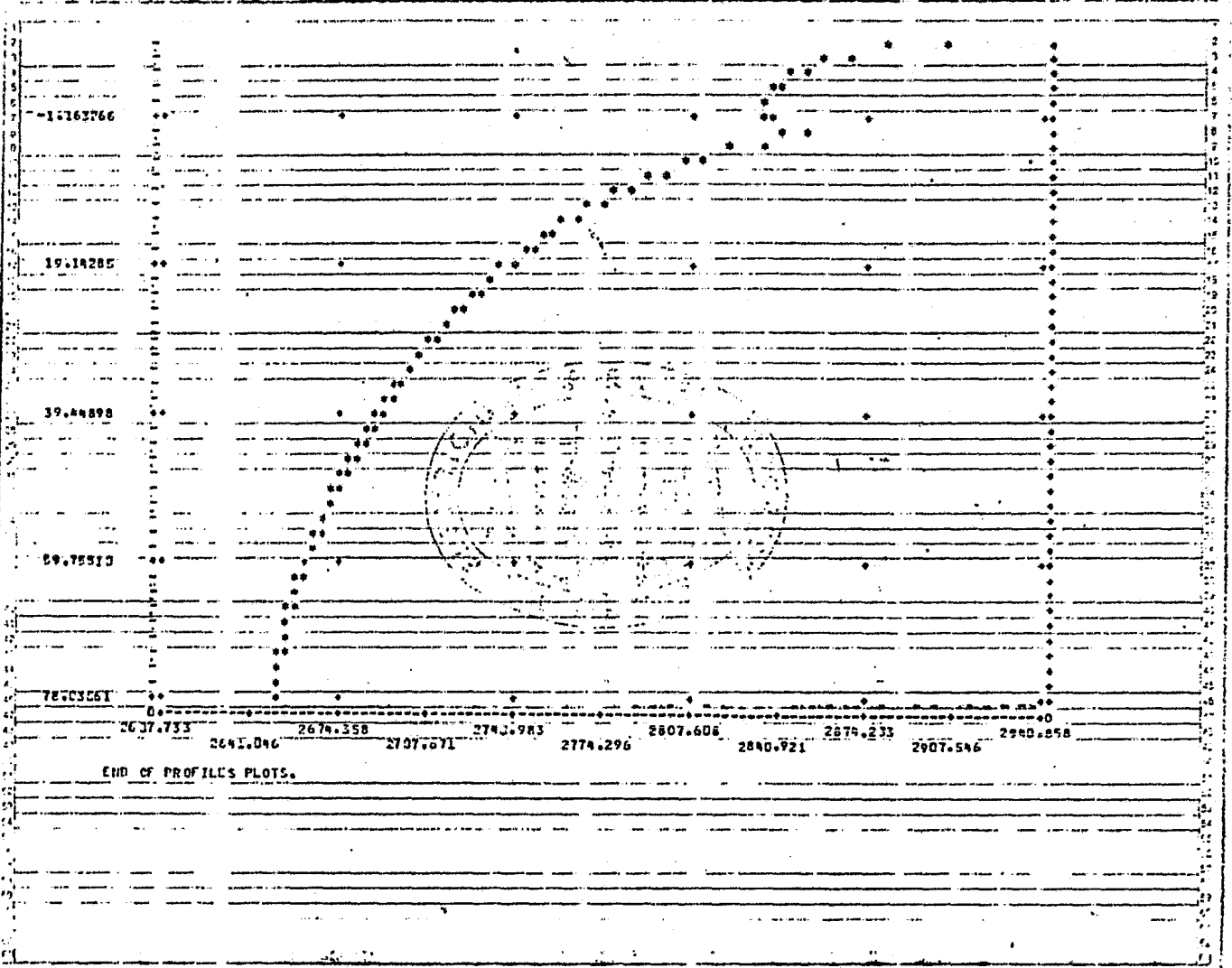
-102.6939

-32.3876

-62.0813

-41.7751

-21.4693



END OF PROFILE PLOTS.

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1

1275.807 1428.323 1579.239 1730.455 1881.671 2032.887 2184.103 2335.319 2486.535 2637.752 2788.968

77.0000

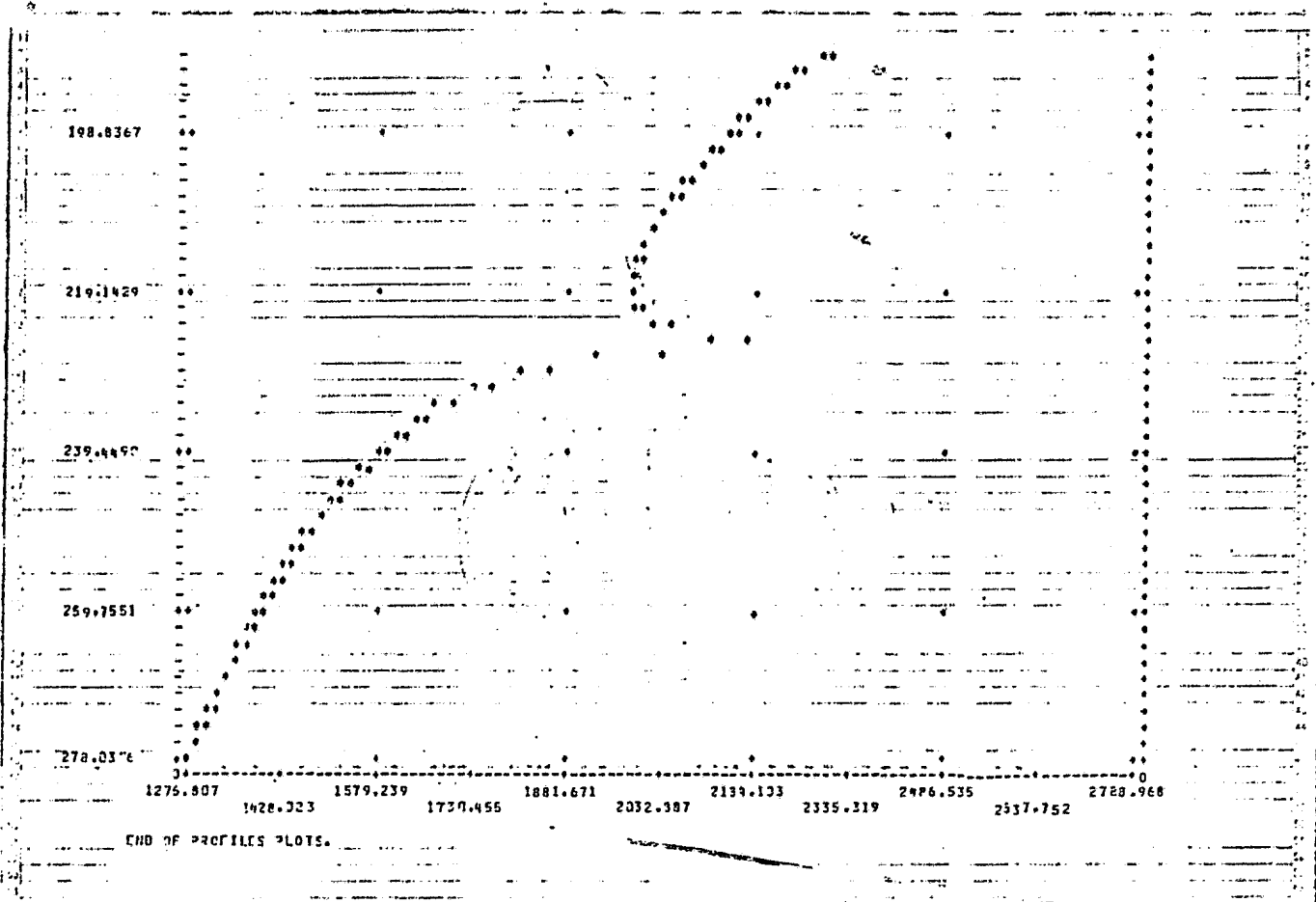
97.3642

117.6322

137.9184

158.2245

178.5306



STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1

2789.995 2825.463 2860.932 2896.400 2931.869 2967.337 3002.806 3038.274 3073.743 3109.211 3144.680

-123.0000

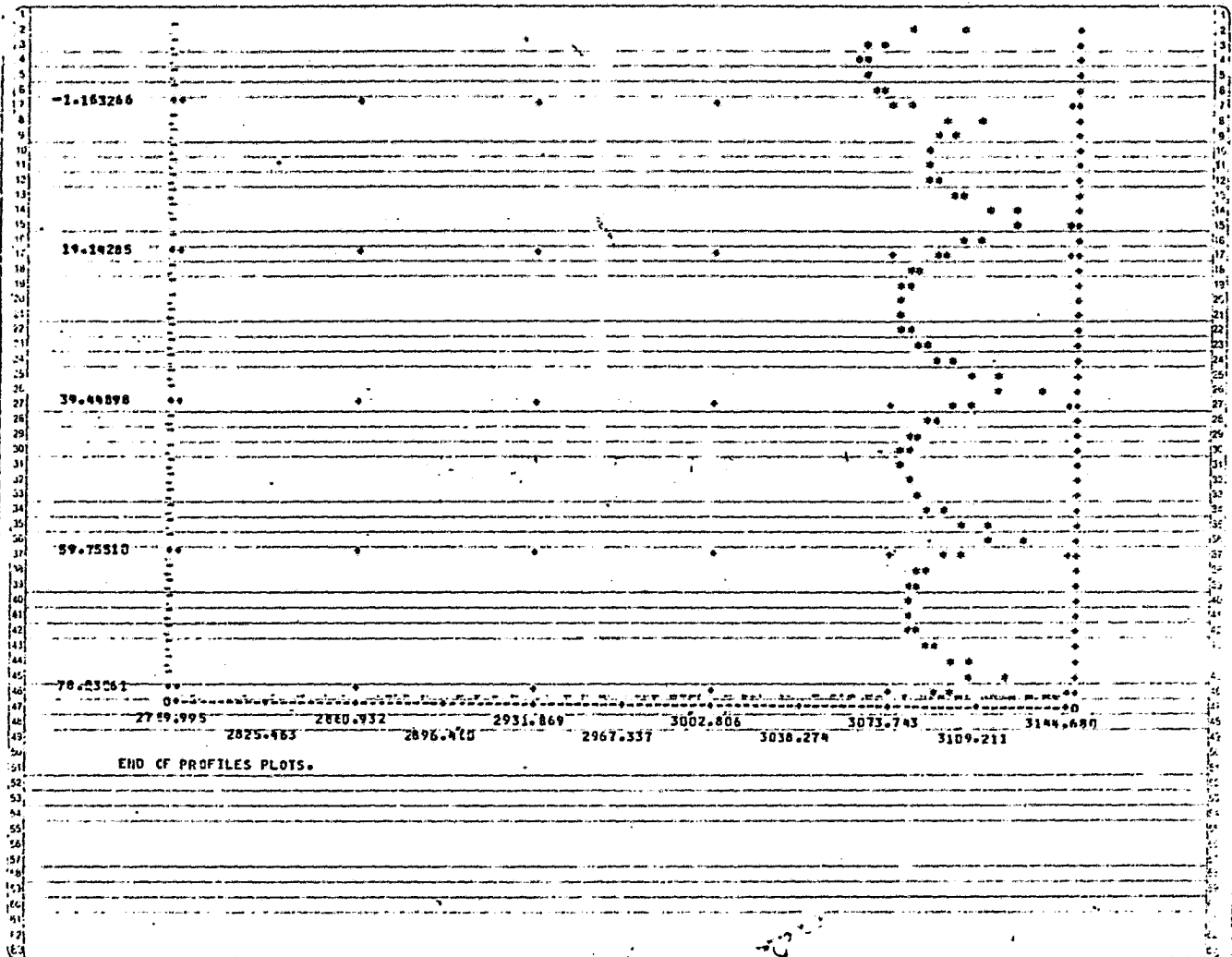
-102.6939

-82.38776

-62.08163

-41.77551

-21.46939



-1.153266

19.14285

39.44898

59.75510

79.23061

2749.995	2825.463	2880.932	2931.869	2967.337	3002.806	3038.274	3073.743	3109.211	3144.680
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER # 1

