


ESTUDIO DE SISTEMAS AUXILIARES EN 3,8 KV  
DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE YUMBO

ANGEL HERNEY CASTAÑEDA LOPEZ

Universidad Autónoma de Occidente  
SECCION BIBLIOTECA

9301 

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE  
DIVISION DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA



C.U.A.O.  
BIBLIOTECA



\*0018112\*

7000-1076

Cali, 1985

ESTUDIO DE SISTEMAS AUXILIARES EN 3,8 KV  
DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE YUMBO

ANGEL HERNEY CASTAÑEDA LOPEZ  
/1

Trabajo de Grado presentado como re  
quisito parcial para optar al títu  
lo de Ingeniero Electrico.

Director LAUREANO SANTA CRUZ  
I. E.

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE  
DIVISION DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA

Calí, 1985

## Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por el Corporación Universitaria Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Eléctrico.

\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado

\_\_\_\_\_  
Jurado

\_\_\_\_\_  
Jurado.

Cali, Noviembre 1985.

+  
621.319 1  
C346e

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
<b>1. UBICACION Y DESCRIPCION DE PLANTA</b>	<b>2</b>
1.1. BOCATOMA	2
1.2. PATIO DE CARBONES	2
1.3. INSTALACION DE CALDERAS TURBO-GENERADORES Y ESTACIONES DE PRECALENTAMIENTO	2
1.4. SUBESTACION TRANSFORMADORA DE DISTRIBUCION E INTERRUPCION	3
1.5. CARACTERISTICAS DE LOS GRUPOS GENERADORES	5
1.5.1. Grupos I y II	5
1.5.2. Grupo III	7
1.5.3. Eficiencias	9
<b>2. UBICACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA EN LA PLANTA</b>	<b>11</b>
<b>3. DATOS E INFORMACION NECESARIOS PARA EL ESTUDIO</b>	<b>15</b>
<b>4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA</b>	<b>32</b>

Democracia - Canal Henry Cabot Lodge - 85-11-91

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Transformador AEG de 58 MVA de 115/37/14 Kv. que alimenta zona Industrial de Yumbo.	4
FIGURA 2. Alternador trifásico acoplado directamente a turbina Marca Brown Boveri de 12.500 KVA.	7
FIGURA 3. Alternador trifásico acoplado directamente a la turbina marca Brown Boveri de 41.250 KVA.	9
FIGURA 4. Sub-Estación de transformación, distribución e interrupción de la Central Termoeléctrica de Yumbo.	11
FIGURA 5. Transformadores 1 y 2 de recibo y suministro de la subestación.	12
FIGURA 6. Curva de carga diaria Jun.24/84	18
FIGURA 7. Curva de carga diaria Jun.30/84	19
FIGURA 8. Curva de carga diaria Jul.10/84	20
FIGURA 9. Curva de carga diaria Jul.20/84	21
FIGURA 10. Curva de carga diaria Jul.30/84	22
FIGURA 11. Curva de Duración de carga diaria Jul. 24/84	23

	Pág.
<b>5. ESTUDIO DE FACTIBILIDADES</b>	34
5.1. FACTIBILIDAD ECONOMICA	34
5.2. FACTIBILIDAD TECNICA	35
<b>6. DIAGRAMA UNIFILAR Y PLANOS ADICIONALES</b>	36
<b>7. DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	42
7.1. TIPO DE TRANSFORMADOR A UTILIZAR	42
7.2. INSTALACION	44
7.2.1. Tipo de línea- Subterránea (corta)	44
7.2.2. Protecciones	64
7.2.3. Sistema de operación	64
7.3. TRANSFORMADOR DE 550/220V-35KVA	65
<b>8. LISTA DE EQUIPO Y ESPECIFICACIONES</b>	67
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFIA	71
ANEXOS	72
PLANOS	89

	Pág.
FIGURA 12. Curva de Duración de carga diaria Jun.30/84	24
FIGURA 13. Curva de Duración de carga diaria Jul.10/84	25
FIGURA 14. Curva de Duración diaria Jul.20/84	26
FIGURA 15. Curva de Duración de carga diaria Jul.30/84	27
FIGURA 16. Curva de carga Mensual Jun/Jul/84	28
FIGURA 17. Curva de carga Mensual. Jun/Jul./84	29
FIGURA 18. Curva de Duración de carga Mensual Jun/Jul/84	30
FIGURA.19. Curva de Duración de carga Mensual Jun/Jul/84	31
FIGURA 20. Transformador de 15 MVA, 345/13,8 KV instalado al Feeder V del barraje de 13,8	33
FIGURA 21. Aspecto físico de Transformador. Vista Frontal (A) Vista Superior (B)	37
FIGURA 22. Vista Lateral del Transformador	38
FIGURA 23. Plano Eléctrico de la Línea	39
FIGURA 24. Sistema de Operar de la Línea	40
FIGURA 25. Transformador de 35 KVA y su respectiva carga.	41
FIGURA 26. Transformador Mitsubishi de 58 MVA 115/37/14 KV con cambiador de derivacio <u>nes</u> bajo carga.	43
FIGURA 27. Circuito Eléctrico de la Línea.	44

	Pág.
FIGURA. 28 Diagrama Unifilar de Impedancias	46
FIGURA 29. Diagrama de Reactancia equivalente Tamizadores.	52
FIGURA 30. Diagrama Unifilar de Reactancias	53
FIGURA 31. Diagrama de Reactancia Equivalente	54
FIGURA 32. Diagrama de Reactancia Equivalente MI-WTI- BAI	54
FIGURA 33. Diagrama de Reactancia Simplificado $X_a X_b$	55
FIGURA 34. Diagrama de Reactancia $X_e X_f$ .	57
FIGURA 35. Diagrama de Reactancia $X_6 X_4$	59
FIGURA 36. Diagrama de Reactancia $X_i X_{ab} X_{ca}$	60
FIGURA 37. Diagrama de Reactancia $X_j X_k$	61
FIGURA 38. Diagrama de Reactancia $X_{de} X_{fd} X_{fe}$	61
FIGURA 39. Diagrama de Reactancia $X_{\bar{n}} X_0$	62
FIGURA.40 Corriente corto circuito del sistema	63
FIGURA 41. Simulación fallo en el sistema	63
FIGURA 42. Equivalente Thevenin del sistema.	63



LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Eficiencias	9

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Hoja de Registro Diario de Operación	73
ANEXO 2. Catálogo de Ceat General de Colombia S.A	76
ANEXO 3. Tabla de Resistencia	85
ANEXO 4. Corriente de Corto Circuito Permisible para conductores de aluminio con aislam <u>ie</u> miento Termopiastico	87

## LISTA DE PLANOS

	Pág.
PLANO 1. Diagrama Unifilar	90

## RESUMEN

En el presente trabajo se encontrará en la primera parte, una descripción sencilla, en la cual se dá a conocer la localización de la Central Térmica y sus límites, cómo se encuentra distribuída en departamentos y cuál es la función primordial de cada uno de ellos.

Seguidamente se muestra y describe el problema de la planta y las posibles soluciones que se han efectuado cuando los motivos de las fallas lo han permitido sin llegar a situaciones extremadamente críticas. Además de la información para realizar el estudio, se encuentran las correspondientes hojas en las cuales fueron tomados los datos necesarios para la elaboración posterior de las curvas que permitieron determinar la capacidad de la línea a utilizar.

Se presenta también una serie de alternativas planteadas, con el fin de seleccionar la más adecuada, teniendo en cuenta la factibilidad económica y técnica de la misma; luego se tiene el desarrollo del proyecto, una vez determinada la solución adecuada. Se efectúan todos los cálculos mate

máticos, con el fin de especificar los elementos de operación, control, protección, etc. También se establece la capacidad de un transformador adicional de 35 KVA, 550/220V para el alumbrado exterior de la planta y algunos sistemas de emergencia.

De una forma clara y sencilla, aparecen los planos físicos y eléctricos de la línea y sus diagramas de control y operación. Se hallará un diagrama unifilar completo de toda la Central Térmica de Yumbo con sus respectivas modificaciones.

Posteriormente se da la lista y especificaciones de los materiales y equipos empleados y finalmente se anotan las conclusiones a que se llegaron y las fuentes de consulta utilizadas.

## INTRODUCCION

El presente trabajo se ha realizado con el único fin de hallar la solución más acertada a un problema que se presenta en la Central Termoeléctrica de Yumbo.

En él se procura presentar de una forma sencilla paso a paso las informaciones y explicaciones necesarias para lograr llegar a la meta propuesta.

Indudablemente llamará la atención los capítulos cinco y seis, donde se puede obtener una idea clara del proyecto. En ellos se encontrarán todos los esquemas correspondientes a la línea, meta del proyecto, como también el cálculo matemático de la misma. Se hallarán una serie de curvas que permitan establecer los niveles de generación y consumo de energía del sistema instalado en el barrage de 13,8 Kw, como también una serie de figuras y tablas necesarias en la elaboración del proyecto.

## 1. UBICACION Y DESCRIPCION DE LA PLANTA

La planta termoeléctrica de Yumbo, está situada a 13 Km. al norte de Cali, en la zona industrial de Puerto Isaacs y comprende las siguientes instalaciones funcionales:

### 1.1. BOCATOMA

Es una instalación para bombeo de agua del Rio Cauca y está situada a 1 Km. de la planta.

### 1.2. PATIO DE CARBONES

Es una instalación de almacenamiento y manipulación de carbones, que representa la materia prima para el funcionamiento de la planta.

### 1.3. INSTALACION DE CALDERAS TURBO-GENERADORES Y ESTACIONES DE PRECALENTAMIENTO

Es el lugar donde se realizan las operaciones necesarias para el buen funcionamiento y control de los turbogeneradores.

#### 1.4. SUBESTACION TRANSFORMADORA, DE DISTRIBUCION E INTERRUPCION

Instalación que permite realizar las operaciones de recibo o entrega de energía al sistema interconectado, como también las interrupciones que sean necesarias dentro del sistema.

La planta dispone también de las siguientes dependencias: administración, almacenamiento, laboratorio, talleres de mantenimiento eléctrico, mecánico, instrumentación automotriz, industrial y ebanistería.

Termoyumbo tiene una capacidad instalada de 53 MW distribuidos en tres unidades. Los tres grupos I, II, III son diseñados siguiendo el principio monobloque, es decir son grupos que trabajan independientemente. Cada uno consta de: Caldera, turbina y generador acoplados directamente, estación de precalentamiento del agua de alimentación, servicios auxiliares y transformador elevador.

Los Grupos I y II son de 10 MW cada uno y fueron puestos en servicio durante los años de 1958 y 1960 respectivamente. El grupo III es de 33 MW y fué puesto en servicio en Junio de 1961.



La energía generada a 13,8 Kv se envía a una subestación, donde por medio de transformadores se eleva el voltaje a 115 Kv y luego se transmite a un barraje, a partir del cual se entrega a Cali, Juanchito, Palmira, Buga, e Isa; mediante líneas de doble circuito.

Se cuenta también con una zona de transformación de 115/34,5 Kv que alimenta la zona Industrial de Yumbo, igual que Calima y Candelaria a través de dos circuitos independientes según se observa en la Figura 1.



FIGURA 1. Transformador AEG de 58 MVA de 115/37/14 Kv que alimenta zona Industrial de Yumbo.

## 1.5. CARACTERISTICAS DE LOS GRUPOS GENERADORES

Se cuenta con una planta de tratamiento (común) de agua común para los tres grupos, la cual provee el agua de compensación. El agua es sometida a decantación, floculación, filtración y suavización antes de pasar a los evaporadores de los grupos, donde es destilada mediante una de las extracciones de las turbinas.

### 1.5.1. Grupos I y II

Estos grupos tienen las mismas características de diseño, las cuales son:

- CALDERA: Marca Stejn & Roubaix de París, hogar de paredes acuatuñulares, equipado para generar carbón en trozos sobre parrilla móvil, equipo de regulación marca Bailey, producción de vapor 50 Tn/hora, presión de vapor 60 Kg/cm<sup>2</sup> 450°C, rendimiento del 87%.

Las partes principales de la caldera son: Un calderín superior y uno inferior, un sobrecalentador de convección y uno de radiación, economizador y precalentador de aire tubular. Los auxiliares de la caldera son: ventiladores centrífugos de tiro (tiro inducido) y de soplado (tiro forzado), dos bombas de alimentación, una accionada a motor y

la otra accionada por una pequeña turbina a vapor, ventiladores de aire secundario y chimenea de 35 m. de altura.

**TURBO GRUPO Y ESTACION DE PRECALENTAMIENTO:** Una turbina marca Brown Boveri de Suiza, tipo de condensación, con una rueda de acción y 30 etapas o hileras de álabes de reacción, 3600 RPM; admisión de vapor a  $44\text{Kg/cm}^2$  y  $450^\circ\text{C}$ , vapor expandido hasta una presión absoluta de 30 mm C.A., temperaturas del vapor expandido  $35^\circ\text{C}$ .

Dos extracciones de vapor de la turbina sirven para precalentar el agua de alimentación hasta  $160^\circ\text{C}$ . Una tercera extracción sirve para desgasificar aquella y también para evaporar el agua de compensación el ciclo.

El condensador tiene dos cámaras de agua, tres pasos: su superficie  $960\text{ M}^2$ , temperatura de entrada del agua de refrigeración  $22^\circ\text{C}$  y a la salida  $28^\circ\text{C}$ , caudal de agua de refrigeración  $2.600\text{ m}^3/\text{hora}$ . Un alternador trifásico fabricado por la Brown Boveri, directamente acoplado a la turbina, de 12.500 KVA,  $\cos \phi$  0.8, 13.800 voltios, 60 ciclos, una excitatriz, enfriamiento por aire. (Ver Figura 2).

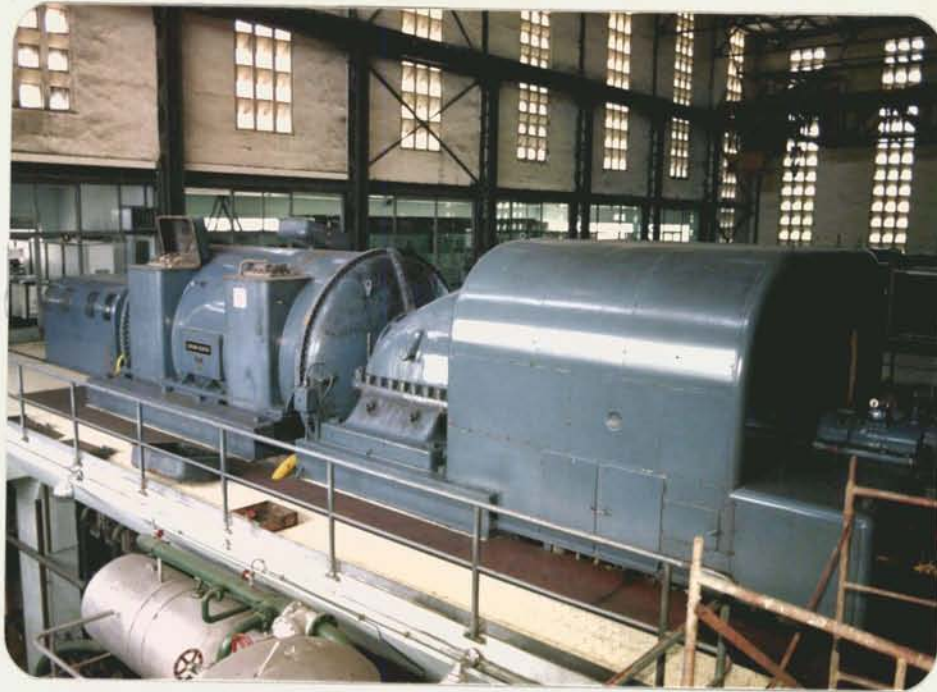


FIGURA 2. Alternador trifásico acoplado directamente a turbi  
na Marca Brown Boveri de 12,500 KVA.

### 1.5.2. GRUPO III

#### 1.5.2.1. Caldera:

Marca KSG de Stuttgart- Alemania, con hojas diseñadas pa  
ra quemar carbón pulverizado, regulación electroneumáti  
ca AEG, producción de vapor 135 Tn/hora, presión del vapor  
60,8 Kg/cm<sup>2</sup>, temperatura del vapor 485°C, rendimiento 89%.

Las partes principales de la caldera son: Un ventilador  
axial de soplado, dos ventiladores centrífugos de tiro,  
dos motobombas de alimentación, tres molinos pulverizado

res, equipo de combustión con A.C.P.M., una bomba para circulación interna durante el arranque, deshollinadores a vapor, un precipitador de hollines electrostático, equipo de extracción de cenizas al vacío y chimenea de 60 m de altura.

#### 1.5.2.2. Turbo Grupo y Estación de Pre calentamiento

Una turbina marca Brown Boveri, tipo de condensación con una rueda de acción de doble hilera de álabes y 23 etapas de reacción, 3600 R.P.M., 60 Kg/cm<sup>2</sup>, 480°C, vapor expandido hasta 0,063 Kg/cm<sup>2</sup> absolutos.

La turbina tiene cuatro extracciones para el pre calentamiento del agua de alimentación, ésta alcanza una temperatura de 185°C después del último pre calentador. Se cuenta también con un evaporador.

El condensador tiene dos cámaras de agua de dos pasos para cada superficie 1840 M<sup>2</sup>; agua de refrigeración 5000 m<sup>3</sup>/hora con temperatura de entrada 22°C y de salida 28°C. Un alternador trifásico, fabricado por la Brown Boveri y directamente acoplado a la turbina, de 41250 KVA, 13800 voltios, cos  $\phi$  0,8, 60 ciclos, excitatriz principal y piloto, enfriamiento por hidrógeno (Ver Figura 3).



FIGURA 3. Alternador trifásico acoplado directamente a la turbina marca Brown Boveri de 41.250 KVA

### 1.5.3. Eficiencias:

Para las tres unidades se tienen los siguientes datos correspondientes al año 1980, en la Tabla 1.

TABLA 1. Eficiencias

	UNIDADES		
	I	II	II
Kcal /Kv-hora	4.140	3.946	3.003
Kg/Mw-hora	920	936	680

Si sabemos que 1 Kw-hora = 860 Kcal, se puede calcular la eficiencia definida como:

$$n = W/Q$$

Donde: W es la energía producida en Kw/hora y Q es el calor en Kcal, necesario para producir el correspondiente W.

Unidad I  $n_1 = 0,2077 = 20,77\%$

Unidad II  $n_2 = 0,2180 = 21,80\%$

Unidad III  $n_3 = 0,2863 = 28,63\%$

La eficiencia depende de la calidad del carbón, de las condiciones del equipo y de la habilidad de los operadores.

La unidad o grupo III presenta una mayor eficiencia principalmente por generar carbón pulverizado ya que de esta forma se quema todo el combustible, a diferencia de los grupos I y II donde se quema carbón en trozo, lo que representa mayores pérdidas por combustible sin quemar.

## 2. UBICACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA EN LA PLANTA

En la planta termoeléctrica de Yumbo, se tiene básicamente tres niveles importantes de tensión que son los de 115 Kv, 34,5Kv y 13,8Kv ubicados primordialmente en la subestación de transformación, distribución e interrupción de la compañía. (Ver Figura 4).



