



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

RAMON GUILLERMO LARA RODRIGUEZ

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	51
III.1	51
III.2	58
III.3	65
III.3.1	69
III.3.2	74
III.3.3	80
III.3.3.1	80
III.4	114
III.4.1	114
III.4.2	117
III.4.3	121
III.4.4	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 PROTEC---

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 DIFEREN TES 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 MA.

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 MA PARA T=1 SEG. Y 367 MA 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 MA 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 CUAN-- TOS MINUTOS O MÁS SIN LA SEGURIDAD DE UN -- RESCATE RÁPIDO.

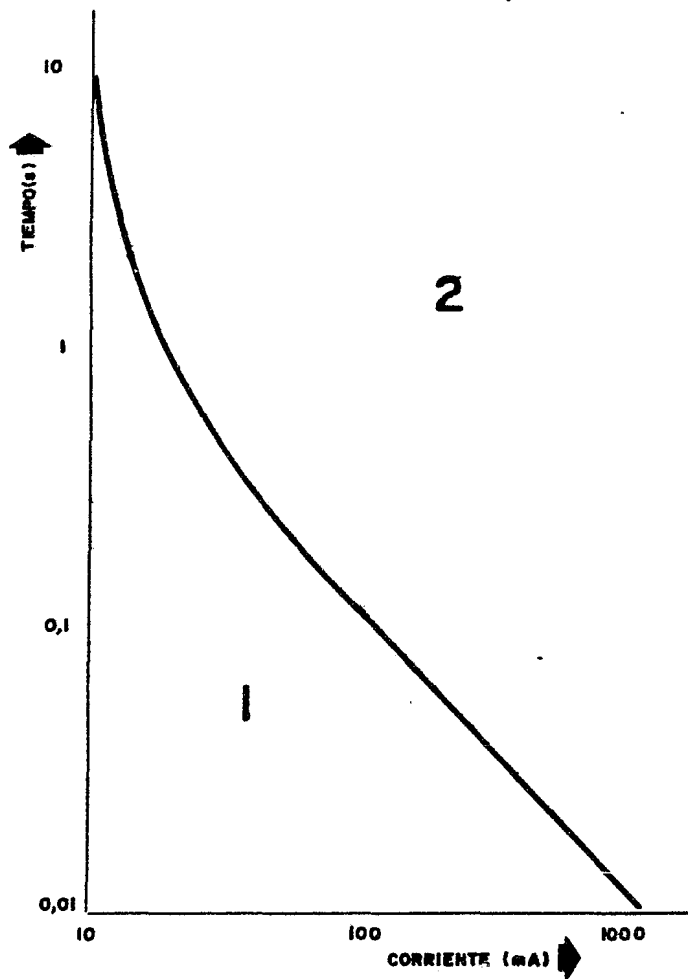
EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CUERPO HUMANO

CORRIENTE QUE ATRA-
VIESA 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 (LIBERA- CIÓN). DE TODAS FORMAS, LA CORRIEN TE NO ES MORTAL.
10 A 50	LA CORRIENTE NO ES MORTAL SI SE -- APLICA DURANTE INTERVALOS DECRE--- CIENTES A MEDIDA QUE AUMENTA SU IN TENSIDAD (VER LA CURVA DE PELIGRO- SIDAD), DE LO CONTRARIO, LOS MUS-- CULOS DEL APARATO RESPIRATORIO SE- VEN AFECTADOS POR CALAMBRES QUE -- PUEDEN PROVOCAR LA MUERTE POR AS-- FIXIA.
50 A 500	CORRIENTE DECIDIDAMENTE PELIGROSA, EN FUNCIÓN CRECIENTE CON LA DURA-- CIÓN DEL CONTACTO, QUE DA LUGAR A- LA FIBRILACIÓN CARDIACA (FUNCIONA- MIENTO IRREGULAR CON CONTRACCIONES MUY FRECUENTES E INEFICACES). POSI BLE DEFUNCIÓN DEL INDIVIDUO.
MÁS DE 500	DECRECE LA POSIBILIDAD DE FIBRILA- CIÓN PERO AUMENTA EL RIESGO DE --- MUERTE POR PARÁLISIS DE LOS CEN--- TROS NERVIOSOS A CAUSA DE FENÓME-- NOS 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 POCA 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 TENSION 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.

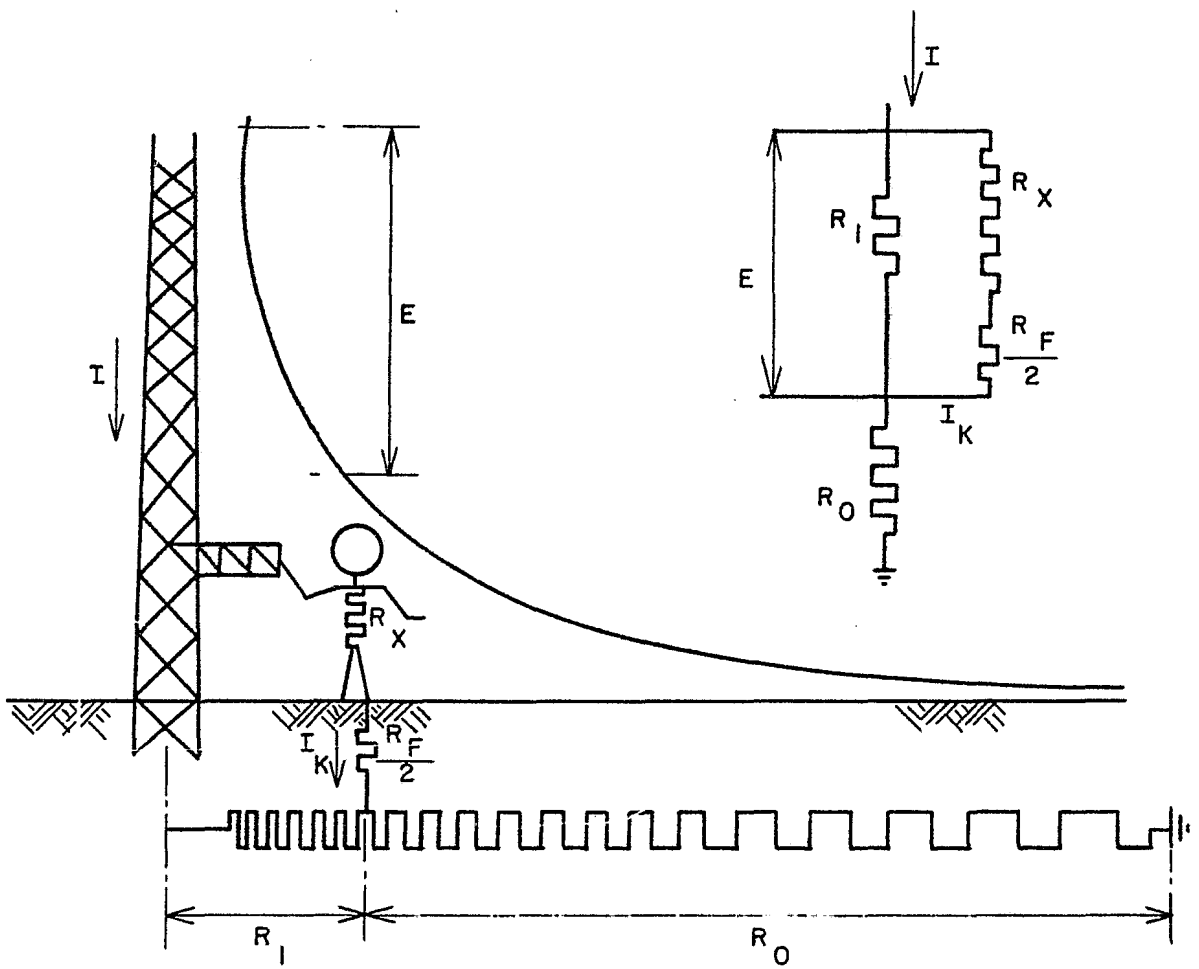
SE HA MENCIONADO QUE EL COMPORTAMIENTO DE LA MALLA DE TIERRA AL PRESENTARSE UN ESTADO ANORMAL INTRODUCE SITUACIONES QUE PUEDEN PONER EN PELIGRO LA VIDA DEL PERSONAL QUE SE ENCUENTRE DENTRO DEL ÁREA DE LA SUBESTACIÓN O EN SU VECINDAD.

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

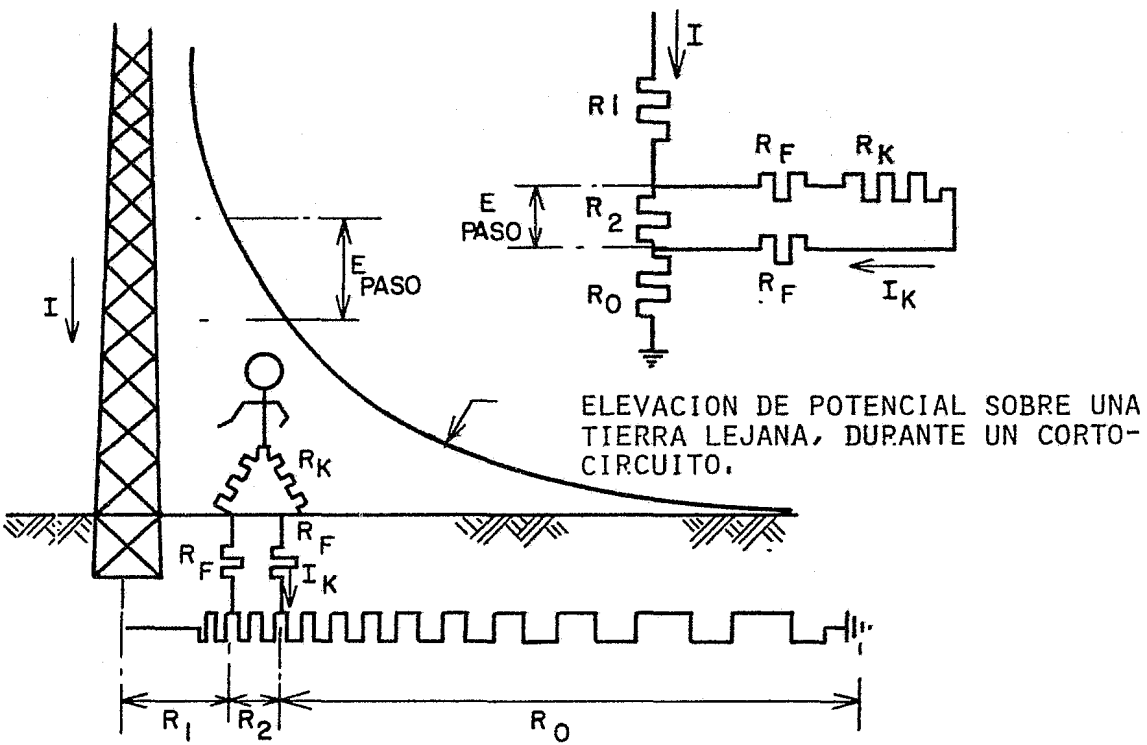
V_P = POTENCIAL DE PASO.

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.

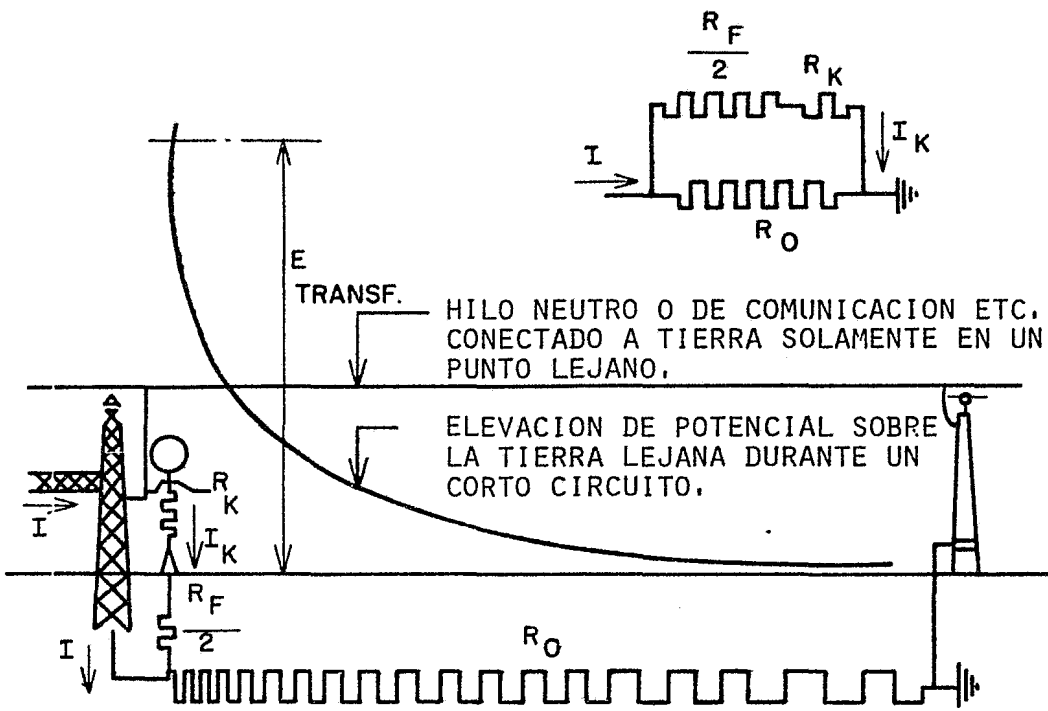
GRUPO 2.- PROTECCIÓN DE EQUIPO DE CONTROL Y COMUNICACIONES.

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 PUEDAN 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.
ÉSTA CORRIENTE ES MENOR QUE LA CORRESPON---
DIENTE DE FALLA DE UNA FASE A TIERRA, CALCU
LADA 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 MÁS 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 RESISTENCIA DE UNA CONEXIÓN A TIERRA -- DEPENDE PRINCIPALMENTE DEL TIPO -- DE TERRENO QUE RODEA AL ELECTRODO. LAS CELDAS CILÍNDRICAS DE -- TIERRA QUE RODEAN EL ELECTRODO -- TIENEN EL MISMO ESPESOR, INCREMENTANDO LA DISTANCIA DEL ELECTRODO, ÉSTAS CELDAS TIENEN UN ÁREA MAYOR Y POR LO TANTO UNA RESISTENCIA -- MÁS BAJA.

CONSIDERANDO UN TERRENO DE RESISTIVIDAD UNIFORME, LA RESISTENCIA MÁS ALTA SE ENCUENTRA EN LA CELDA INMEDIATA QUE RODEA AL ELECTRODO, LA CUAL TIENE LA SECCIÓN TRANSVERSAL 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 DISTANCIA 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

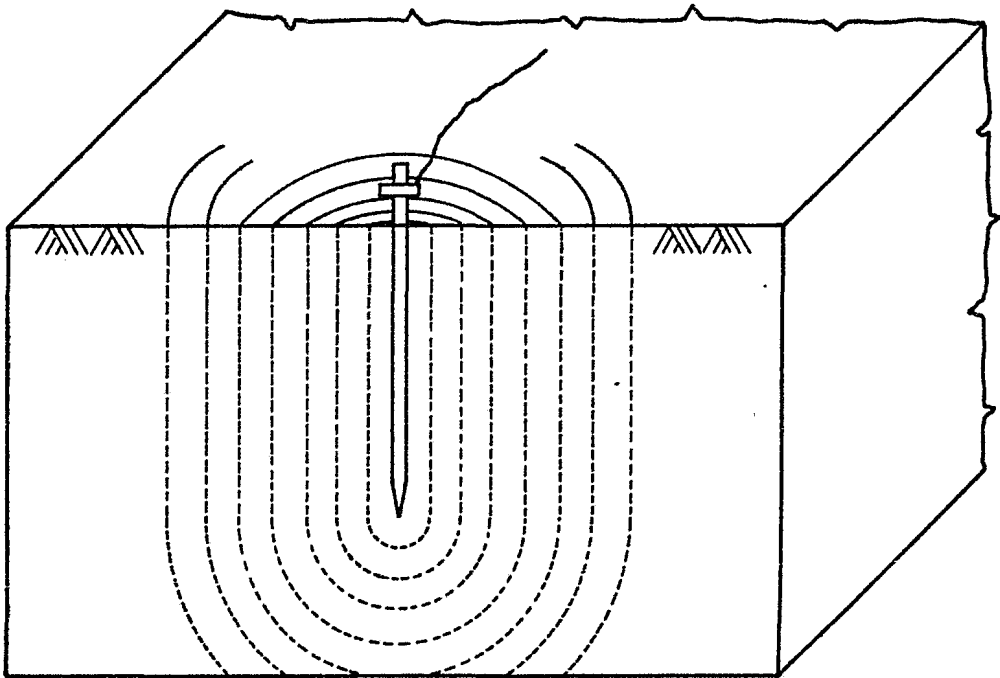


FIGURA 4

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%.