1371.966 1573.487 1755.058 1936.529 2118.050 2299.571 2662.613 3025.655

77.00200

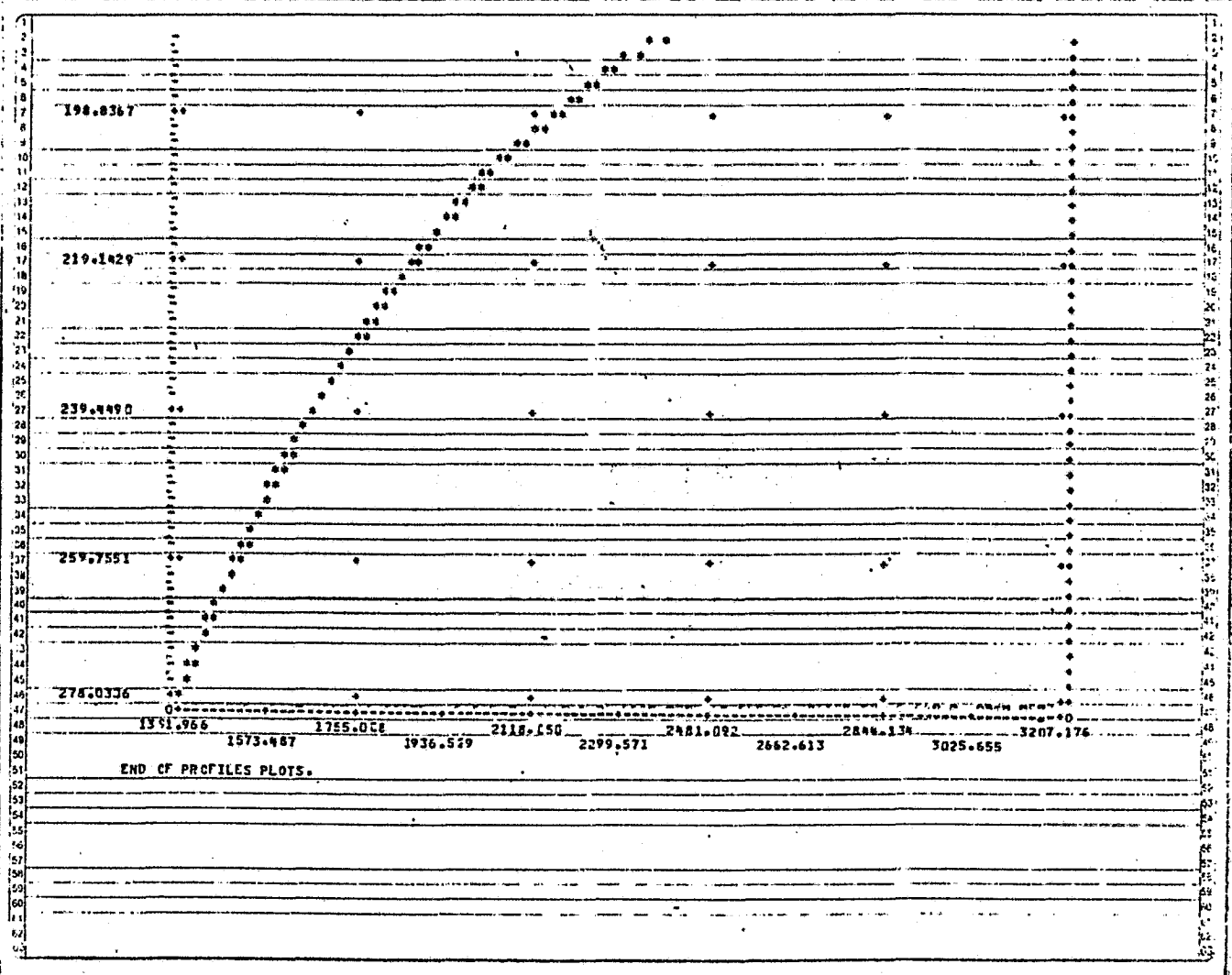
97.30612

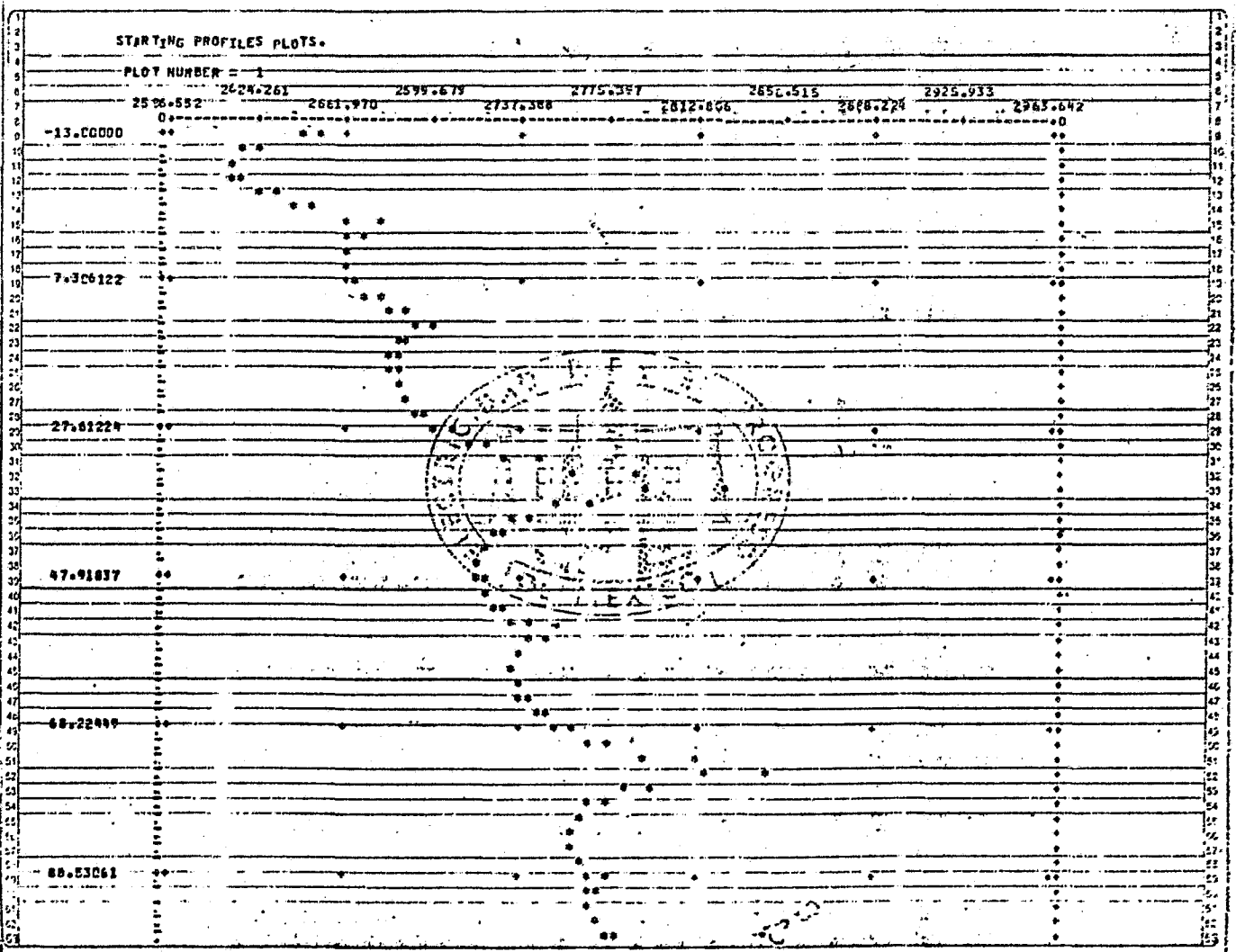
117.6122

137.9184

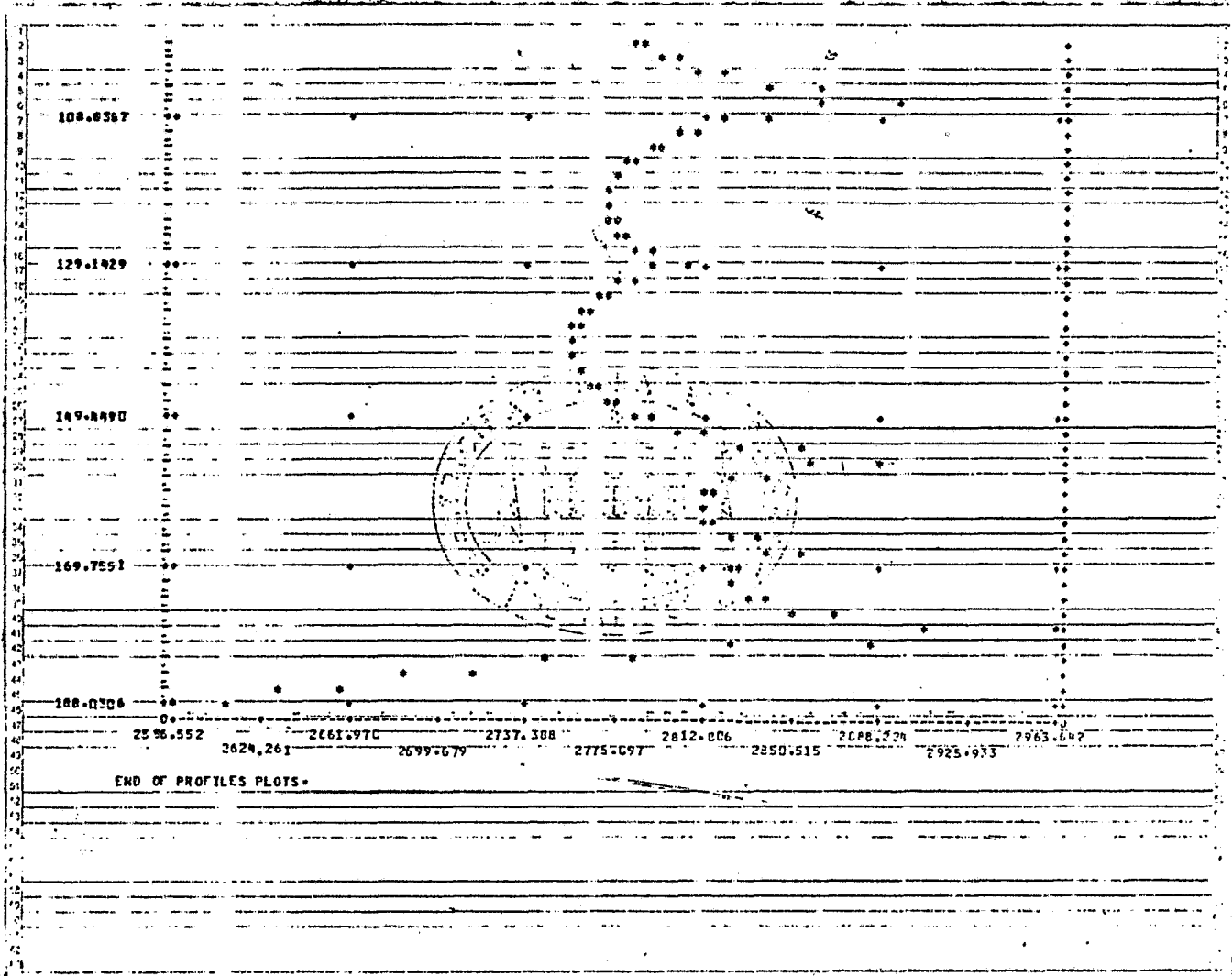
158.2245

178.5306





68



06

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER - 1

0461089 2688465 26202143 2684680 27492217 28742291 3007366

-129.0200

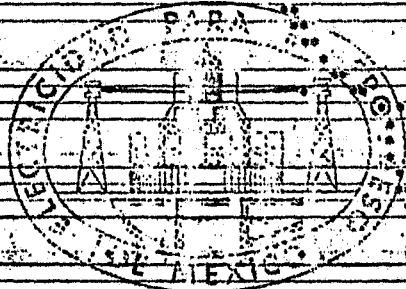
-100.0919

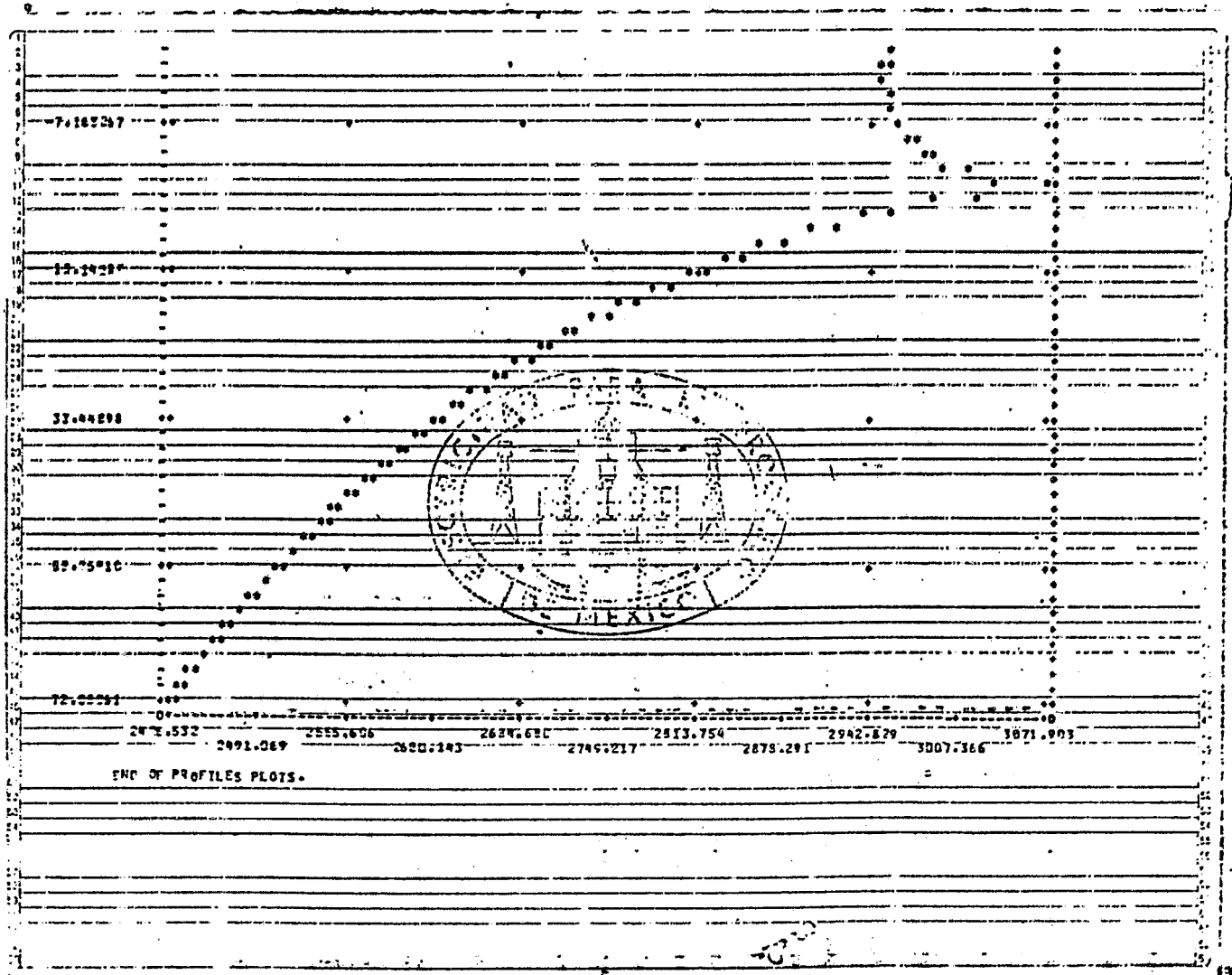
-80.30776

-60.08167

-47.77551

-27.4643





7.18227

12.2428

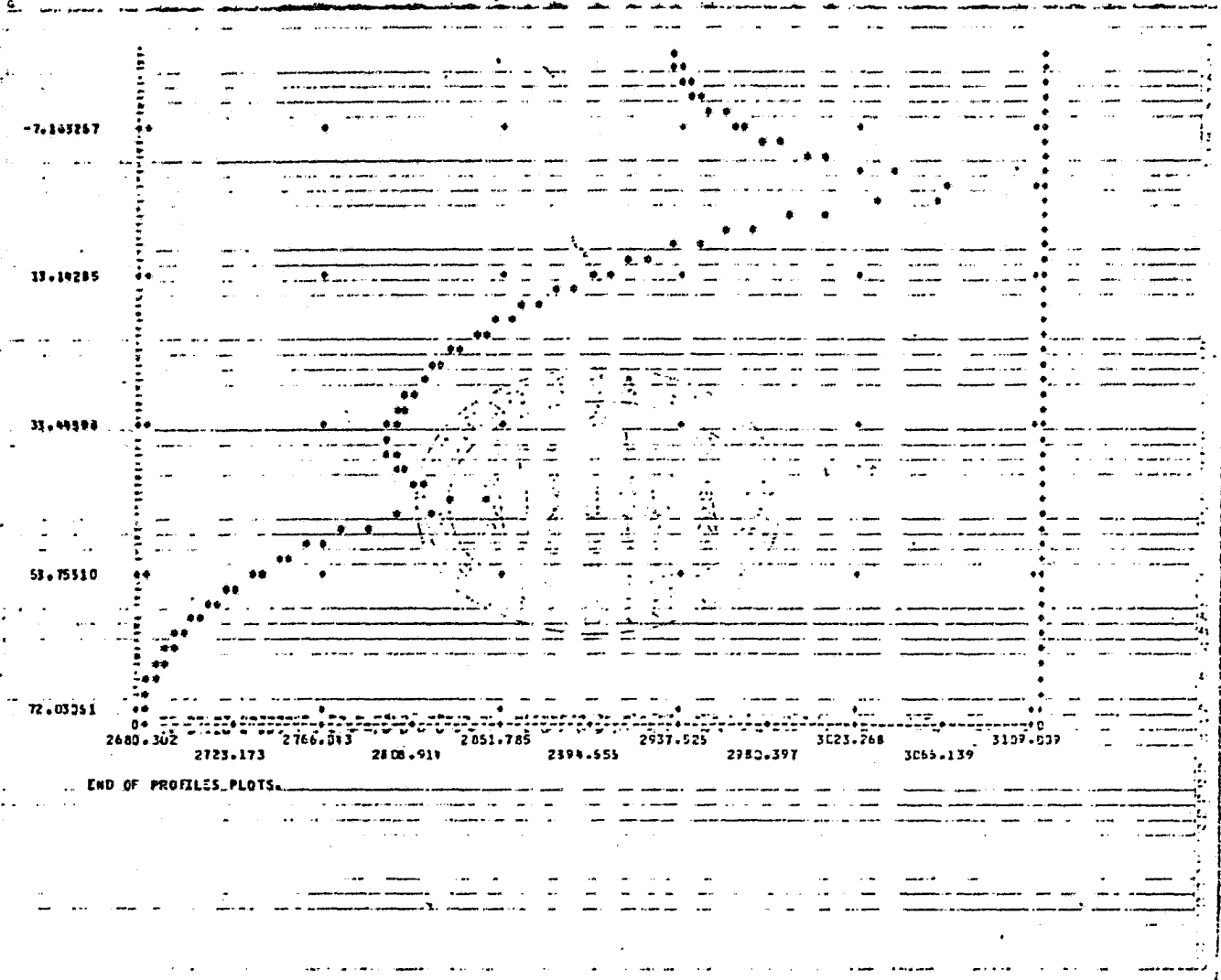
31.44298

49.7510

72.02291

2471.532 2491.069 2515.606 2540.143 2564.680 2589.217 2613.754 2638.291 2662.828 2687.365 2711.902

END OF PROFILES PLOTS.



STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1

2680.302 2723.173 2766.043 2808.914 2851.785 2894.655 2937.526 2980.397 3023.268 3066.139 3109.009

-129.0030

-108.6939

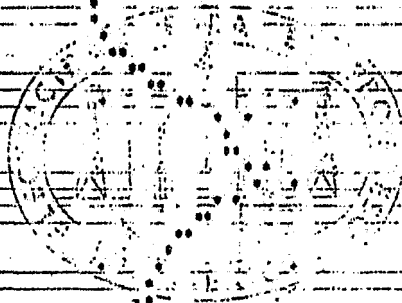
-88.3876

-68.0813

-47.7751

-27.4689

94



STARTING PROFILES PLOTS.

Plot NUMBER = 1

1574.816 1838.167 2327.519 2356.876 3614.221
1849.181 1768.492 1947.883 2227.194 2486.595 2785.897