FIGURA 4, Sub-Estación de transformación, distribución e interrupción de la central Termoeléctrica de Yumbo.



La planta dispone en esta subestación de barrajes de 115 Kv y 34,5Kv, ya que el barraje de 13,8 Kv se encuentra ubicado en la sección de tableros donde es posible operar todos los sistemas de los grupos de generación de la central térmica. La energía generada a 13,8 Kv se envía a una subestación, donde por medio de transformadores se eleva el voltaje a 115 Kv y luego se transmite a un barraje a partir del cual se distribuye a diferentes sitios del departamento mediante líneas de doble circuito.

En la subestación de 115/13.8 Kv se encuentran localizados dos transformadores, uno de recibo y otro de suministro. (Ver Figura 5)



FIGURA 5, Transformadores 1 y 2 de recibo y suministro de la subestación.

El transformador de recibo es aquel que alimenta el barraje de 13,8 Kv cuando los generadores no se encuentran en funcionamiento por algún motivo; el de suministro es aquel que permite entregar al sistema interconectado, potencia, cuando los generadores se encuentran funcionando.

Como se puede analizar a través de la explicación anterior, para la Central Termoeléctrica de Yumbo es de carácter fundamental e indispensable mantener constantemente el nivel de tensión del barraje de 13,8 Kv, debido a que a él se encuentran conectadas ciertas compañías y en caso de falla, se paralizarían totalmente..

Debido a una variedad de fallas que se han presentado, interna o externamente en la Compañía, afectando el sistema en su totalidad, en varias oportunidades se ha dificultado restablecer rápidamente el nivel de tensión del barraje de 13,8 Kv; se hizo necesario realizar el estudio dentro de este proyecto con el fin de hallar una solución adecuada al problema.

Básicamente la realización de este proyecto consiste en solucionar el problema que se presenta, cuando la planta que de aislada totalmente de la alimentación en los sistemas auxiliares de los grupos I y II y el grupo III no está en funcionamiento (Ver Diagrama unifilar anexo 1), debido a

que cuando esto ocurre por cualquier tipo de falla y los grupos se salen de línea, se hace necesario tener tensión en el barraje de 13,8 Kv y de esta manera obtener alimentación de los sistemas auxiliares de cualquiera de los grupos de generación y restablecer rápidamente de nuevo el suministro del mismo, mediante la marcha de uno de los grupos generadores.

Además, el proyecto incluye el diseño de un sistema a 220 voltios que permita alimentar el alumbrado de seguridad, el de emergencia, cargador de baterías, algunos sistemas importantes de mando y los compresores de los interruptores de 115 Kv y 13,8 Kv. Se hace necesario obtener la información acerca del alumbrado de seguridad de la planta porque no existe ninguna clase de datos con respecto a ello.

### 3. DATOS E INFORMACION NECESARIOS PARA EL ESTUDIO

La información y recolección de datos se efectuó en la planta, mediante el empleo de una hoja diseñada por la compañía para ello. En esta hoja de trabajo (Anexo 2) denominada Registro diario de operación- control eléctrico, se obtiene la siguiente información: Generación total en la planta, carga de servicios auxiliares, carga exterior del barraje, lecturas de suministro y recibo de los transformadores y carga de corriente continua.

Los datos fueron tomados a diario (durante las 24 horas) y en un lapso de tiempo o período de 38 días continuos, comprendidos entre el 24 de Junio y el 31 de Julio del año en curso y posteriormente comparados con los tomados por los operarios de la empresa en épocas anteriores y actuales, con el fin de analizar variaciones en las lecturas entre una parte y la otra. Una vez verificados los datos se procedió a la elaboración de una serie de curvas denominadas así:

- Curva de carga diaria (Figuras 6 a 10)
- Curva de duración de carga diaria (Figuras 11 a 15)
- Curva de carga mensual (Figuras 16 y 17) y
- Curva de duración de carga mensual (Figuras 18 y 19)

Estas curvas se elaboraron con el fin de obtener la información que permitiera realmente determinar la potencia requerida en el barraje y así poder conocer la capacidad de la línea.

También fué necesario obtener la información correspondiente al alumbrado exterior de seguridad, su capacidad y características, en cuyo caso se obtuvo la colaboración del Departamento de diseño de Roy Alpha Ltda, el cual una vez realizado el estudio de iluminación, informó que se requerían 30 luminarias de sodio de 400w - 220v cada una para una potencia total de 12 Kw.

Los compresores para operación de los interruptores son dos de 9 H.P, 208 V, 27,5 amp, cada uno para un potencial total de 13,5 Kw. El cargador de baterías tiene una potencia de 1 Kw y una potencia adicional de 3,5 Kw para alumbrado de emergencia, sistemas de mando y control importantes, etc, para un total de 30 Kw, lo cual nos determinaría un transformador de 35 Kva,  $\cos \phi$  0,9 , 550/220v.

Este transformador permite obtener un nivel de tensión de 220 v. en la planta, el cual no existe, ya que el nivel que posee es de 208 voltios y además sería un nivel de tensión muy aconsejable desde el punto de vista de industria.