ÉSTE 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

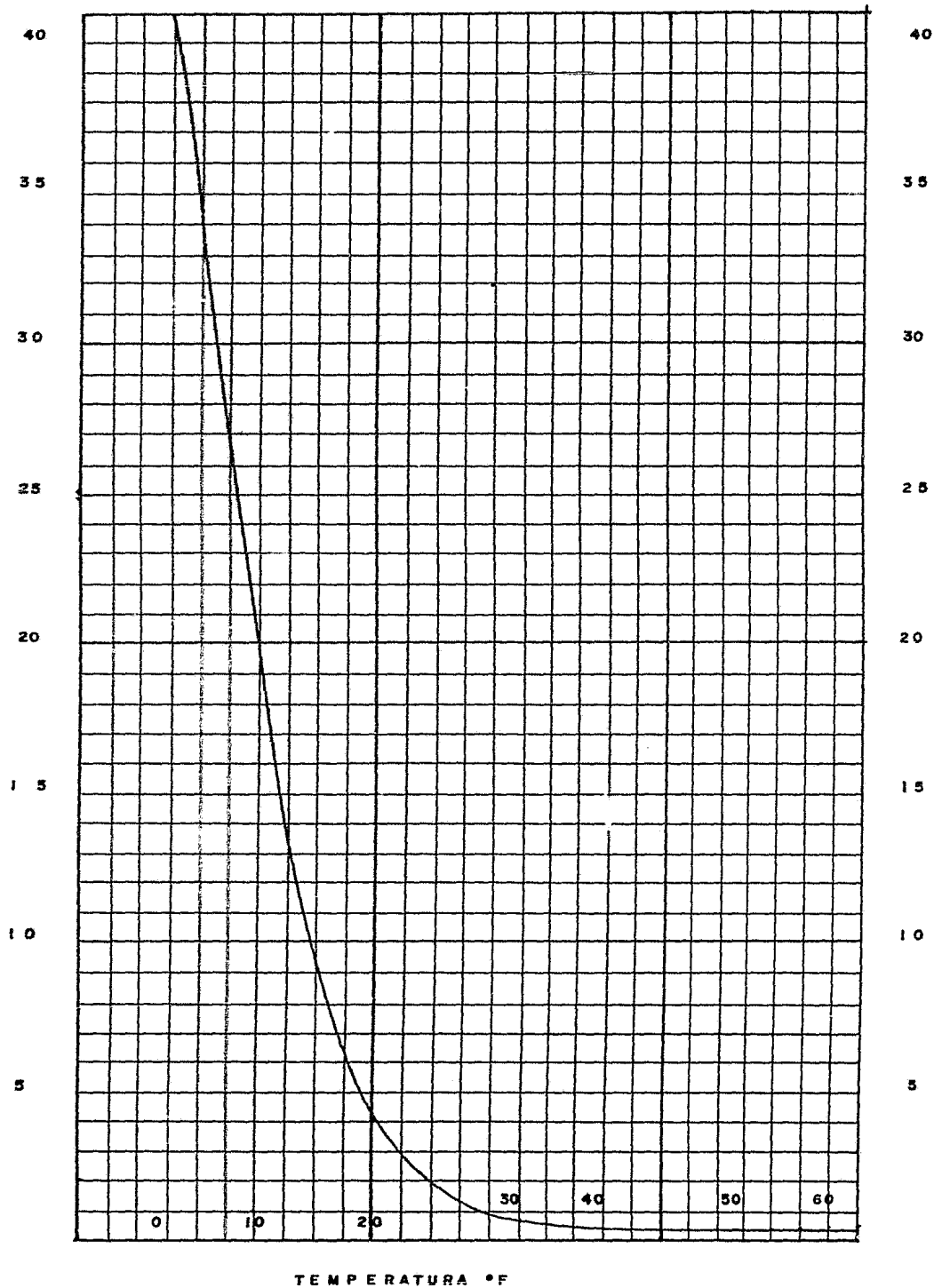


FIGURA 5

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

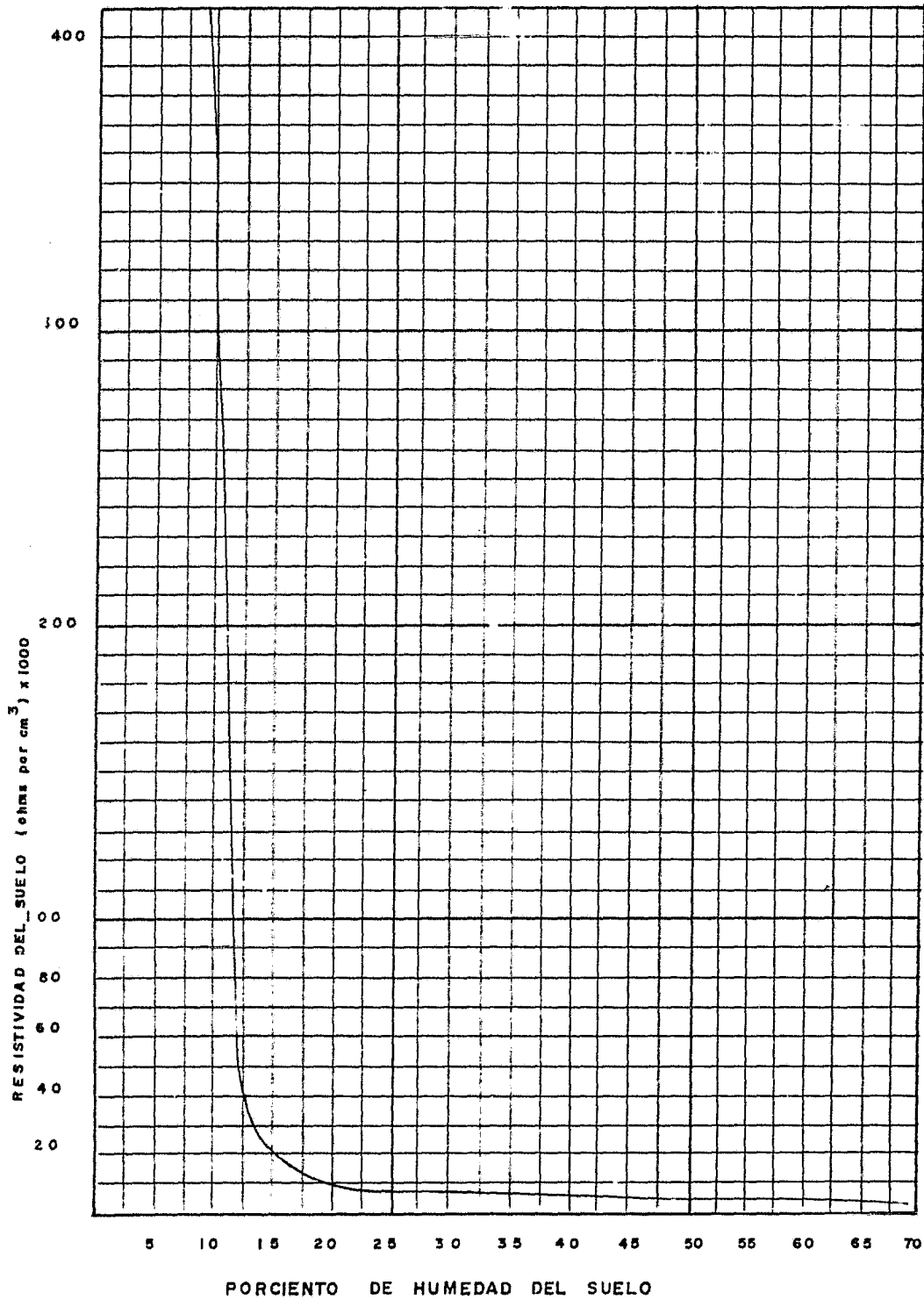


FIGURA 6

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

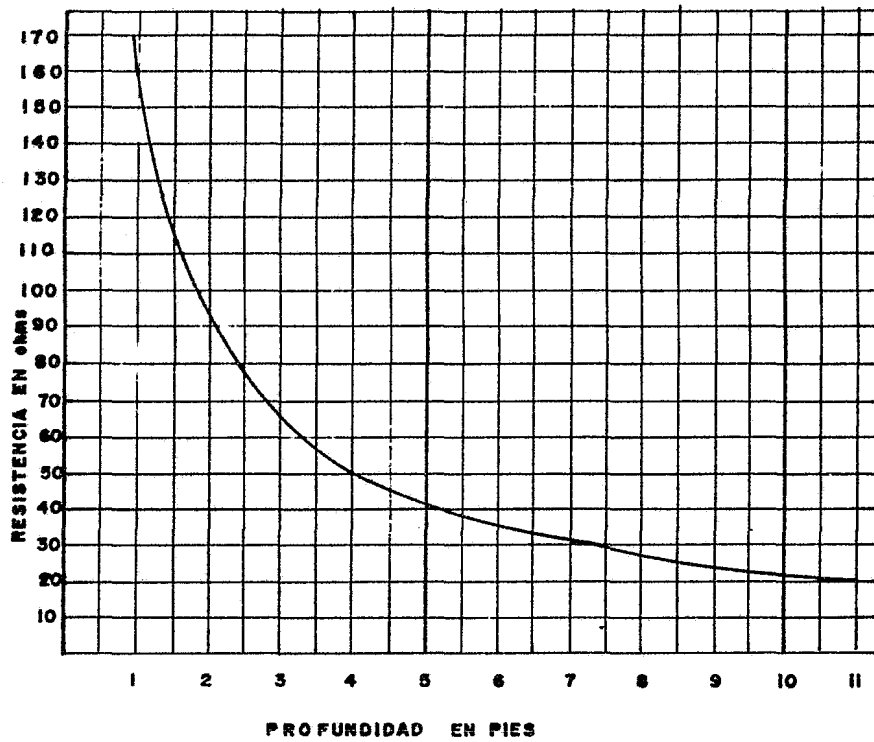
EL SUELO ES A MENUDO DE RESISTIVIDAD UNIFORME A TRAVÉS DE LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, Y USUALMENTE LOS PRIMEROS CMS. CERCA DE LA SUPERFICIE TIENEN RELATIVAMENTE RESISTIVIDAD ALTA Y ESTÁN SUJETOS A CAMBIOS ALTERNADOS DE MOJADO Y SECADO POR LAS LLUVIAS.

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

1.5.4.- 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:

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

1.5.5.- 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:

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

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:

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

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

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

I.5.6.- POTENCIAL DE PASO.

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

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

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

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

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.

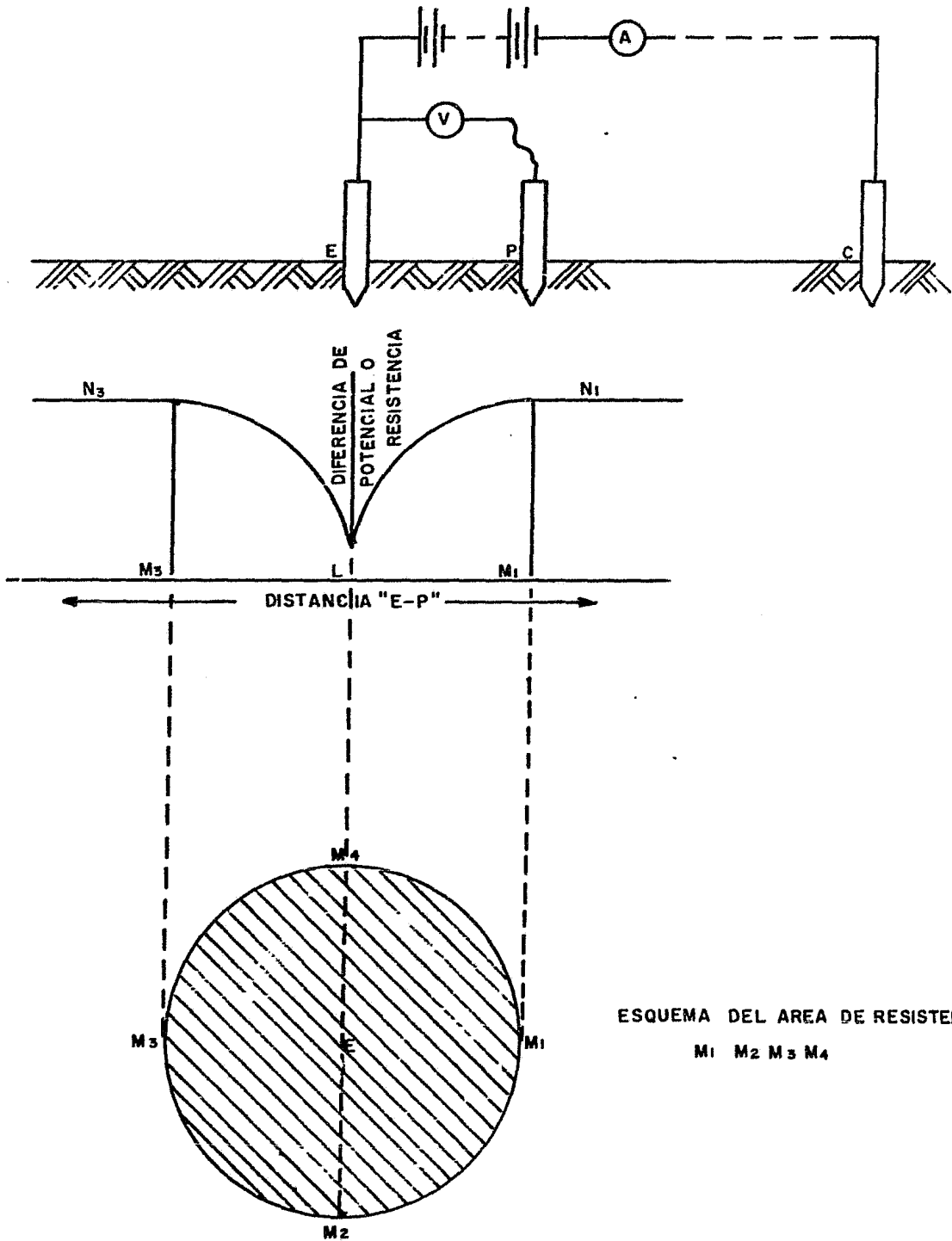


FIG. 8

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 $M_1, M_2, M_3, M_4,$ 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:

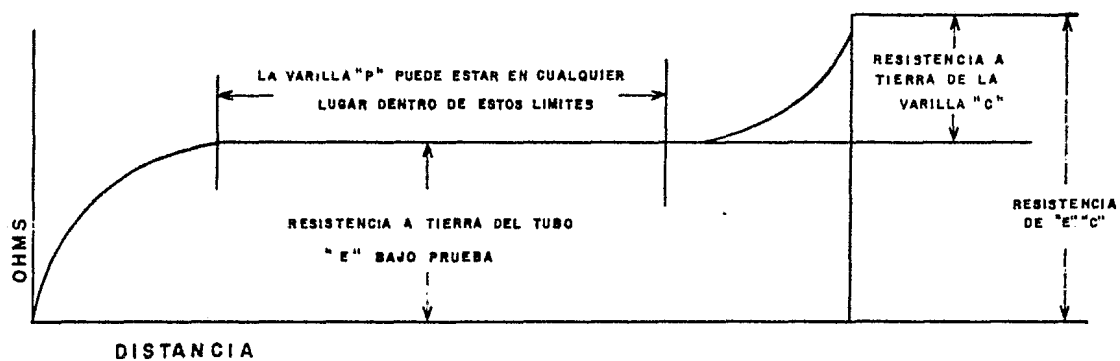
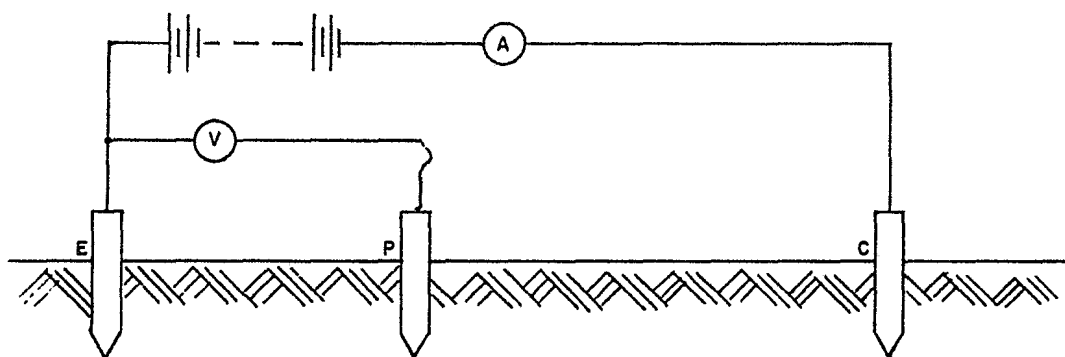


FIG. 9

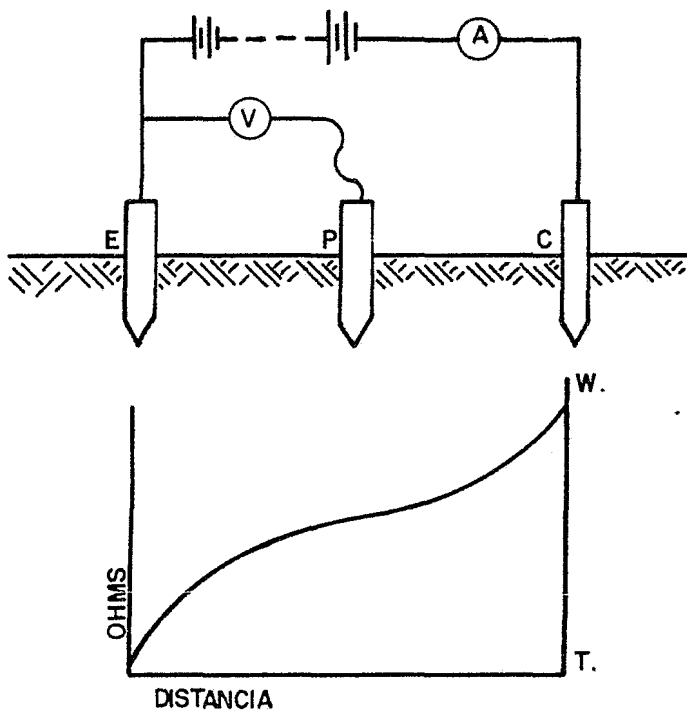


FIG. 10

- 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.

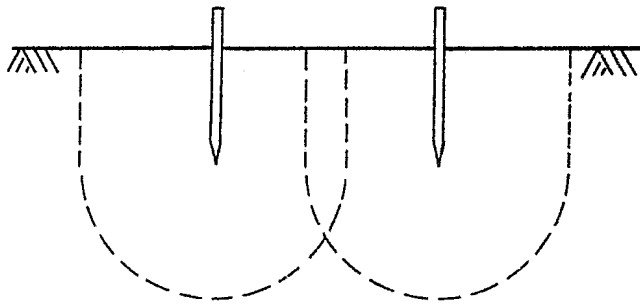
II.2.- RESISTENCIA TOTAL.

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 VARIARÍA CONSIDERABLEMENTE CON EL TIPO DE SUELO Y LA ÉPOCA DEL AÑO, PUES DEPENDE EN GRAN PARTE DEL ÍNDICE DE HUMEDAD.

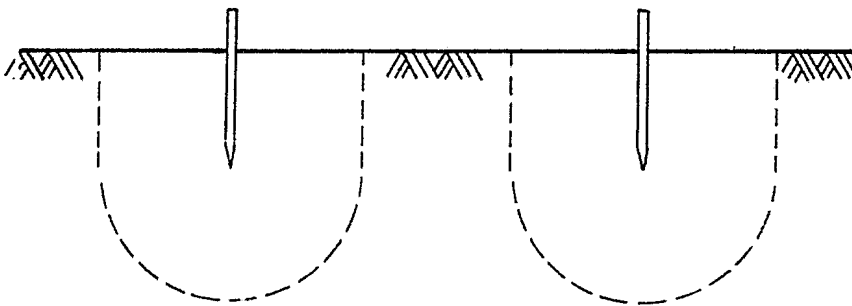
SI BIEN, CON EL MÉTODO DE PRUEBA DESCRITO, DEL AMPÉRMETRO Y VÓLTMETRO, CONOCIDO COMO MÉTODO DE

ELECTRODOS MUY PROXIMOS



Zona de influencia reciproca

ELECTRODOS OPORTUNAMENTE DISTANCIADOS



SEPARACION DE LOS ELECTRODOS DE
MEDICION

Figura II

CAÍDA DE POTENCIAL, PUEDE ELIMINARSE EL EFECTO DE LA TENSIÓN 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.

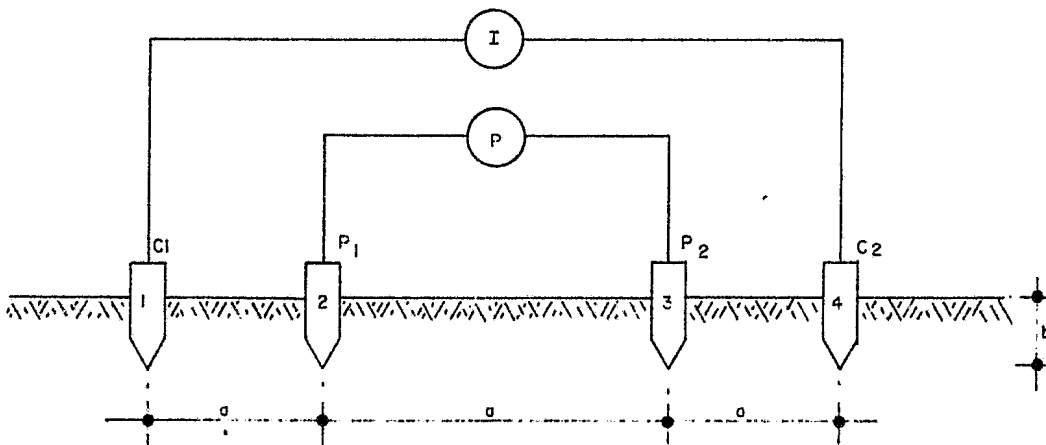


FIG. 12

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 ECUACION (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.

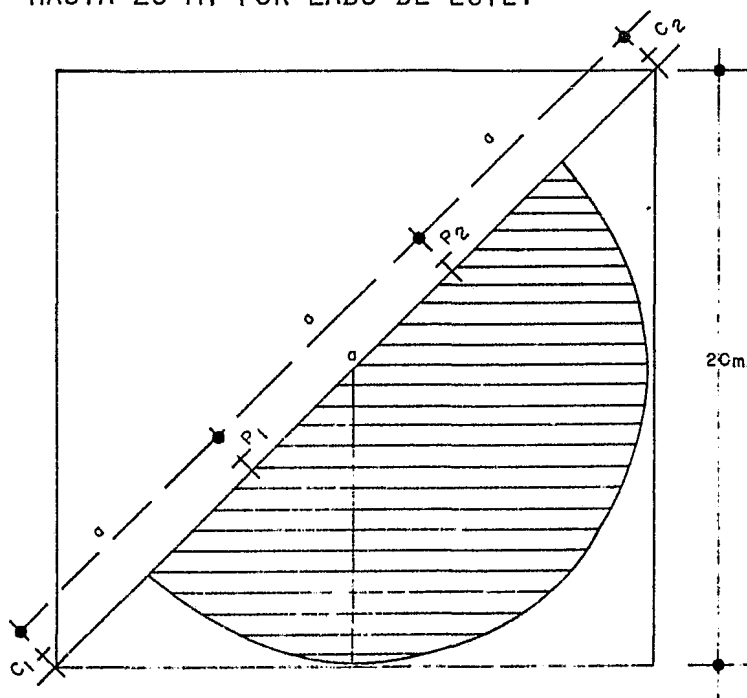


FIG. 13

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.

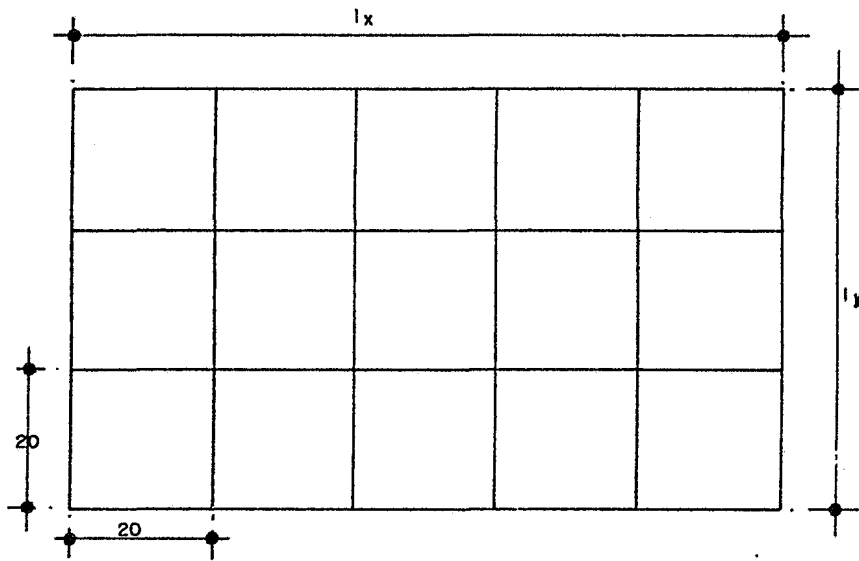


FIG. 14

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

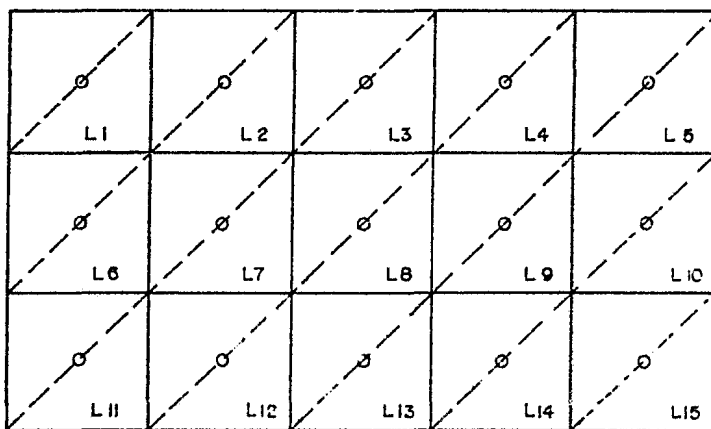


FIG. 15

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.

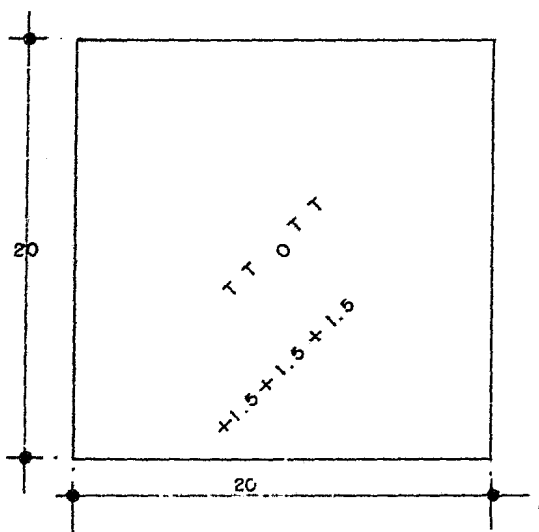


FIG. 16

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.
- Ln - 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".

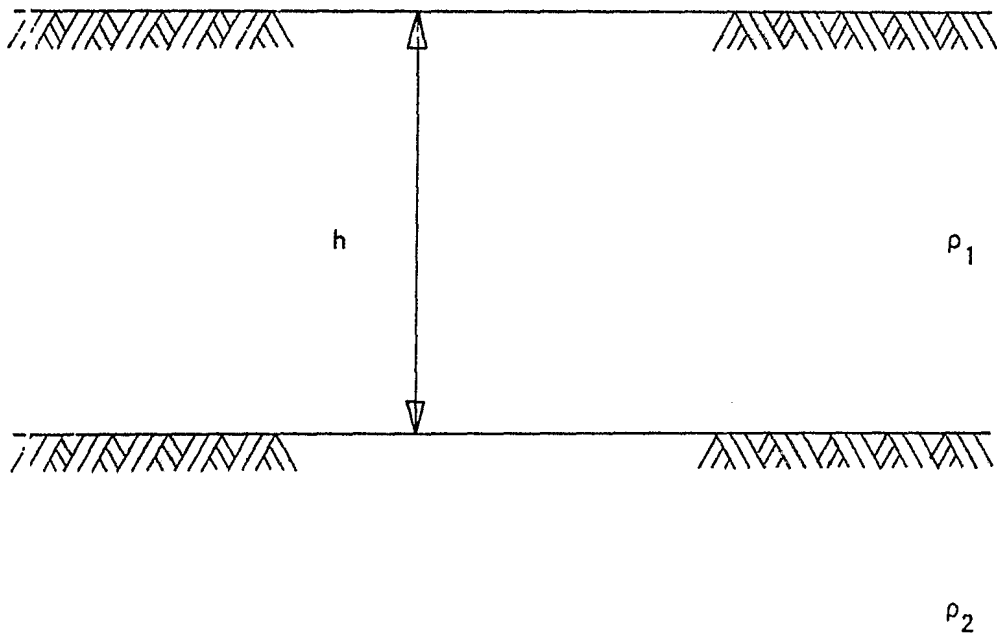
LA CONDUCCIÓN ELÉCTRICA EN LA RED DE UN SISTEMA DE POTENCIA ES BIEN DEFINIDA, PUESTO QUE LA CORRIENTE CIRCULARÁ EN TRAYECTORIAS PREDETERMINADAS, Y ESTÁN FORMADAS DE CONDUCTORES METÁLICOS HOMOGÉNEOS.