71.00000

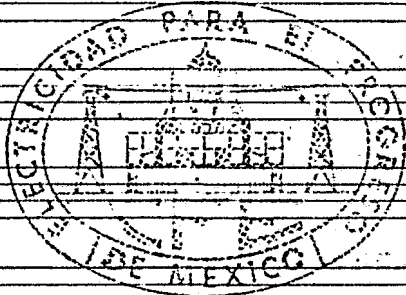
91.30612

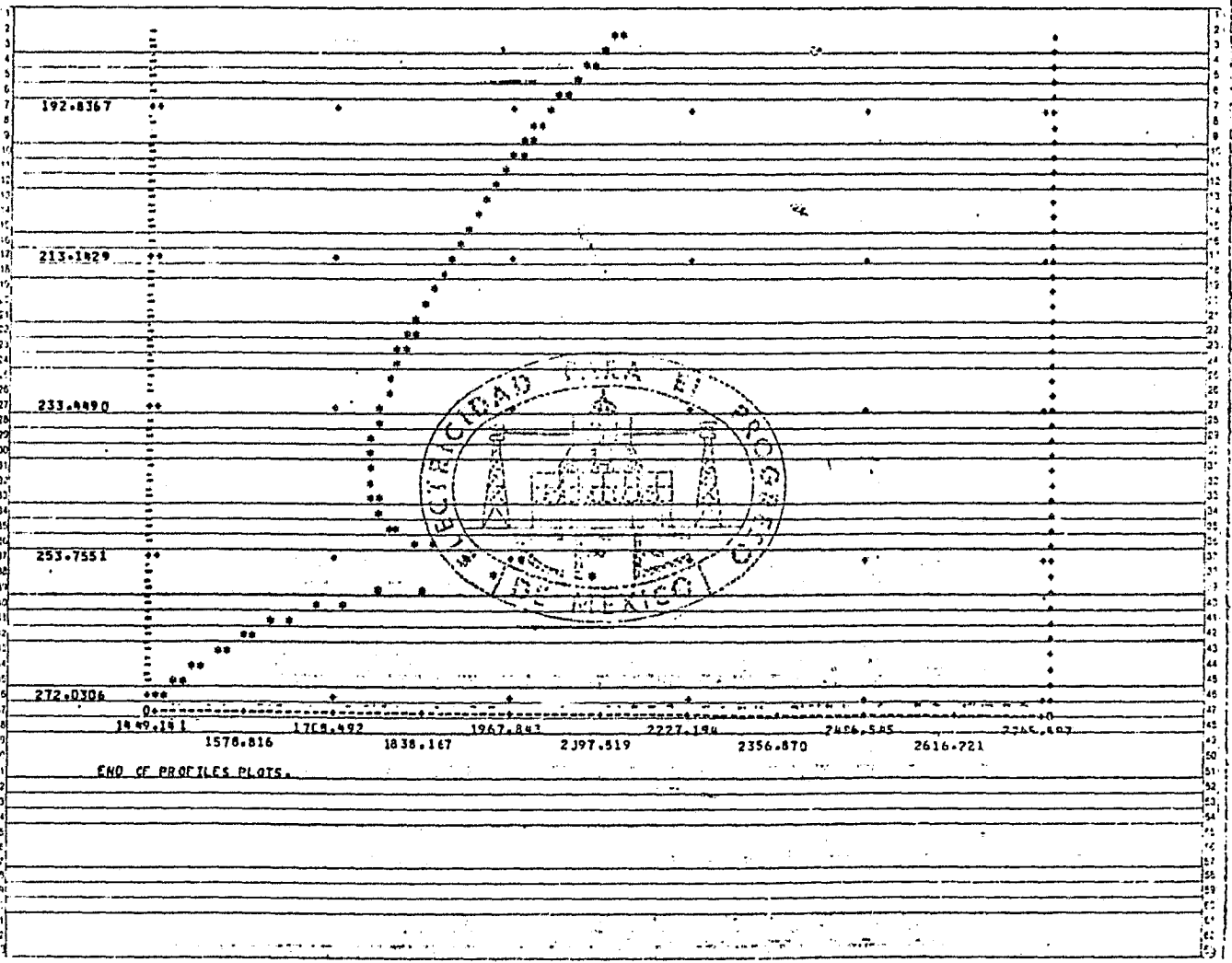
111.6122

131.9183

152.2245

172.5306





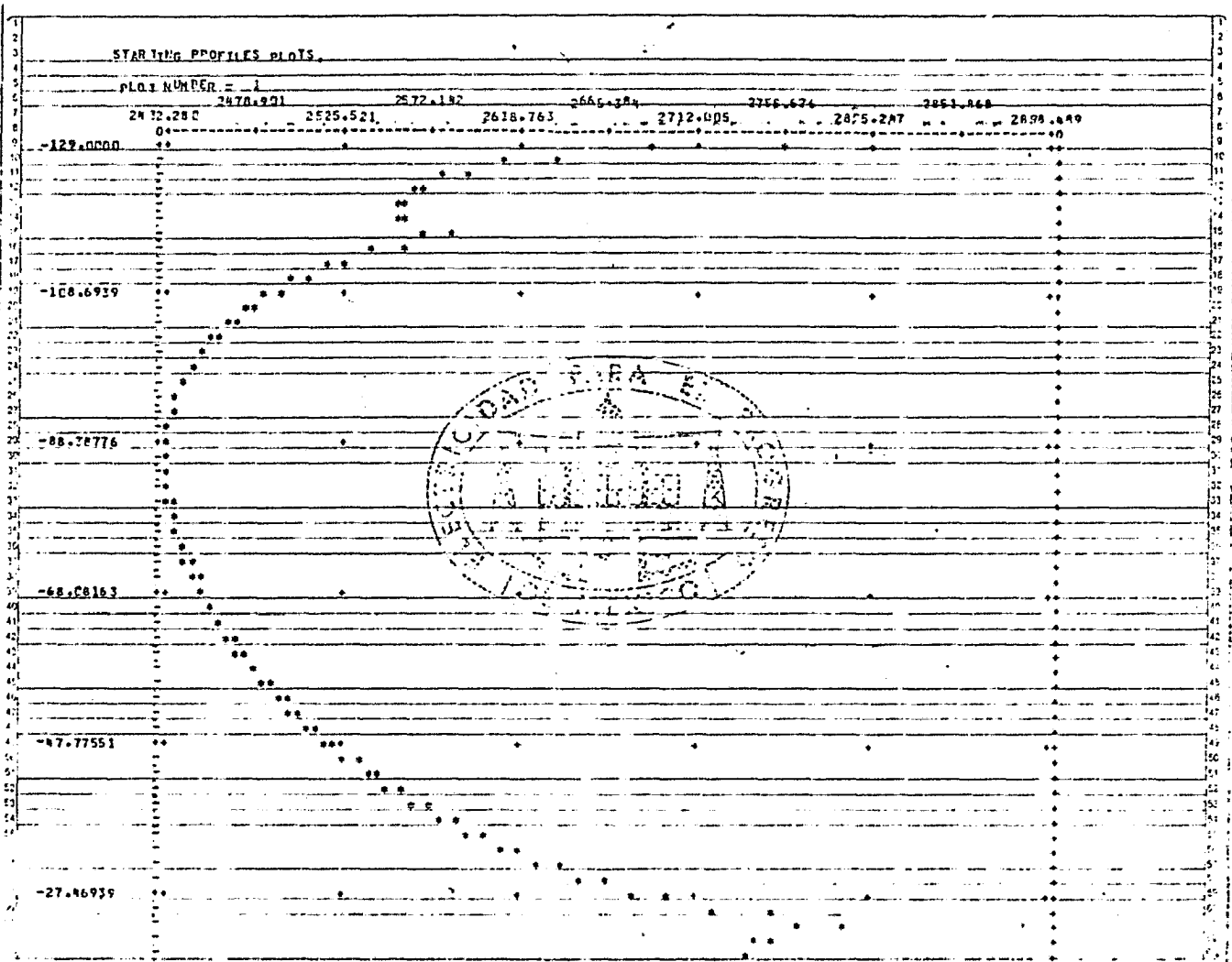
192.8367

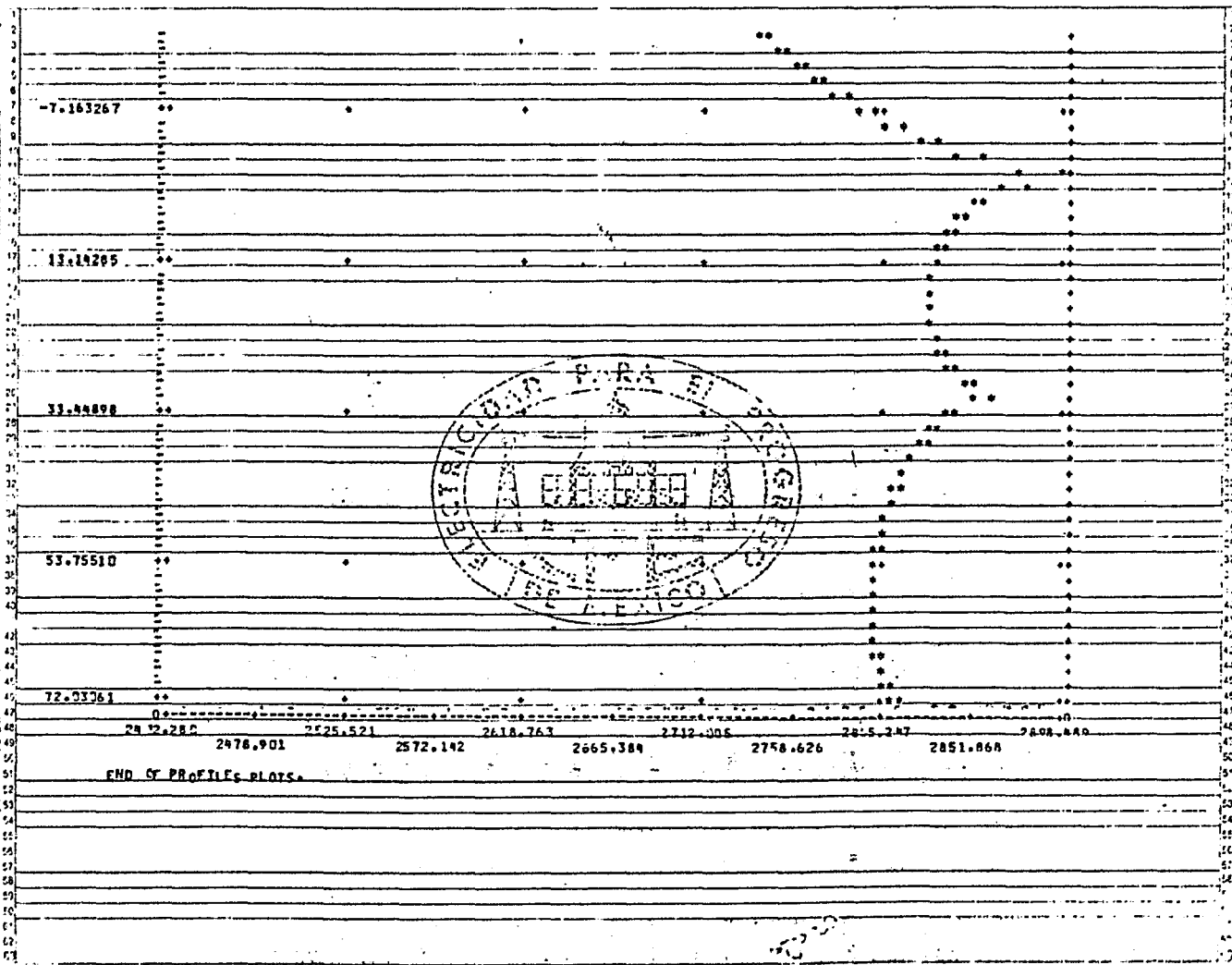
213.1829

233.0490

253.7551

272.0306





-7.163267

13.19265

33.88898

53.75510

72.93361

END OF PROFILE PLOTS.

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1

1348.857 1536.529 1664.401 1822.173 1979.945 2137.717 2295.489 2453.261 2611.033 2768.805 2926.577