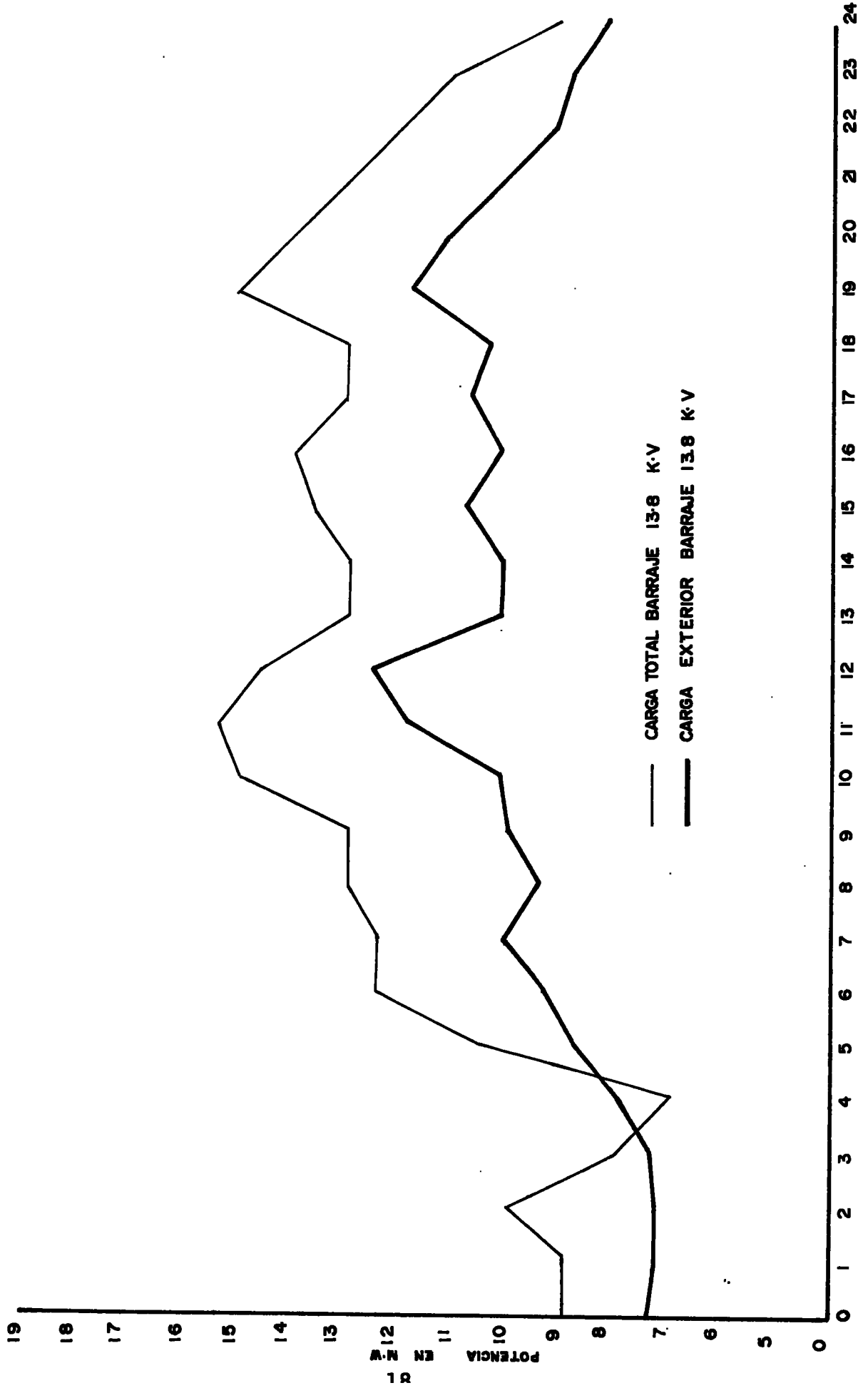


FIGURA 6. Curva de carga diaria Jun. 24/84 <sup>TIEMPO</sup> EN HORAS

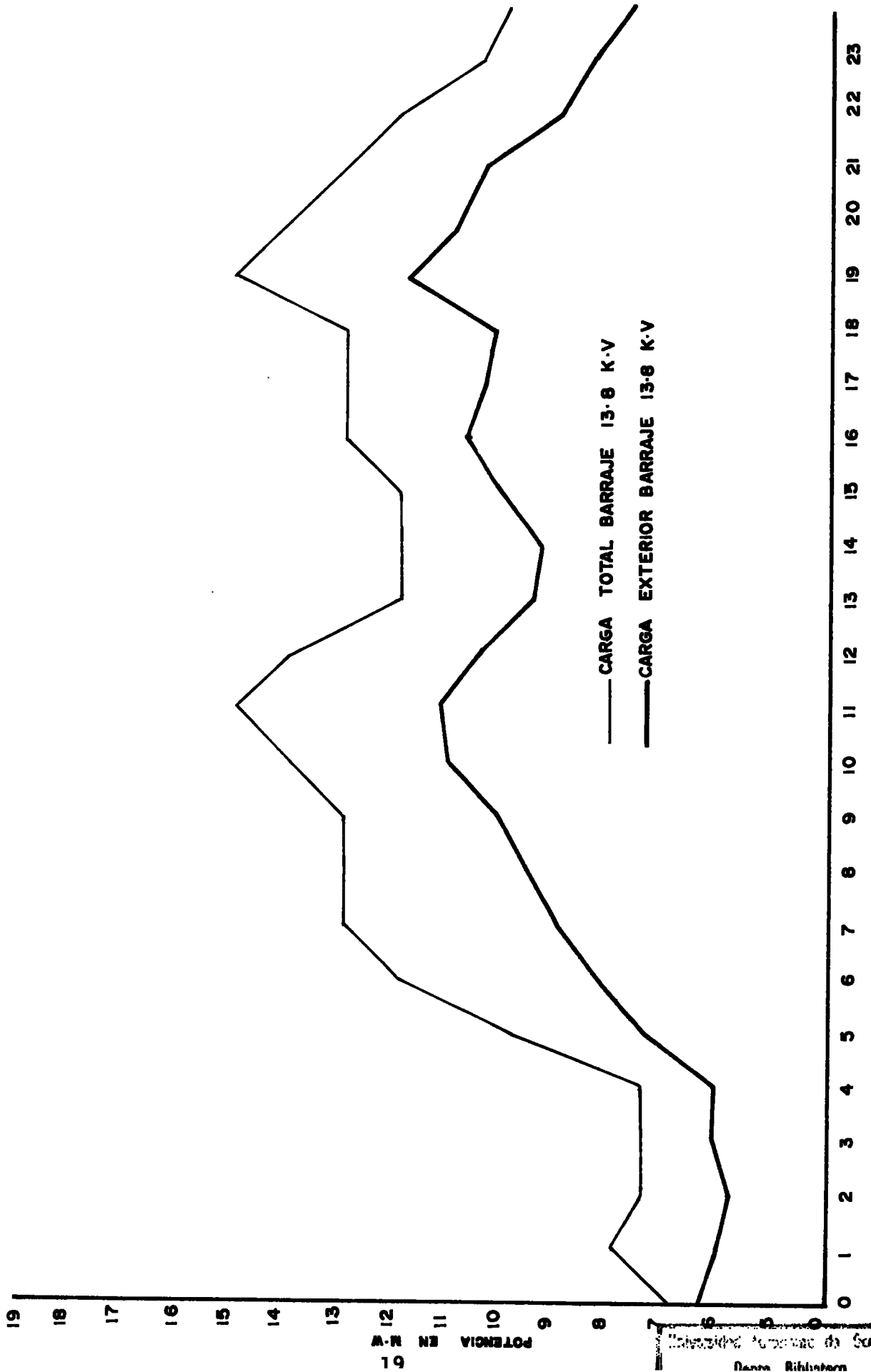


FIGURA 7. Curva de Carga diaria Jun.30/84



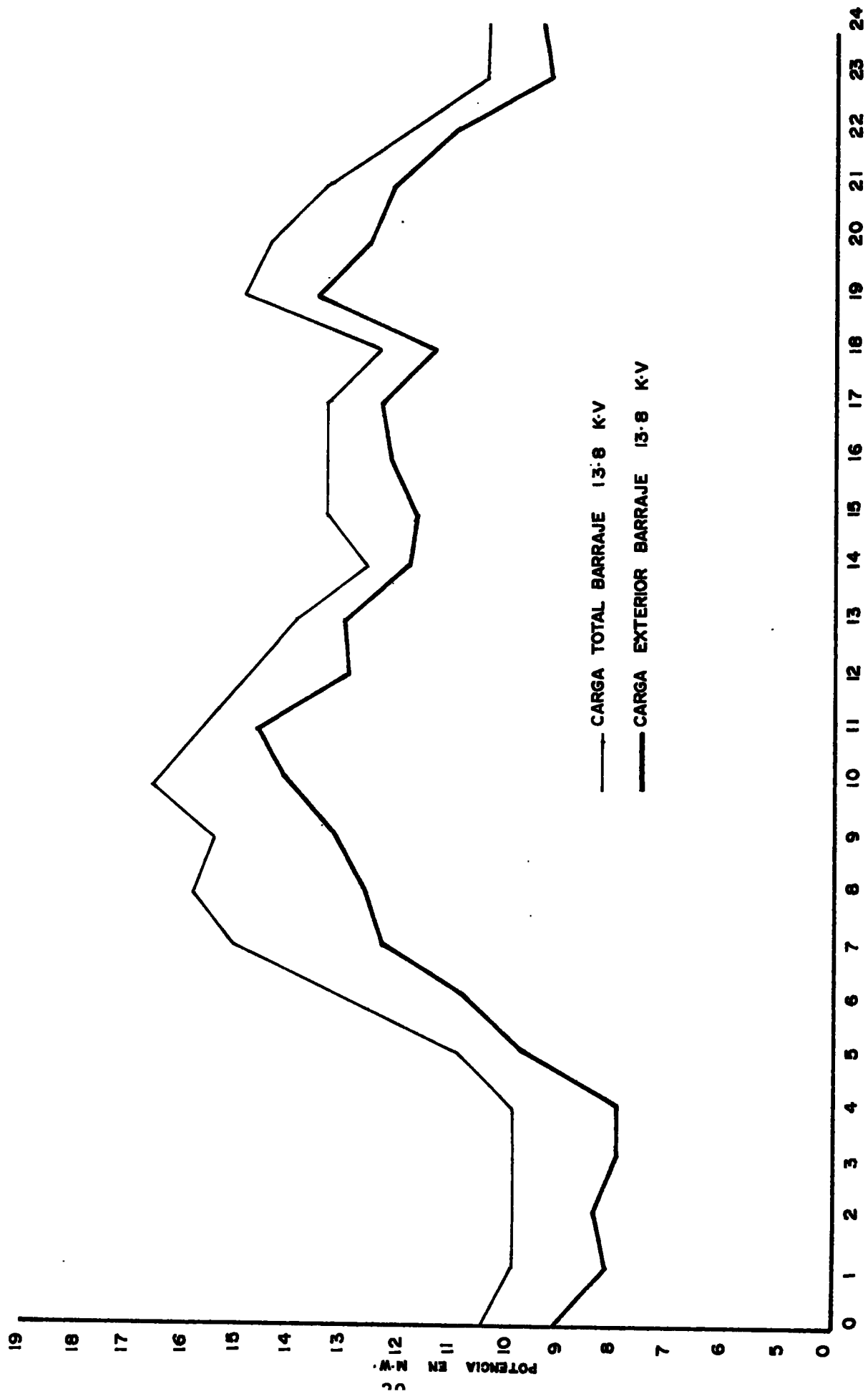


FIGURA 8. Curva de Carga Diaria Jul.10/84

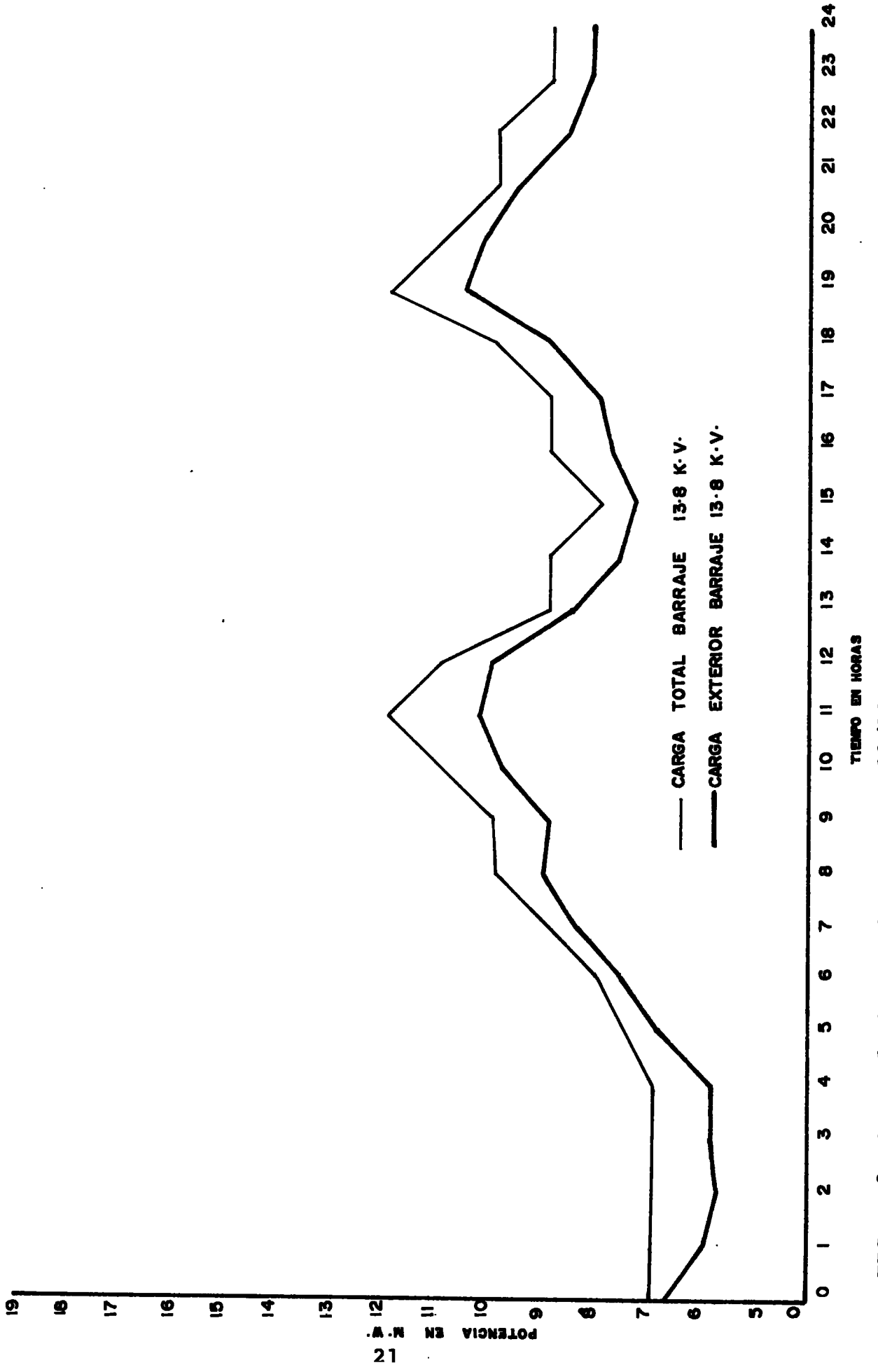


FIGURA 9. Curva de Carga Diaria Julio 20/84

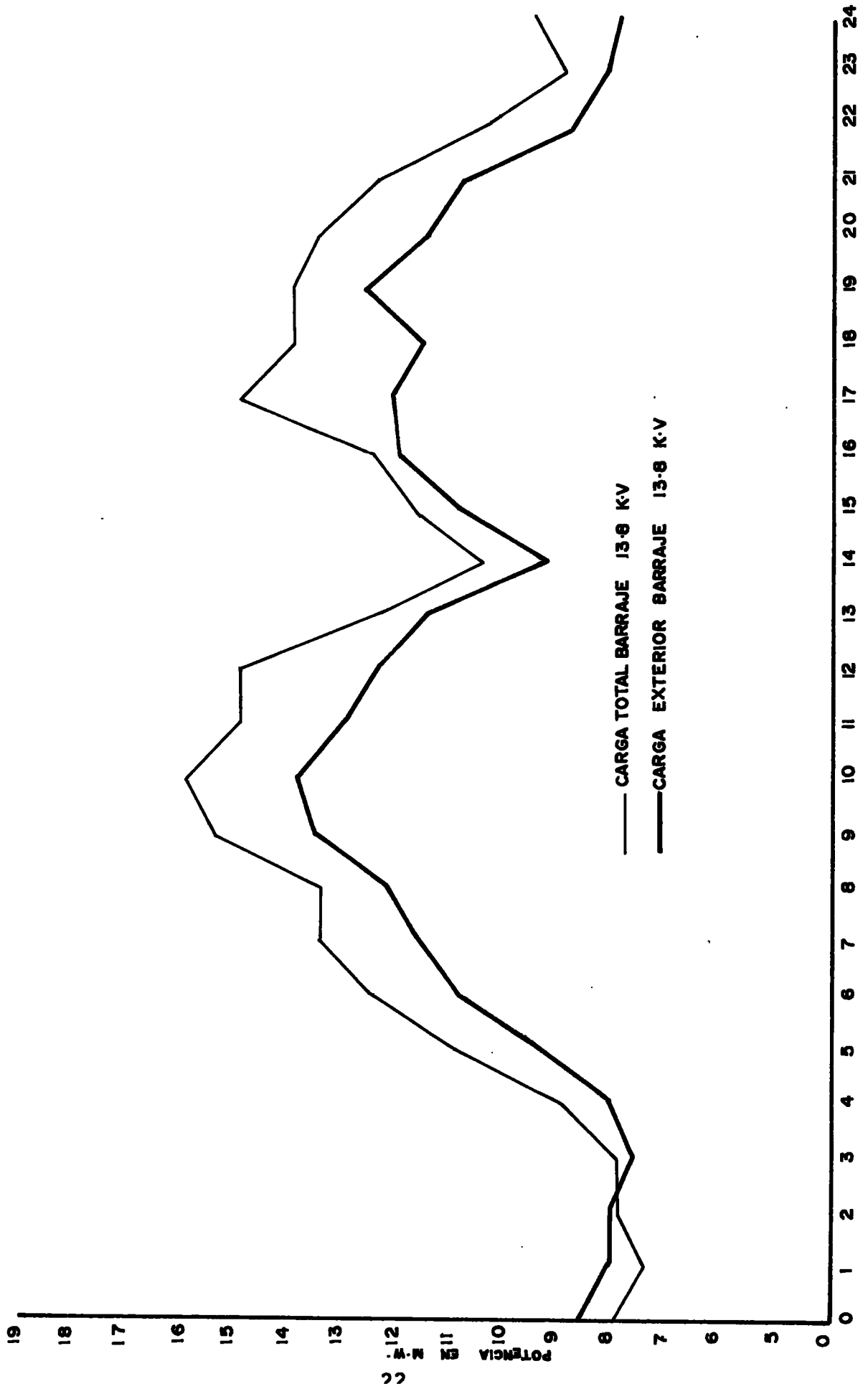


FIGURA. 10 Curva de Carga Diaria Jul.30/84

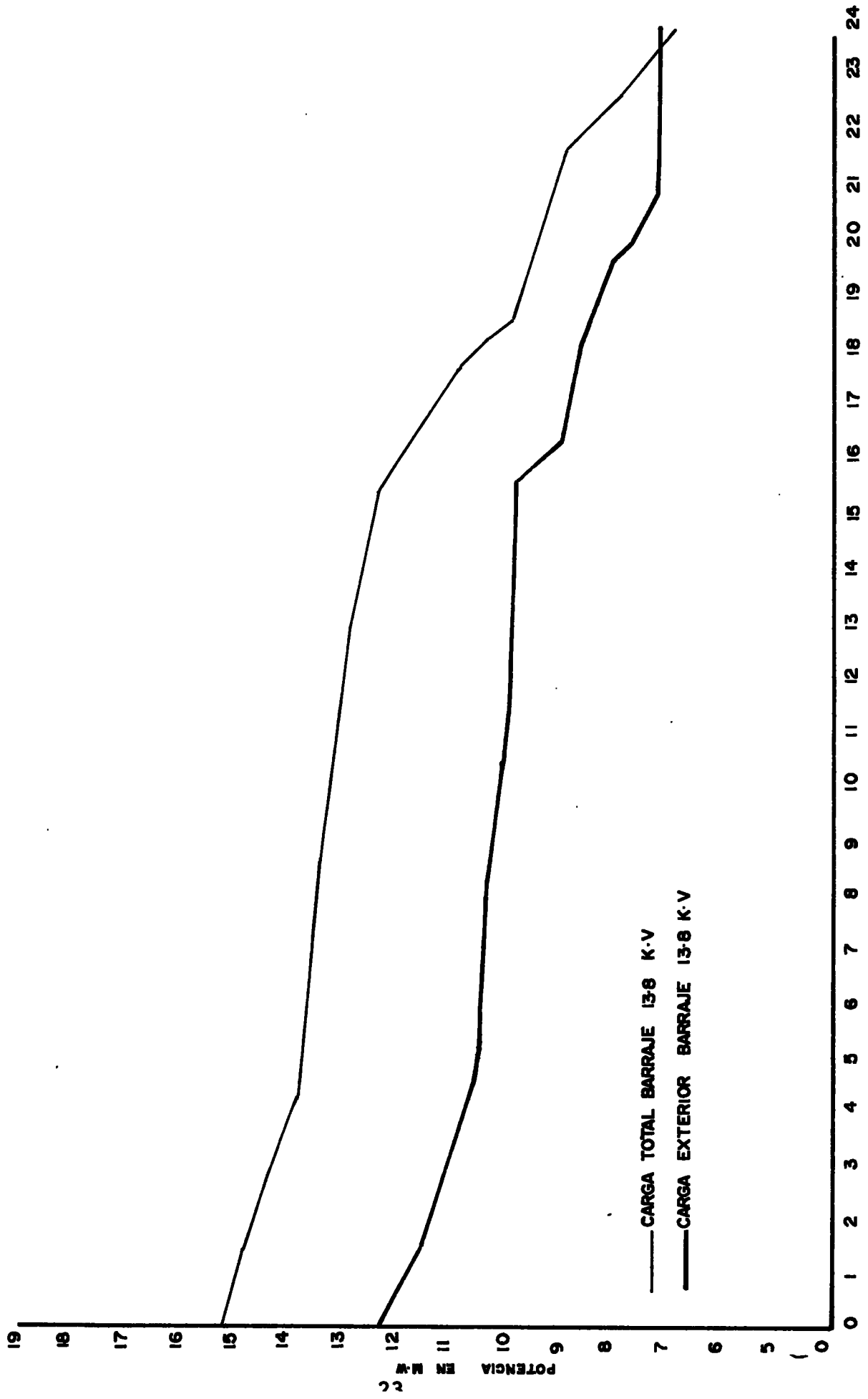


FIGURA 11. Curva de Irración de Carga diaria Jul.24/84

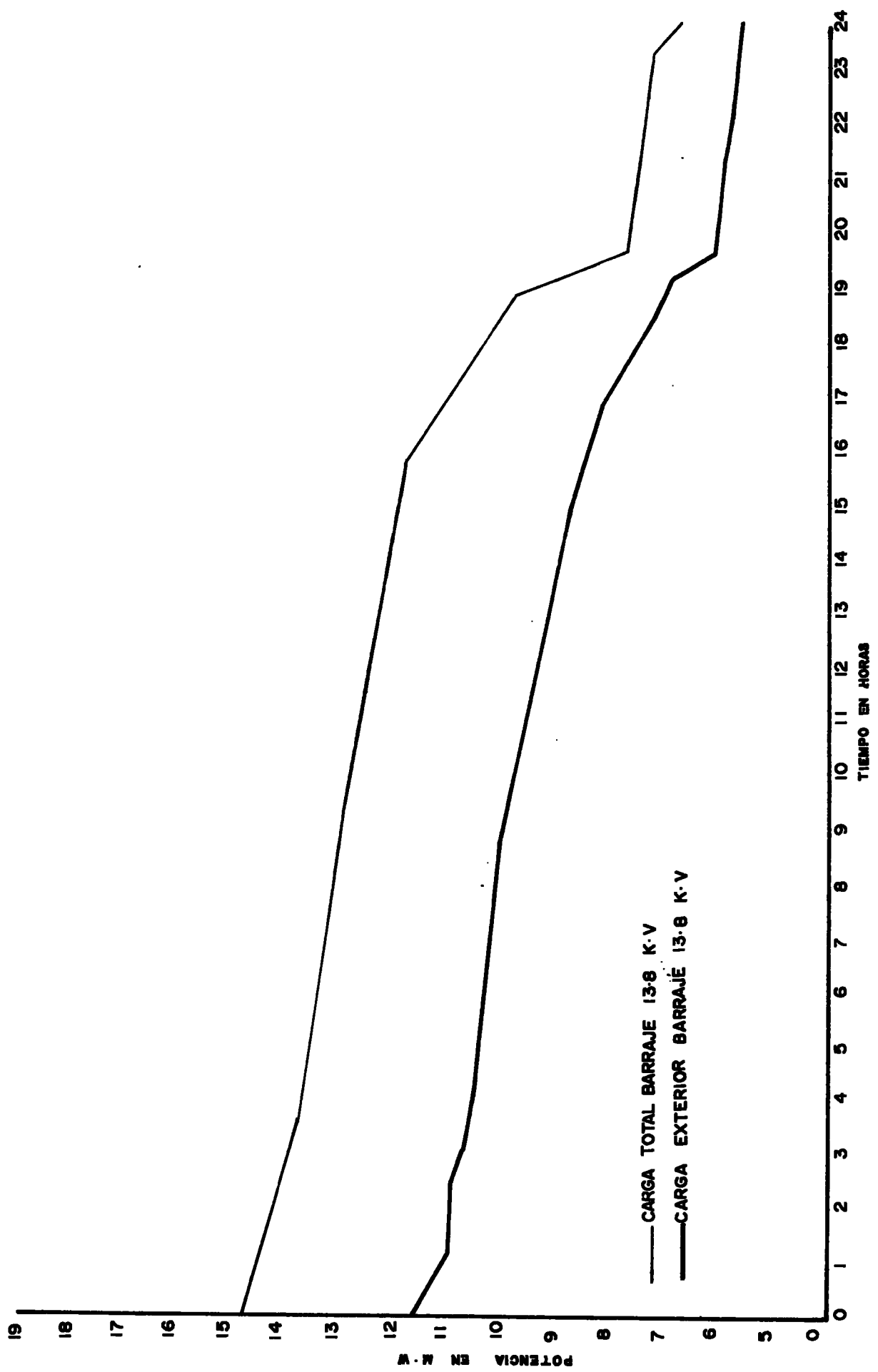


FIGURA 12. Curva de Duración de Carga Diaria Jun.30/84

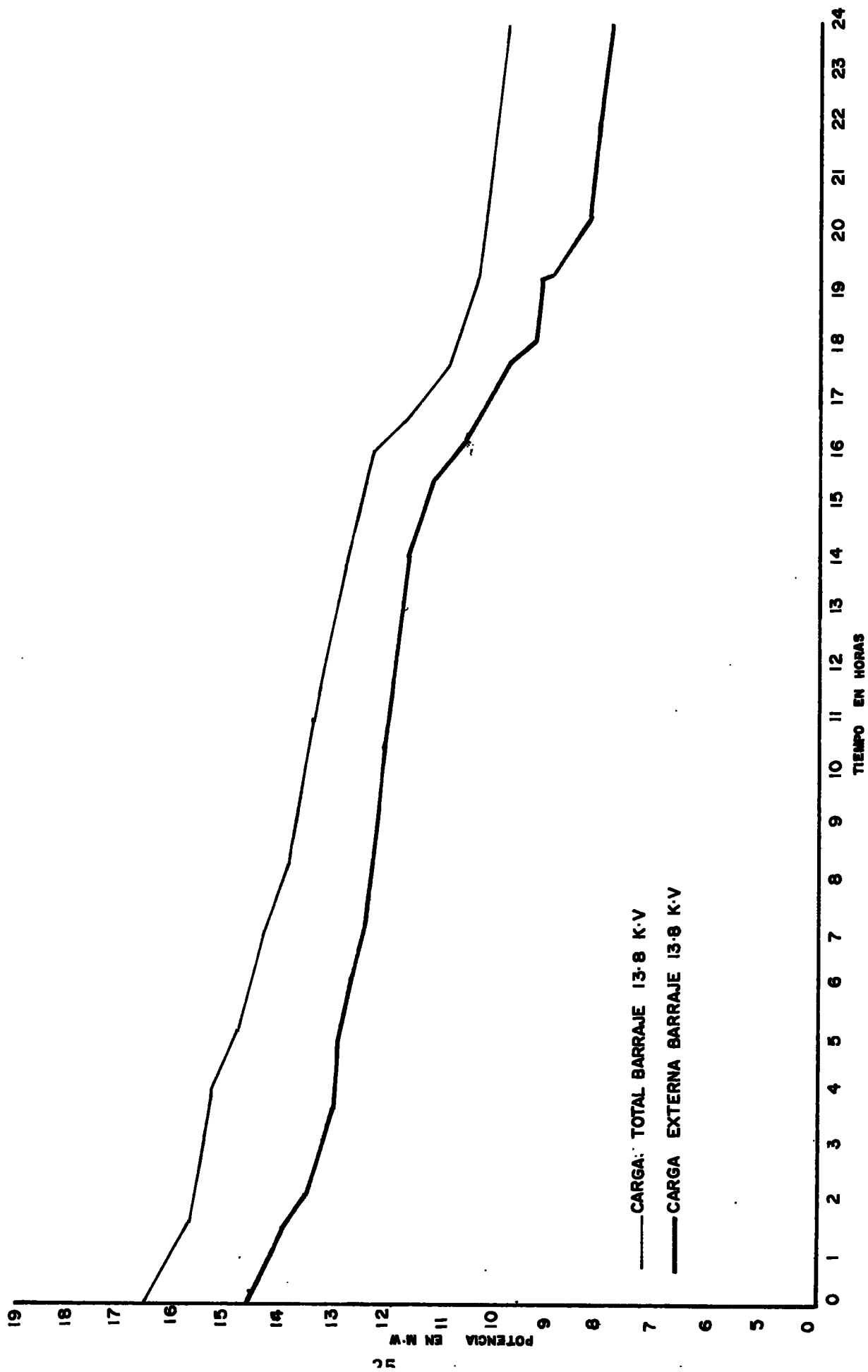


FIGURA 13. Curva de Duración de Carga Diaria Jul.10/84

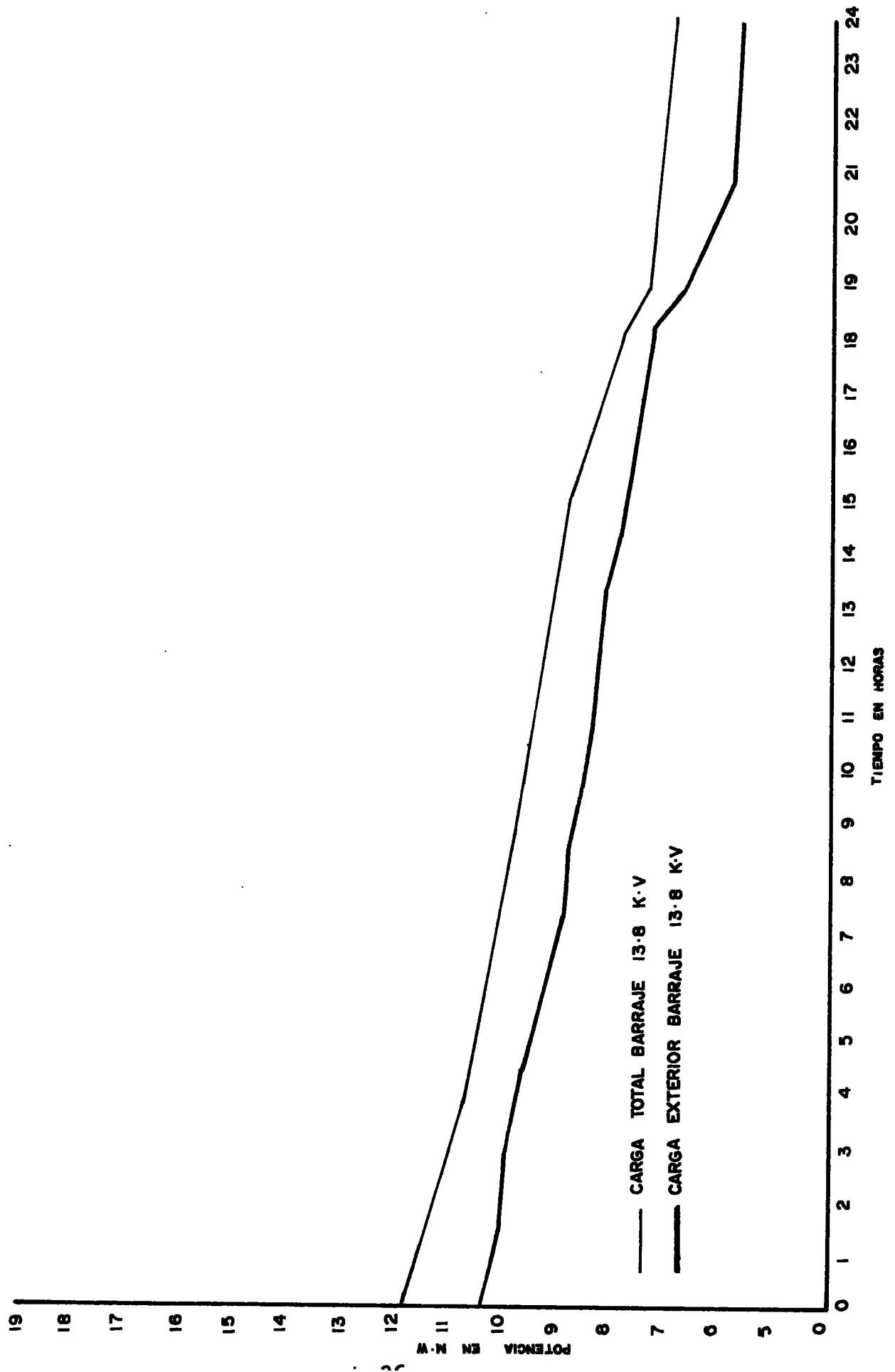


FIGURA 14. Curva de Duración diaria Jul.20/84

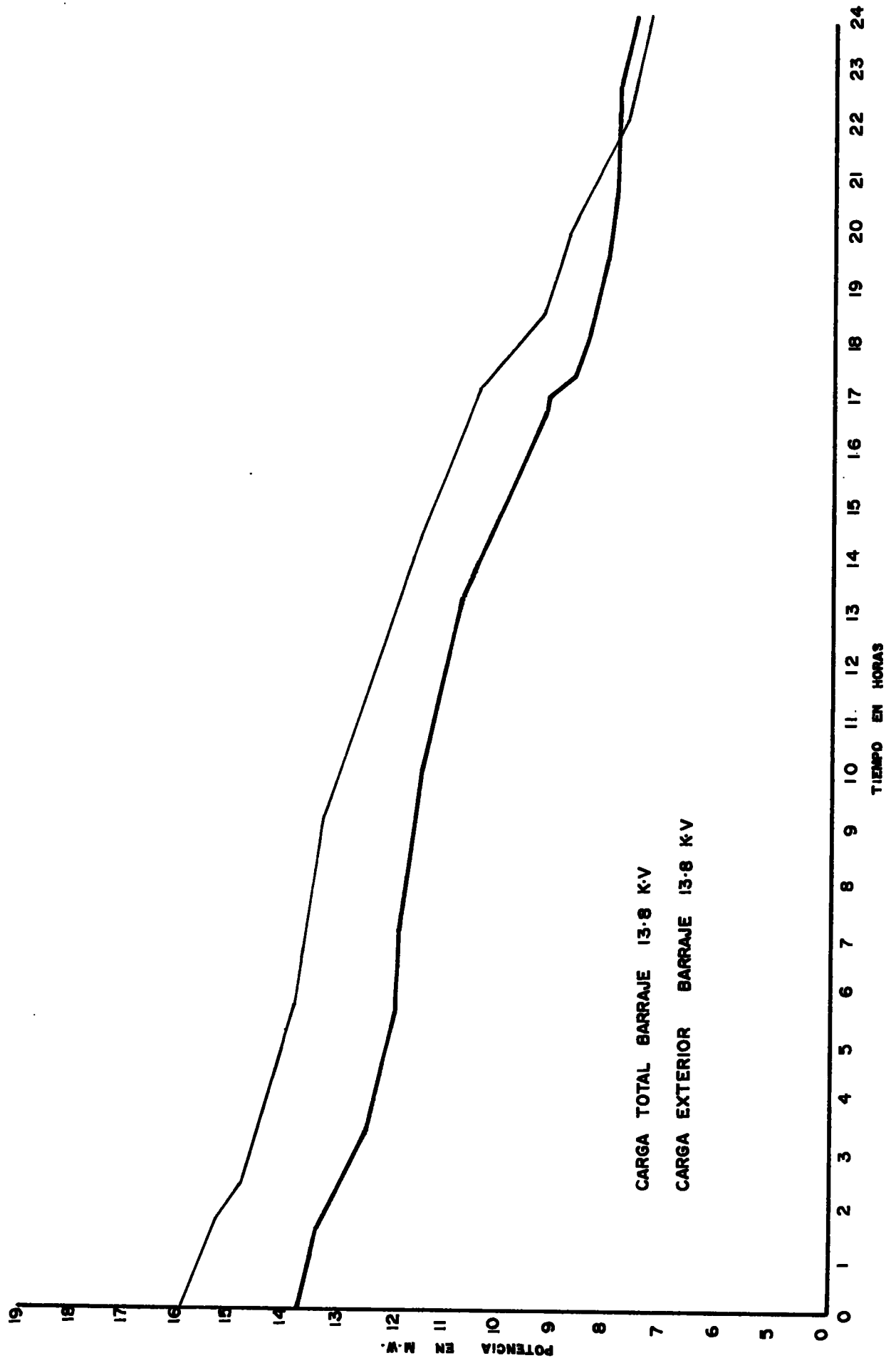


FIGURA 15. Curva de Duración de Carga Diaria. Jul.30/84



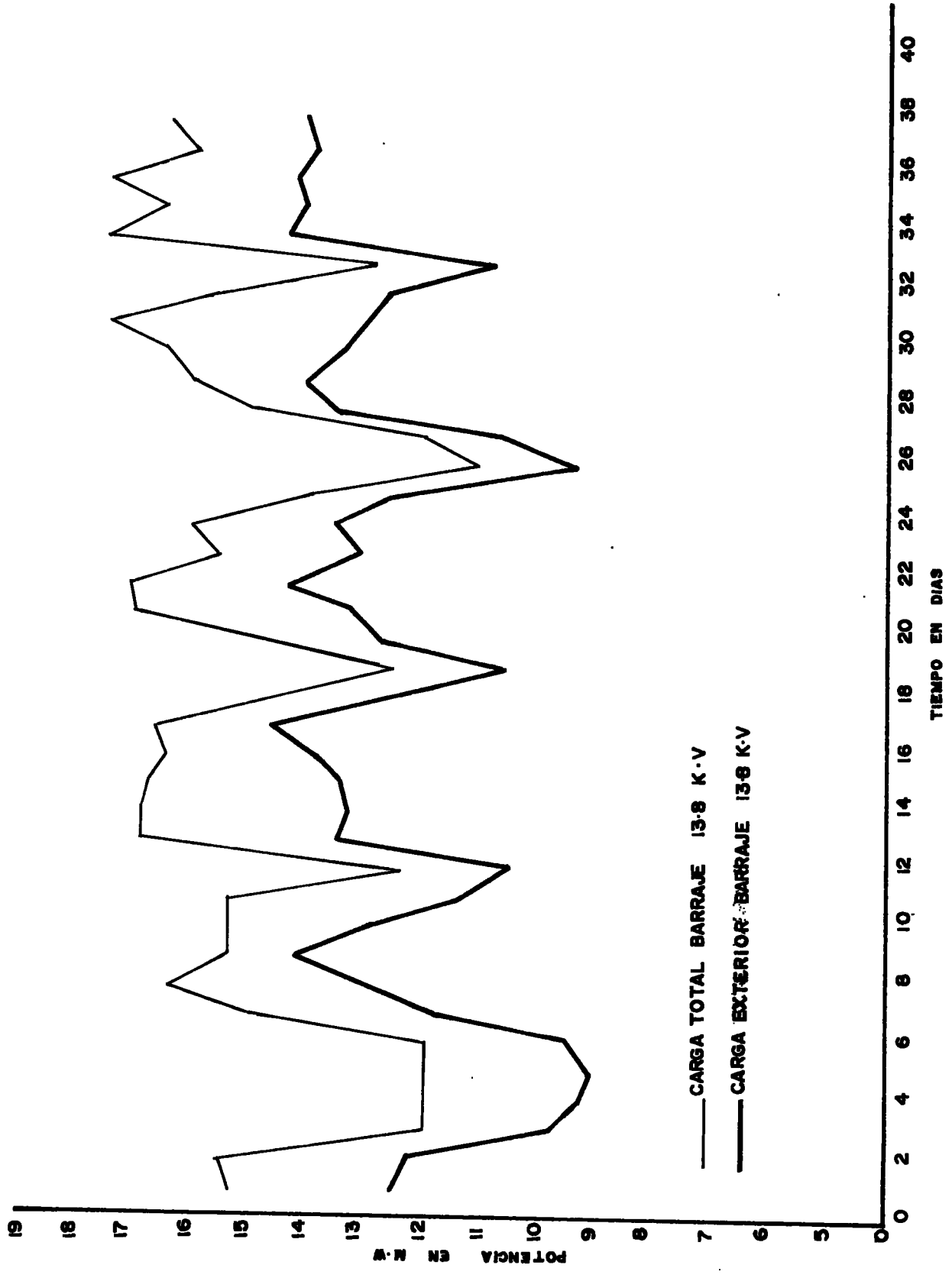


FIGURA 16. Curva de Carga Mensual Jun/Jul/84

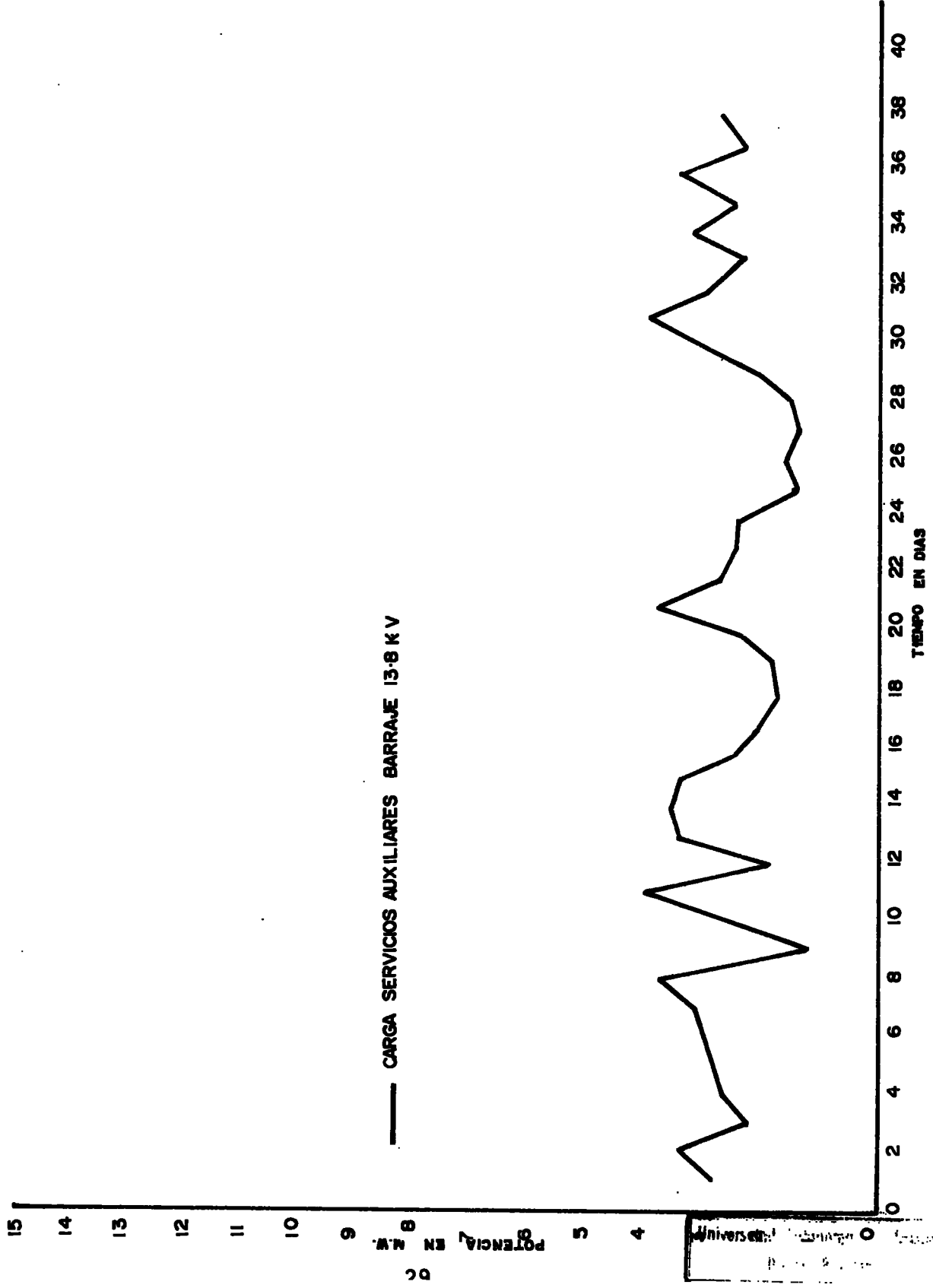