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	117.00
4.5	115.00
6.0	150.70
7.5	141.37
9.0	100.70

NUMERO DE PUNTOS MUESTRA 6

INTERACCIONES PARA LA OPTIMIZACION DE LA CURVA 200

PRECISION DE LA OPTIMIZACION .1000E-02

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

PESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CAPA = 96.00 OHMS-METROS

ALTURA DE LA PRIMERA CAPA = 2.56 METROS

PESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA = 251.00 OHMS-METROS

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 TENSIÓN, 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.

$T_m = 250^{\circ}\text{C}$, TEMPERATURA PÉRMISIBLE PARA
LAS UNIONES CON CONECTORES.

$T_a = 30^{\circ}\text{C}$, 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.

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

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 AN GOSTO 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).

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

$$K_m = 1.0288$$

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

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

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

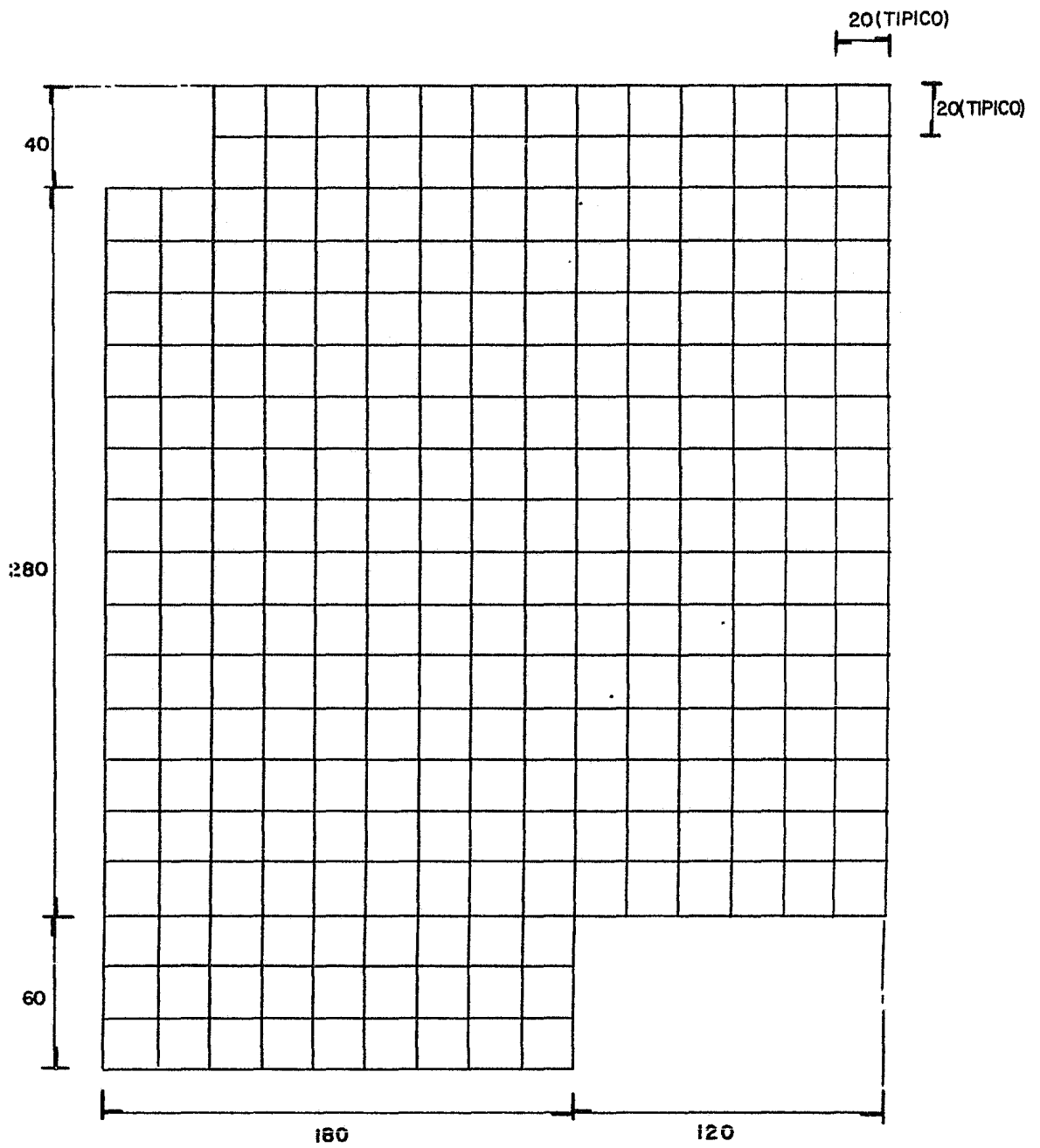
$$L = \frac{2.43 (116) (8628) \sqrt{.5}}{116 + 0.174 (348)} = 9740.6$$

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:

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

$$E_{RED} = 0.17 (8628)$$

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

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 CONDUCTO-
RES 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.

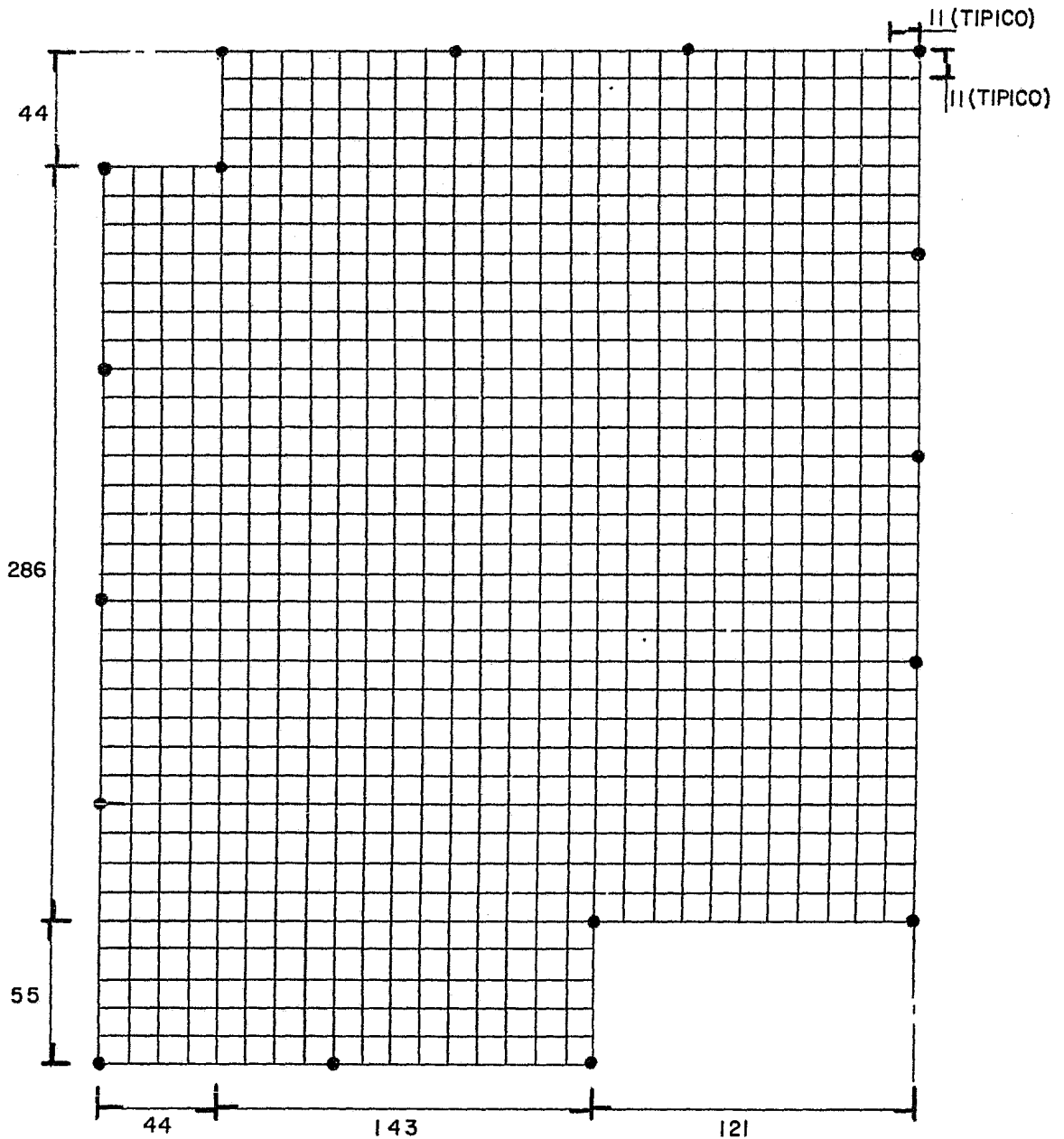
CONDUCTORES VERTICALES = 10384

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

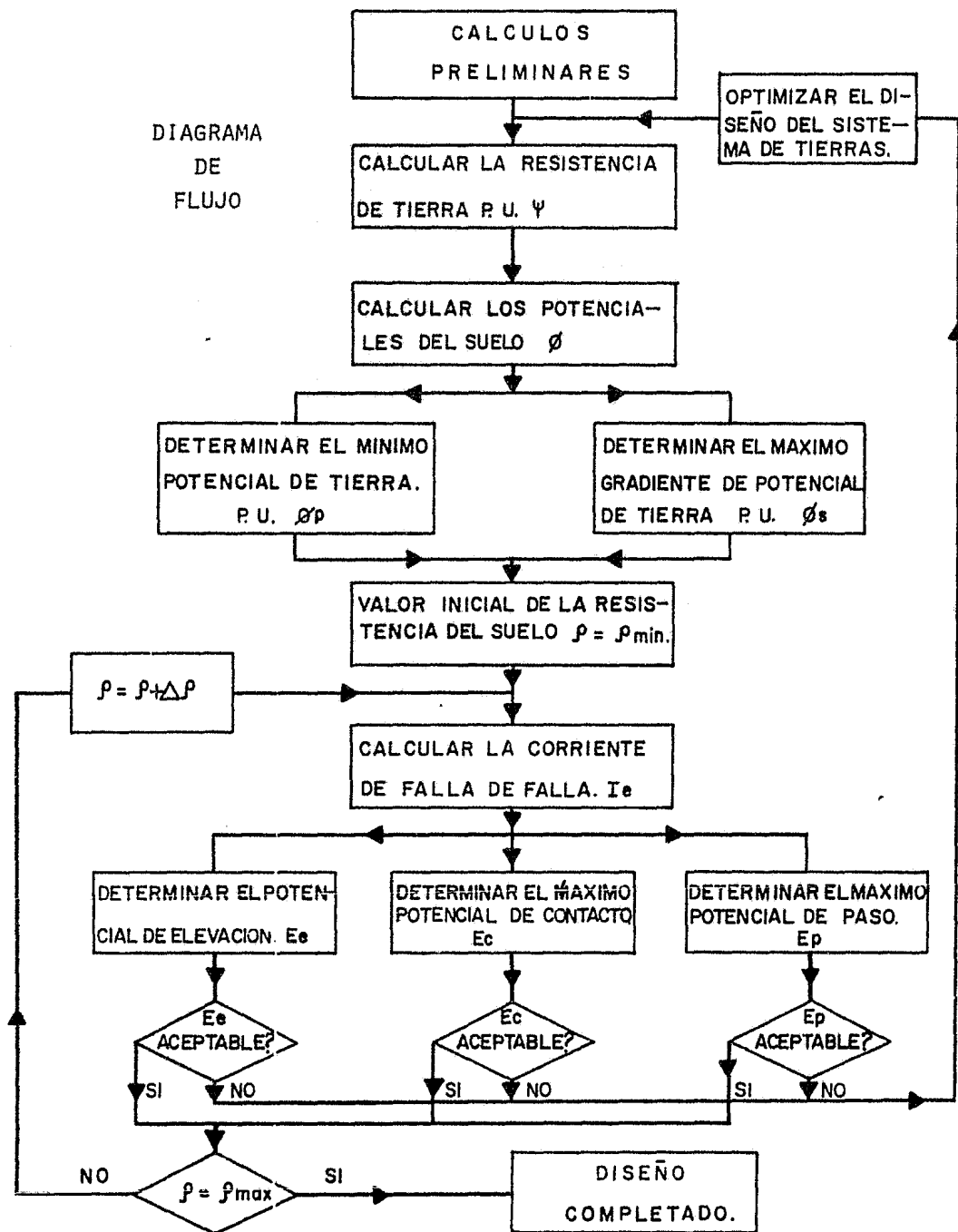
RESISTENCIA A TIERRA Y DE LOS GRADIENTES DE POTENCIAL QUE SE PRESENTEN EN SITUACIONES DE FALLA, SE INICIÓ EN 1971 Y SE LOGRÓ SU PRIMER ESTADO OPERATIVO EN 1973. DESDE ENTONCES SE HA REVISADO Y ACTUALIZADO CONTINUAMENTE, BUSCANDO PRINCIPALMENTE FACILITAR LA PREPARACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA Y LA OBTENCIÓN 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



PUEDE 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,

PUEDEN 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.

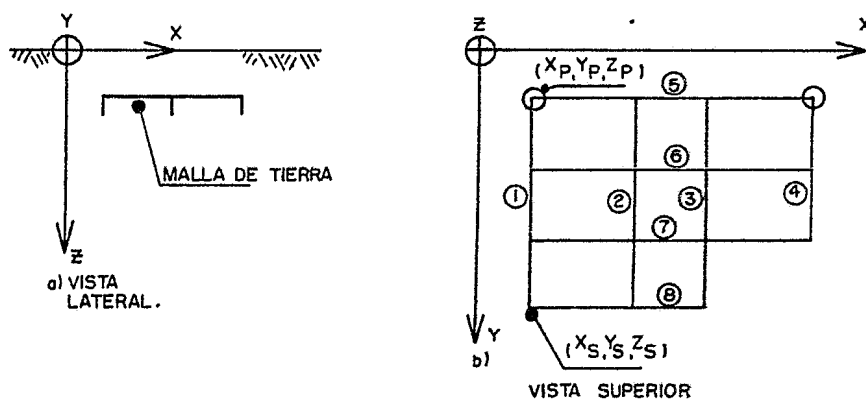


FIG. 20

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 = 90.00 OHM-METRO
- 3 ALTURA DE LA PRIMERA CAPA = 2.54 METROS
- 4 RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CAPA = 241.87 OHM-METRO
- 5 FACTOR DE REFLEXION = .457535 P.U.
- 6 CORRIENTE DE FALLA = 2628.07 AMPERES

- 7 *
- 8 *
- 9 NUMERO DE CONDUCTORES DE LA RED 35

- 10 *
- 11 *

CONFIGURACION DE LOS CONDUCTORES DE LA RED

COND	XS	YS	ZS	XP	YP	ZP	RADIO
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							

TABLA No. 1

1 CALCULO DE LAS CORRIENTES EN EL ELECTRODO

COND. NUM.	DIST. CORP. AMPERES	LONGITUD METROS	CORP. TOTAL AMPERES	ACUMULA AMPERES
2				
3				
4				
5				
6	1.7300	120.000	853.9237	853.9237
7	1.1575	86.000	90.5994	944.522
8	1.2463	86.000	81.3832	1025.905
9	1.2185	86.000	79.9886	1104.893
10	1.2300	86.000	81.8927	1186.785
11	1.1598	91.000	105.5405	1292.326
12	1.1779	91.000	98.1963	1390.412
13	1.2379	91.000	80.1187	1470.531
14	1.2375	91.000	78.9382	1549.469
15	1.2419	91.000	76.6787	1626.147
16	1.2512	111.000	643.8737	2249.781
17	1.4826	169.000	579.5927	2789.473
18	1.1700	271.000	731.9257	3111.398
19	1.217	273.000	754.3405	3361.779
20	1.2974	273.000	216.5912	3578.370
21	1.2566	273.000	179.2777	3757.647
22	1.2478	396.000	619.1666	4376.813
23	1.1979	183.000	219.2147	4595.861
24	1.2337	183.000	213.2221	4849.081
25	1.2704	183.000	201.7795	5130.860
26	1.2369	183.000	488.1365	5618.996
27	2.7424	228.000	625.4848	6244.480
28	1.2679	127.000	171.2247	6375.704
29	1.4977	115.000	156.3426	6531.946
30	1.2774	67.000	48.8479	6580.793
31	1.2700	67.000	38.6452	6619.438
32	1.2277	117.000	23.2777	6712.715
33	1.2154	67.000	79.4245	6751.139
34	1.2170	127.000	162.1767	6913.315
35	1.4800	77.000	173.1112	7086.426
36	1.2716	200.000	378.1387	7294.564
37	1.2279	71.000	72.6937	7467.257
38	1.2710	119.000	98.1611	7565.418
39	1.2500	100.000	152.2546	7717.672
40	1.2509	139.000	256.8277	7974.499
41	1.2504	277.000	663.7455	8638.244

RESULTADOS IA. CORRIDA.

45 CORRIENTE TOTAL EN LA RED = 3 678 AMPERES

46 DENSIDAD PROMEDIO DE CORRIENTE = 1.3 AMPERES/METRO

47 LONGITUD TOTAL DE LA RED = 6 529.9 METROS

48 ELEVACION DE POTENCIAL DE LA RED = 3 221.878 VOLTS

49 RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED = 1.7878 OHMS

COMO SE OBSERVA EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA CORRIDA, 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.

PARAMETROS

1			
2	RESISTIVIDAD DE LA PRIMERA CADA	=	92.32 OHM-METRO
3	ALTURA DE LA PRIMERA CADA	=	2.54 METROS
4	RESISTIVIDAD DE LA SEGUNDA CADA	=	241.80 OHM-METRO
5	FACTOR DE REFLEXION	=	.457535 P.U.
6	CORRIENTE DE FALLA	=	8628.07 AMPERES
7	*		
8	*		
9	NUNERO DE CONDUCTORES DE LA RED 46		

CONFIGURACION DE LOS CONDUCTORES DE LA RED

COND	XS	YS	ZS	XP	YP	ZP	RADIO
15 1	-122.0	-127.0	0.4	0.0	-113.0	0.4	0.01
16 2	05.0	-117.0	0.4	0.0	-113.0	0.4	0.01
17 3	-86.0	-117.0	0.4	0.0	-113.0	0.4	0.01
18 4	-85.0	-97.0	0.4	0.0	-93.0	0.4	0.01
19 5	-85.0	-81.0	0.4	0.0	-81.0	0.4	0.01
20 6	-115.0	-60.0	0.4	155.0	-60.0	0.4	0.01
21 7	-116.0	-57.0	0.4	155.0	-57.0	0.4	0.01
22 8	-116.0	-37.0	0.4	155.0	-33.0	0.4	0.01
23 9	-116.0	-27.0	0.4	155.0	-23.0	0.4	0.01
24 10	-129.0	-17.0	0.4	125.0	-13.0	0.4	0.01
25 11	-129.0	0.0	0.4	253.0	0.0	0.4	0.01
26 12	-115.0	35.0	0.4	157.0	35.0	0.4	0.01
27 13	-116.0	55.0	0.4	157.0	55.0	0.4	0.01
28 14	-116.0	77.0	0.4	157.0	73.0	0.4	0.01
29 15	-116.0	89.0	0.4	157.0	88.0	0.4	0.01
30 16	-129.0	105.0	0.4	157.0	105.0	0.4	0.01
31 17	-125.0	127.0	0.4	177.0	127.0	0.4	0.01
32 18	-125.0	157.0	0.4	177.0	153.0	0.4	0.01
33 19	-125.0	167.0	0.4	157.0	165.0	0.4	0.01
34 20	-125.0	176.0	0.4	157.0	176.0	0.4	0.01
35 21	-129.0	-127.0	0.4	-129.0	175.0	0.4	0.01
36 22	-115.0	-127.0	0.4	-116.0	155.0	0.4	0.01
37 23	-85.0	-127.0	0.4	-86.0	0.0	0.4	0.01
38 24	-79.0	-117.0	0.4	-79.0	175.0	0.4	0.01
39 25	-76.0	-117.0	0.4	-80.0	-60.0	0.4	0.01
40 26	-47.0	-127.0	0.4	-48.0	-60.0	0.4	0.01
41 27	-41.0	-117.0	0.4	-41.0	175.0	0.4	0.01
42 28	-41.0	-123.0	0.4	-41.0	-60.0	0.4	0.01
43 29	-25.0	-127.0	0.4	-25.0	176.0	0.4	0.01
44 30	0.0	-127.0	0.4	0.0	-176.0	0.4	0.01
45 31	0.0	-117.0	0.4	0.0	176.0	0.4	0.01
46 32	0.0	-117.0	0.4	42.0	176.0	0.4	0.01
47 33	0.0	-117.0	0.4	0.0	176.0	0.4	0.01
48 34	115.0	-117.0	0.4	125.0	176.0	0.4	0.01
49 35	115.0	-117.0	0.4	157.0	224.0	0.4	0.01
50 36	-115.0	-127.0	0.4	-116.0	-173.0	0.4	0.01
51 37	-116.0	-127.0	0.4	-150.0	-123.0	0.4	0.01
52 38	-116.0	-117.0	0.4	-116.0	-13.0	0.4	0.01
53 39	-116.0	-117.0	0.4	157.0	-13.0	0.4	0.01
54 40	0.0	165.0	0.4	0.0	165.0	0.4	0.01
55 41	0.0	77.0	0.4	-85.0	176.0	0.4	0.01
56 42	0.0	176.0	0.4	157.0	176.0	0.4	0.01
57 43	-116.0	176.0	0.4	-116.0	175.0	0.4	0.01
58 44	-116.0	176.0	0.4	-85.0	176.0	0.4	0.01
59 45	157.0	35.0	0.4	157.0	35.0	2.5	0.01