71.00000

91.30612

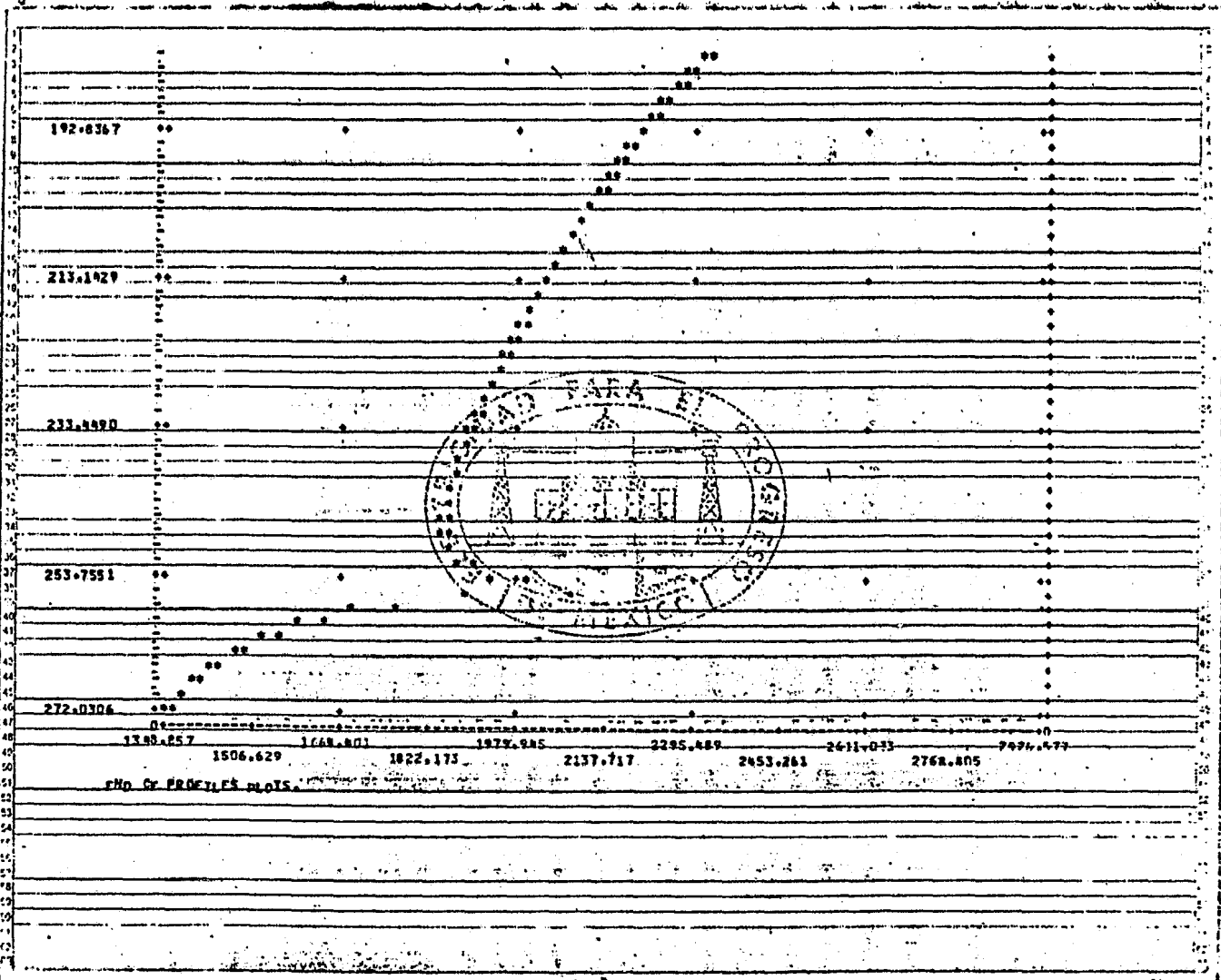
111.6122

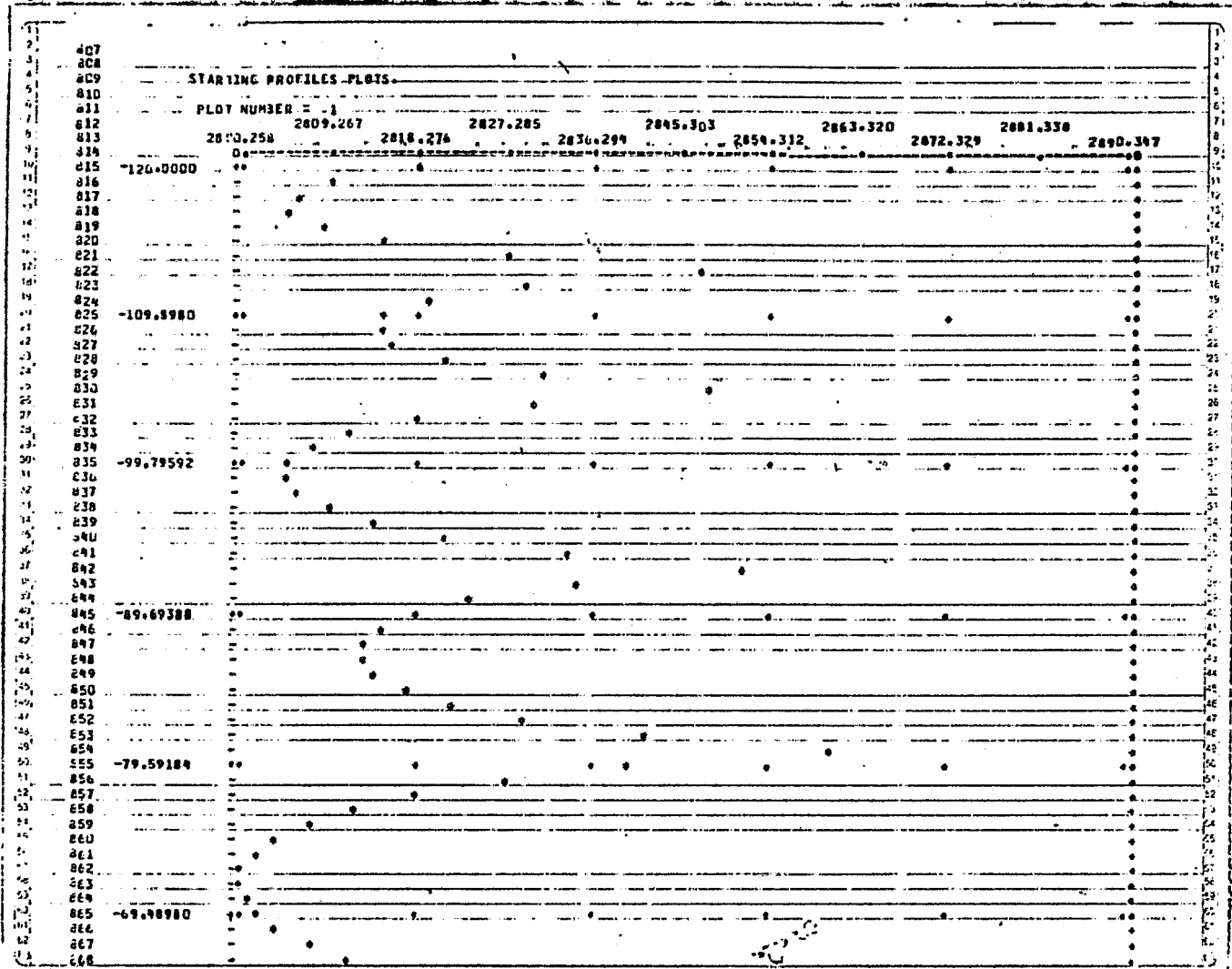
131.9184

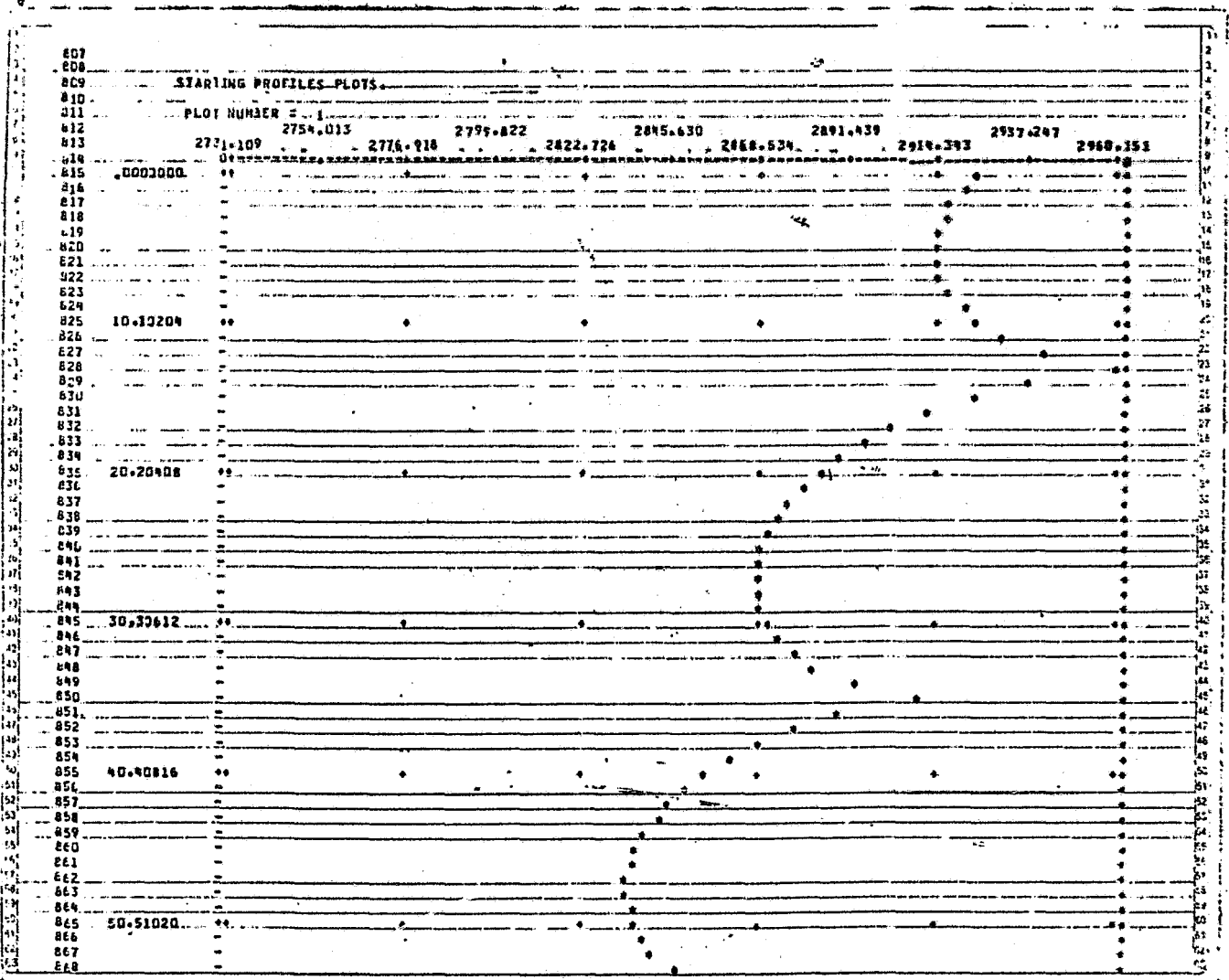
152.2245

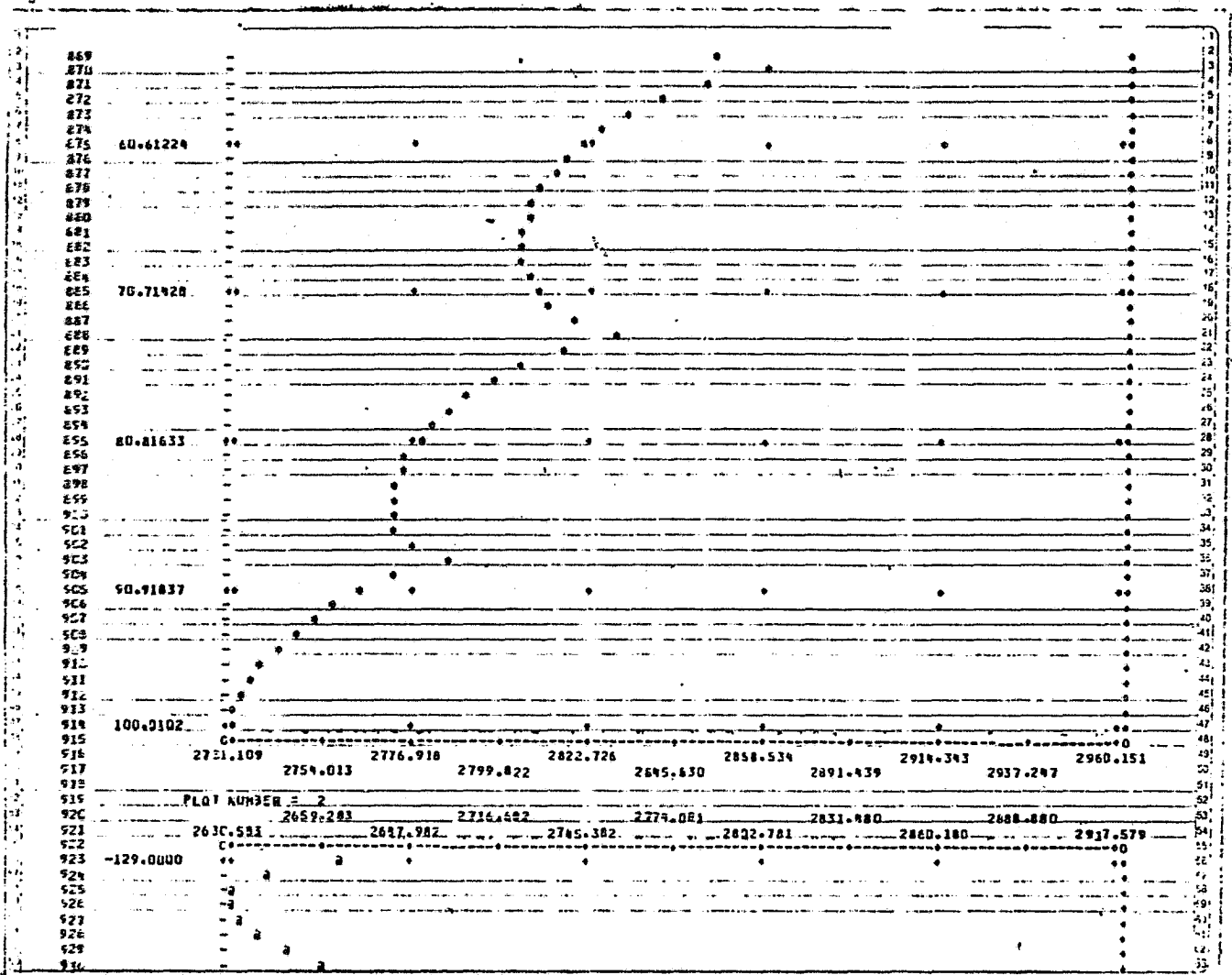
172.5306











STARTING PROFILES PLOTS

PLOT NUMBER = 1

2731.109 2754.013 2779.822 2802.726 2845.633 2891.439 2937.247 2980.151

0000300

10.10204

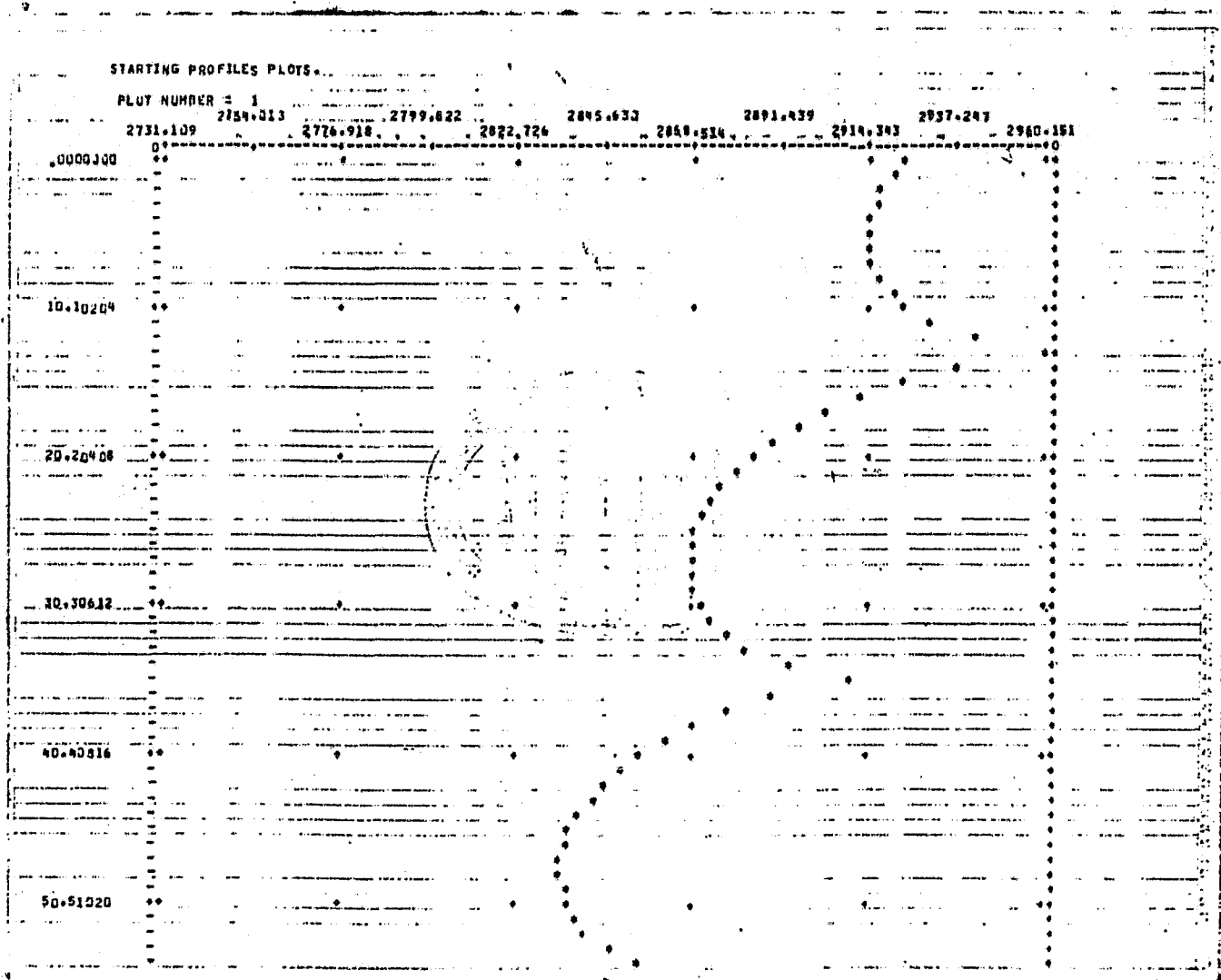
20.20408

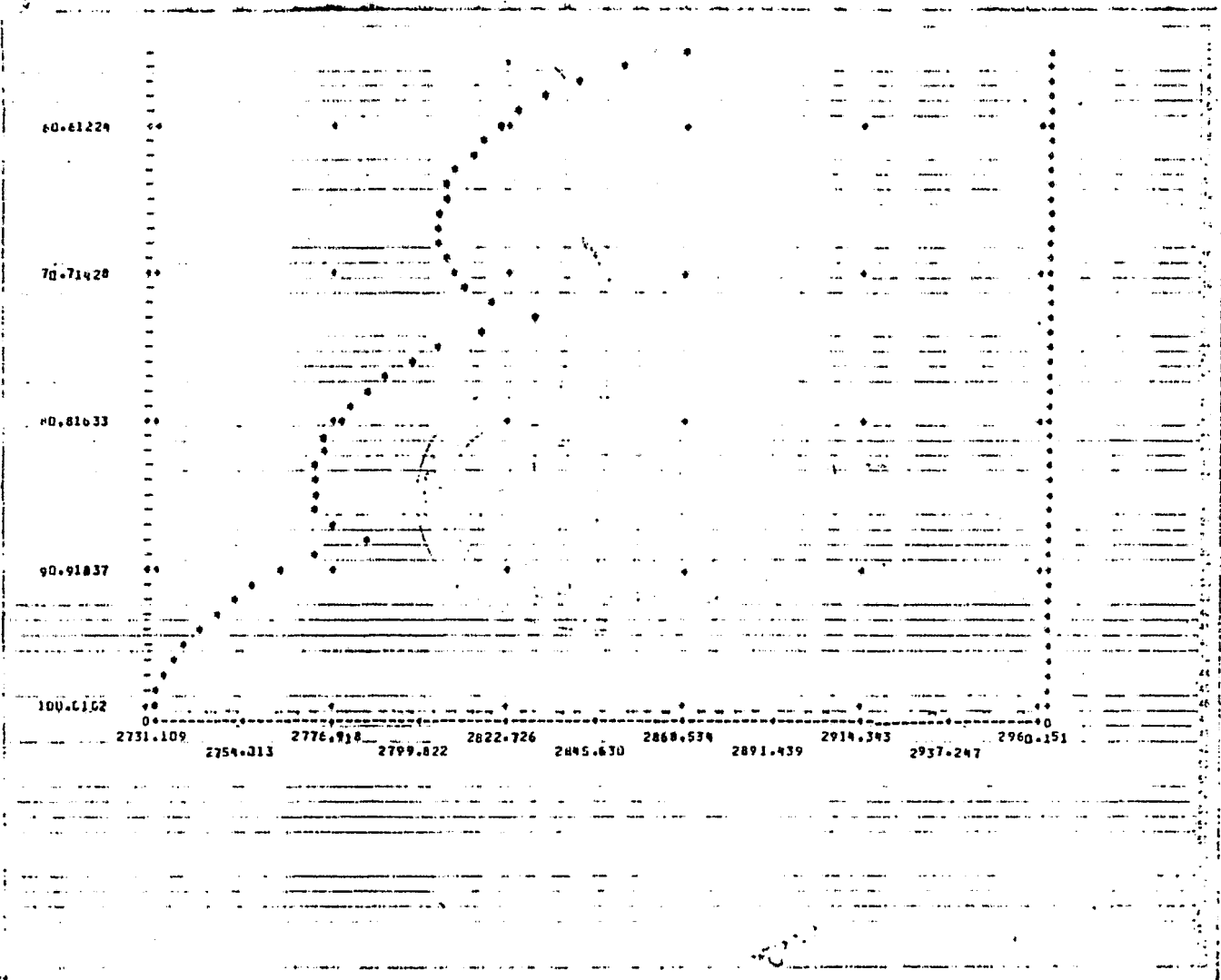
30.30612

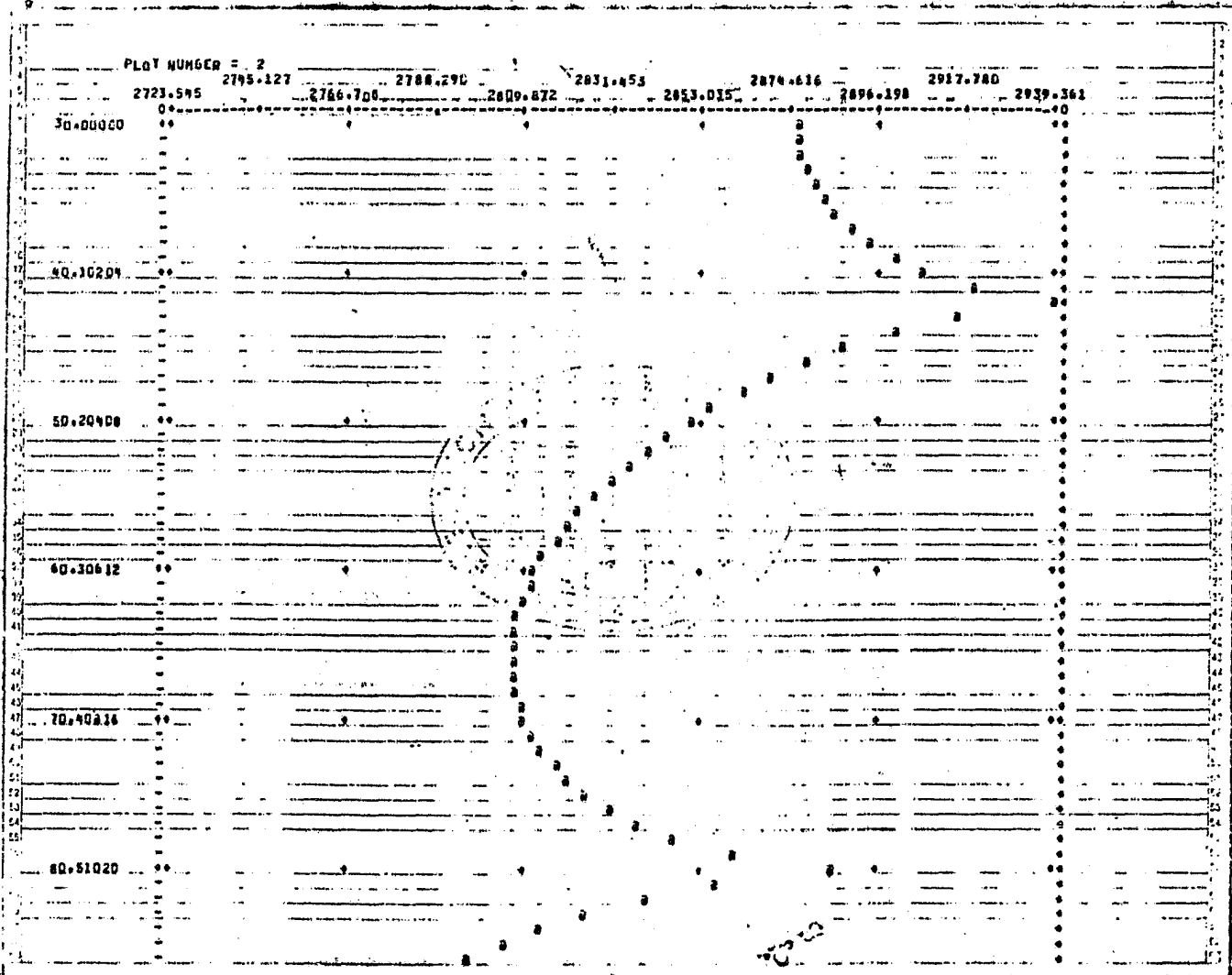
40.40816

50.51020

109