FIGURA 17. Curva de Carga Mensual. Jun./Jul./84

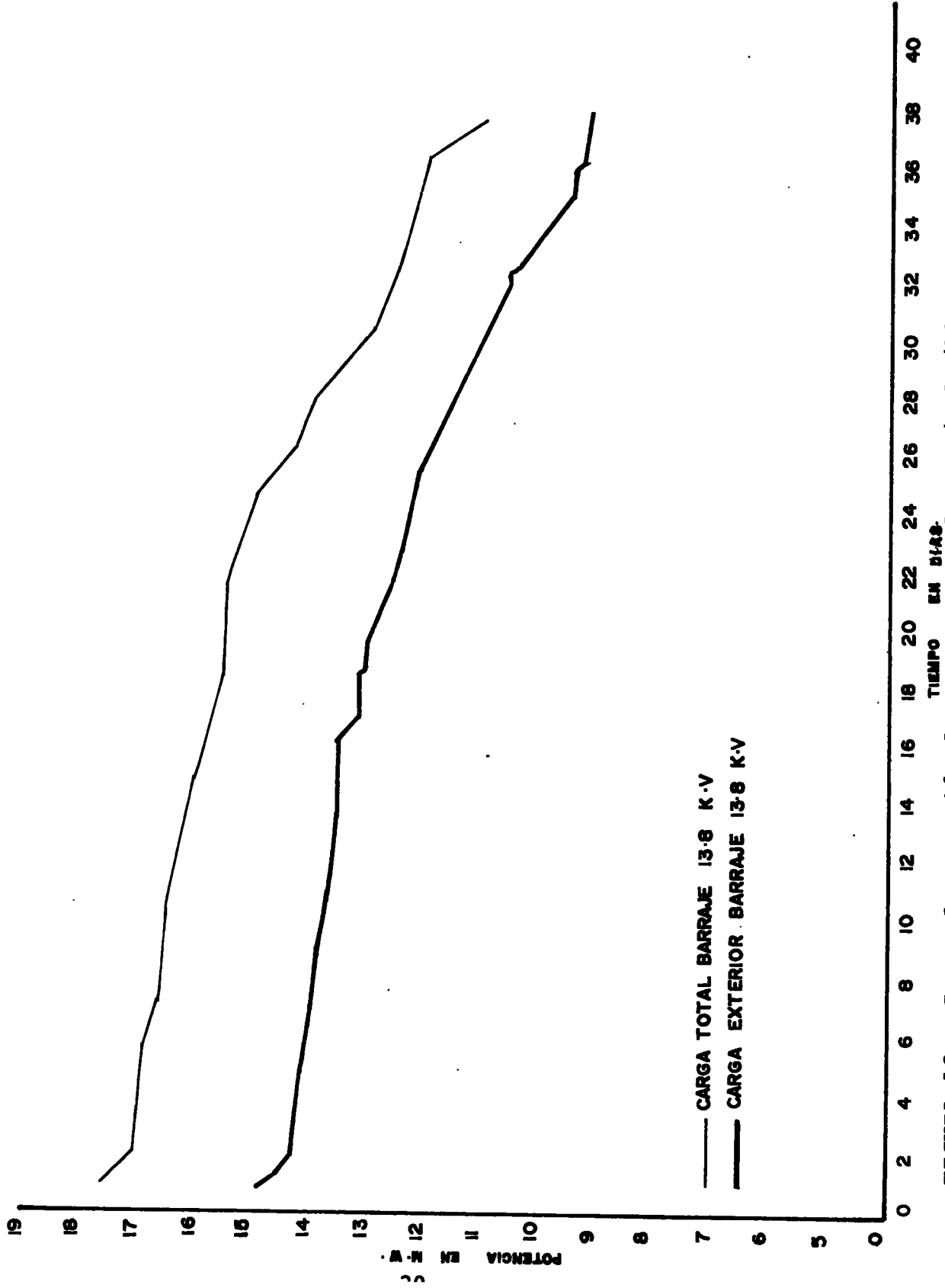


FIGURA 18. Curva de Duración de Carga Mensual Jun./Jul./84

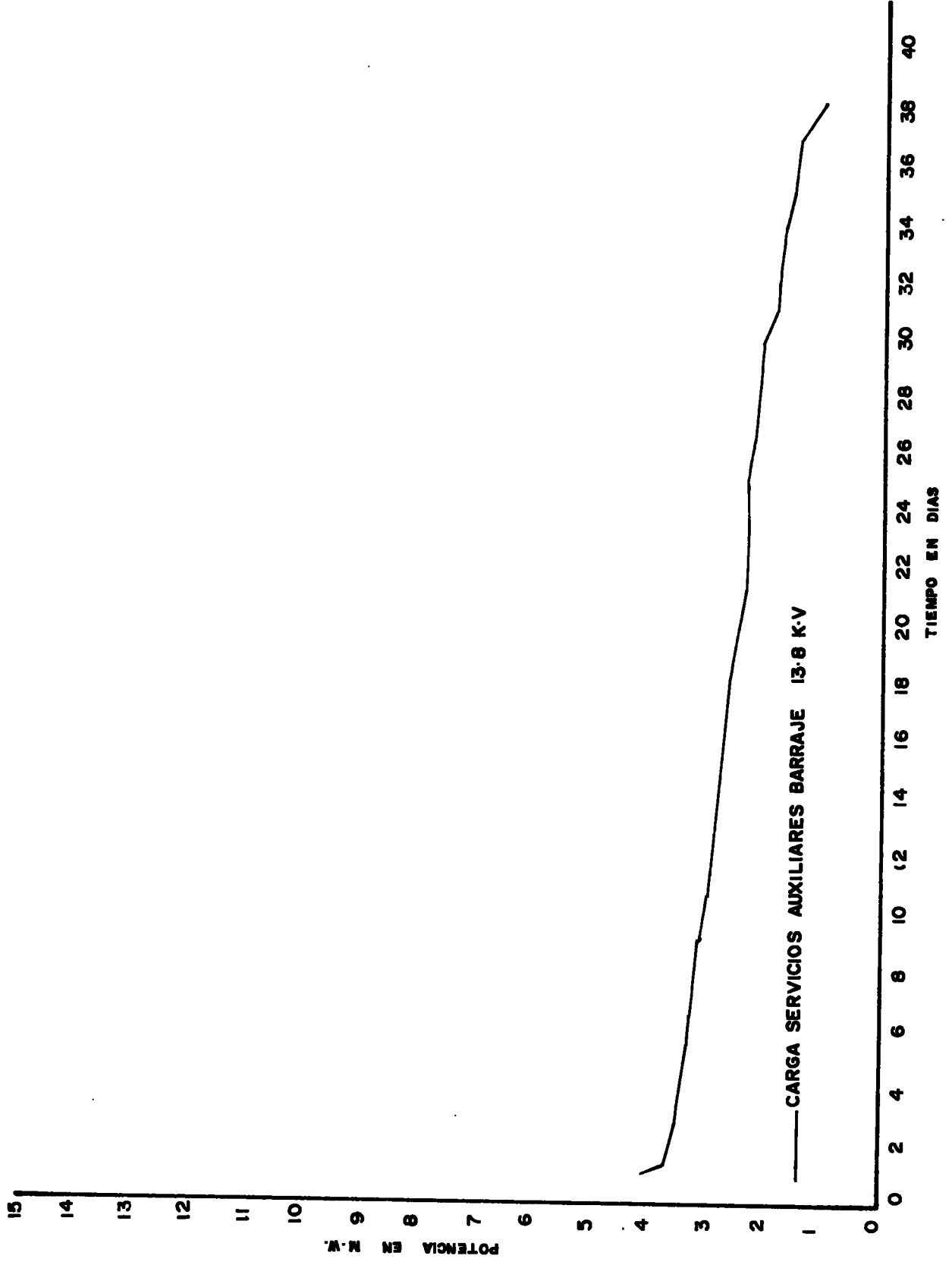


FIGURA 19. Curva de Duración de carga Mensual Jun/Jul/84

#### 4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA

Teniendo en cuenta que la potencia a transmitir en la línea obtenida a partir de las figuras será de 6 MVA, puede analizarse las alternativas de solución, entre lo que se planteó lo siguiente:

- Transformador de 34,5/13,8 Kv y 6 MVA conectado al barraje de 13,8 Kv.
- Utilizar el transformador de 15 MVA, 34,5/13,8 Kv instalado al feeder V del barraje de 13,8 Kv línea de servicio (Figura 20).
- Emplear un transformador de 6 MVA e instalarlo al sistema de conexión Feeder V o llegada al barraje del transformador de 15 MVA.
- Uso del terciario del transformador mitsubishi de 58 MVA 115/37 /14 KV, disponible en la bahía de 34,5 Kv de la sub estación de la planta y con capacidad para soportar la potencia requerida de 6 MVA.