TABLA No. 2

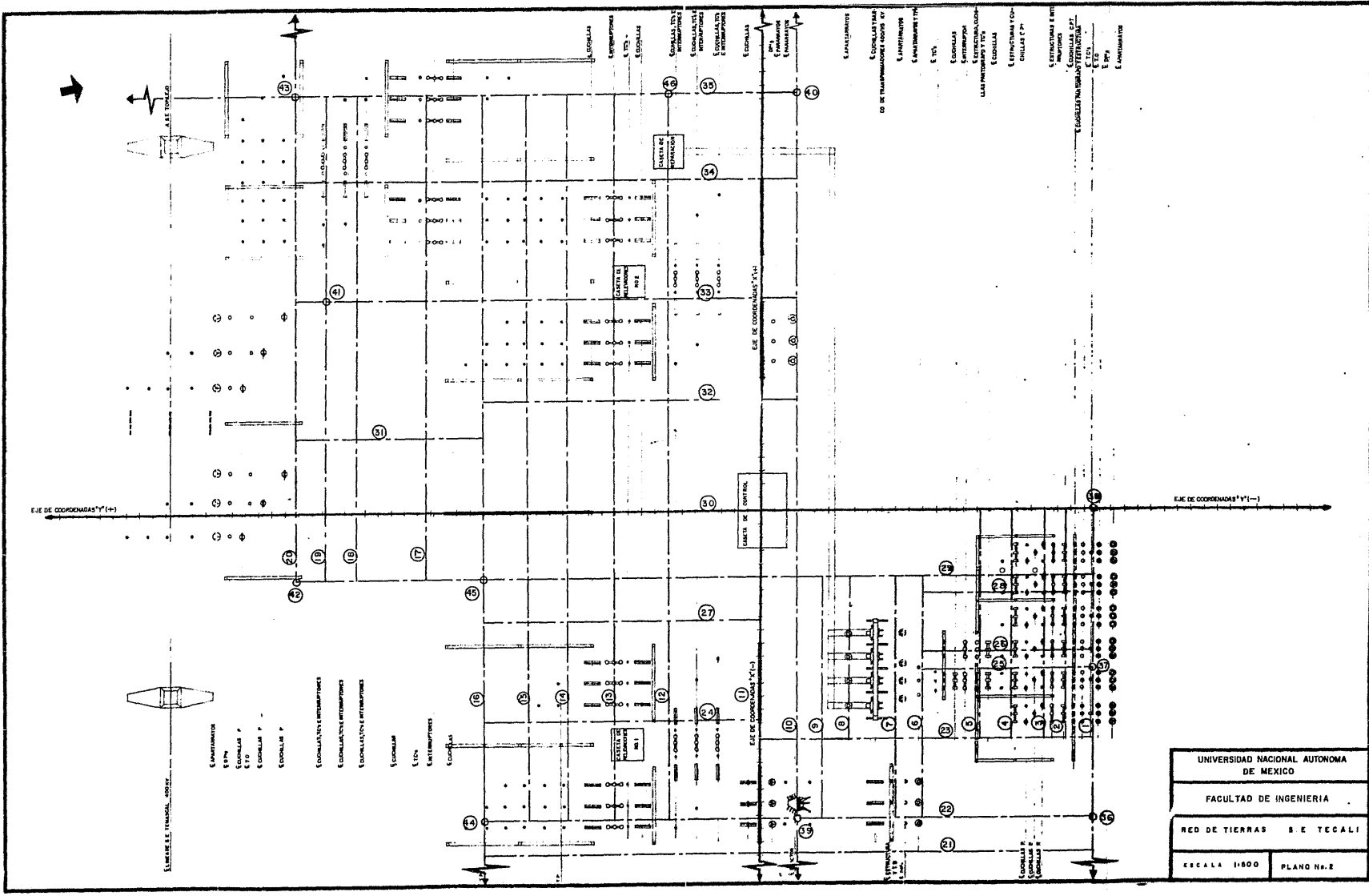
1 CALCULO DE LAS CORRIENTES EN EL ELECTRODO

2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25
6	1	3.5175	229.000	805.5003	805.106
7	2	1.0755	80.000	92.4962	598.003
8	3	3.9577	80.000	82.3053	980.368
9	4	3.9386	80.000	80.7203	1061.088
10	5	3.9920	80.000	80.5657	1146.454
11	6	1.1000	91.000	100.1517	1246.006
12	7	3.9895	91.000	90.0489	1330.055
13	8	3.0641	61.000	53.9330	1390.588
14	9	3.4674	91.000	42.5511	1433.138
15	10	1.6244	462.000	792.9851	2210.121
16	11	1.2197	462.000	587.8000	2304.001
17	12	1.1302	273.000	310.1807	3114.880
18	13	0.8379	273.000	242.2596	3356.447
19	14	3.7676	273.000	208.9987	3565.446
20	15	0.6128	273.000	167.3073	3732.753
21	16	1.2349	380.000	708.2807	4441.040
22	17	1.0920	183.000	290.0011	4641.041
23	18	1.3099	183.000	239.6807	4980.129
24	19	1.4494	183.000	265.2333	5185.960
25	20	2.6013	279.000	725.7510	5871.714
26	21	1.6144	279.000	368.0937	6239.808
27	22	3.8870	279.000	194.3920	6434.200
28	23	1.0113	123.000	124.3070	6950.308
29	24	1.3229	109.000	130.2048	6697.492
30	25	3.7124	63.000	44.8815	6742.374
31	26	0.5965	63.000	37.5514	6779.925
32	27	3.6228	109.000	65.3896	6845.315
33	28	3.8466	13.000	53.3381	6898.654
34	29	3.6683	299.000	109.3303	7098.484
35	30	3.2344	299.000	249.4758	7347.958
36	31	1.1877	71.000	78.6401	7420.606
37	32	3.8856	110.000	104.5065	7531.112
38	33	3.7956	189.000	150.3631	7681.475
39	34	1.3757	189.000	209.6031	7941.108
40	35	2.4882	237.000	509.6918	8520.200
41	36	3.7506	2.132	7.9002	8538.796
42	37	3.8661	2.132	1.3400	8540.643
43	38	7.1007	2.132	15.1308	8555.781
44	39	3.2577	2.132	0.5494	8556.331
45	40	5.9745	2.132	12.7377	8569.069
46	41	3.4681	2.132	0.9901	8570.063
47	42	7.8000	2.132	16.2161	8586.262
48	43	1.4145	2.132	3.0150	8589.298
49	44	6.3464	2.132	13.5606	8602.829
50	45	3.3130	2.132	0.6603	8603.497
51	46	3.5242	2.132	7.5157	8611.011
52	47	2.2707	0.852	1.7694	8612.783
53	48	3.8961	0.852	0.7638	8613.543
54	49	3.2200	0.852	2.7406	8610.292
55	50	3.4670	0.852	0.3901	8616.690
56	51	2.8019	0.852	3.4298	8619.120
57	52	3.8335	0.852	0.4345	8619.574
58	53	3.3520	0.852	2.8554	8622.430
59	54	1.2000	1.352	1.0004	8623.510
60	55	2.9242	0.852	2.4914	8626.002
61	56	3.4785	0.852	0.4070	8626.409
62	57	1.8067	0.852	1.5914	8628.000

RESULTADOS 2A. CORRIDA.

63
64
65
66 CORRIENTE TOTAL EN LA RED = 0.620 AMPERES
67
68
69 DENSIDAD PROMEDIO DE CORRIENTE = 1.3 AMPERES/METRO
70
71
72 LONGITUD TOTAL DE LA RED = 6.589.0 METROS
73
74
75 ELEVACION DE POTENCIAL DE LA RED = 3.221.678 VOLTS
76
77
78 RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED = 0.2038 OHMS

RESULTADOS 2A. CORRIDA.



EJE DE COORDENADAS X'

EJE DE COORDENADAS Y'



ESTRUCTURAS
E 174
E 175
E 176
E 177
E 178
E 179
E 180
E 181
E 182
E 183
E 184
E 185
E 186
E 187
E 188
E 189
E 190
E 191
E 192
E 193
E 194
E 195
E 196
E 197
E 198
E 199
E 200

ESTRUCTURAS
E 201
E 202
E 203
E 204
E 205
E 206
E 207
E 208
E 209
E 210
E 211
E 212
E 213
E 214
E 215
E 216
E 217
E 218
E 219
E 220

ESTRUCTURAS
E 221
E 222
E 223
E 224
E 225
E 226
E 227
E 228
E 229
E 230
E 231
E 232
E 233
E 234
E 235
E 236
E 237
E 238
E 239
E 240

ESTRUCTURAS
E 241
E 242
E 243
E 244
E 245
E 246
E 247
E 248
E 249
E 250
E 251
E 252
E 253
E 254
E 255
E 256
E 257
E 258
E 259
E 260

ESTRUCTURAS
E 261
E 262
E 263
E 264
E 265
E 266
E 267
E 268
E 269
E 270
E 271
E 272
E 273
E 274
E 275
E 276
E 277
E 278
E 279
E 280

ESTRUCTURAS
E 281
E 282
E 283
E 284
E 285
E 286
E 287
E 288
E 289
E 290
E 291
E 292
E 293
E 294
E 295
E 296
E 297
E 298
E 299
E 300

ESTRUCTURAS
E 301
E 302
E 303
E 304
E 305
E 306
E 307
E 308
E 309
E 310
E 311
E 312
E 313
E 314
E 315
E 316
E 317
E 318
E 319
E 320

ESTRUCTURAS
E 321
E 322
E 323
E 324
E 325
E 326
E 327
E 328
E 329
E 330
E 331
E 332
E 333
E 334
E 335
E 336
E 337
E 338
E 339
E 340

ESTRUCTURAS
E 341
E 342
E 343
E 344
E 345
E 346
E 347
E 348
E 349
E 350
E 351
E 352
E 353
E 354
E 355
E 356
E 357
E 358
E 359
E 360

ESTRUCTURAS
E 361
E 362
E 363
E 364
E 365
E 366
E 367
E 368
E 369
E 370
E 371
E 372
E 373
E 374
E 375
E 376
E 377
E 378
E 379
E 380

ESTRUCTURAS
E 381
E 382
E 383
E 384
E 385
E 386
E 387
E 388
E 389
E 390
E 391
E 392
E 393
E 394
E 395
E 396
E 397
E 398
E 399
E 400

ESTRUCTURAS
E 401
E 402
E 403
E 404
E 405
E 406
E 407
E 408
E 409
E 410
E 411
E 412
E 413
E 414
E 415
E 416
E 417
E 418
E 419
E 420

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
RED DE TIERRAS S E TECALI	
ESCALA 1:800	PLANO N.º 2

ESTRUCTURAS
E 421
E 422
E 423
E 424
E 425
E 426
E 427
E 428
E 429
E 430
E 431
E 432
E 433
E 434
E 435
E 436
E 437
E 438
E 439
E 440

ESTRUCTURAS
E 441
E 442
E 443
E 444
E 445
E 446
E 447
E 448
E 449
E 450
E 451
E 452
E 453
E 454
E 455
E 456
E 457
E 458
E 459
E 460

ESTRUCTURAS
E 461
E 462
E 463
E 464
E 465
E 466
E 467
E 468
E 469
E 470
E 471
E 472
E 473
E 474
E 475
E 476
E 477
E 478
E 479
E 480

ESTRUCTURAS
E 481
E 482
E 483
E 484
E 485
E 486
E 487
E 488
E 489
E 490
E 491
E 492
E 493
E 494
E 495
E 496
E 497
E 498
E 499
E 500

ESTRUCTURAS
E 501
E 502
E 503
E 504
E 505
E 506
E 507
E 508
E 509
E 510
E 511
E 512
E 513
E 514
E 515
E 516
E 517
E 518
E 519
E 520

ESTRUCTURAS
E 521
E 522
E 523
E 524
E 525
E 526
E 527
E 528
E 529
E 530
E 531
E 532
E 533
E 534
E 535
E 536
E 537
E 538
E 539
E 540

ESTRUCTURAS
E 541
E 542
E 543
E 544
E 545
E 546
E 547
E 548
E 549
E 550
E 551
E 552
E 553
E 554
E 555
E 556
E 557
E 558
E 559
E 560

ESTRUCTURAS
E 561
E 562
E 563
E 564
E 565
E 566
E 567
E 568
E 569
E 570
E 571
E 572
E 573
E 574
E 575
E 576
E 577
E 578
E 579
E 580

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

EN VISTA DE QUE AÚN EXISTEN CONDUCTO--
RES CON UNA DENSIDAD DE CORRIENTE SUPE
RIOR A LA PROMEDIO, ES NECESARIO:

- A).- COMO EL CONDUCTOR No. 9 DISIPA --
POCA CORRIENTE SE ELIMINÓ Y EL --
CONDUCTOR No. 8 SE PROLONGA CON --
OBJETO DE ABSORVER LA CORRIENTE --
DEL CONDUCTOR No. 9.
- B).- LA DENSIDAD DE CORRIENTE DEL CON-
DUCTOR No. 11 ES ELEVADA, SE AGRE
GA UN CONDUCTOR PARALELO, QUE RE-
FERIDO 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 PERIFERIA.

LAS NUEVAS COORDENADAS DE LOS CONDUCTORES SE MUESTRAN EN EL PLANO No. 3, SIENDO AHORA 59 CONDUCTORES, ORIGINANDO 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	-25.0	-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	-23.0	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	-85.0	-123.0	0.4	-85.0	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	-13.0	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	0.308
64 58	253.0	0.0	0.4	253.0	0.0	3.4	0.308
65 59	253.0	203.0	0.4	253.0	203.0	3.4	0.308

TABLA No. 3

1 CALCULO DE LAS CORRIENTES EN EL ELECTRODO

3	CONJ.	DIST. CORR.	LONGITUD	CORR. TOTAL	ACUMULA
4	NUM.	AMPERES	METROS	AMPERES	AMPERES
6	1	2.5427	482.000	1225.5843	1225.584
7	2	0.6691	80.000	57.5468	1283.131
8	3	0.6284	80.000	54.0436	1337.175
9	4	0.6352	80.000	54.6233	1391.798
10	5	0.6805	80.000	59.0360	1450.835
11	6	0.8075	91.000	73.4811	1524.317
12	7	0.7460	91.000	67.8856	1592.202
13	8	0.7959	91.000	72.4233	1664.626
14	9	0.8269	480.000	427.4863	2092.112
15	10	0.4780	480.000	230.4080	2322.520
16	11	0.6958	273.000	187.9487	2512.468
17	12	0.6025	273.000	164.4759	2676.944
18	13	0.5333	273.000	145.5837	2822.528
19	14	0.4699	273.000	128.2824	2950.810
20	15	0.3625	273.000	98.9678	3049.778
21	16	1.1770	280.000	454.3271	3504.105
22	17	2.8987	180.000	164.4537	3668.559
23	18	1.0029	180.000	189.0198	3857.579
24	19	1.1884	180.000	217.4698	4075.049
25	20	1.9125	480.000	921.8105	4996.859
26	21	1.3124	478.000	627.3035	5624.163
27	22	1.4338	298.000	428.6948	6052.857
28	23	0.6594	120.000	81.1078	6133.965
29	24	0.9582	105.000	99.7726	6233.738
30	25	0.5609	63.000	35.3392	6269.077
31	26	0.4321	63.000	27.2206	6296.298
32	27	0.5396	105.000	56.6630	6352.961
33	28	0.4750	63.000	29.9382	6382.899
34	29	0.3112	298.000	93.0340	6475.933
35	30	1.5149	430.000	651.4261	7127.359
36	31	0.6892	71.000	48.9365	7176.295
37	32	0.7401	110.000	87.3356	7263.631
38	33	1.8617	180.000	162.8660	7426.497
39	34	1.3727	180.000	259.4440	7685.941
40	35	1.8995	237.000	450.1831	8136.124
41	36	12.0695	2.132	27.8642	8163.988
42	37	12.4754	2.132	26.5976	8190.586
43	38	12.6608	2.132	27.0099	8217.596
44	39	12.5312	2.132	26.8486	8244.444
45	40	14.1657	2.132	30.2013	8274.645
46	41	16.0701	2.132	34.2616	8310.907
47	42	1.7442	2.132	3.7186	8314.625
48	43	4.3957	2.132	9.3716	8323.997
49	44	12.4945	2.132	26.6384	8323.997
50	45	1.2832	2.132	2.7337	8353.369
51	46	2.6833	2.132	5.6587	8359.026
52	47	3.1492	2.132	6.7142	8365.743
53	48	1.5122	2.132	3.2240	8368.964
54	49	5.6875	2.132	12.1258	8381.089
55	50	3.4678	2.132	7.3933	8388.483
56	51	3.1246	2.132	6.6616	8395.144
57	52	2.5031	2.132	5.3166	8400.461
58	53	2.5009	2.132	5.3310	8405.793
59	54	15.9387	2.132	4.1332	8409.946
60	55	14.3161	2.132	24.1258	8434.072
61	56	14.6908	2.132	31.3207	8465.392
62	57	12.6930	2.132	22.1924	8494.586

RESULTADOS 3A. CORRIDA.

63	58	13.7989	2.132	29.4193	8524.005
64	59	14.3552	2.132	30.6092	8554.612
65	60	5.5431	1.852	4.7269	8559.337
66	61	5.2055	1.852	4.4351	8563.772
67	62	5.2399	1.852	4.4815	8568.294
68	63	5.6496	1.852	4.8135	8573.067
69	64	5.9583	1.852	5.0765	8578.143
70	65	6.7022	1.852	5.7102	8583.254
71	66	1.2359	1.852	1.0531	8584.907
72	67	2.2432	1.852	1.9112	8586.918
73	68	5.2032	1.852	4.4580	8591.276
74	69	3.8886	1.852	6.7571	8592.833
75	70	1.2541	1.852	1.0685	8593.182
76	71	1.5347	1.852	1.3582	8594.452
77	72	3.9528	1.852	0.8118	8595.264
78	73	2.5921	1.852	2.2084	8597.472
79	74	1.7280	1.852	1.4723	8598.944
80	75	1.5797	1.852	1.3459	8600.290
81	76	1.3699	1.852	1.1672	8601.457
82	77	1.3675	1.852	1.1651	8602.622
83	78	1.5133	1.852	1.1189	8603.741
84	79	4.7978	1.852	4.0792	8607.820
85	80	6.2161	1.852	5.2961	8613.116
86	81	5.7073	1.852	4.8626	8617.979
87	82	5.7256	1.852	4.8782	8622.857
88	83	5.0369	1.852	5.1434	8628.000

RESULTADOS 3A. CORRIDA.

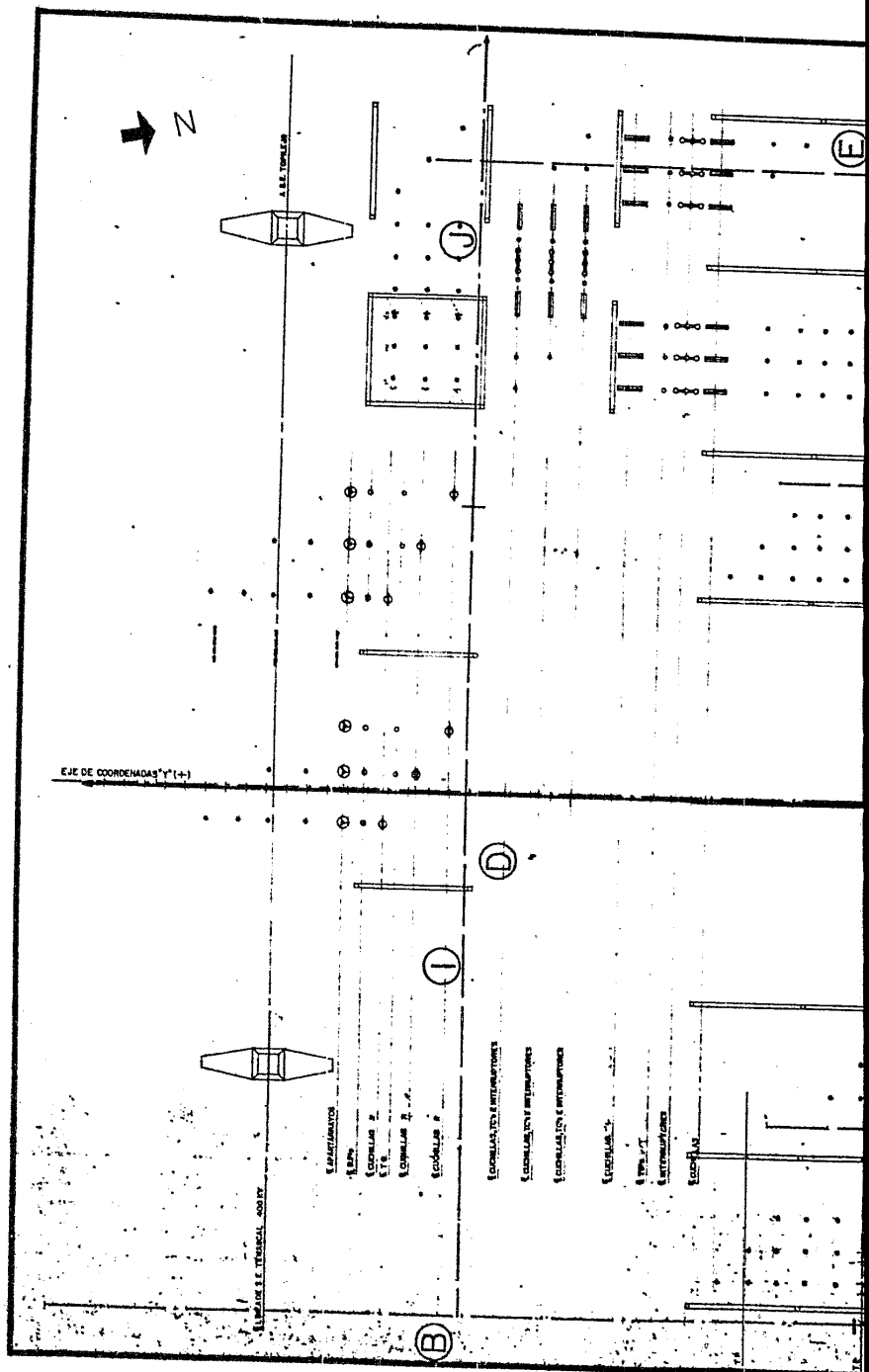
90					
91					
92	COEFICIENTE TOTAL EN LA RED = 8 628 AMPERES				
93					
94					
95	DENSIDAD PROMEDIO DE COEFICIENTE = 1.1 AMPERES/METRO				
96					
97					
98	LONGITUD TOTAL DE LA RED = 7 748.6 METROS				
99					
100					
101	ELEVACION DE POTENCIAL DE LA RED = 2 928.602 VOLTS				
102					
103					
104	RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED = 0.3370 OHMS				

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 COORDENADAS X (+)

EJE DE COORDENADAS Y (+)

EJE DE COORDENADAS Z (+)

EJE DE COORDENADAS W (+)

EJE DE COORDENADAS V (+)

EJE DE COORDENADAS U (+)

EJE DE COORDENADAS T (+)

EJE DE COORDENADAS S (+)

EJE DE COORDENADAS R (+)

EJE DE COORDENADAS Q (+)

EJE DE COORDENADAS P (+)

EJE DE COORDENADAS O (+)

EJE DE COORDENADAS N (+)