PLOT NUMBER = 2

2723.545 2745.127 2766.708 2788.290 2809.872 2831.455 2853.037 2874.616 2896.198 2917.780 2939.361

30.00000

40.10204

50.20408

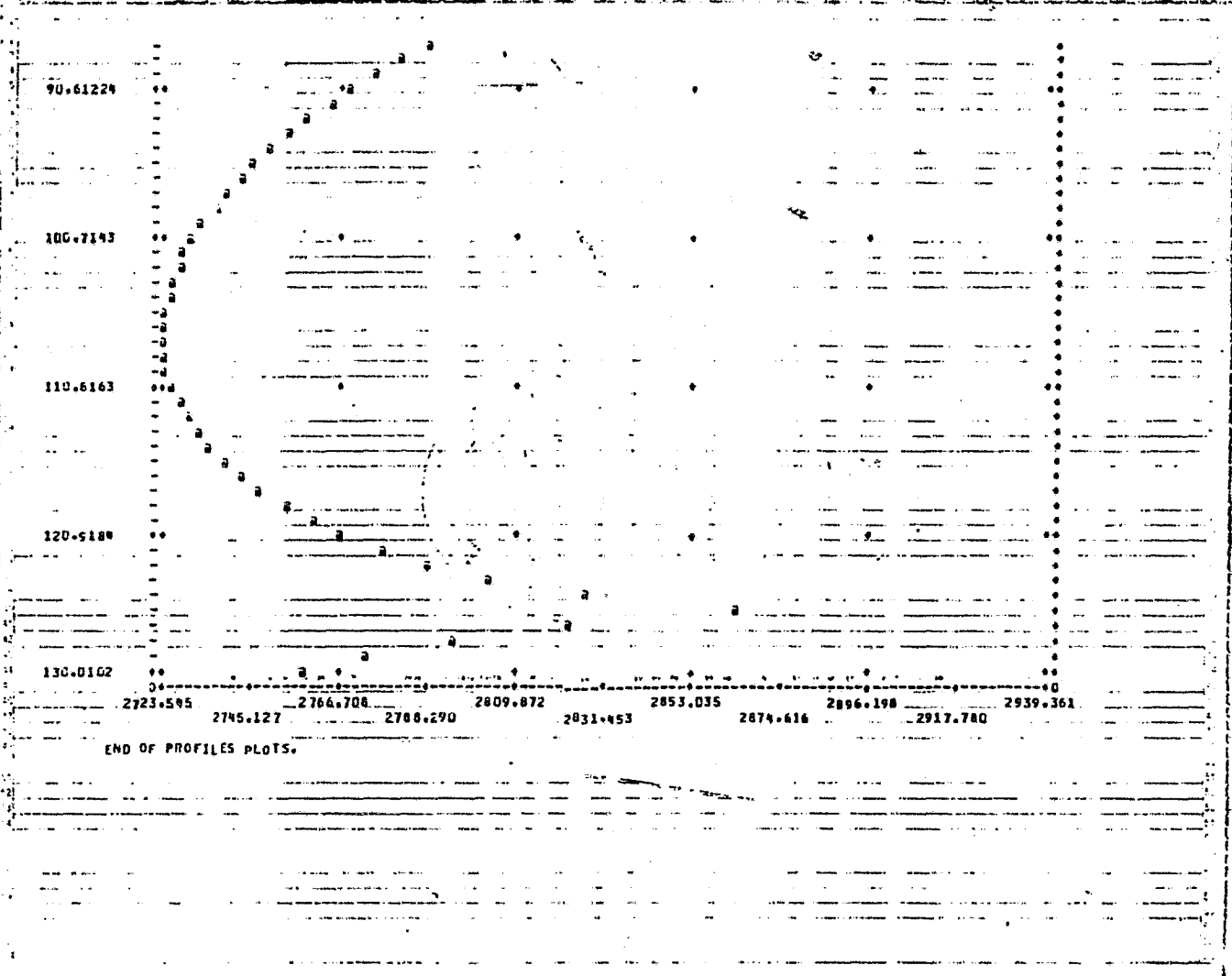
60.30612

70.40816

80.51020

III

2030



LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PERFI-
LES DE POTENCIALES DE PASO ENCONTRADOS
A SEPARACIONES DE UN METRO SON MUY BA-
JOS, LO QUE INDICA QUE SE ESTÁ CUMPLIEN-
DO CON LA NORMA DE SEGURIDAD PARA LOS --
SERES VIVOS QUE SE ENCUENTREN EN EL --
ÁREA DE LA SUBESTACIÓN EN EL MOMENTO -
QUE SE PRESENTE LA FALLA.