FIGURA 20. Transformador de 15 MVA, 345/13,8 KV instalado al Feeder V del barraje de 13,8 .

## 5. ESTUDIO DE FACTIBILIDADES

### 5.1. FACTIBILIDAD ECONOMICA

Después de analizar y estudiar detalladamente las alternativas de solución del problema planteado, se llegó a las siguientes determinaciones:

- No adoptar como solución la alternativa de el transformador 34,5/13,8 Ky y 6MVA, debido a que se hace necesario la compra del transformador y todos los implementos requeridos para su instalación, lo cual elevaría los costos enormemente para la empresa.
- La alternativa de utilizar el transformador 15 MVA, 34,5 /13,8 KY también fué descartada por cuestión de costos para la empresa, aunque el transformador estuviere sobradamente capacitado para ello. De ahí, que no se justificaba en ningún momento utilizarlo sólo para emergencia.
- Tampoco se optó por el uso del transformador de 6MVA, debido a costos y gastos de inversión en la compra del trans

formador, aunque fueren un poco inferiores a las anteriores alternativas, por el empleo de accesorios de conexión al barraje.

- Finalmente se llegó a la conclusión de que por cuestiones de costos y para economía de la empresa, la mejor alternativa era la del uso del terciario del transformador Mitsubishi de 58 MVA, la cual se tomará como base para la elaboración del proyecto.

## 5.2. FACTIBILIDAD TECNICA.

La alternativa determinada como solución al problema, es factible técnicamente porque permite la utilización correctamente de la capacidad del terciario del transformador, como también el uso de elementos presentes en la subestación que facilitarían notablemente la ejecución del proyecto.



## **6. DIAGRAMA UNIFILAR Y PLANOS ADICIONALES**

El diagrama unifilar completo se observa en el Plano 1. Las figuras 21 y 22 ilustran el aspecto físico de la línea a la salida del terciario del transformador. La Figura 23 muestra el plano eléctrico de la línea. En la Figura 24 se observa el sistema de operación de la línea, y finalmente la Figura 25 ilustra el correspondiente transformador de 35 KVA - 550/220 V.

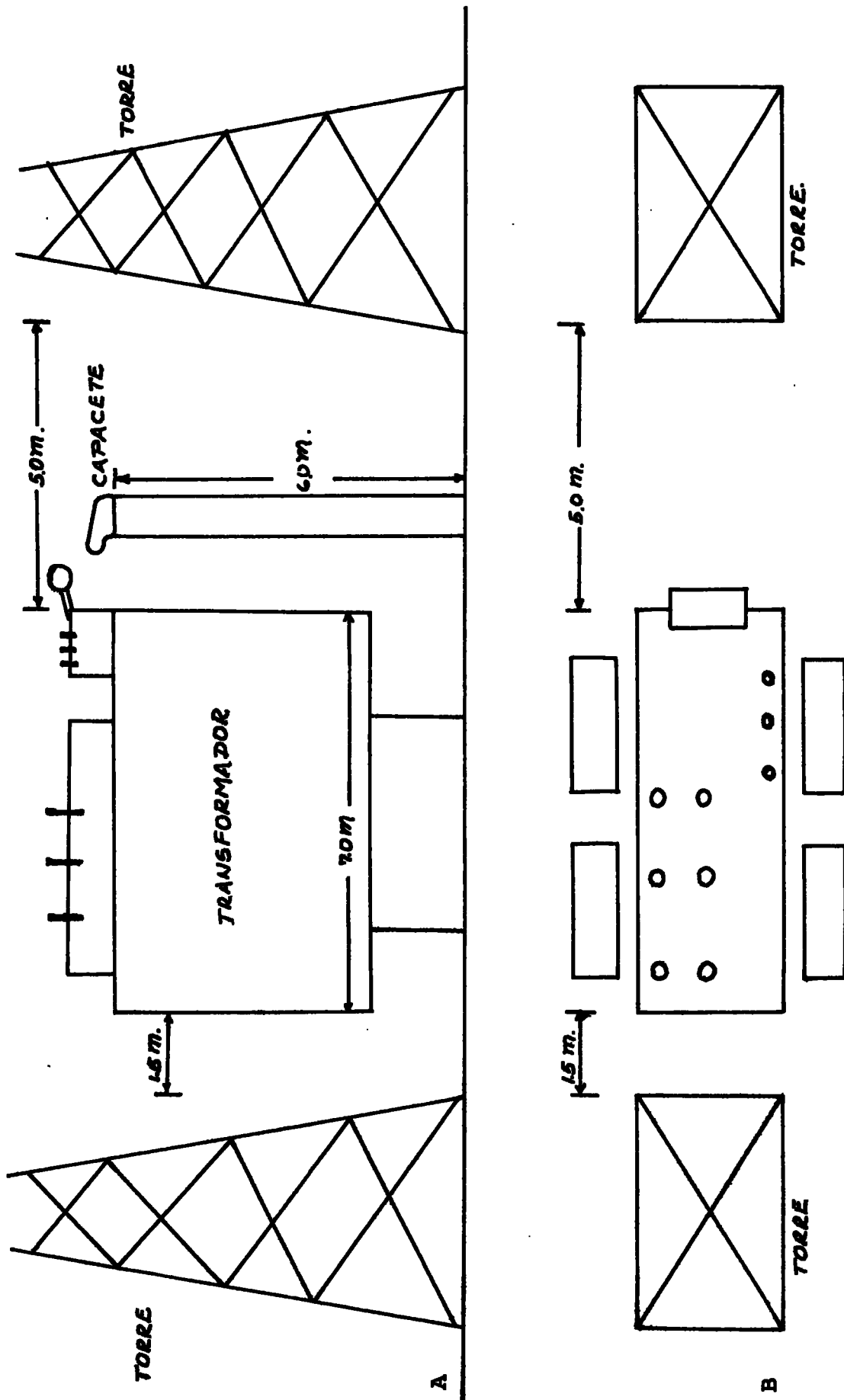


FIGURA 21. Aspecto físico de Transformador. Vista Frontal (A) Vista Superior (B)

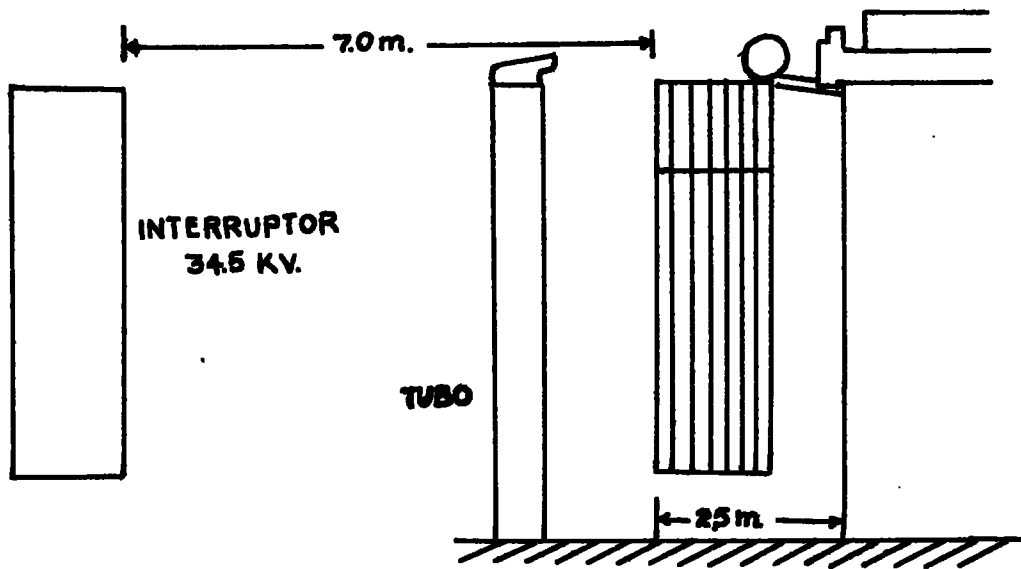


FIGURA 22. Vista Lateral del Transformador.

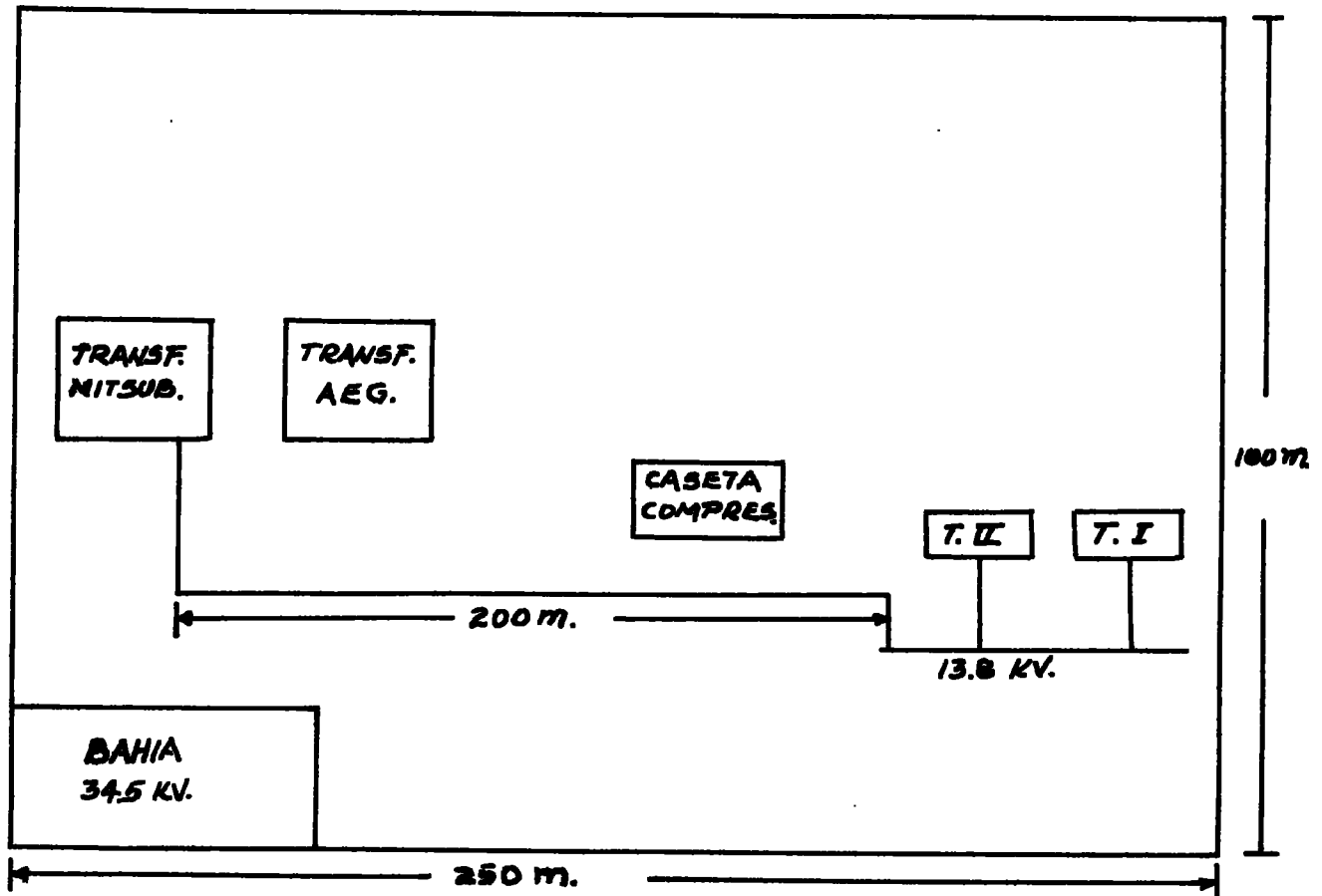


FIGURA 23. Plano Eléctrico de la Línea.

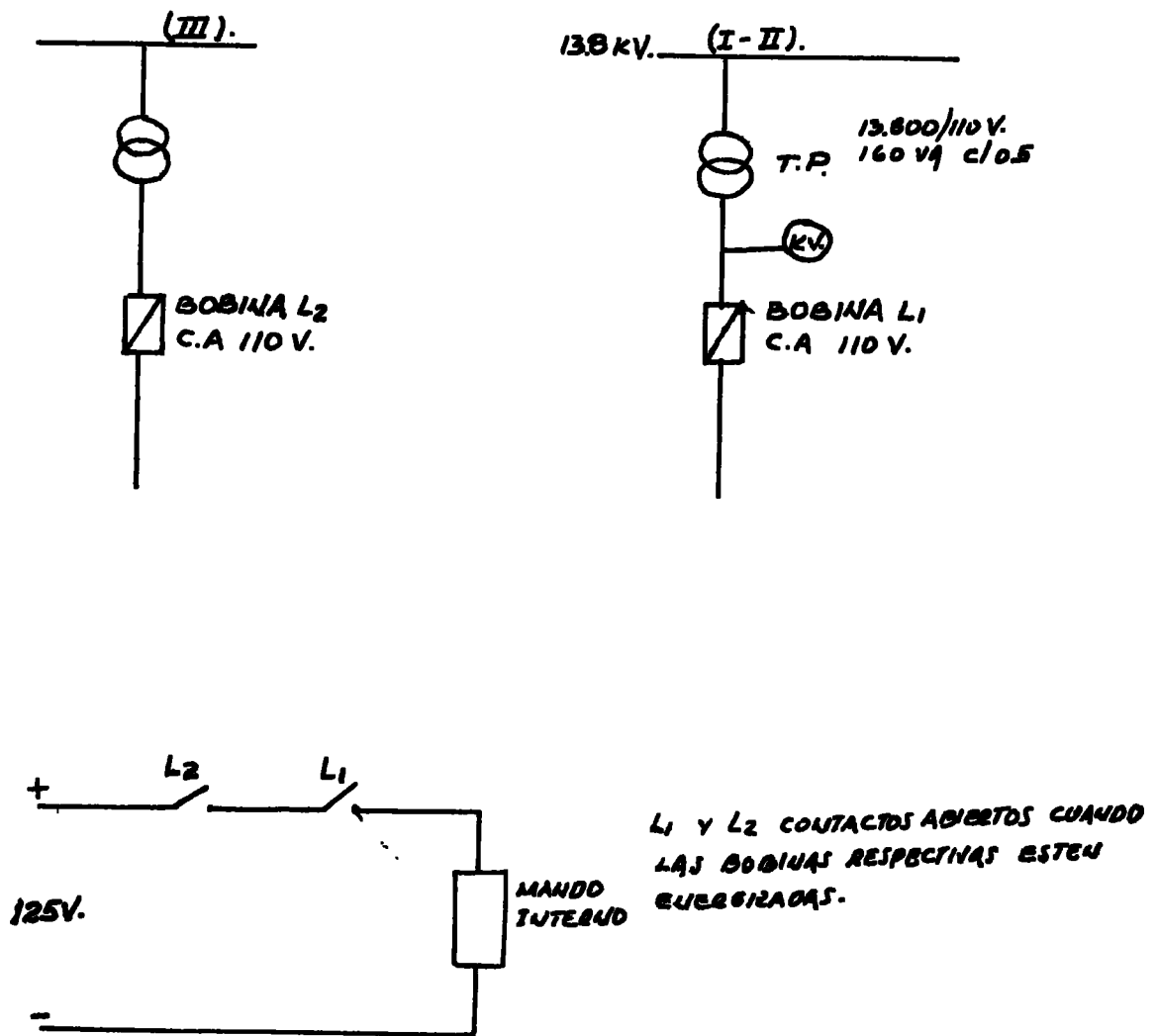


FIGURA 24. Sistema de Operar de la Línea.

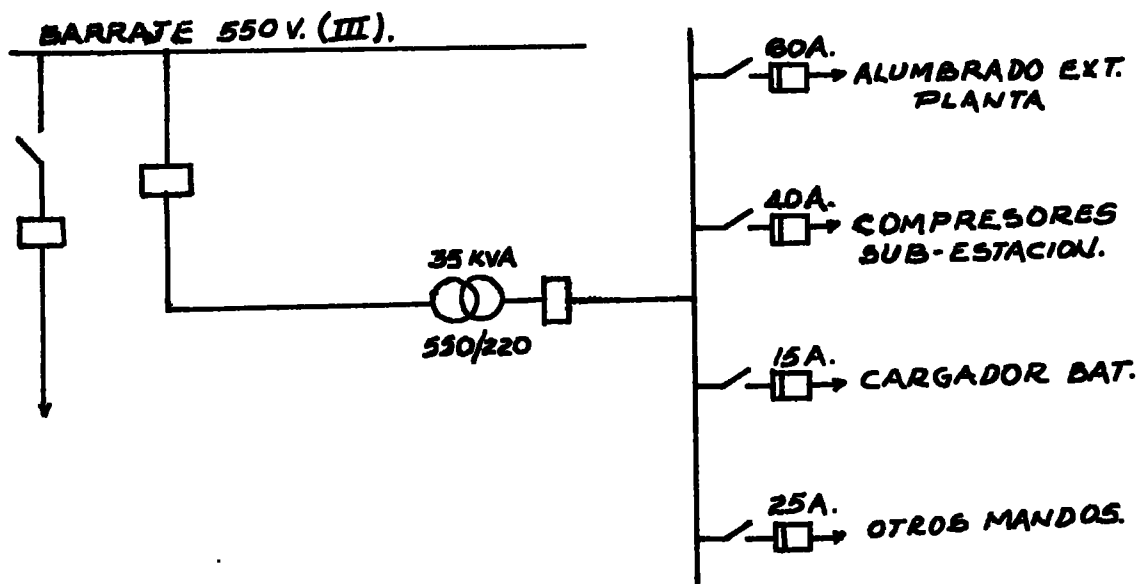


FIGURA 25. Transformador de 35 KVA y su respectiva carga.