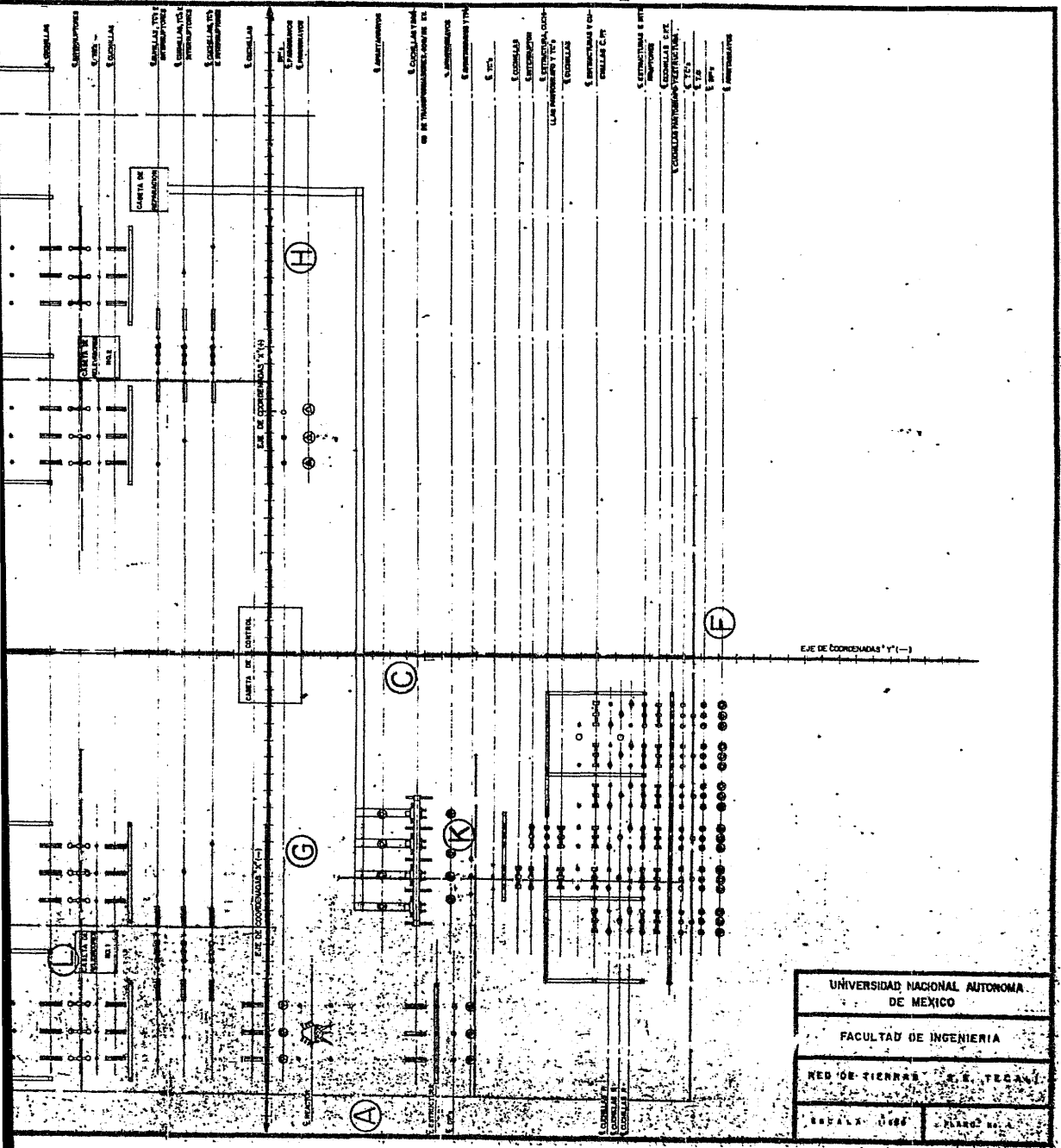
(B)

(I)

(D)

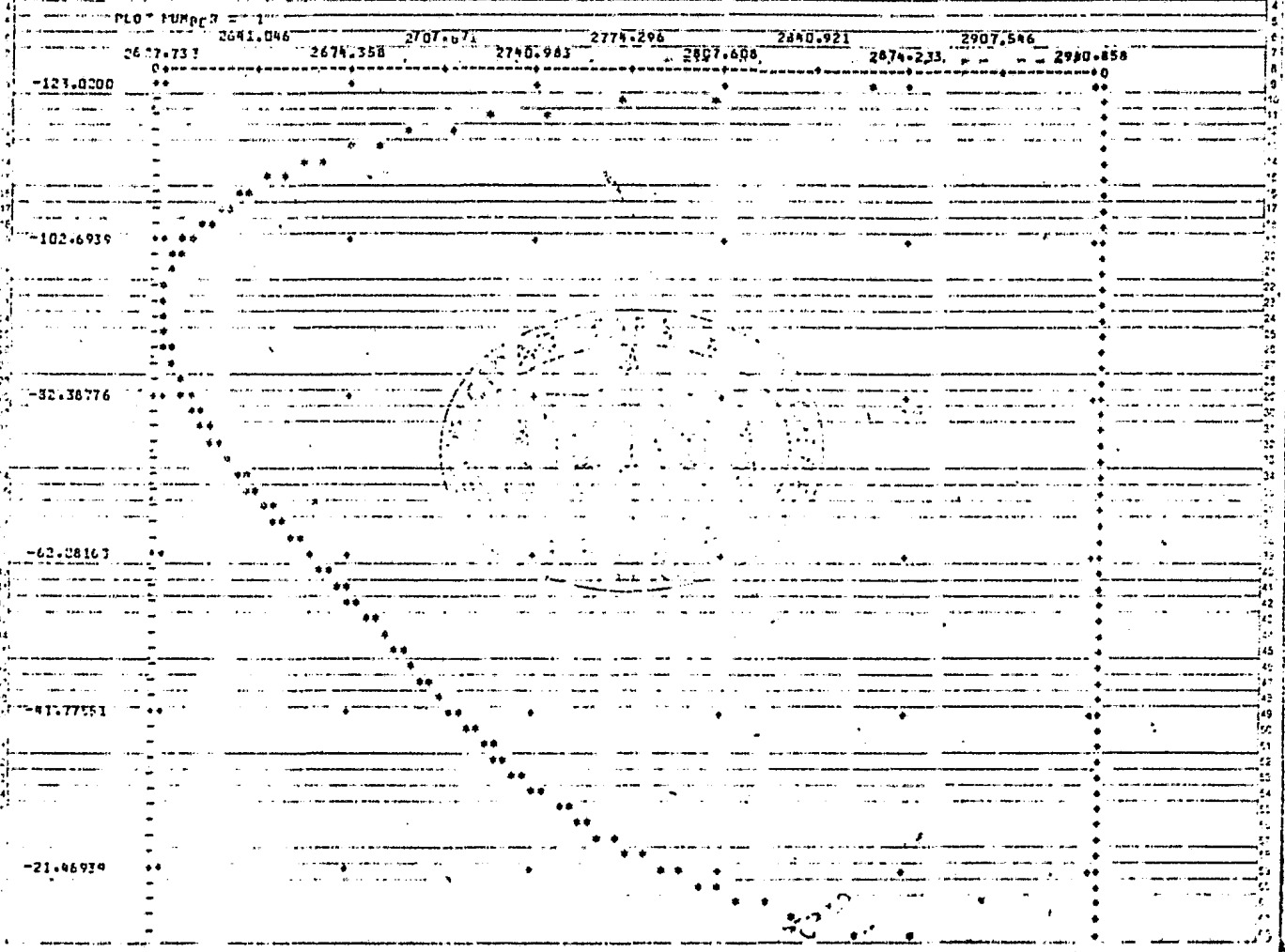
(J)

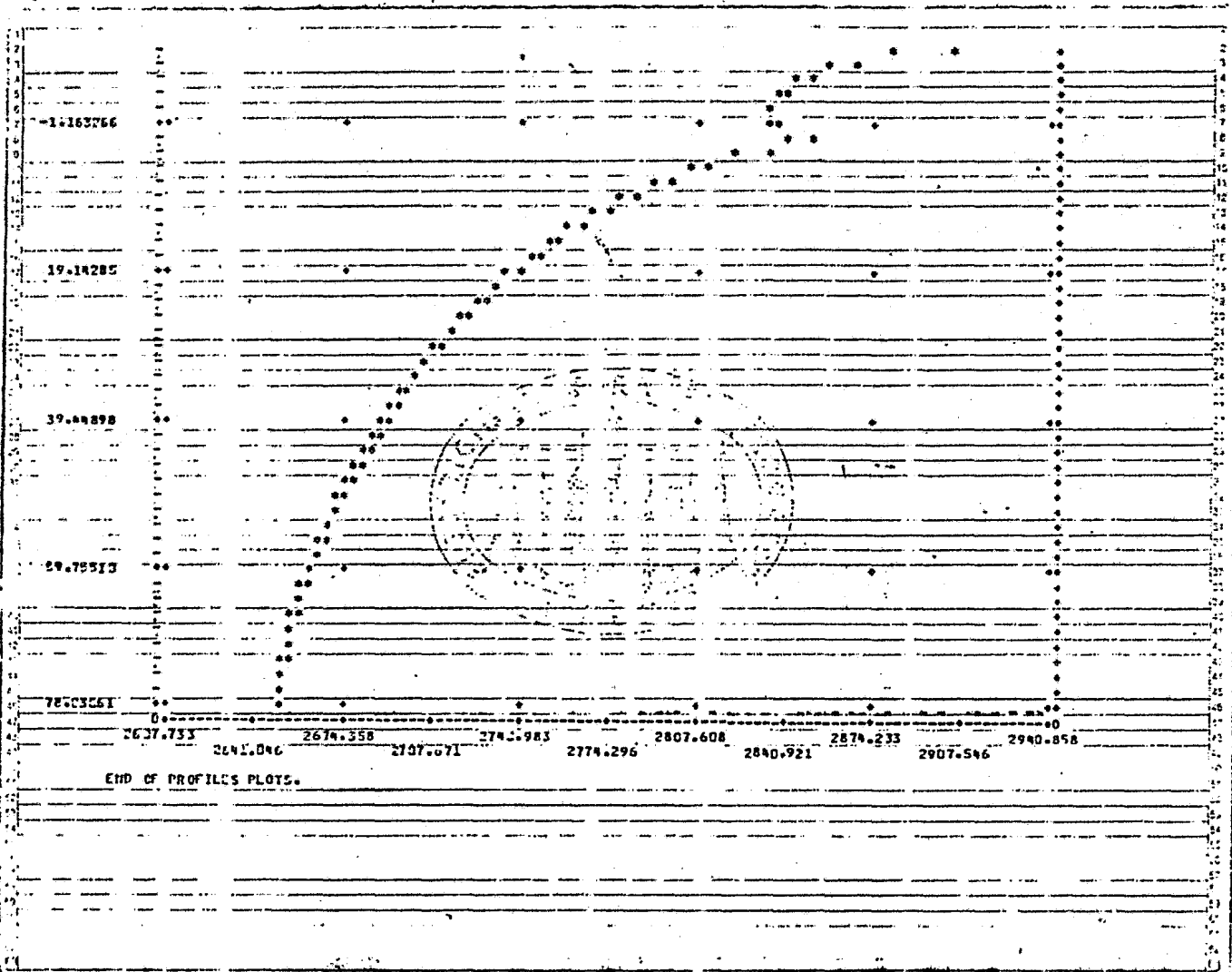
(E)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
RED DE TIERRAS S. S. T. E. C. A. N.	
BOGALÁ - 1988	ALVARO S.

STARTING PROFILES 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

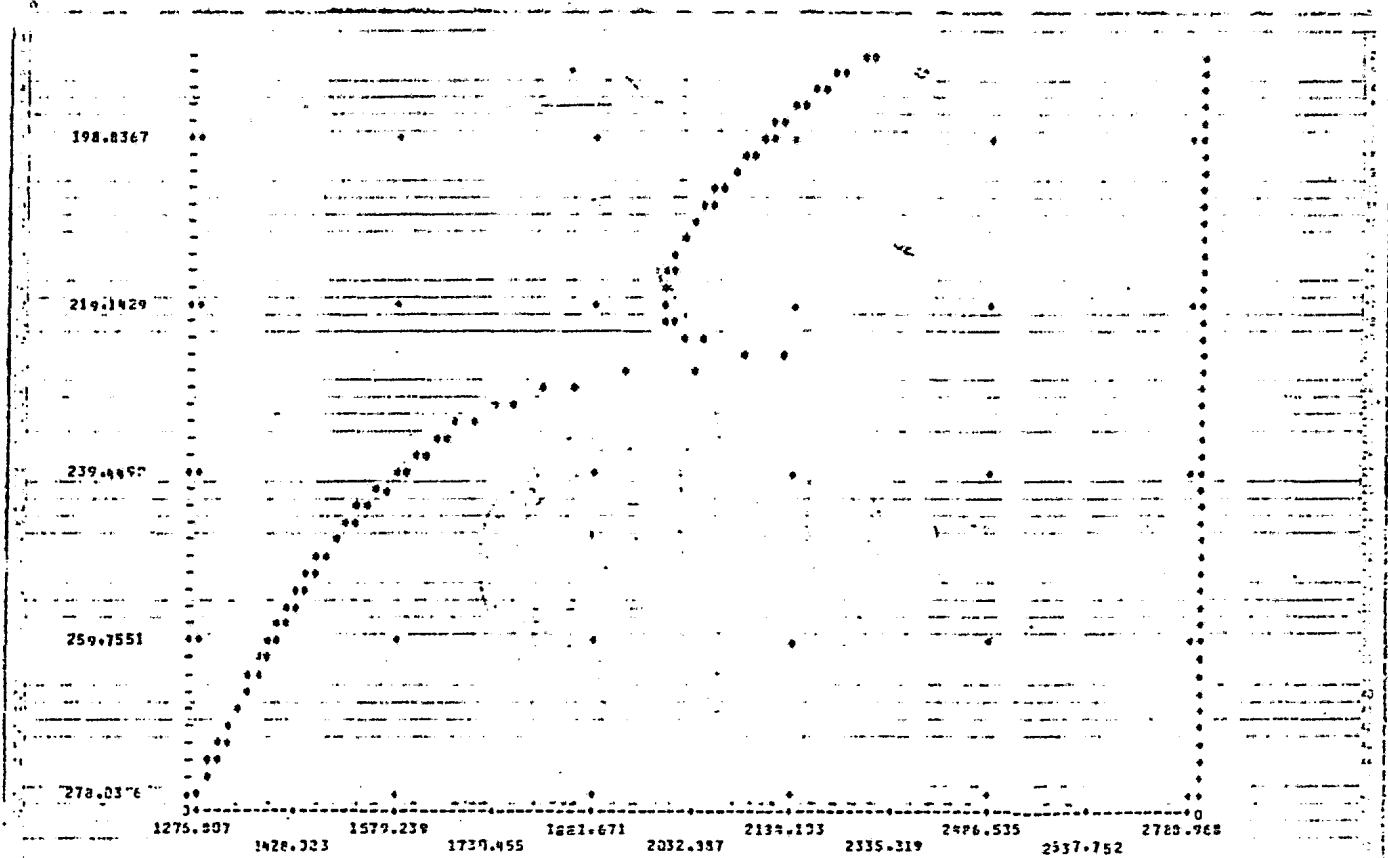
97.30612

117.6122

137.9183

158.2245

178.5306

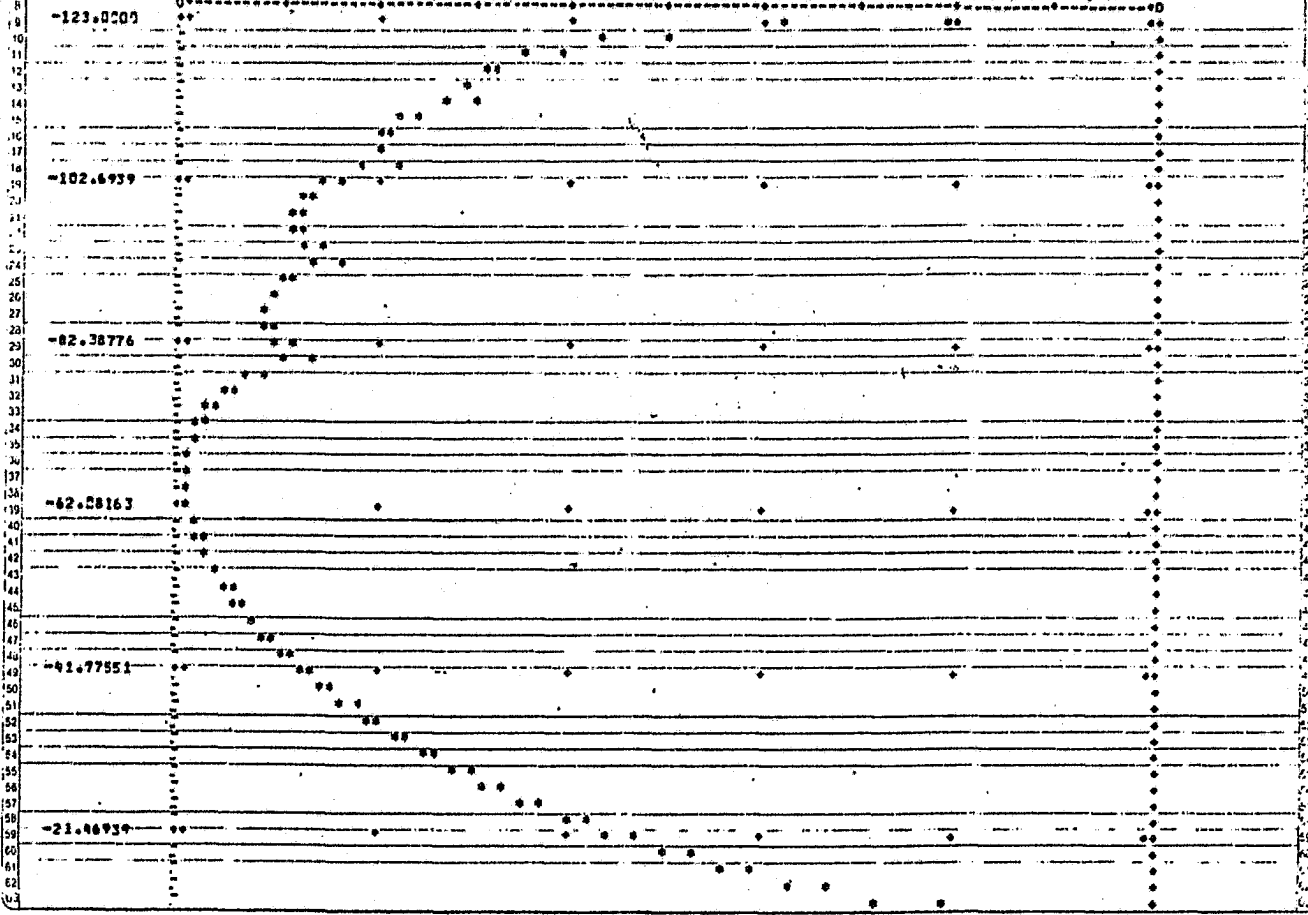


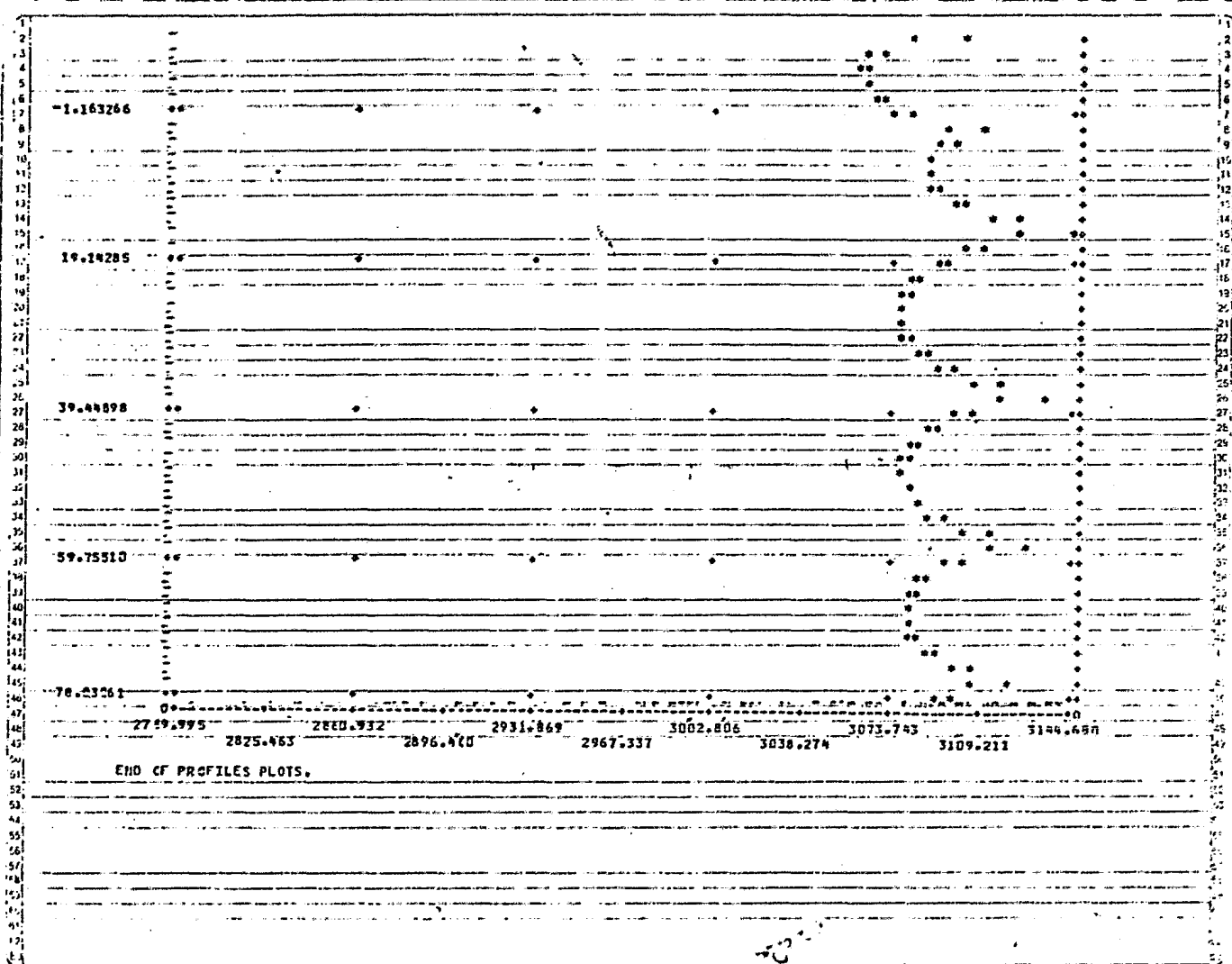
END OF PROFILE PLOTS.