III.4.- MATERIALES Y COSTOS.

III.4.1.- PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN.

PARA REALIZAR EL ANÁLISIS ECONÓMICO, - PARTIENDO DE LA CONSIDERACIÓN DE UN -- PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN PARA INSTALAR EL SISTEMA DE TIERRAS EN LA SUBESTA--- CIÓN "TECALI".

EL COSTO REAL DE LA INSTALACIÓN QUEDA- AFECTADO DE UN GRAN NÚMERO DE COSTOS - INDIRECTOS, LOS CUALES SON ORIGINADOS- POR: DISEÑO, ALMACENAJE, TRANSPORTE, - ETC. APLICAREMOS UN FACTOR EQUIVALEN- TE AL 35% DEL TOTAL DEL COSTO DIRECTO, PARA TOMARLO COMO EL MONTO DEL COSTO - INDIRECTO,

EL PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTE- MA DE TIERRAS INCLUYE DESDE EL TRAZO Y LOCALIZACIÓN DE CONDUCTORES, VARILLAS, REGISTROS Y TODOS LOS CONCEPTOS INHE-- RENTES A LA INSTALACIÓN HASTA LLEGAR A LA CONEXIÓN DE LOS EQUIPOS. LOS TRABA- JOS DE LIMPIEZA Y NIVELACIÓN SE CONSI- DERAN ATRIBUIBLES A LOS COSTOS DE INS- TALACIÓN DE LA SUBESTACIÓN EN SÍ.

DEBIDO A QUE ESTE ANÁLISIS PRETENDE -- REALIZAR UNA COMPARACIÓN DE COSTOS DE- CONSTRUCCIÓN, ENTRE EL DISEÑO POR EL - MÉTODO CONVENCIONAL Y EL REALIZADO POR COMPUTADORA, SE INCLUYEN LOS PROGRAMAS DE CONSTRUCCIÓN CORRESPONDIENTES.

PROGRAMA DE CONSTRUCCION
METODO DIGITAL

TRABAJO A DESARROLLAR	M E S E S											
	1				2				3			
TRAZO Y LOCALIZACIÓN DE ZANJAS, - REGISTROS, ETC.	████████████████											
EXCAVACIÓN DE 40 X 40 CM. A LO - LARGO DEL TENDIDO DEL CABLE.	████████████████████████████████											
EXCAVACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE RE- GISTROS.					██████████							
COLOCACIÓN DE VARILLAS DE TIERRA.					████████████████████████████████							
TENDIDO DEL CABLE PARA LA MALLA - PRINCIPAL.					████████████████████████████████							
CONEXIONES DEL CABLE DE LA MALLA - PRINCIPAL EN CRUZAMIENTOS Y A LAS VARILLAS.					████████████████████████████████							
TENDIDO Y CONEXIÓN DE LOS CABLES - QUE SERVIRÁN DE CONEXIÓN DEL EQUIPO A LA MALLA PRINCIPAL.									██████████			
TAPADO DE ZANJAS Y APISONADO DEL - TERRENO.									████████████████			

DE ACUERDO AL PROGRAMA, EL PERSONAL --
 NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE ESTE --
 TRABAJO, SE COMPONE DE LAS ESPECIALIDA
 DES Y CATEGORÍAS SIGUIENTES:

	SALARIO DIARIO	SALARIO SEMANAL
1 SUPERVISOR	\$ 1,100.00	\$ 7,700.00
1 TOPÓGRAFO	\$ 1,000.00	\$ 7,000.00
1 CADENERO	\$ 640.00	\$ 4,480.00
1 ESTADALERO	\$ 750.00	\$ 5,250.00
1 ELECTRICISTA DE 1A.	\$ 1,000.00	\$ 7,000.00
1 ELECTRICISTA DE 2A.	\$ 700.00	\$ 4,900.00
1 ALBAÑIL	\$ 750.00	\$ 5,250.00
1 PEÓN	\$ 450.00	\$ 3,150.00
1 AYUDANTE ELECTRICISTA	\$ 500.00	\$ 3,500.00

III.4.2.- COSTO DE MANO DE OBRA.

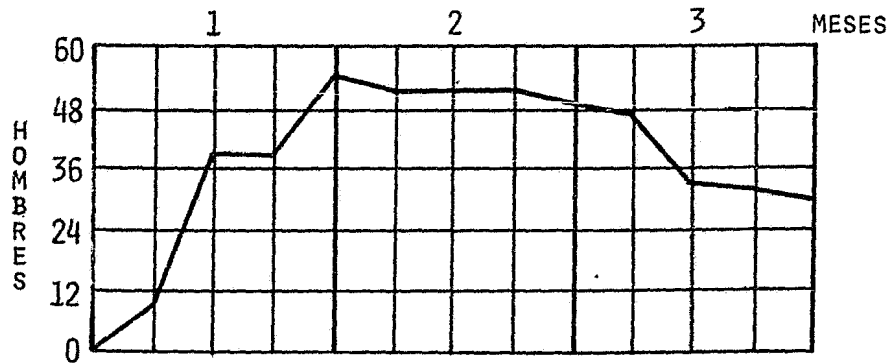
EN BASE A ESTE PERSONAL SE ELABORÓ UNA
 TABLA HOMBRES-MESES EN LA QUE SE APRE-
 CIA EL PERSONAL QUE SE EMPLEARÁ POR SE
 MANA, EL TOTAL DE SEMANAS POR ESPECIA-
 LIDAD Y LA CANTIDAD TOTAL EN PESOS QUE
 CORRESPONDAN A CADA UNA DE ELLAS.

SE PRESENTAN DOS TABLAS, UNA QUE CO---
 RRESPONDE AL COSTO DE MANO DE OBRA DE-
 CONSTRUCCIÓN, PARA EL DISEÑO POR EL --
 MÉTODO CONVENCIONAL Y OTRA PARA EL DI-

SEÑO DIGITAL. SE TOMA COMO BASE DE --
TIEMPO DE INSTALACIÓN TRES MESES EN --
LOS DOS CASOS.

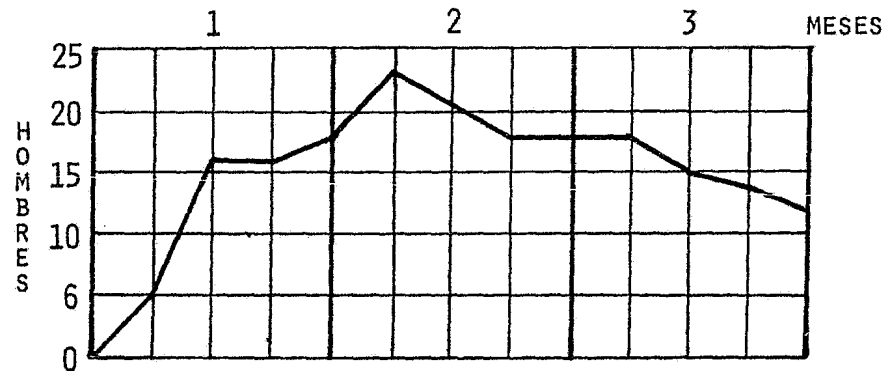
METODO CONVENCIONAL

ESPECIALIDAD	HOMBRES - MESES												COSTOS	
	1				2				3				SALARIO SEMANAL	IMPORTE
SUPERVISOR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	\$ 7,700	\$ 92,400
TOPÓGRAFO	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1			7,000	98,000
CADENERO	4	4	4	4	2	2	2	2					4,480	107,520
ESTADALERO	2	2	2	2	1	1	1	1					5,250	63,000
ELECTRICISTA DE 1A.				4	4	4	4	4	4	1	1		7,000	182,000
ELECTRICISTA DE 2A.				3	3	3	3	3	3				4,900	88,200
AYUDANTE DE ELEC.				9	9	9	9	9	9	1	1		3,500	196,000
ALBAÑIL					2	2	2						5,250	31,500
PEÓN		29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	3,150	1'004,850



METODO DIGITAL

ESPECIALIDAD	HOMBRES - MESES												COSTOS	
	1				2				3				SALARIO SEMANAL	IMPORTE
SUPERVISOR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	\$ 7,700	\$ 92,400
TOPÓGRAFO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			7,000	70,000
CADENERO	2	2	2	2	2	2							4,480	53,760
ESTADALERO	1	1	1	1	1	1							5,250	31,500
ELECTRICISTA DE 1A.					1	1	1	1	1	1	1		7,000	49,000
ELECTRICISTA DE 2A.					1	1	1	1	1				4,900	24,500
AYUDANTE DE ELEC.					3	3	3	3	3	1	1		3,500	59,500
ALBAÑIL				2	2								5,250	21,000
PEÓN		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	3,150	381,150



III.4.3.- MATERIALES.

A CONTINUACIÓN SE DETALLA LA LISTA DE MATERIALES UTILIZADOS PARA CONSTRUIR - LA RED DE TIERRAS, SEGÚN DISEÑO CORRESPONDIENTE.

LISTA DE MATERIALES

LOTE	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO \$	IMPORTE	
	MET. CONV.	MET. DIG.				CONV: \$	DIG. \$
1	57	51	PZA.	VARILLA DE TIERRA - COPPERWELD DE 16 MM. Ø (5/8") POR 3 M. - DE LONGITUD.	2,390	136,230	121,890
2	20950	8000	M.	CABLE DE COBRE DE - 13.41 MM. Ø (4/0 --- AWG) DESNUDO DE 7 HILOS RECOCIDO SUA- VE.	475	9'951,250	3'800,000
3	2000	2000	M.	CABLE DE COBRE DE - 10.64 MM. Ø (2/0 --- AWG) DESNUDO DE 7 HILOS RECOCIDO SUA- VE.	430	860,000	860,000

4	18	2	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS, CONEXIÓN EN CRUZ -- HORIZONTAL DE 2 CA- BLES DE PASO DE -- 13,41 MM. Ø (4/0 -- AWG), SIMILAR AL -- CADWELD TIPO 'X' B -- CAT. NO. XBM-2Q2Q.	10,251	184,518	20,502
5	2	2	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS, CONEXIÓN EN 'T' HO- RIZONTAL CABLE DE -- PASO Y TOPE DE 13,41 MM. Ø (4/0 AWG), SI- MILAR AL CADWELD TI- PO 'T' A CAT. NO. -- TAC-2Q2Q.	4,079	8,158	8,158
6	6	6	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS EN 'T' HORIZONTAL -- DE UN CABLE DE PASO DE 13,41 MM. Ø (4/0 AWG) A UNA DERIVA-- CIÓN DE 10,64 MM. Ø (2/0 AWG), SIMILAR-- AL CADWELD TIPO 'T' A CAT. NO. TAC-2Q2Q.	4,079	24,474	24,474

7	2	2	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS CONEXIÓN CABLE DE -- PASE 13.41 MM. Ø -- (4/0 AWG) A VARILLA DE TIERRA DE 16 MM. Ø (5/8") SIMILAR AL CADWELD TIPO 'G'T - CAT. NO. GTC-162Q.	4,079	8,158	8,158
8	2	2	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS PARA CONEXIÓN DE UN CABLE TOPE DE COBRE DE 13.41 MM. Ø (4/0 AWG) A UNA VARILLA- DE 16 MM. Ø (5/8")- SIMILAR AL CADWELD- TIPO 'G'R CAT. NO.- GRC-162Q.	4,079	8,158	8,158
9	1	1	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS PARA CONEXIÓN DE UN CABLE 10.64 MM. Ø - (2/0 AWG) A SUPERFI CIE PLANA DE ACERO- (RIEL) SIMILAR AL - CADWELD TIPO 'R'X - CAT. NO. RXC-2G.	4,079	4,079	4,079

10	2	2	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS PARA CONEXIÓN DE UN CABLE DE 10.64 MM.- Ø (2/0 AWG), A SU-- PERFICIE PLANA DE -- ACERO (ESTRUCTURAS) SIMILAR AL CADWELD-- TIPO 'V'S CAT. NO.- VSC-2G.	4,079	8,158	8,158
11	2	2	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS PARA CONEXIÓN DE UN CABLE DE 10.64 MM.- Ø (2/0 AWG) A TUBO-- (CERCA) SIMILAR AL-- CADWELD TIPO 'V'S-- CAT. NO. VSC-2G-V3C.	4,079	8,158	8,158
12	4	4	PZA.	MOLDE PARA HACER -- CONECTORES FUNDIDOS PARA CONEXIÓN DE -- CABLE DE 10.64 MM.- Ø (2/0 AWG) A ZAPA-- TA SIMILAR AL CAD-- WELD TIPO 'G'L CAT. NO. GLC-CE-2G.	4,079	16,316	16,316