## 7. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 7.1. TIPO DE TRANSFORMADOR A UTILIZAR

Para el desarrollo del proyecto se empleará el devanado terciario del transformador Mitsubishi de 58 MVA-115/37/14 Kv con cambiadas de derivaciones bajo carga, cuyas características de placa son: (Ver Figura 26).

Frecuencia 60 Hz.	ANSI - C57-12
Trifásico	Tipo Núcleo
A.T. 35.000/46.550/58.450 KVA	Capacidad continua
115.000V	Impedancia
176/234/293A	AT-BT a 58.450 KVA -11,56%
BT 35.000/46.550/58.450 KVA	A.T.-Terc a 20.500KVA-10,91%
37.000 V	B.T-Terc a 20.500 KVA- 6,43%
546/726/912A	Nivel básico de impulso
Terciario 6.000/8.000/10.000KVA	A.T. Línea 550 KV
14.000V	Neutro 200 KV
247/330/412 A.	BT Línea 200 KV
Capacidad para estabilización:	Neutro 95 KV
12.200/16.300/20.500 KVA	Terciario 95 KV

MODELO CRB - MRD	Peso	
CLASE DA/FA/FA	Núcleo y bobinas	44.800 Kg
Polaridad abstractiva	Tanque y accesorios	27.500 Kg
Aceite	Aceite	24.000 Kg
Transformador 26.500 L	Total	96.300 Kg
Cambiador 200 L	Elevación de temperatura	
	Aceites	55°C
	Devanados	55°C



FIGURA 26. Transformador Mitsubishi de 58 MVA 115/37/14 Kv con cambiador de derivaciones bajo carga.



## 7.2. INSTALACION

### 7.2.1. Tipo de línea - Subterránea (corta).

Longitud = 200 M , luego se desprecian las pérdidas por inductancia y capacitancia y se tendrán solo en cuenta las pérdidas por resistencia. La corriente en la línea será

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V} = \frac{6.000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 13,8 \text{ KV}} = 251.02 \text{ amp}$$

Según catálogo de la Ceat General de Colombia, se utilizará un conductor Vulceat 90 #2/0 AWG de aluminio con factor de carga del 75% y cuyas características se observan en el Anexo 3. Como en realidad la temperatura de operación es 40°C para esta condición la resistencia es:  $R = 0,428 \Omega/\text{Km}$  (20°C) (Anexo 4).

$R_{40^\circ\text{C}} = 0,542 \Omega/\text{Km}$  y para una longitud de 200 M la resistencia será igual a  $R = 0,542 \times 0,2 = 0,1084 \Omega/\text{Km}$

En el Anexo 5 se observa que I Corto Circuito 1/2 seg = 6.200 amp. 1 seg = 4.600 amp.

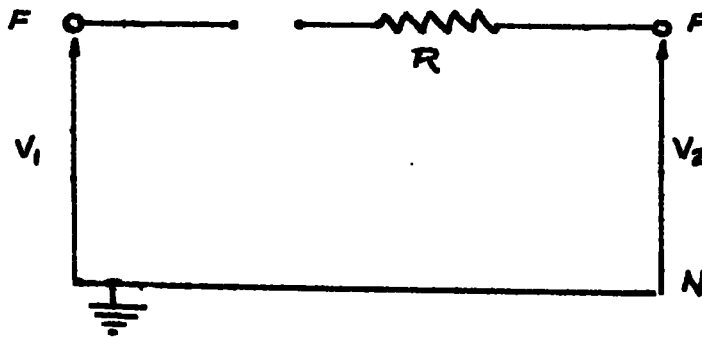


FIGURA 27. Circuito Eléctrico de la Línea.

$$V_1 = IR + V_2 \quad V_2 = \frac{13.800}{\sqrt{3}} = 7.967,67 \text{ volt.}$$

$$I = 251,02 \text{ amp.}$$

$$V_1 = (251,02 \text{ amp}) (0,1085 \Omega) + 7967,67 \text{ volt} = 7.994,9 \text{ volt}$$

$$V_1 \text{ línea} = V_1 \text{ fase} \sqrt{3} = 7.994,9 \times \sqrt{3} = 13.847 \text{ volt}$$

$$\% \text{ Regulación} = \frac{14.000 - 13.847}{13.847} \times 100\% = 1,1\%$$

$$\text{Pérdidas} = (251,02 \text{ amp})^2 \times 0,1085 \Omega \times 3 = 20,5 \text{ Kw}$$

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{20,5 \text{ Kw}}{6.000 \text{ Kw}} \times 100\% = 0,34\%$$

En la Figura 28 se representa el diagrama unifilar de impedancia de todos los elementos instalados al barraje de 13,8 Kv, con el fin de identificar una por una y que sirvan además para efectuar el diagrama unifilar de reactancias necesario para determinar la corriente de corto circuito de todo el sistema.

A continuación se detallan y calculan cada uno de los valores de las reactancias conectadas al barraje de 13,8 Kv.

$$X_1 = \text{Reactancia transformador 2 MVA de 3 devanados } X_{ps} = \\ X_{ps} = 8,25\% \quad 13.800 / 585 / 214 \text{ V}$$

$$X_1' = \text{Reactancia transformador 2 MVA de 3 devanados } \\ X_{st} = 8,25\% \quad 13.800 / 585 / 214 \text{ V}$$

$$X_1'' = \text{Reactancia transformador 2 MVA de 3 devanados } \\ X_{pt} = 8,25\% \quad 13.800 / 585 / 214 \text{ V.} \quad \Lambda$$

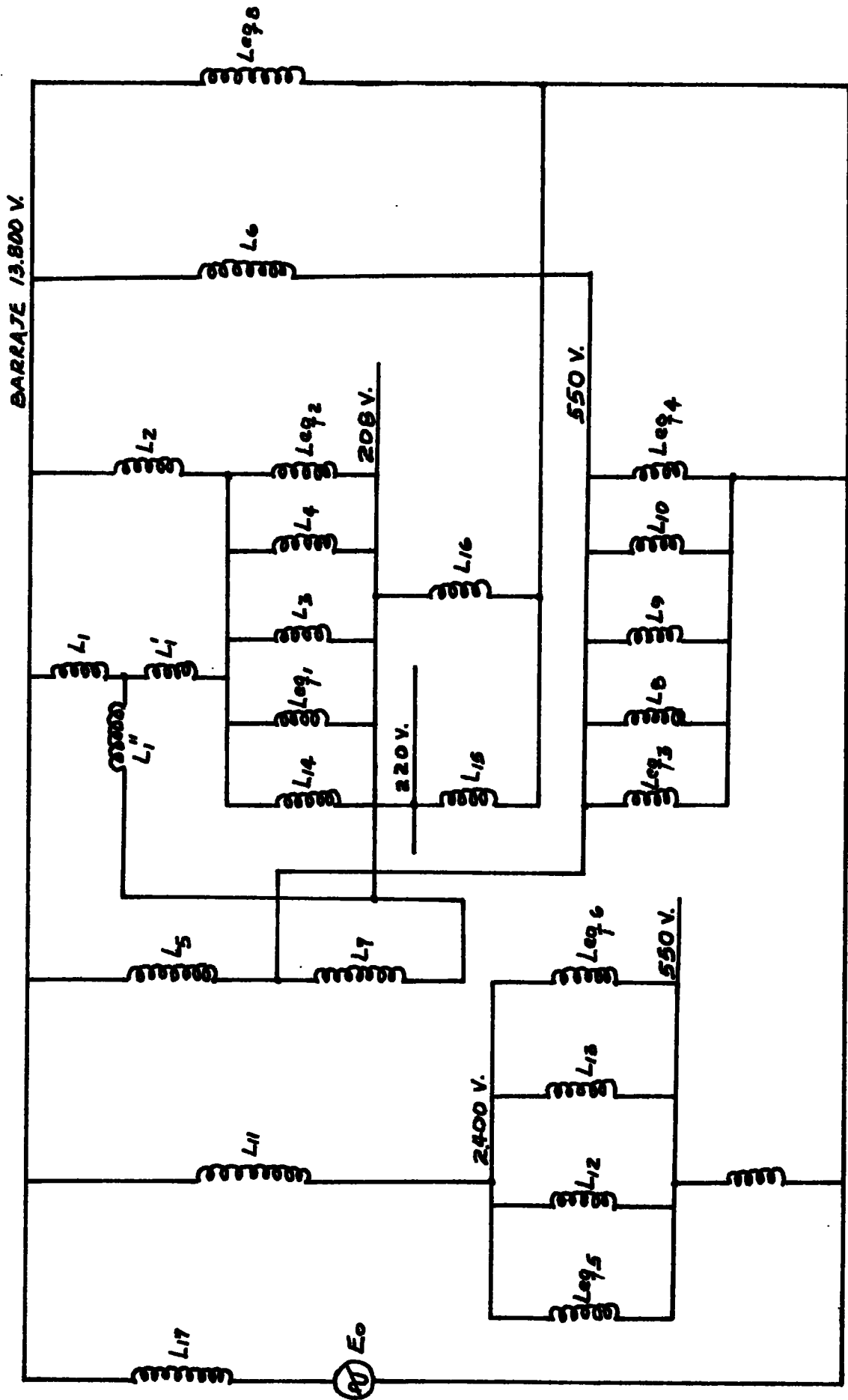


FIGURA 28. Diagrama unifilar de Impedancias

$X_2 =$  Reactancia transformador 2 MVA = 8,26% acoplo

$X_{eq1} =$  Reactancia carga servicios auxiliares grupo 2 = 19,99%

$X_{eq_2} =$  Reactancia carga servicios auxiliares grupo 1 = 19,99%

$X_3 =$  Reactancia transformador 0,150 MVA<sup>5</sup> = 19,95% =  $X_4$

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta = \sqrt{3} \times 550 \times 163 \times 0,8 = 124.222,68 \text{ w}$$

$$X = \frac{p \operatorname{tg} \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,75 P}{\sqrt{3} I^2} = 2,02 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{2,02}{3} = 0,673 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X (\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{163 \times 0,673}{550} = 19,95\%$$

$X_5 =$  Reactancia transformador bocatoma II 1,30 MVA = 5,26%

$X_6 =$  Reactancia transformadores bocatoma I 0,650 MVA c/u.  
= 4,2%

$X_7 =$  Reactancia transformadores bocatoma 0,2 MVA c/u 550/  
208 V = 19,99%

$$P = \sqrt{3} V I \cos \theta = \sqrt{3} \times 550 \times 21,8 \times 0,8 = 16.613,83 \text{ w}$$

$$X = \frac{P \operatorname{tg} \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,75 P}{\sqrt{3} I^2} = 15,13 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{15,13}{3} = 5,04 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X (\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{21,8 \times 5,04}{550} = 19,99\%$$

$X_8 = X_9 = X_{10} =$  Reactancias motobombas I- II- III = 20,90%

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta \quad \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} = \frac{370.000}{\sqrt{3} \times 550 \times 500} = 0,776$$

$$\theta = \arccos 0,776 = 39,03 \quad \text{Tg} = 0,81$$

$$X = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,810 P}{\sqrt{3} I^2} = 0,692 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{0,692}{3} = 0,23 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{500 \times 0,23}{550} = 20,90\%$$

$$X_{11} = \text{Reactancia transformador de arranque 3 MVA} = 5,32\% \\ \frac{13.500}{2.500.V}$$

$$X_{12} = X_{13} = \text{Reactancia transformadores 600 KVA 2.400/550V} \\ = 4\%$$

$$X_{eq3} = \text{Reactancia tamizadores I- II- III} = 7.3\%$$

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} = \frac{1900}{\sqrt{3} \times 550 \times 2,65} = 0,749$$

$$\theta = \arccos 0,749 = 41,42^\circ$$

$$\text{Tg } \theta = 0,882$$

$$X = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,882 P}{\sqrt{3} I^2} = 137,77 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{137,77}{3} = 45,92 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} = \frac{2,65 \times 45,92}{550} = 22,12 \%$$

$X_{eq4}$  = Reactancias Peine- compresor - bomba vaciado  $\approx 0$

$X_{eq5}$  = Reactancia carga barraje 24KV - MII- M III-BAII- VTII

$$X \text{ b.a.} = ? \quad \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} = \frac{750 \times 746}{\sqrt{3} \times 2.400 \times 165} = 0,817$$

$$\theta = \arccos 0,817 = 35,34^\circ \quad \text{Tg } \theta = 0,709$$

$$X \text{ b.a.} = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,709 P}{\sqrt{3} I^2} = 8,41 \Omega$$

$$X \text{ b.a./fase} = \frac{8,41 \Omega}{3} = 2,80 \Omega$$

$$X \text{ b.a.} \% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{165 \times 2,80}{2.400} \times 100\% = 19,25\%$$

$$X_m = ? \quad \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} = \frac{210 \times 746}{\sqrt{3} \times 2.400 \times 50} = 0,753$$

$$\theta = \arccos 0,753 = 41,08\% \quad \text{Tg } \theta = 0,871$$

$$X_m = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,871 P}{\sqrt{3} I^2} = 31,51 \Omega$$

$$X_m/\text{fase} = \frac{31,51 \Omega}{3} = 10,5 \Omega$$

$$X_m \% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{50 \times 10,5 \Omega}{2.400} \times 100\% = 21,88\%$$

$$X_{vt} = ? \quad \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} = \frac{250 \times 746}{\sqrt{3} \times 2.400 \times 61} = 0,735$$

$$\theta = \arccos 0,735 = 42,65^\circ \quad \text{Tg } \theta = 0,921$$

$$X_{vt} = \frac{P \operatorname{tg} \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,921 P}{\sqrt{3} I^2} = 26,65 \Omega$$

$$X_{vt}/\text{fase} = \frac{26,65 \Omega}{3} = 8,88 \Omega$$

$$X_{vt} \% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} = \frac{61 \times 8,88}{2.400} = 22,57\%$$

$X_{eq6}$  = Reactancia carga barraje 24 Kw- MI- VII -BAI-VS= 5.1%

$$X_{v.s.} ? \quad \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} = \frac{408 \times 746}{\sqrt{3} \times 2.400 \times 89} = 0,822$$

$$\theta = \arccos 0,822 = 34,64^\circ \operatorname{Tg} \theta = 0,691$$

$$X_{vs} = \frac{P \operatorname{Tg} \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,691 P}{\sqrt{3} I^2} = 15,32 \Omega$$

$$X_{vs}/\text{fase} = \frac{15,32 \Omega}{3} = 5,1 \Omega$$

$$X_{vs}\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{89 \times 5,1}{2.400} \times 100\% = 18,94\%$$

$X_{eq7}$  = Reactancia carga barraje 550V- B.EI-II-EY I-II-TDI-II-III-IV-V-VI= 19,96%

$$P = \sqrt{3} E I \cos \theta = 348.605,9 \text{ w} \quad \cos \theta = 0,8 \quad \theta = 36,86^\circ \operatorname{Tg} \theta = 0,75$$

$$X = \frac{P \operatorname{tg} \theta}{\sqrt{3} I^2} \quad \text{pero como} \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} E \cos \theta} = \frac{348.605,9 \text{ w}}{\sqrt{3} \times 550 \times 0,8} = 457,42 \text{ amp.}$$

$$X = \frac{0,75 \times 348.605,9}{3 \times (457,42)^2} = 0,721 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{0,721 \Omega}{3} = 0,24 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{457,42 \times 0,24}{550} \times 100\% = 19,96\%$$

$$X_{14} = \text{Reactancia transformador casino } 100\text{Kva } 550/228\text{V} = 4,17\%$$

$$X_{\text{eq} 2} = \text{Reactancia carga servicios auxiliares I y II} = 19,99\%$$

$$P = 3'000.000\text{w} \quad E = 13.800 \text{ volt} \quad \cos \theta = 0,8 \quad \theta = 36,86^\circ$$

$$\text{Tg } \theta = 0,75$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} E \cos \theta} = \frac{3.000.000}{\sqrt{3} \times 13.800 \times 0,8} = 156,88 \text{ amp}$$

$$X = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} \cdot I^2} = \frac{0,75 \times 3.000.000}{\sqrt{3} \times (156,88)^2} = 52,78 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{52,78\Omega}{3} = 17,59\Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{156,88 \times 17,59}{13.800} \times 100\% = 19,99\%$$

$$X_{\text{eq} 3} = \text{Reactancia carga exterior barraje } 13,8 \text{ Kv} = 19,95\%$$

$$P = 13.500.000\text{W} \quad E = 13.800\text{V} \quad \cos \theta = 0,8 \quad \text{Tg } \theta = 0,75$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} E \cos \theta} = \frac{13.500.000}{\sqrt{3} \times 13.800 \times 0,8} = 705,99 \text{ amp.}$$

$$X = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,75 \times 13.500.000}{\sqrt{3} \times (705,99)^2} = 11,72 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{11,72 \Omega}{3} = 3,9\Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{705,99 \times 3,9}{13.800} \times 100\% = 19,95\%$$



$$X_{15} = \text{Reactancia carga } 220V = 19,2\%$$

$$I = 604 \text{ amp} \quad E = 220V \quad \cos\theta = 0,8 \quad \text{Tg } \theta = 0,75$$

$$P = \sqrt{3} EI \cos\theta = \sqrt{3} \times 220 \times 604 \times 0,8 = 183.905w$$

$$X = \frac{P \text{ tg } \theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,75 \times 183.905}{\sqrt{3} \times (604)^2} = 0,21 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{0,21\Omega}{3} = 0,07 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{604 \times 0,07}{220} \times 100\% = 19,2\%$$

$$X_{16} = \text{reactancia carga } 208 \text{ V}$$

$$I = 346,3 \text{ amp} \quad E = 208V \quad \cos\theta = 0,8 \quad \text{Tg } \theta = 0,75$$

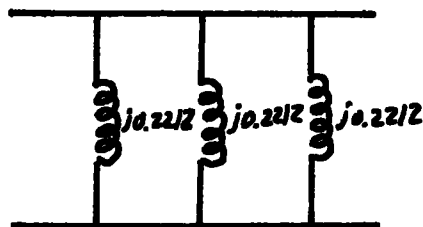
$$P = \sqrt{3} EI \cos\theta = \sqrt{3} \times 208 \times 346,3 \times 0,8 = 99.805 \text{ w}$$

$$X = \frac{P \text{ tg}\theta}{\sqrt{3} I^2} = \frac{0,75 \times 99,805}{\sqrt{3} \times (346,3)^2} = 0,36 \Omega$$

$$X/\text{fase} = \frac{0,36}{3} = 0,12 \Omega$$

$$X\% = \frac{I \times X(\Omega)}{V} \times 100\% = \frac{346,3 \times 0,12}{208} \times 100\% = 19,9\%$$