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER 1

2789.995 2825.463 2860.930 2896.400 2931.869 2967.337 3002.806 3038.274 3073.743 3109.211 3144.680





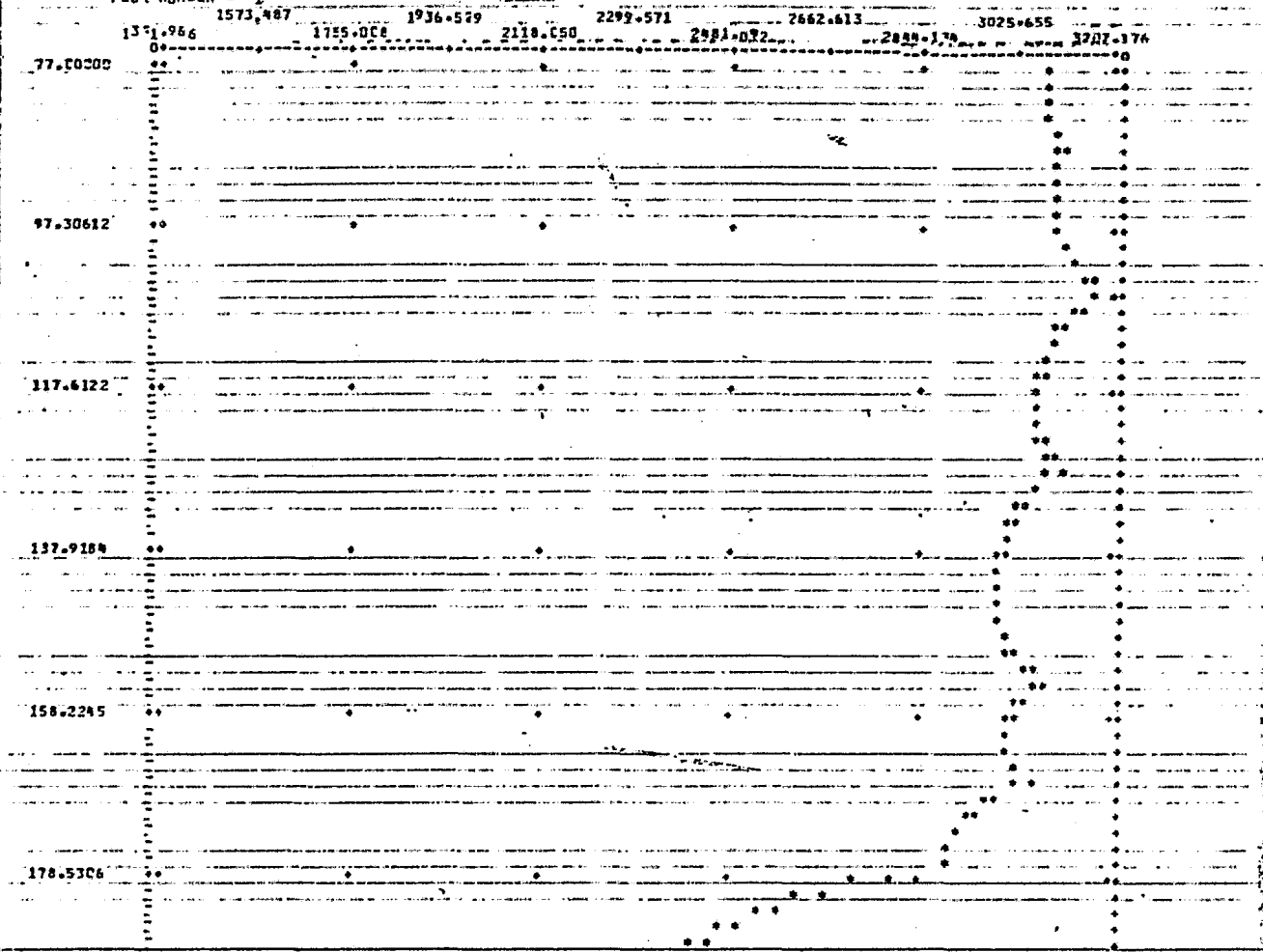
2759.995 2825.463 2880.932 2896.400 2931.869 2967.337 3002.806 3038.274 3073.743 3109.211 3144.680

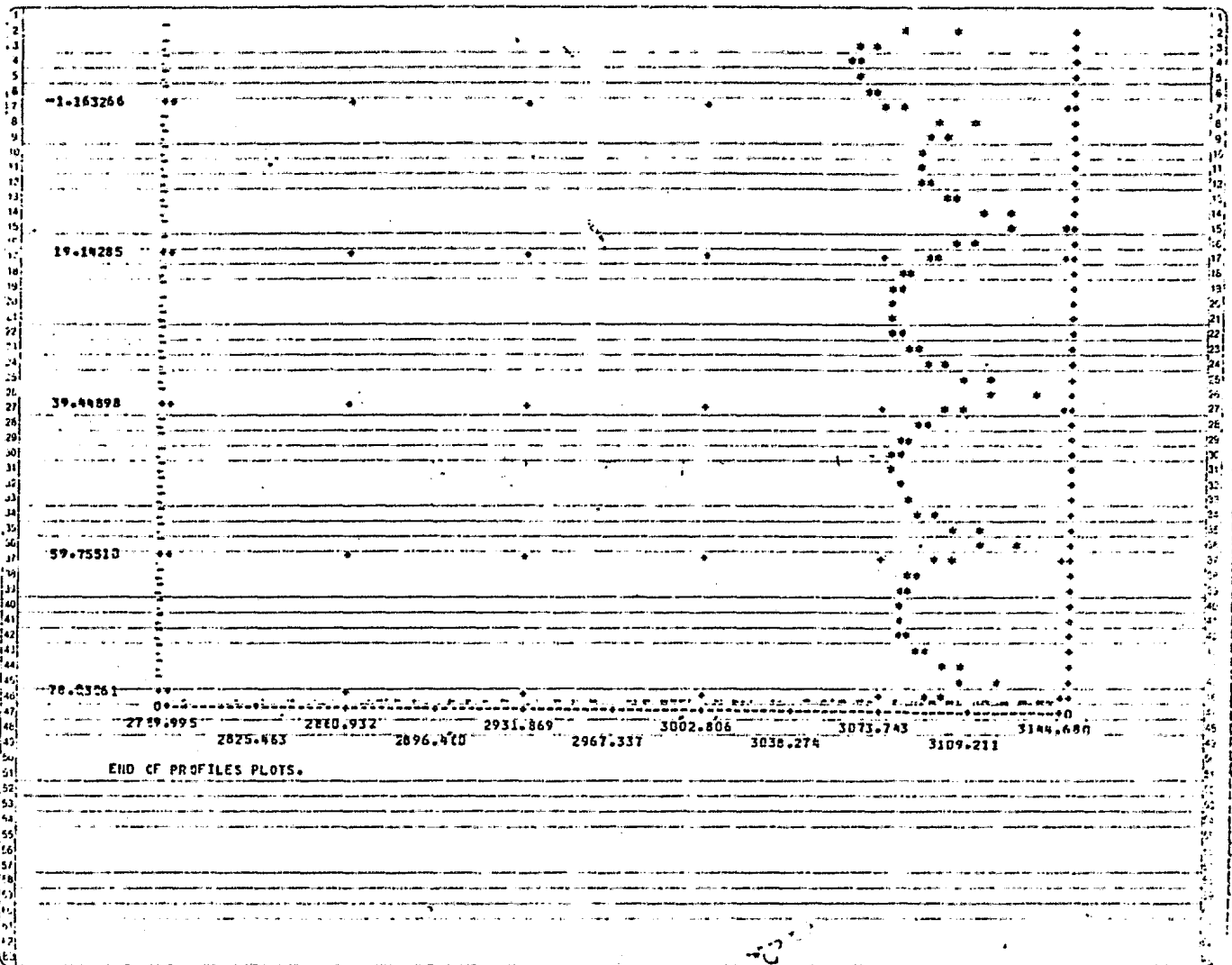
END OF PROFILES PLOTS.

43

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1





1-263266

19-14285

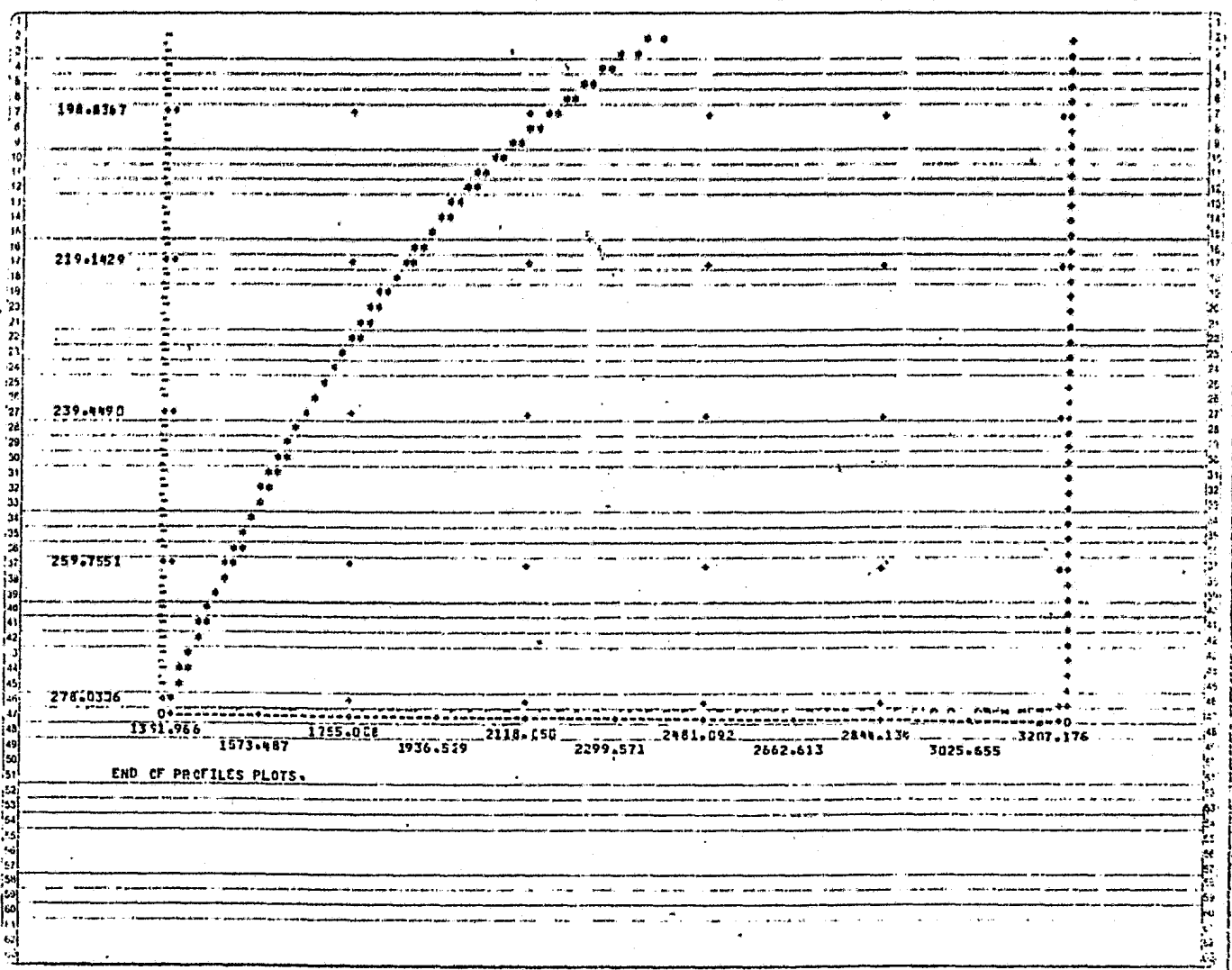
39-44898

59-75513

70-23261

2729.995 2825.463 2880.932 2896.460 2931.869 2967.337 3002.806 3038.274 3073.743 3109.211 3144.680

END OF PROFILES PLOTS.



198.8367

219.1429

239.4490

259.7551

278.0336

1351.966 1573.487 1795.008 1936.529 2118.150 2299.571 2481.092 2662.613 2844.130 3025.655 3207.176

END OF PROFILES PLOTS.

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1

25 26.552 26 27.261 28 28.970 29 29.679 30 2737.388 31 2775.397 32 2812.406 33 2850.515 34 2888.224 35 2925.933 36 2963.642

-13.0000

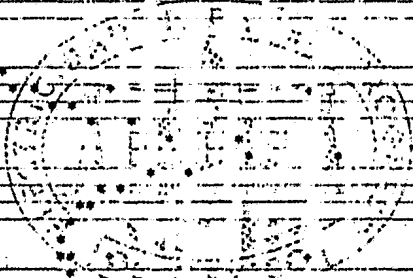
-7.306122

27.61224

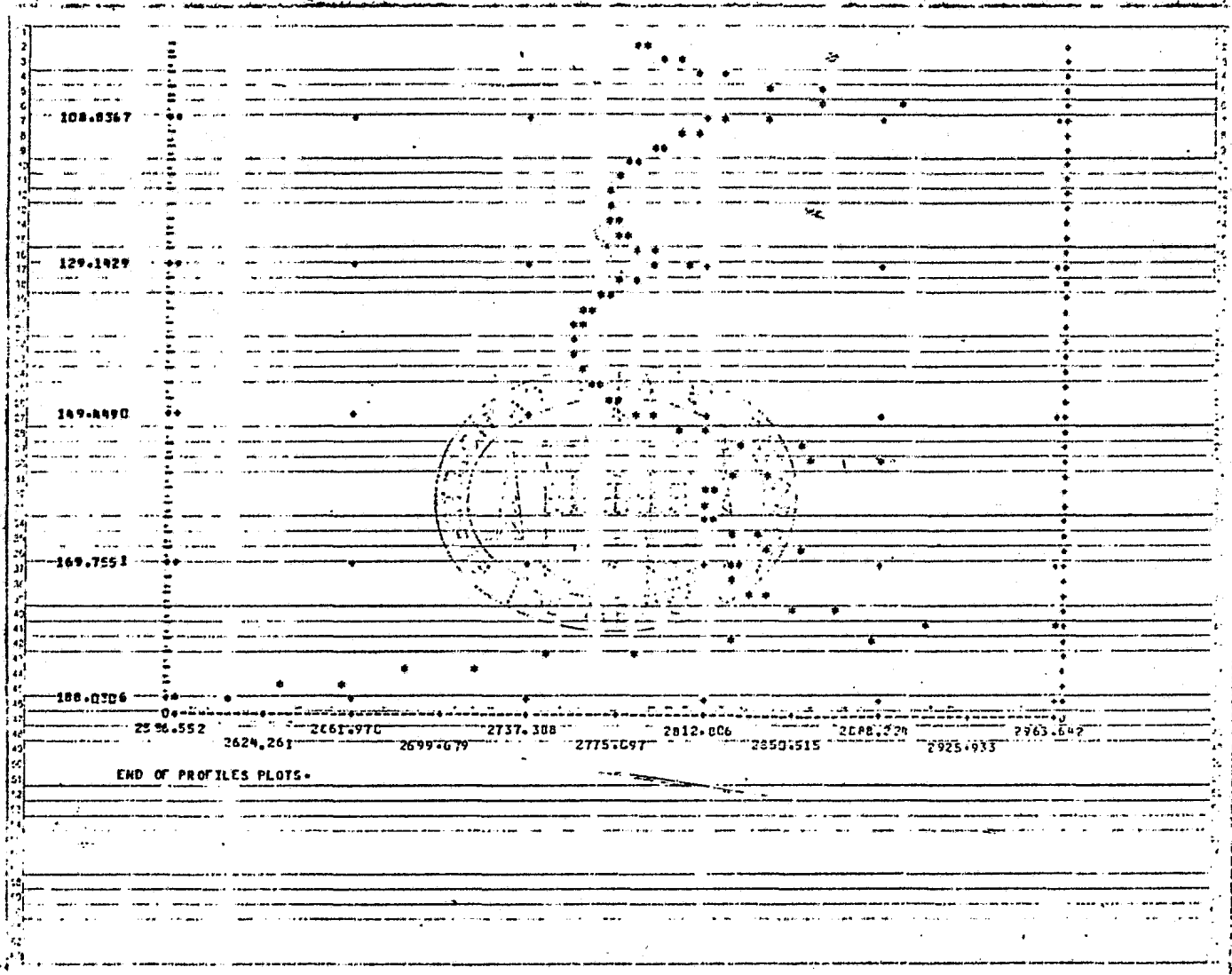
47.91837

68.22449

88.53061



06



STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER - 1

0436.552 0401.069 2555.618 2620.143 2684.680 2749.217 2813.754 2878.291 2942.829 3007.366 3071.903

-129.0700

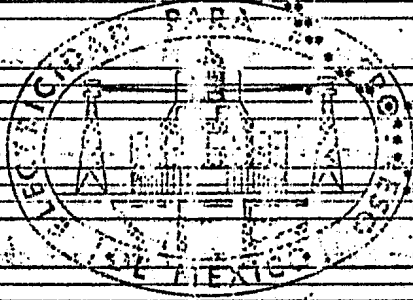
-109.6919

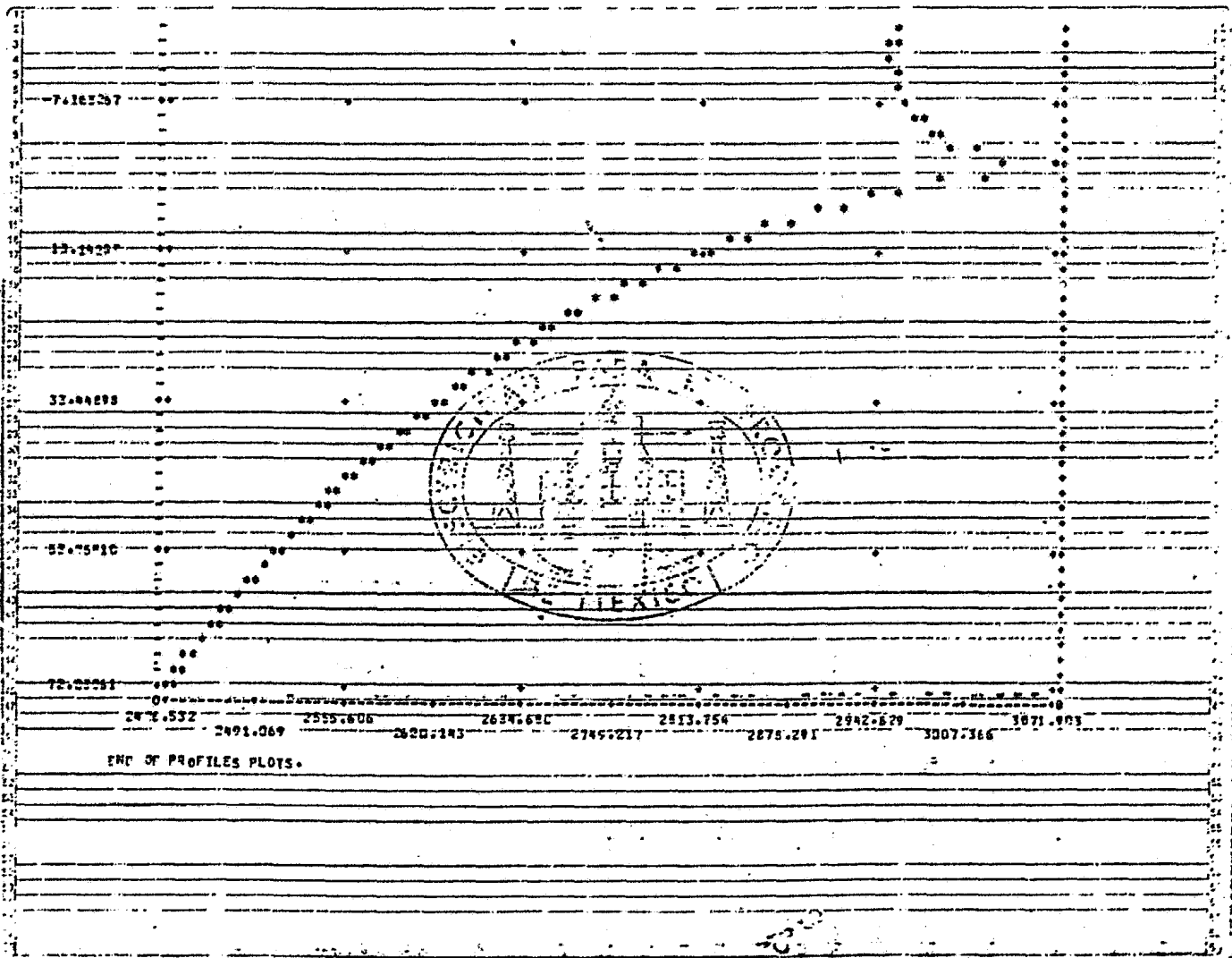
-89.3076

-68.0813

-47.7751

-27.4693





7.167297

12.1422

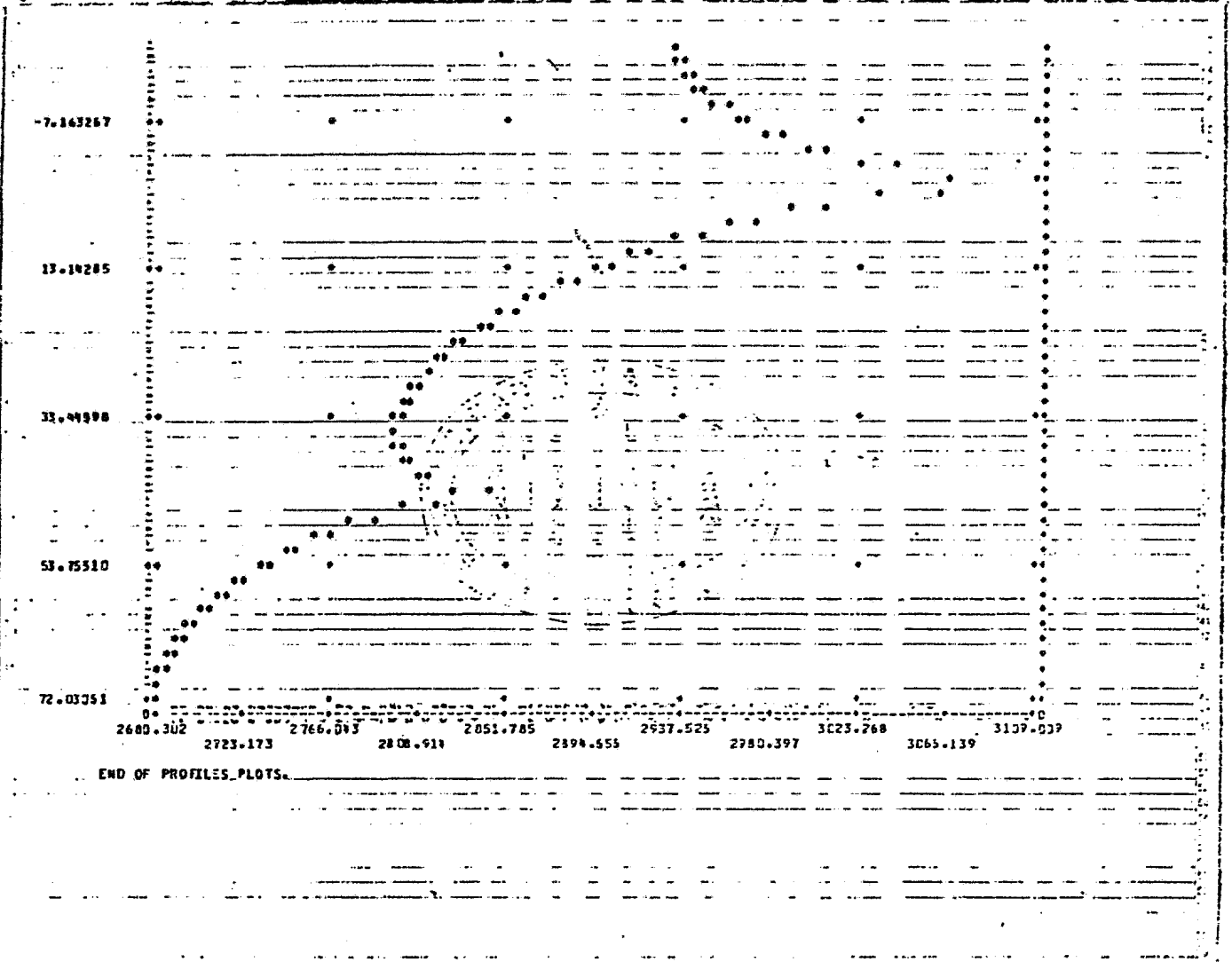
32.04298

52.7510

72.05291

2472.532 2491.069 2559.606 2628.143 2696.680 2765.217 2833.754 2902.291 2970.828 3039.365 3107.903

END OF PROFILES PLOTS.



STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1

2680.362 2723.173 2766.083 2808.914 2851.785 2894.655 2937.527 2980.397 3023.268 3066.139 3109.009

-129.0030

-108.6939

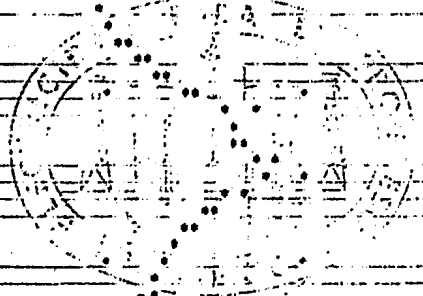
-88.38776

-68.08163

-47.77551

-27.46939

176



STARTING PROFILES PLOTS.