13	101	100	PZA.	CARTUCHO DE POLVO - ESPECIAL PARA HACER CONECTORES FUNDIDOS, SIMILAR AL CADWELD- # 150, PARA UTILI-- ZARSE EN LOTE NO. 5.	475	47,975	47,500
14	30	30	PZA.	CARTUCHO DE POLVO - ESPECIAL PARA HACER CONECTORES FUNDIDOS, SIMILAR AL CADWELD- # 90 - F33, PARA -- UTILIZARSE EN LOTE- NO. 9.	342	10,260	10,260
15	490	490	PZA.	CARTUCHO DE POLVO - ESPECIAL PARA HACER CONECTORES FUNDIDOS SIMILAR AL CADWELD- # 90, PARA UTILIZAR SE EN LOTES NOS. 6, 8, 10 Y 11.	298	146,020	146,020
16	930	100	PZA.	CARTUCHO DE POLVO - ESPECIAL PARA HACER CONECTORES FUNDIDOS SIMILAR AL CADWELD- # 250, PARA UTILI-- ZARSE EN EL LOTE NO. 4.	683	635,190	68,300

17	57	51	PZA.	CARTUCHO DE POLVO - ESPECIAL PARA HACER CONECTORES FUNDIDOS SIMILAR AL CADWELD- # 115, PARA UTILI- ZARSE EN LOTE NO. 7,	373	21,261	19,023
18	220	220	PZA.	CARTUCHO DE POLVO - ESPECIAL PARA HACER CONECTORES FUNDIDOS SIMILAR AL CADWELD- # 45, PARA UTILIZAR SE EN LOTE NO. 12,	181	39,820	39,820
19	3	3	PZA.	PINZAS DE SUJECIÓN- PARA MOLDES SIMILAR A LA CADWELD L-160,	5,650	16,950	16,950
20	2	2	PZA.	CAJA DE HERRAMIEN- TAS ESPECIALES CON- EL EQUIPO NECESARIO PARA HACER CONECTO- RES FUNDIDOS SIMI- LAR A LA CADWELD NO. T-315,	4,263	8,526	8,526

TOTALES:

12'143,659 5'244,450

III.4.4.- COSTO TOTAL.

MÉTODO CONVENCIONAL:

COSTO MANO DE OBRA.	\$ 1'863,470.00
COSTO DE MATERIALES.	<u>\$ 12'143,659.00</u>
SUBTOTAL:	\$ 14'007,129.00
+35 % DE INDIRECTOS.	<u>\$ 4'902,624.20</u>
TOTAL:	\$ 18'909,624.20

MÉTODO DIGITAL:

COSTO MANO DE OBRA.	\$ 782,810.00
COSTO DE MATERIALES.	<u>\$ 5'244,450.00</u>
SUBTOTAL:	\$ 6'027,260.00
+35 % DE INDIRECTOS.	<u>\$ 2'109,541.00</u>
TOTAL:	\$ 8'136,801.00

CONCLUSIONES.-

LOS OBJETIVOS PLANTEADOS EN ESTE TRABAJO, SE FUNDAMENTARON CONSIDERANDO TODA LA INFORMACIÓN EXISTENTE EN EL CAMPO QUE ABORDAMOS PARA DISEÑAR OPTIMAMENTE LA RED DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

SE REVISAN LOS FACTORES QUE PROVOCAN UN ACCIDENTE AL PRESENTARSE UNA FALLA QUE GENERE SOBREVOLTAJE Y PONGA EN PELIGRO LA SEGURIDAD DEL PERSONAL Y DEL EQUIPO INSTALADO.

EN VIRTUD DE QUE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DE FALLA ESTÁ FUERA DE NUESTRO CONTROL, DEJA COMO ALTERNATIVA REDUCIR AL MÁXIMO EL VALOR DE LA RESISTENCIA A TIERRA, PARA QUE LOS ELEMENTOS Y TODAS LAS PARTES METÁLICAS CONECTADAS A LA RED SE ENCUENTREN AL POTENCIAL DE SEGURIDAD ESTIPULADO EN LAS NORMAS DE DISEÑO.

ESTA PRIMERA CONCLUSIÓN MARCA UNA IMPORTANCIA SOBRE LOS PARÁMETROS REALES INICIALES DEL DISEÑO DE LA RED, ENCONTRANDO QUE UNO DE LOS MÉTODOS MAS CONFIABLES EN LA PRÁCTICA PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO ES EL LLAMADO MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS O MÉTODO DE WENNER.

AÚN CUANDO LOS DOS MÉTODOS DE CÁLCULO QUE ANALIZAMOS EN ESTE TRABAJO, PARTAN DE VALORES DE RESISTIVIDAD DEL SUELO OBTENIDOS DE MEDICIONES DIRECTAS DE CAMPO, EXISTE UNA SITUACIÓN DESFAVORABLE EN EL MÉTODO CONVENCIONAL, YA QUE NO SE MANEJA UN MODELO ESTRATIFICADO DE RESISTIVIDAD DE DOS CAPAS HOMOGÉNEAS, LO CUAL SE LOGRA CON LA AYUDA DE LA COMPUTADORA DIGITAL COMO HERRAMIENTA DE TRABAJO Y CON EL PROGRAMA "RESIS" COMO ELEMENTO DE CÁLCULO.

EL DISEÑO DE REDES DE TIERRA POR EL MÉTODO CONVENCIONAL, TIENE COMO PUNTO DE PARTIDA LA DISPOSICIÓN DEL EQUIPO, ÉSTO TRAE COMO CONSECUENCIA QUE LA CANTIDAD DE CABLE QUE FORMA LA RED SEA MUY ELEVADA AL TENER UNA DISPOSICIÓN UNIFORME EN TODA EL ÁREA QUE -

COMPRENDE LA SUBESTACIÓN, ADEMÁS DE QUE NO ES POSIBLE CONOCER - EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LOS CONDUCTORES DURANTE LA FALLA, EN CAMBIO CON LA AYUDA DE LA COMPUTADORA Y AÚN CUANDO SE PARTE- DE LA DISPOSICIÓN DEL EQUIPO, ES POSIBLE CONOCER LA CORRIENTE - QUE CIRCULA EN CADA CONDUCTOR, SE CONOCE TAMBIÉN LA ELEVACIÓN - MÁXIMA DE POTENCIAL DE LA RED, EL VOLTAJE DE PASO Y EL VOLTAJE- DE TOQUE EN CUALQUIER PUNTO. LO ANTERIOR, PROPORCIONA BASES AL PROYECTISTA PARA ELEGIR LA DISPOSICIÓN Y PROFUNDIDAD DE LOS CON- DUCTORES ENTERRADOS, ASIMISMO, AUMENTAR O DISMINUIR EL NÚMERO - DE ÉSTOS, FACTORES QUE SE REFLEJAN EN LA INVERSIÓN PARA LA CONS- TRUCCIÓN DE LA RED DE TIERRAS.

EN EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE INVERSIÓN DE LA RED DE TIERRAS DE LA SUBESTACIÓN TECALI, SE OBSERVA QUE CON EL MÉTODO TRADICIONAL AUMENTA EL 133% RESPECTO AL DISEÑO OBTENIDO CON EL PROGRAMA --- "MALT".

LAS VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DESCRITAS, JUSTIFICAN LA --- UTILIZACIÓN GENERAL DE LOS PROGRAMAS DIGITALES "RESIS" Y "MALT".

REFERENCIAS

- C.F. DALZIEL. "THRESHOLD 60-CYCLE FIBRILLATING CURRENTS".
"REEVALUATION OF LETHAL ELECTRIC CURRENTS".
"A STUDY OF THE HAZARDS OF IMPULSE CURRENTS".
- F. WENNER. "A METHOD OF MEASURING EARTH RESISTIVITY".
- E.W. CARPENTER. "SOME NOTES CONCERNING THE WENNER CONFIGURATION".
- C. AND M. SCHLUMBERGER AND E. G. LEONARDON.
"A NEW CONTRIBUTION TO SUBSURFACE STUDIES BY MEANS OF ELECTRICAL MEASUREMENTS IN DRILL HOLES".
- E.T.B. GROSS, B. THAPER.
"GROUNDING GRIDS FOR HIGH VOLTAGE STATIONS".
- C.F. TAGG. "EARTH RESISTANCES".
"MEASUREMENTS OF THE RESISTANCE OF AN EARTH-ELECTRODE SYSTEM COVERING A LARGE AREA".
- J. GAGNOR, D. MUKHEDKAR.
"EARTH RESISTIVITY MEASUREMENTS IN A TWO LAYER-EARTH STRUCTURE".
- R. VELÁZQUEZ. "OBTENCIÓN DE UN MODELO ESTRATIFICADO DE DOS CAPAS DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EMPLEANDO LA COMPUTADORA DIGITAL".
- H.N. NUNNALLY, E.B. JOY, R.P. WEBB AND A.P. MALIPOULS.
"COMPUTER SIMULATION FOR DETERMINING STEP AND TOUCH POTENTIALS RESULTING FROM FAULTS ON OPEN NEUTRAL IN URD CABLE".

- R.H. JEPPE. "COMPUTATION OF POTENTIAL OF SURFACE ABOVE AN --
ENERGIZED GRID OR OTHER ELECTRODE, ALLOWING --
NON-UNIFORM CURRENT DISTRIBUTION".
- P. KOUTEYNIKOFF. "NUMERICAL COMPUTATION OF THE GROUNDING RE--
SISTANCE OF SUBSTATIONS AND TOWERS".
- F. DAWALIBI AND D. MUKHEDKAR.
 - "OPTIMUM DESIGN OF SUBSTATION GROUNDING IN TWO-
LAYER EARTH STRUCTURE - PARTS I, II AND III".
 - "SUR LES CONDITIONS DE SIMULATION DES MISES A -
LA TERRE".
 - "MULTI-STEP ANALYSIS OF INTERCONNECTED GROUNDING
ELECTRODES".
 - "OPTIMUM DESIGN OF SUBSTATION GROUNDING IN TWO-
LAYER EARTH STRUCTURE".
 - "OPTIMUM DESIGN OF SUBSTATION GROUNDING IN A --
TWO LAYER EARTH STRUCTURE".
 - "OPTIMUM DESIGN OF SUBSTATION GROUNDING A TWO -
LAYER EARTH STRUCTURE".
 - "RESISTANCE CALCULATION OF INTERCONNECTED GROUNDING
ELECTRODES".
 - "TRANSFERRED EARTH POTENTIALS IN POWER SYSTEMS".
 - "GROUND ELECTRODE RESISTANCE MEASUREMENTS IN --
NONUNIFORM SOILS".
 - "GROUND FAULT CURRENT DISTRIBUTION IN POWER ---
SYSTEMS-THE NECESSARY LINK".
 - "PARAMETRIC ANALYSIS OF GROUNDING GRIDS".
 - "INFLUENCE OF GROUND RODS ON GROUNDING GRIDS".
 - "ÉTUDE SUR MODÈLE RÉDUIT D'UNE PRISE DE TERRE -
DANS UN SOL NON HOMOGÈNE".
 - "INFLUENCE DU SOL SUR LE COMPORTEMENT ÉLECTRI--
QUE DES RESEAUX D'ÉNERGIE".

- A.P. MELIPOULS, R.P. WEBB, E.B. JOY.
"ANALYSIS OF GROUNDING SYSTEMS".
- D. MUKHEDKAR, Y. GERVAIS, F. DAWALIBI.
"MODELLING OF POTENTIAL DISTRIBUTION AROUND A -
GROUNDING ELECTRODE".
- M. BOUCHARD, F. DAWALIBI, D. MUKHEDKAR.
"SURVEY ON GROUND RESISTANCE AND EARTH RESISTI-
VITY MEASUREMENTS".
- A.B. STURTON, R. BRETON, F. DAWALIBI, J. LEMAY.
"GROUNDING IN THE POLAR PLAIN".
- F. DAWALIBI, A. EPP.
"COMPUTER SOLUTIONS TO STATION GROUNDING PRO-
BLEMS".
- D. MUKHEDKAR, Y. GERVAIS, F. DAWALIBI.
"DISTRIBUTION DE POTENTIEL AUTOUR D'UNE PRISE -
DE TERRE".