Reactancia equivalente Tamizadores I- II- III =  $X_{eq_3}$  (Fig29)



$$X_{eq_3} = \frac{j0,2212\Omega}{3} = j0,073\Omega$$

FIGURA 29. Diagrama de Reactancia equivalente Tamizadores

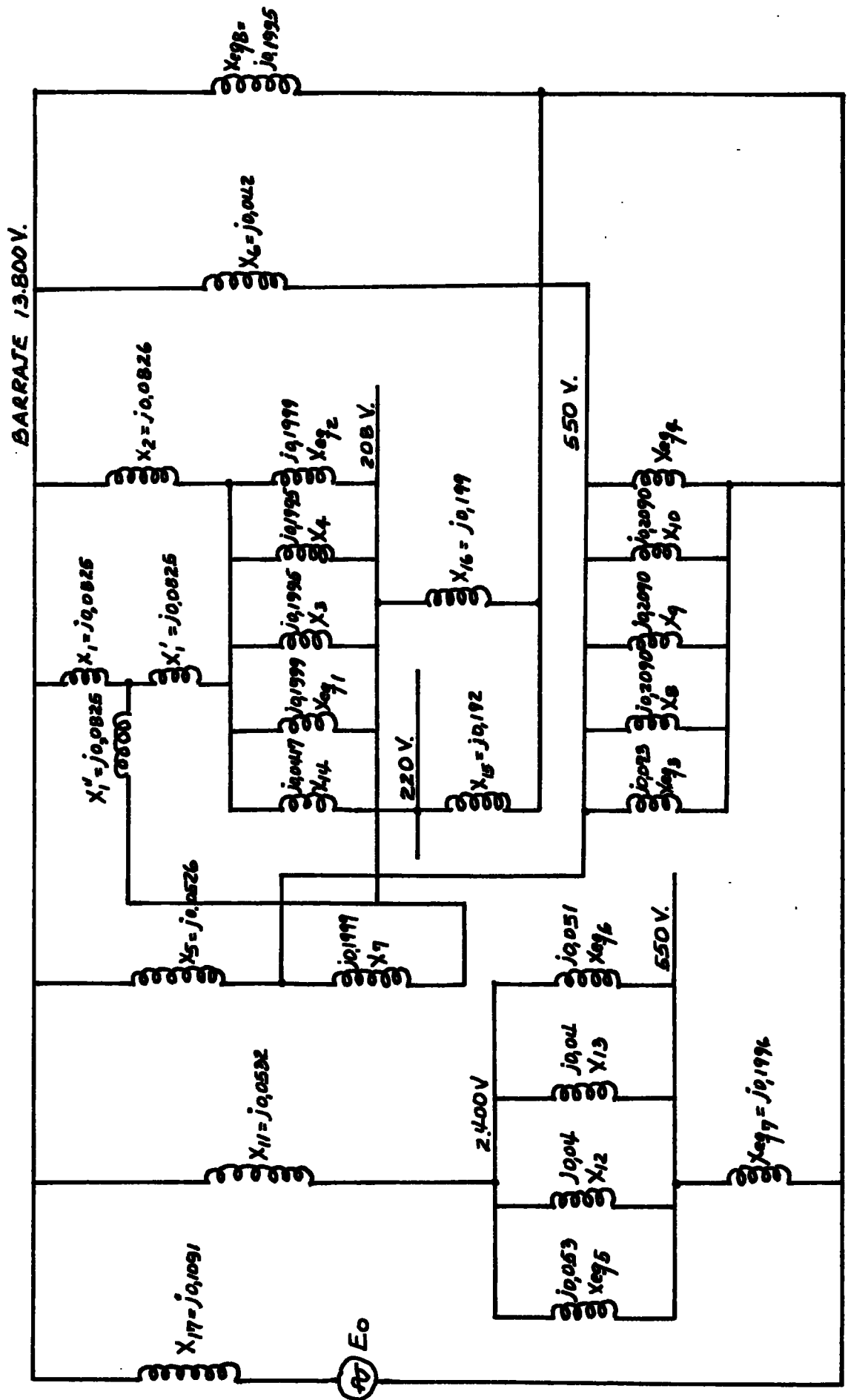


FIGURA 30. Diagrama Unifilar de Reactancias.

REACTANCIA EQUIVALENTE MII - MIII- B.AII- VTII =  $X_{eq_5}$  (Fig31)

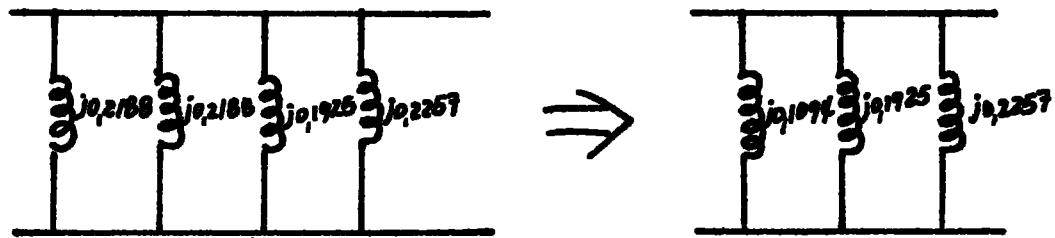


FIGURA 31. Diagrama de Reactancia Equivalente.

$$X_{eq_5} = \frac{1}{\frac{1}{j0,1094} + \frac{1}{j0,1925} + \frac{1}{j0,2257}} = \frac{1}{-j9,14 - j5,19 - j4,43} = \frac{1}{-j18,76}$$

$$X_{eq_5} = j0,053\Omega$$

REACTANCIA EQUIVALENTE MI -VTI- BAI - VS =  $X_{eq_6}$  (Figura 32).

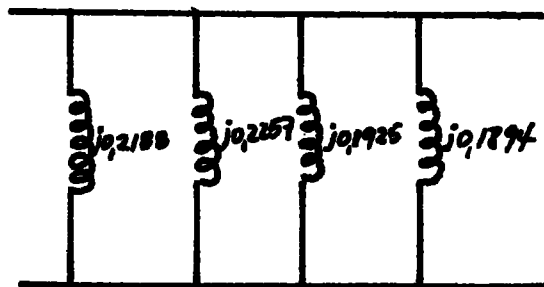


FIGURA 32. Diagrama de Reactancia Equivalente MI-VTI-BAI

$$X_{eq_6} = \frac{1}{\frac{1}{j0,2188} + \frac{1}{j0,2257} + \frac{1}{j0,1925} + \frac{1}{j0,1894}} = \frac{1}{-j4,57 - j4,43 - j5,19 - j5,27}$$

$$X_{eq_6} = \frac{1}{-j19,46} = j0,051\Omega$$

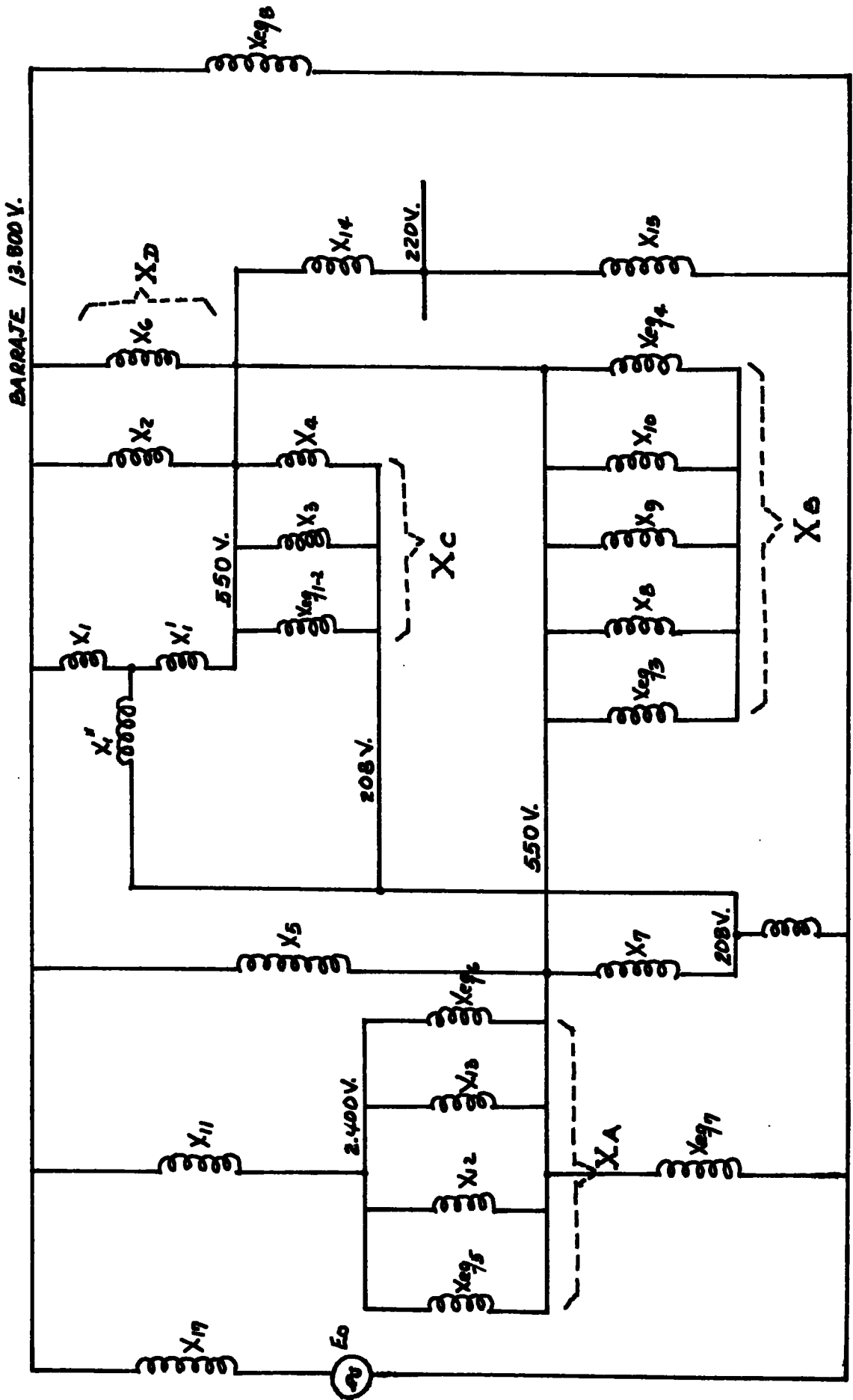


FIGURA 33. Diagrama de Reactancias Simplificado  $X_A$   $X_B$

$$X_A = \frac{1}{\frac{1}{X_{eq5}} + \frac{1}{X_{12}} + \frac{1}{X_{13}} + \frac{1}{X_{eq6}}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,053} + \frac{1}{j0,04} + \frac{1}{j0,04} + \frac{1}{j0,051}}$$

$$X_A = \frac{1}{(-j18,86) + (-j25) + (-j25) + (j1950) - j88,46} = \frac{1}{-j88,46} = j0,011 \Omega$$

$$X_B = \frac{1}{\frac{1}{X_{eq3}} + \frac{1}{X_8} + \frac{1}{X_9} + \frac{1}{X_{10}}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,073} + \frac{1}{j0,2090} + \frac{1}{j0,2090} + \frac{1}{j0,2090}}$$

$$X_B = \frac{1}{(-j13,69) + (-j,478) + (-j4,78) + (-j4,78) - j28,03} = \frac{1}{-j28,03} = j0,035 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\frac{1}{X_{eq_{1-2}}} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,1999} + \frac{1}{j0,1995} + \frac{1}{j0,1995} (-j5) + (-j5,01) + (-j5,01)} = \frac{1}{(-j5) + (-j5,01) + (-j5,01)}$$

$$X_C = \frac{1}{-j15,02} = j0,066 \Omega$$

$$X_D = \frac{1}{\frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_6}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,0826} + \frac{1}{j0,042}} = \frac{1}{-j12,10 - j23,80} = \frac{1}{-j35,90}$$

$$X_D = j0,027 \Omega$$

Ahora se refieren todas las reactancias al barraje de 13.800 voltios.

$X_{eq}$ , referida a 13.800 y será:

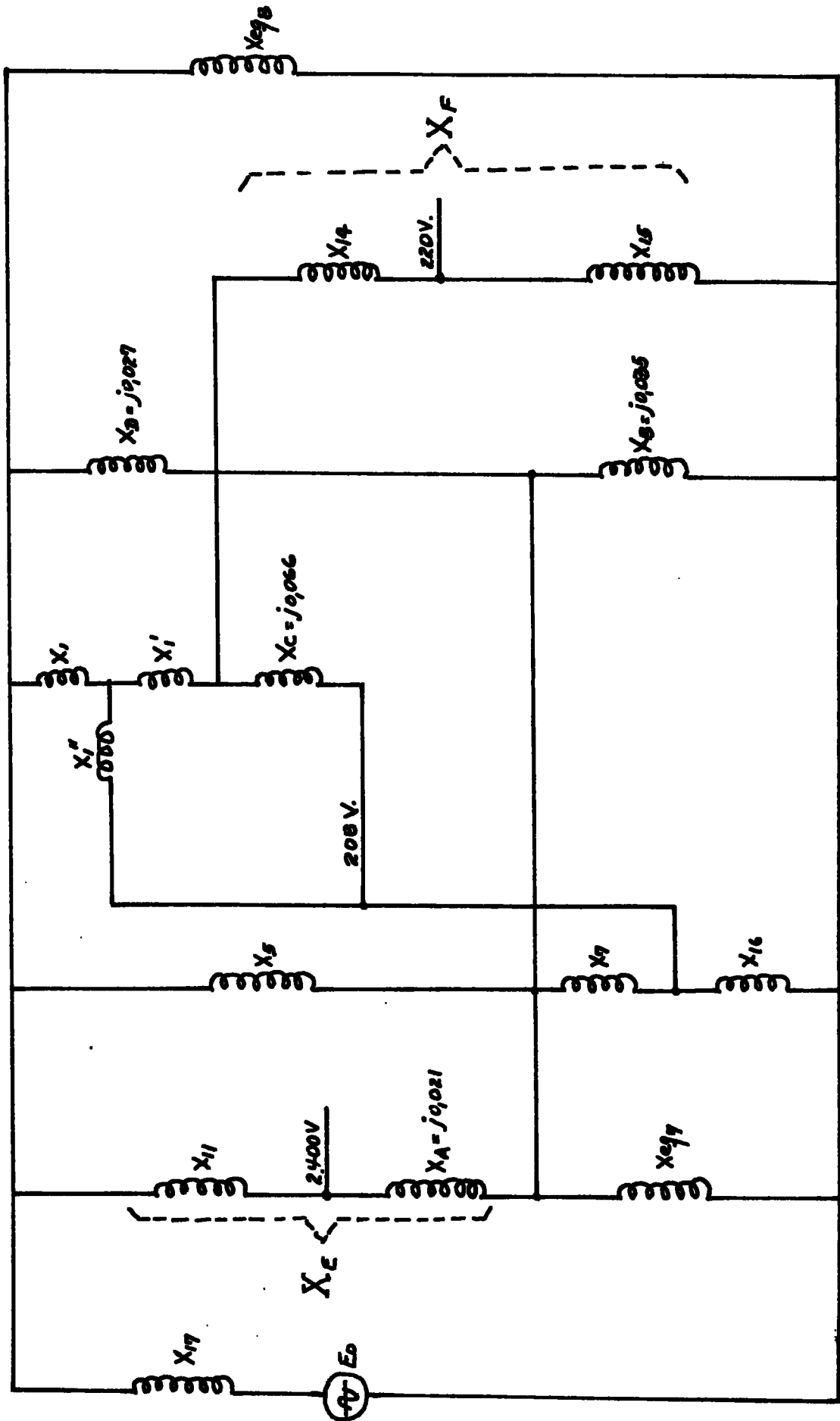


FIGURA 34. Diagrama de Reactancias Xe Xf

$$X_{eq_7} = X_{eq_7} \left( \frac{2.400}{550} \right)^2 \cdot \left( \frac{13.800}{2.400} \right)^2 = j0,1996 \left( \frac{13800}{550} \right)^2 = j0,1996 \times 629,55 =$$

$$= j125,65\Omega$$

$X_A$  referida a 13.800 v serã:

$$X_A = X_A \left( \frac{13.800}{2.400} \right)^2 = j0,011 \times 33,06 = j0,363$$

$X_{16}$  referida a 13.800 v serã:

$$X_{16} = X_{16} \left( \frac{550}{208} \right)^2 \left( \frac{13800}{550} \right)^2 = j0,199 \left( \frac{13.800}{208} \right)^2 = j0,199 \times 4.401,81 = j875,96$$

$X_7$  referida a 13.800 v serã:

$$X_7 = X_7 \left( \frac{13800}{550} \right)^2 = j0,1999 \left( \frac{13.800}{550} \right)^2 = j0,1999 \times 629,55 = j125,84$$

$X_{15}$  referida a 13.800 v serã

$$X_{15} = X_{15} \frac{550}{220} \left( \frac{13.800}{550} \right)^2 = j0,192 \left( \frac{13800}{220} \right)^2 = j0,192 \times 3434,71 = j763,14$$

$X_{14}$  referida a 13.800 v serã.

$$X_{14} = X_{14} \left( \frac{13.800}{550} \right)^2 = j0,0417 \times 629,55 = j26,25$$