Plot NUMBER = 1

1449-141 1574-816 1838-167 2107-519 2354-870 2616-321 2785-897

71-0000

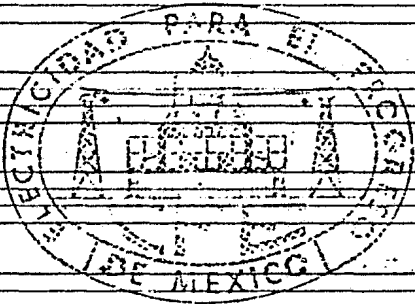
91-30612

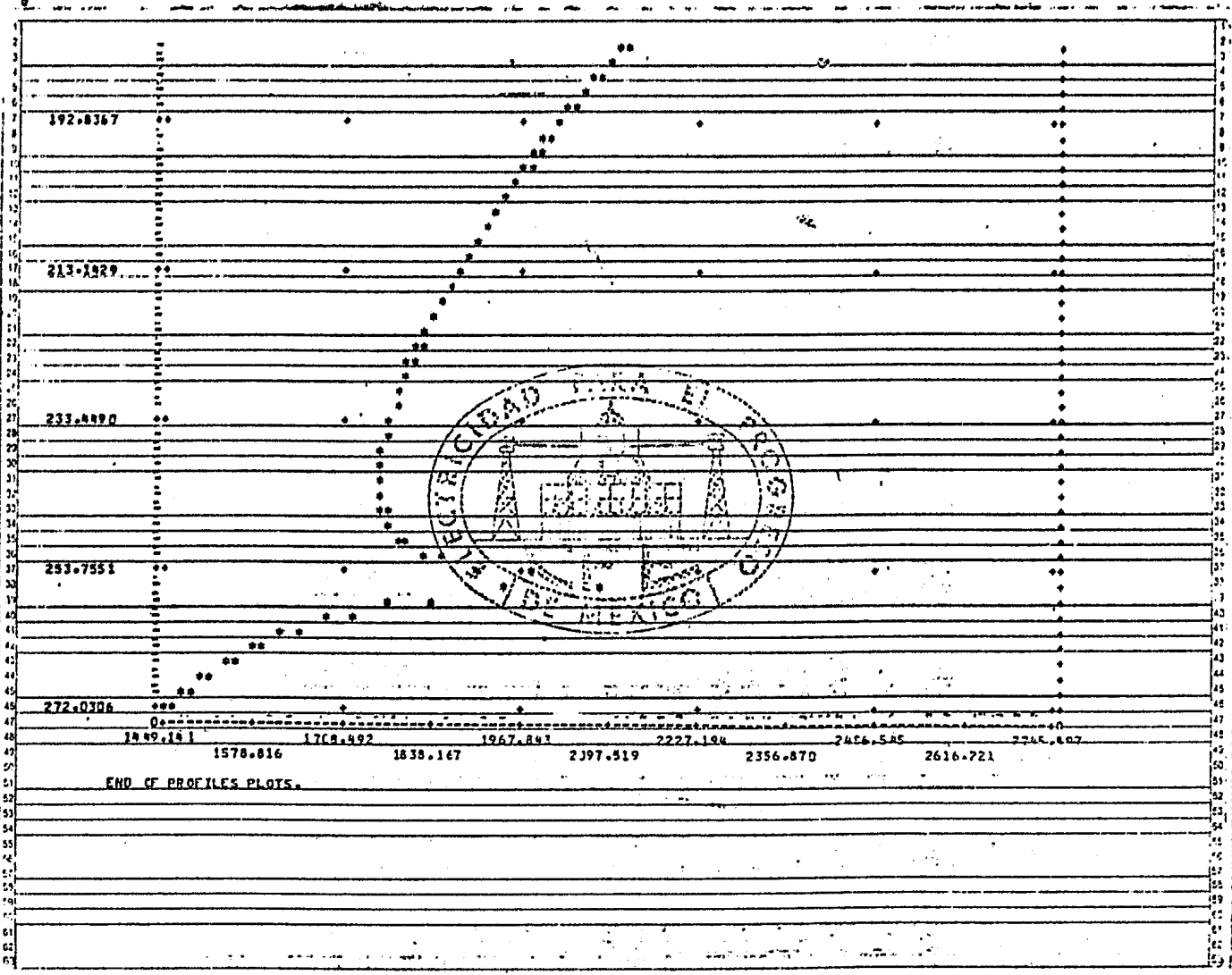
111-6122

131-9186

152-2245

172-5106





192.8367

213.1929

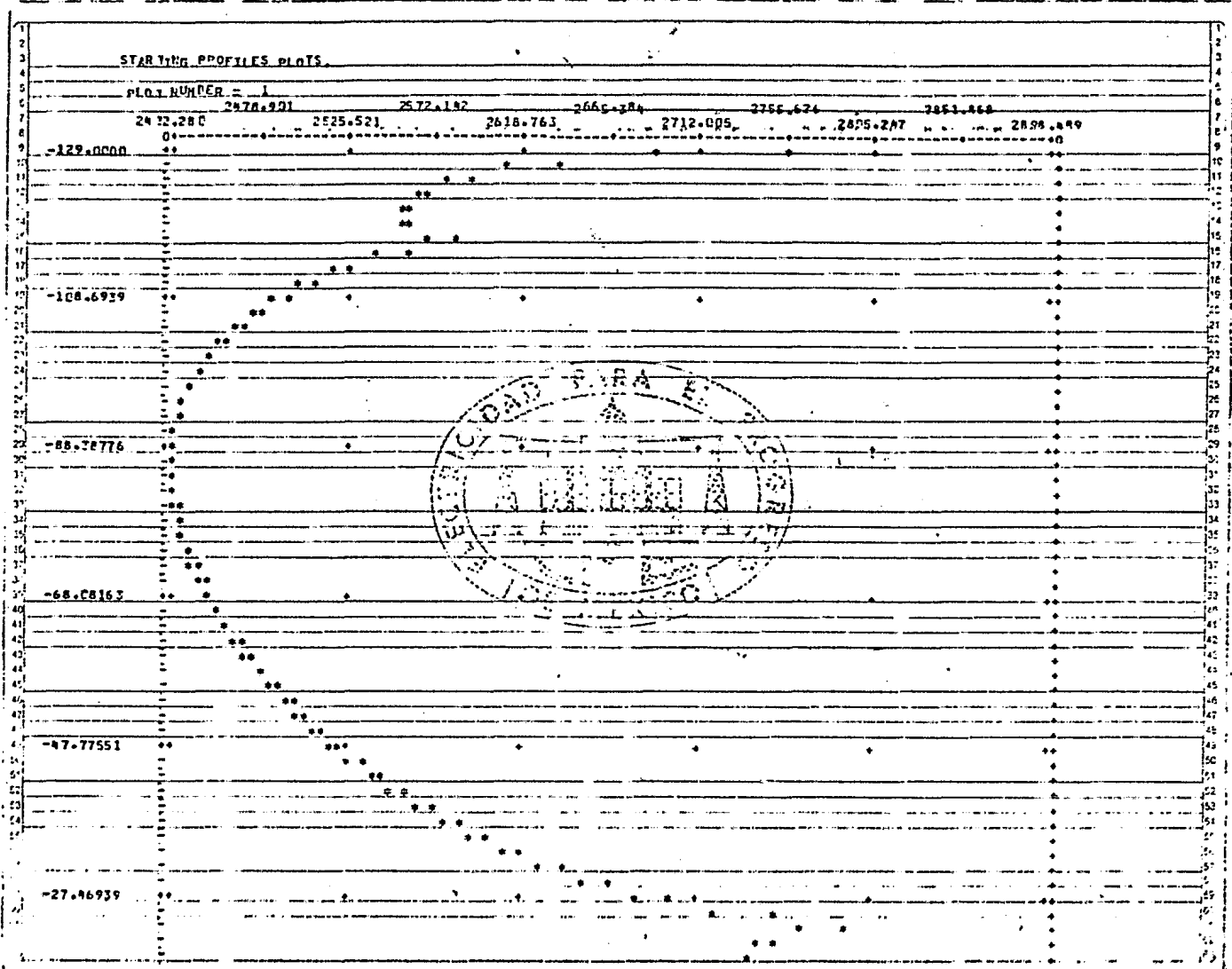
233.4990

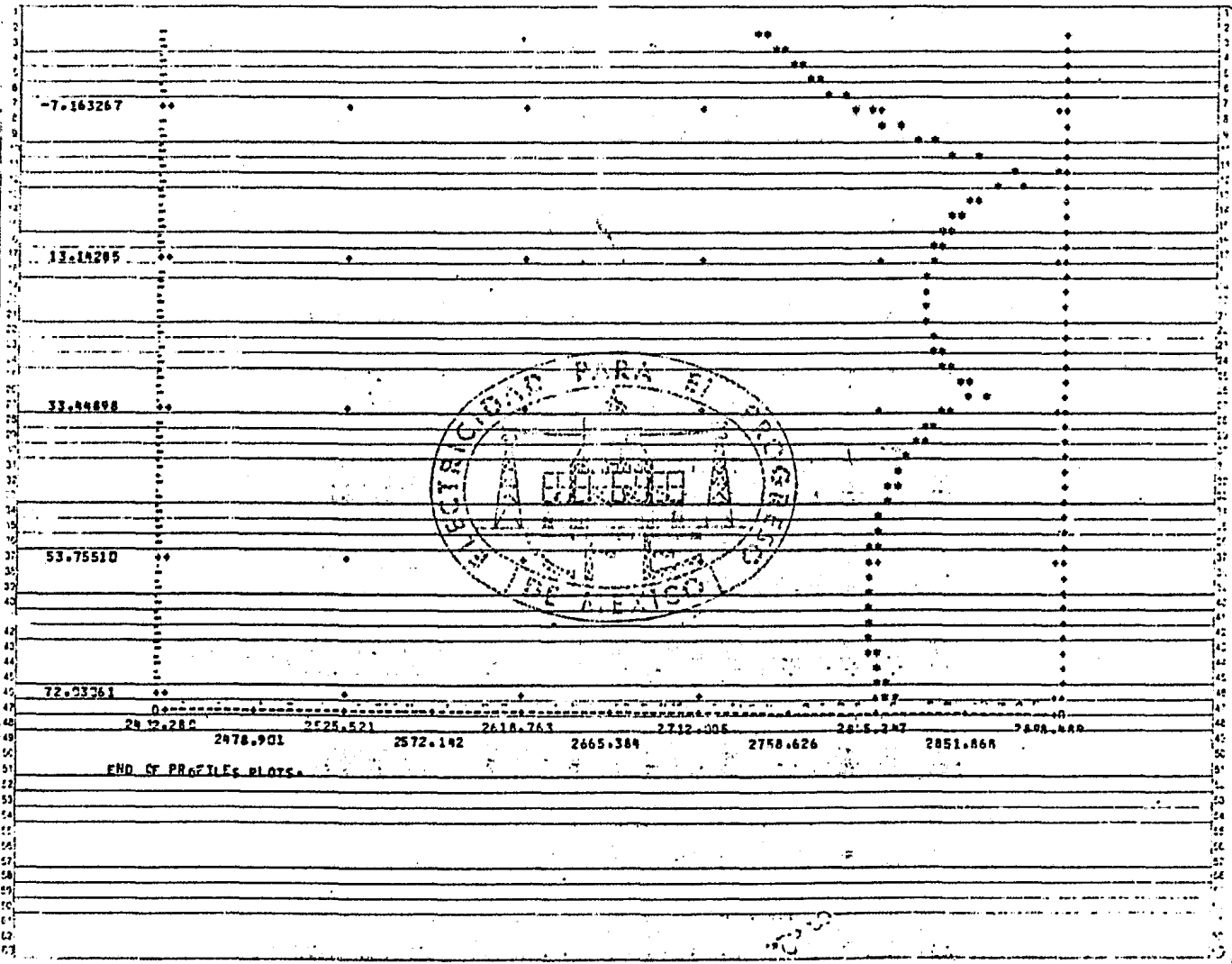
253.7551

272.0306

1949.181 1578.816 1708.492 1838.167 1967.843 2197.519 2227.194 2356.870 2486.545 2616.221 2745.807

END OF PROFILES PLOTS.





-7.163267

11.1A295

33.44808

53.75510

72.03761

STARTING PROFILES PLOTS.

PLOT NUMBER = 1.

1348.857 1536.429 1669.421 1822.133 1979.045 2137.717 2295.489 2453.261 2611.073 2768.885 2926.577

71.20300

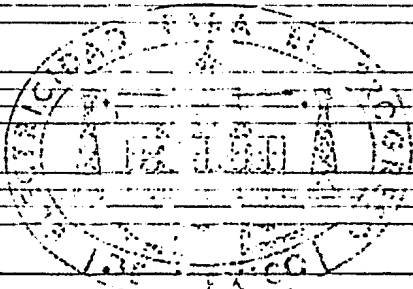
91.70612

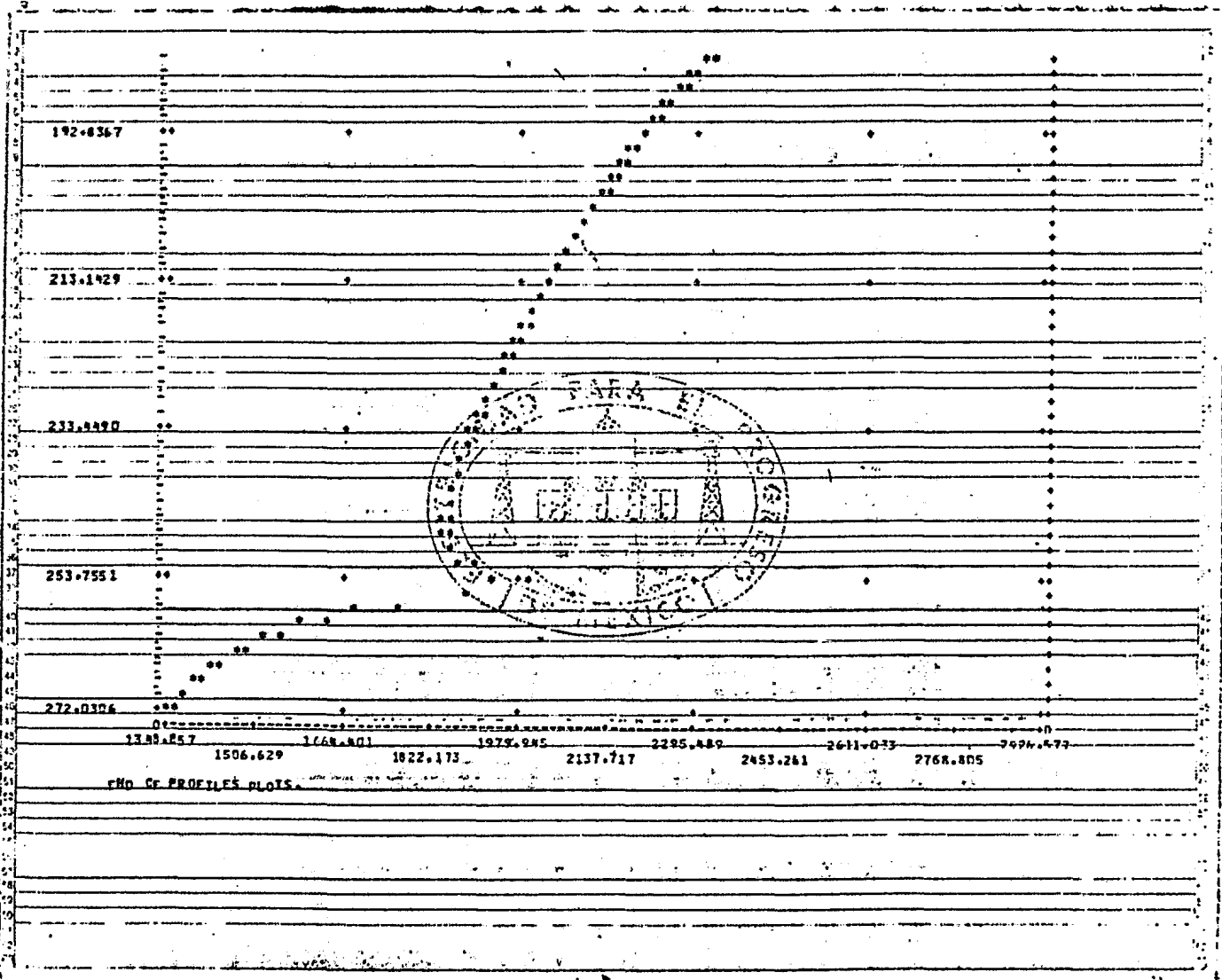
111.6122

131.9184

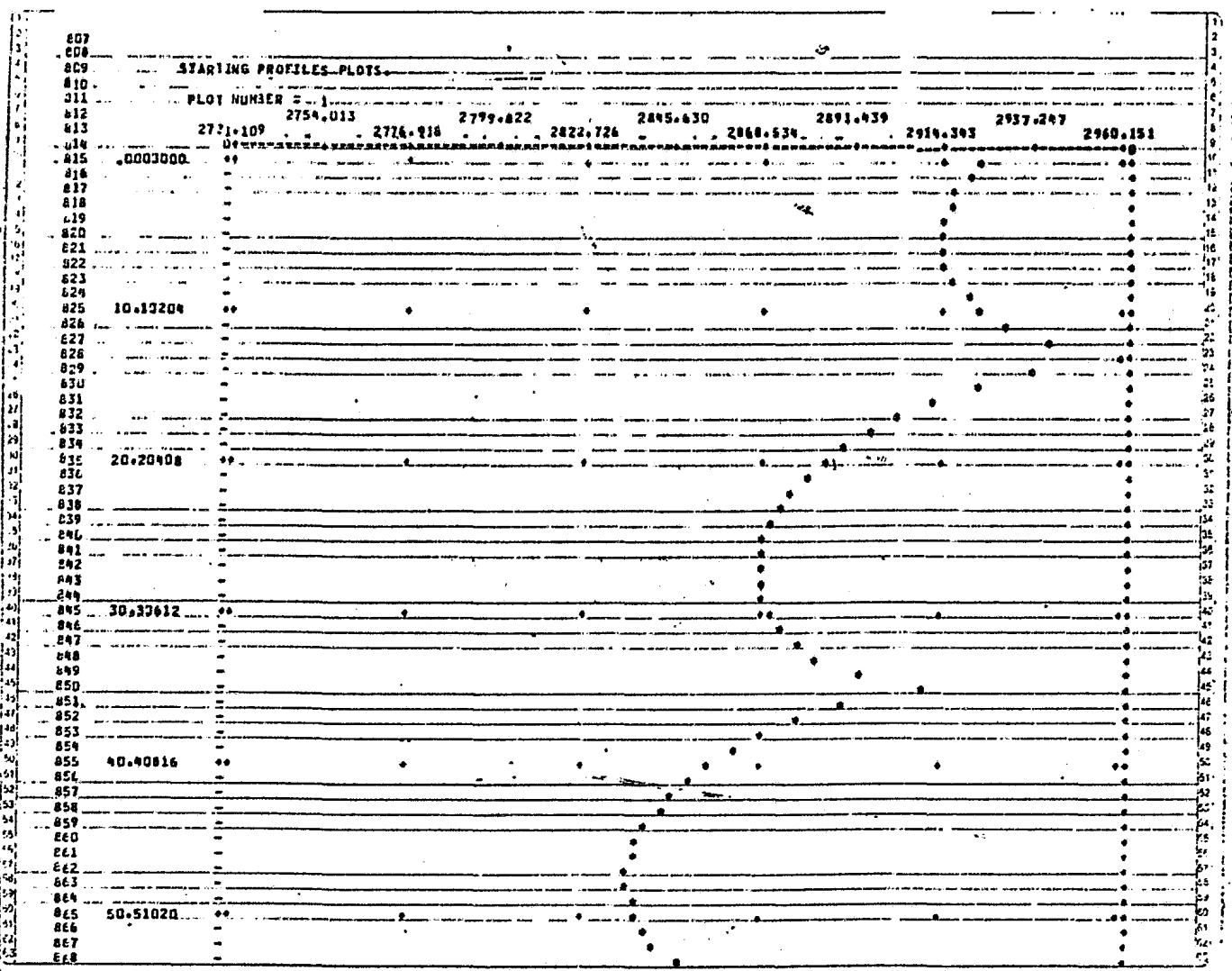
152.2245

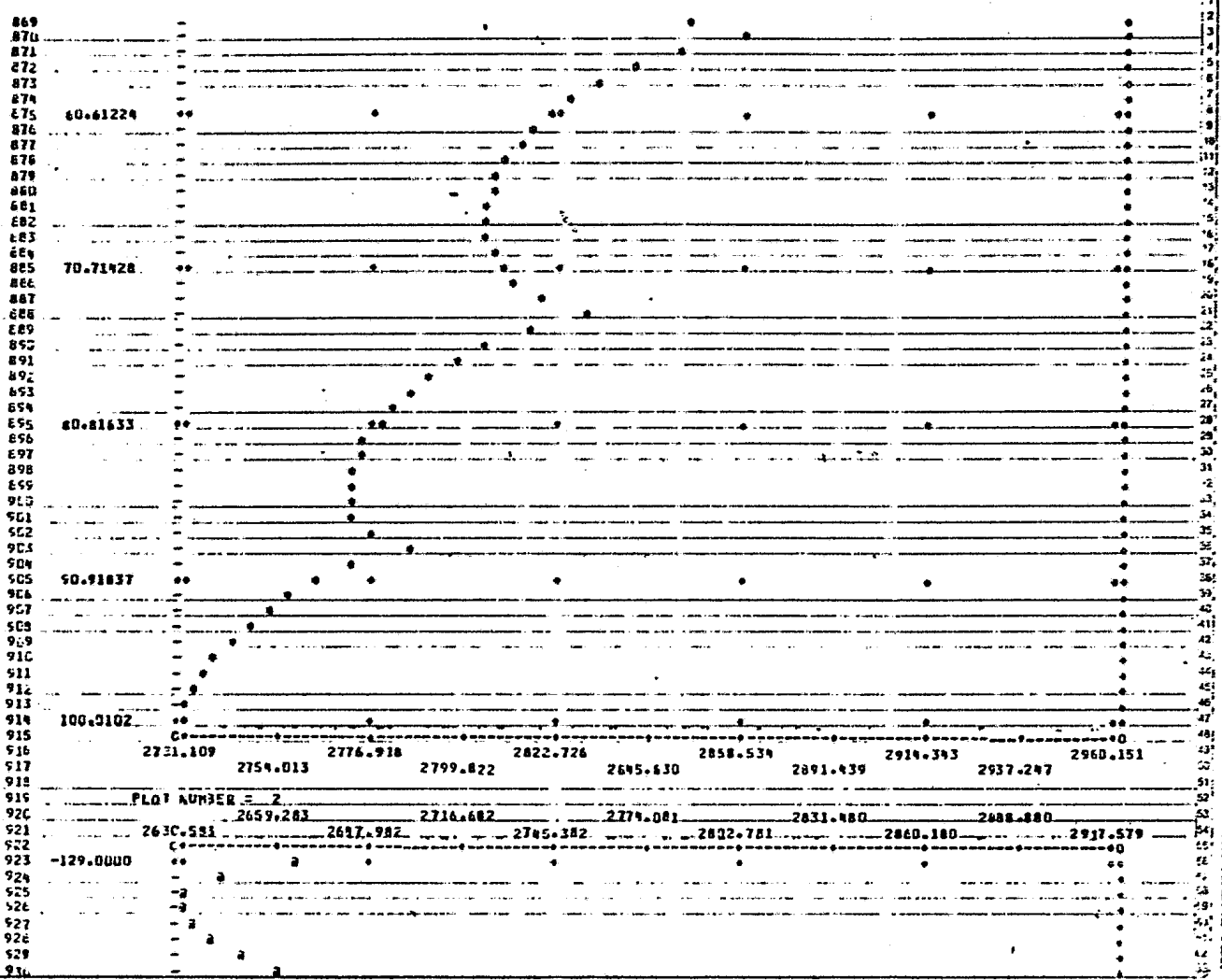
172.5306

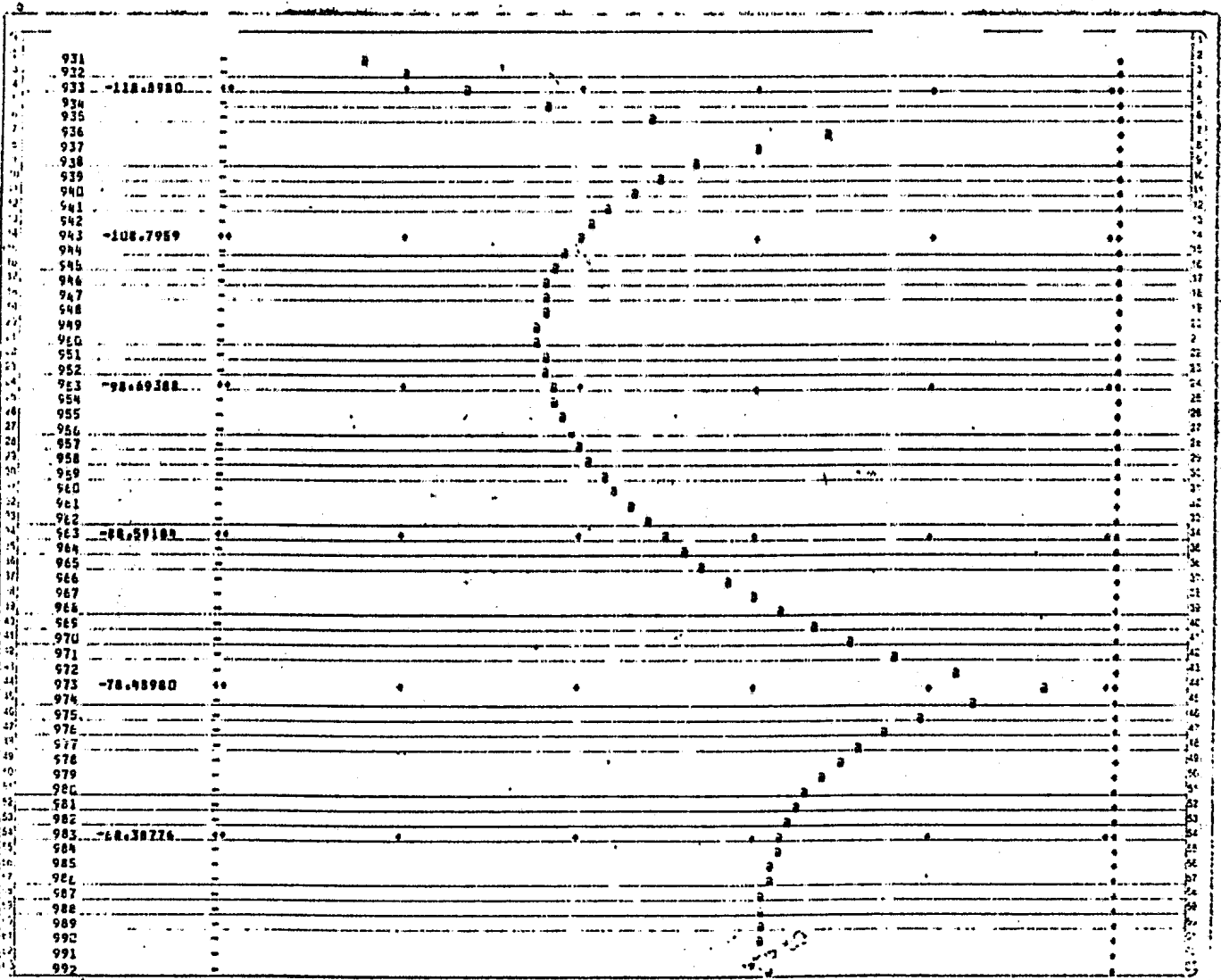




100



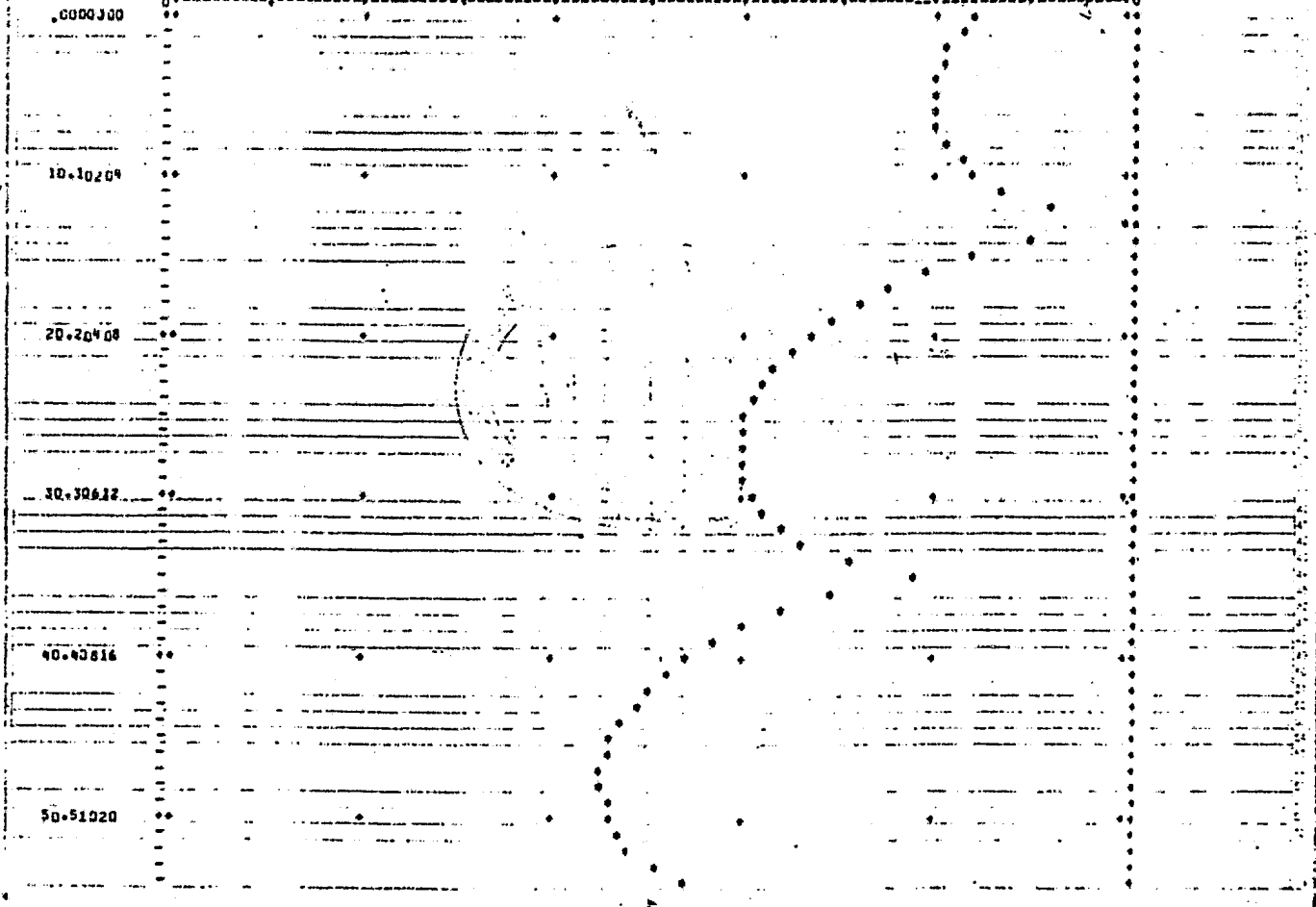




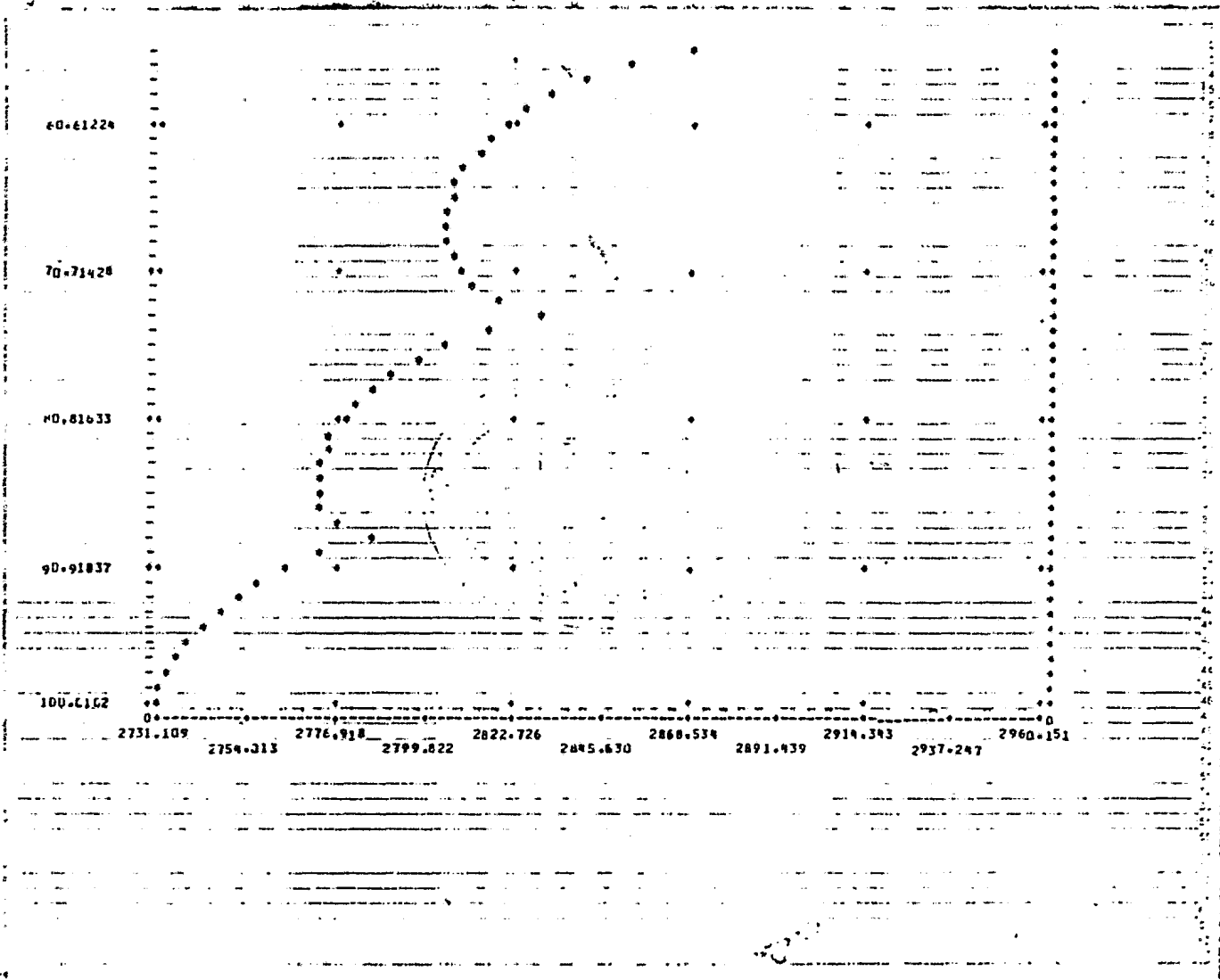
STARTING PROFILES PLOTS.

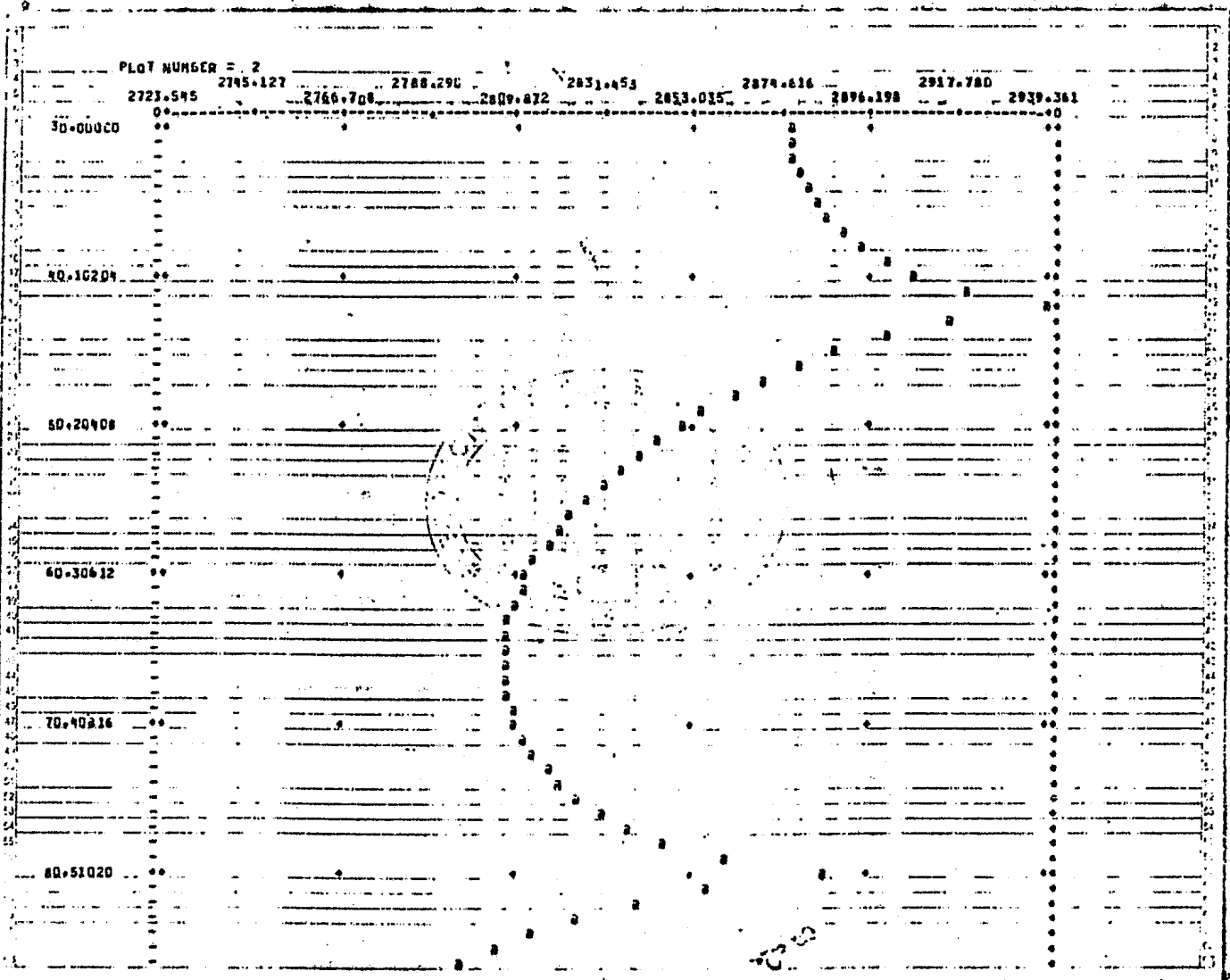
PLOT NUMBER = 1

2731.109 2754.313 2776.918 2799.822 2822.726 2845.633 2868.534 2891.439 2914.343 2937.247 2960.151



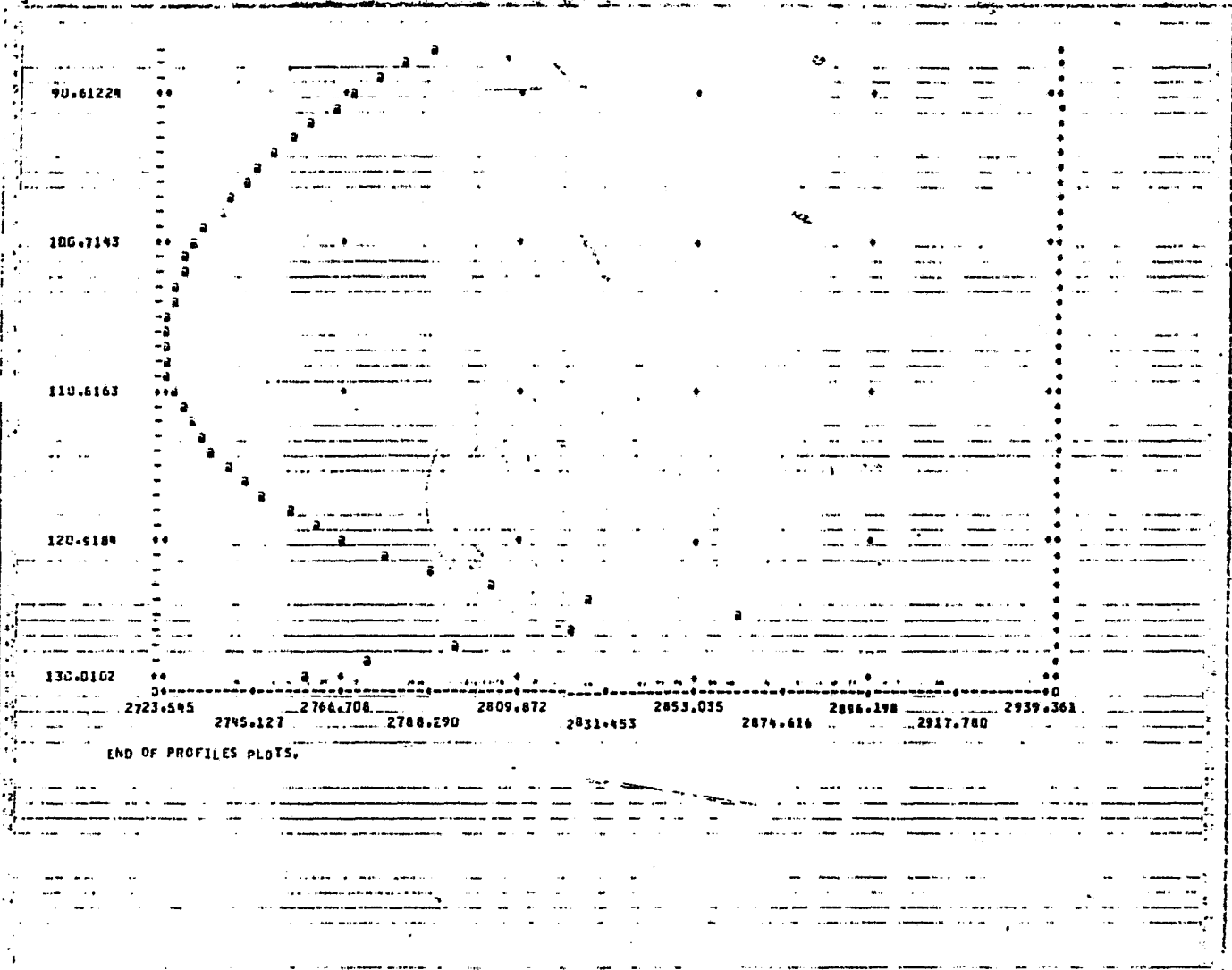
601





111

2000



112

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 CONVENCIONAL

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 REGISTRO,					████████████							
COLOCACIÓN DE VARILLAS DE TIERRA.					████████████████							
TENDIDO DEL CABLE DE LA MALLA PRINCIPAL.					████████████████							
CONEXIÓN DEL CABLE DE LA MALLA PRINCIPAL EN CRUZMIENTOS Y A LAS VARILLAS.					████████████████				████████████			
TENDIDO Y CONEXIÓN DE CABLES QUE SERVIRÁN DE CONEXIÓN DEL EQUIPO A LA MALLA PRINCIPAL.									████████████			
TAPADO DE ZANJAS Y APISONADO DEL TERRENO.									████████████			

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.

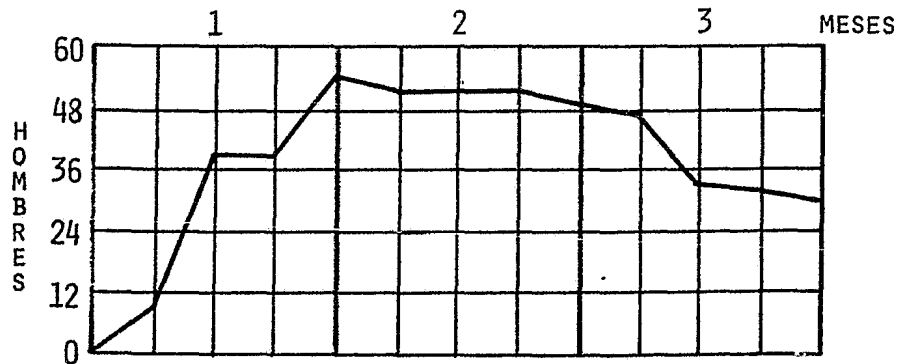
EN BASE A ESTE PERSONAL SE ELABORÓ UNA
 TABLA HOMBRES-MESES EN LA QUE SE APRE-
 CIA EL PERSONAL QUE SE EMPLEARÁ POR SE
 MANA, EL TOTAL DE SEMANAS POR ESPECIA-
 LIDAD Y LA CANTIDAD TOTAL EN PESOS QUE
 CORRESPONDAN A CADA UNA DE ELLAS.

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.

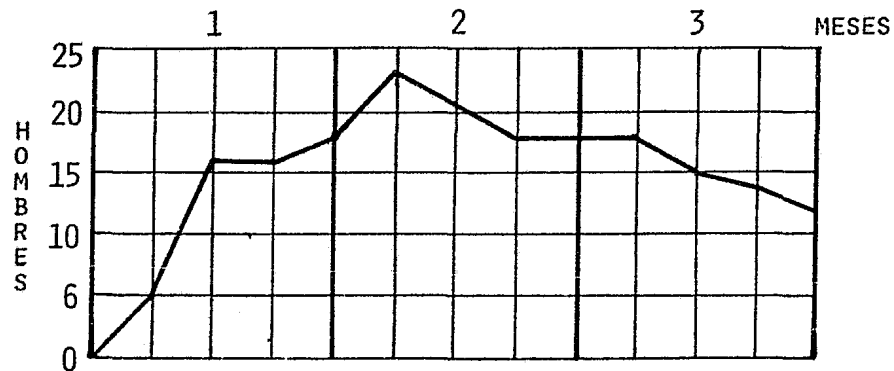
METODO CONVENCIONAL

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.

L I S T A D E M A T E R I A L E S

LOTE	C A N T I D A D		UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO \$	I M P O R T E	
	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 HO--
LES".
- 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. MELIOPOULS, 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".