$X_C$  referida a 13.800 v serã:

$$X_C = X_C \left( \frac{13.800}{550} \right)^2 = j0,066 \times 629,55 = j41,55$$

$$X_B = X_B \left( \frac{13.800}{550} \right)^2 = j0,035 \times 629,55 = j22,03$$

$$X_E = X_A + X_{14} = j0,363 + j0,0532 = j0,4162$$

$$X_F = X_{14} + X_{15} = j26,25 + j763,14 = j789,39$$

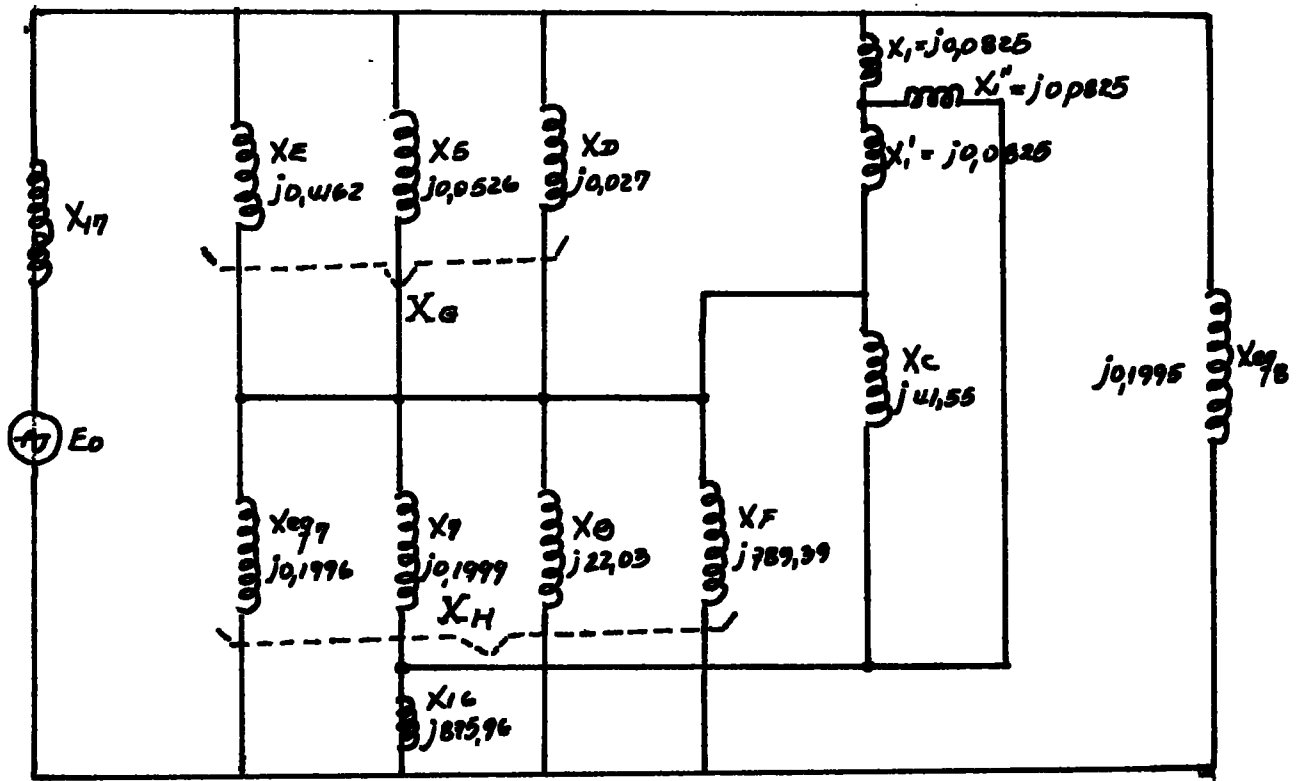


FIGURA 35. Diagrama de Reactancias  $X_6$   $X_4$

$$E_0 = 13.800 \ 0^\circ \text{ voltios}$$

$$X_G = \frac{1}{\frac{1}{X_E} + \frac{1}{X_5} + \frac{1}{X_D}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,4162} + \frac{1}{j0,0526} + \frac{1}{j0,027}} = \frac{1}{-j2,4 - j19,1 - j37,03}$$

$$X_G = \frac{1}{-j58,44} = j0,017$$

$$X_H = \frac{1}{\frac{1}{X_{eq7}} + \frac{1}{X_B} + \frac{1}{X_F}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,1996} + \frac{1}{j22,03} + \frac{1}{j789,39}} = \frac{1}{-j5,01 - j0,045 - j0,001}$$

$$X_H = \frac{1}{-j5,056} = j0,197$$

$$X_I = \frac{1}{\frac{1}{X_7} + \frac{1}{X_c}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,1999} + \frac{1}{j41,55}} = \frac{1}{-j5 - j0,024} = \frac{1}{-j5,024} \quad X_I = j0,199$$



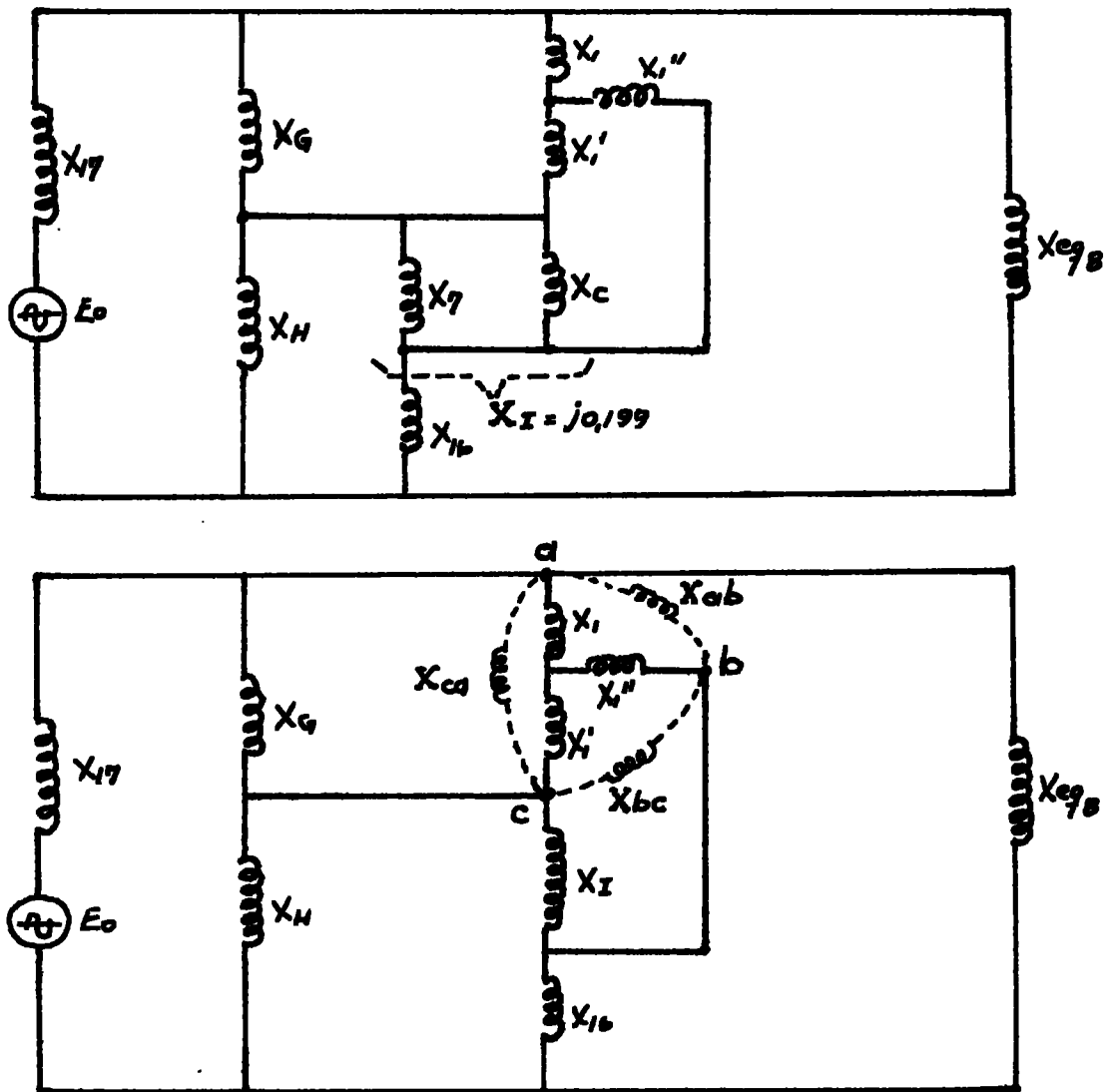


FIGURA 36. Diagrama de Reactancias  $X_i$   $X_{ab}$   $X_{ca}$

Conversión Y -

$$X_{ab} = \frac{X \ X'' + X'' \ X' + X' \ X}{X} = \frac{(j0,0825) (j0,0825) + (j0,0825)(j0,0825) + (j0,0825) (j0,0825)}{j0,0825}$$

$$X_{ab} = \frac{-0,0068 - 0,0068 - 0,0068}{j0,0825} = \frac{-0,0204}{j0,0825} = -j0,247$$

$$X_{ab} = X_{bc} = X_{ca}.$$

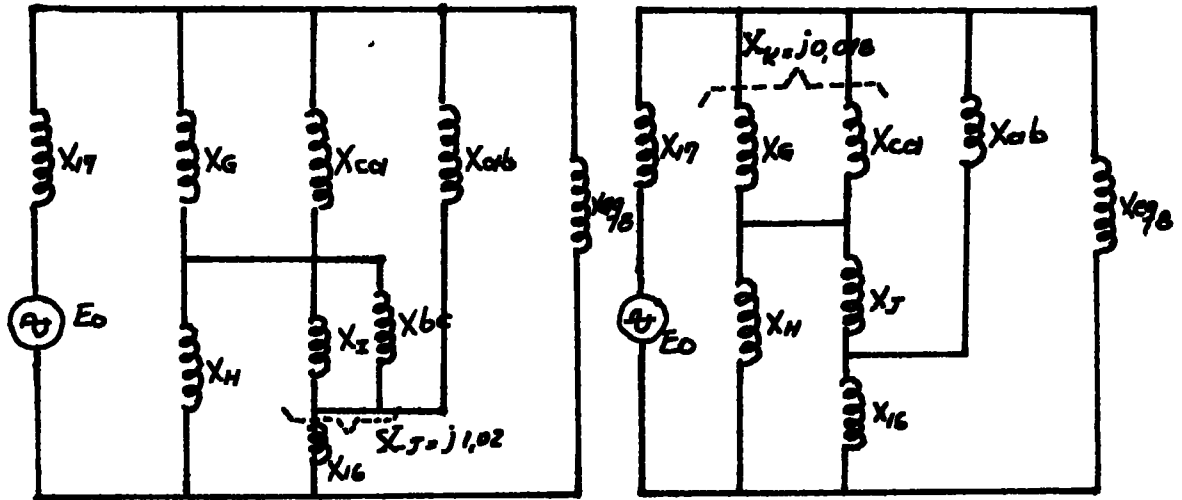


FIGURA 37 Diagrama de Reactancias  $X_j$   $X_k$

$$X_j = \frac{1}{\frac{1}{X_I} + \frac{1}{X_{bc}}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,199} + \frac{1}{-j0,247}} = \frac{1}{-j5,02 + j4,04} = \frac{1}{-j0,98} = j1,02$$

$$X_k = \frac{1}{\frac{1}{X_G} + \frac{1}{X_{ca}}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,019} + \frac{1}{-j0,247}} = \frac{1}{-j58,82 + j4,04} = \frac{1}{-j54,78} = j0,018$$

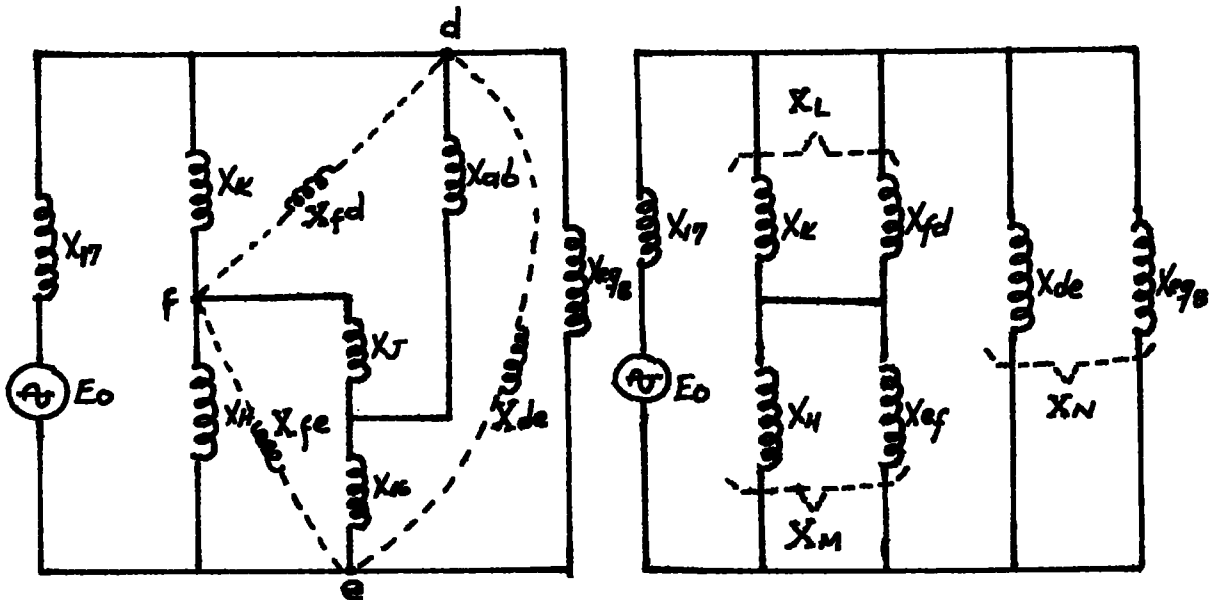


FIGURA 38, Diagrama de Reactancias  $X_{de}$   $X_{fd}$   $X_{fe}$

Conversión Y - A

$$X_{de} = \frac{X_{ab} \cdot X_j + X_{ac} \cdot X_j + X_j \cdot X_{ab}}{X_j} = \frac{(-j0,247)(j875,96) + (j875,96)(j1,02) + (j1,02)(-j0,247)}{j1,02}$$

$$X_{de} = \frac{216,362 - 893,479 + 0,251}{j1,02} = \frac{-676,866}{j1,02} = j663,594$$

$$X_{ef} = \frac{-676,866}{X_{ab}} = \frac{-676,866}{-j0,247} = -j2740,348$$

$$X_{fd} = \frac{-676,866}{X_{16}} = \frac{-676,866}{j875,91} = j0,772$$

$$X_L = \frac{1}{\frac{1}{X_k} + \frac{1}{X_{fd}}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,018} + \frac{1}{j0,772}} = \frac{1}{-j55,55 - j1,29} = \frac{1}{-j56,84} = j0,017$$

$$X_m = \frac{1}{\frac{1}{X_H} + \frac{1}{X_{ef}}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,197} + \frac{1}{-j2740,348}} = \frac{1}{-j5,07 + j0,0003} = \frac{1}{-j5,069} = j0,197$$

$$X_N = \frac{1}{\frac{1}{X_{de}} + \frac{1}{X_{eq8}}} = \frac{1}{\frac{1}{j663,594} + \frac{1}{j0,1995}} = \frac{1}{-j0,0015 - j5,01} = \frac{1}{-j5,01} = j0,199$$

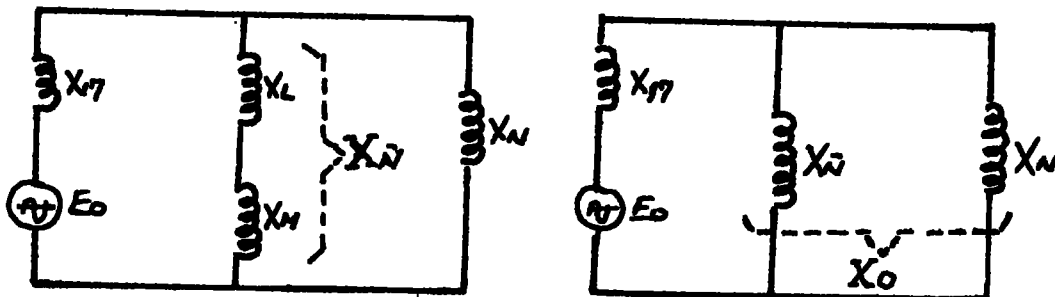
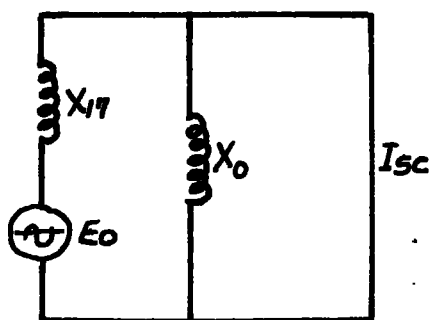


FIGURA 39. Diagrama de Reactancias  $X_N$   $X_0$

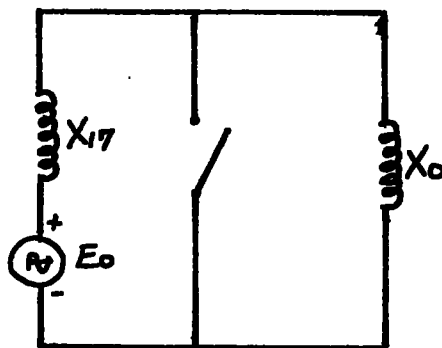
$$X_{N'} = X_1 + X_m = j0,017 + j0,197 = j0,214$$

$$X_0 = \frac{1}{\frac{1}{X_{N'}} + \frac{1}{X_N}} = \frac{1}{\frac{1}{j0,214} + \frac{1}{j0,199}} = \frac{1}{-j4,67 - j5,02} = \frac{1}{-j,969} = j0,103$$



$$V_0 = E - IjX_{17}$$

FIGURA 40. Corriente corto circuito del sistema



$$E_0 = 13.800 \angle 0^\circ$$

$$X_{17} = j0,1091$$

$$X_0 = j0,094$$

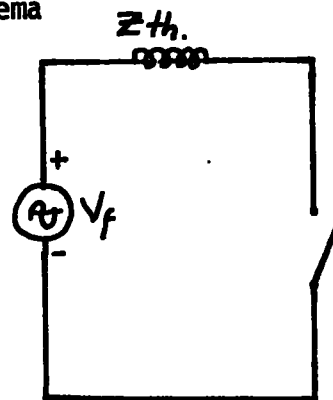


FIGURA 41. Simulación fallo en el sistema

FIGURA 42. Equivalente Thevenin del sistema.

$$I_f'' = \frac{V_f}{Z_{th}} = \frac{V_f (jX_{17} + jX_0)}{jX_{17} jX_0}$$

$$Z_{th} = \frac{jX_{17} \cdot jX_0}{jX_{17} + jX_0} = \frac{(j0,1091)(j0,103)}{j0,1091 + j0,103} = \frac{-0,01123 (-j0,2121)}{(j0,2121)(-j0,2121)} = \frac{j0,0023}{0,0449} = j0,0511$$

$$I_f = \frac{1}{j0,0511} = -j19,55$$

$$I_{base} = \frac{P \text{ (KVA)}}{\sqrt{3}V} = \frac{20.500}{\sqrt{3} \times 13,8} = 857,658 \text{ amp.}$$

$$I_f \text{ en amp.} = 20,66 \times 857,658 = 16.762,213 \text{ amperios} = 17,762 \text{ KA}$$

### 7.2.2. Protecciones:

Rele de subcorriente existentes en la compañía de tiempo inverso.

### 7.2.3. Instrumentos de Medición:

- Transformadores de corriente y de potencial.
- Voltímetro
- Amperímetro.

### 7.2.4. Sistema de Operación:

La operación del sistema se efectuará de forma automática y de tal manera que se cumplan ciertas condiciones indispensables para ello, como a continuación se detallan:

- Debe entrar a trabajar el terciario del transformador cuando se detecte falta de tensión en el barraje de 13,8 Kv y no esté en funcionamiento el grupo III, pues si éste está

funcionando a través del transformador de arranque, se puede restablecer nuevamente el nivel de tensión en el barraje y quedará solucionado el inconveniente.

Cuando se detecte que no existe tensión en el barraje de 138 Kv y la señal de no operación del grupo III se encuentre en el tablero de operación manual, entonces los contactos abiertos de las bobinas  $L_1$  y  $L_2$  de los correspondientes grupos se cerrarán automáticamente permitiendo así la operación interna que permita la restauración del servicio, conectando el terciario del transformador al barraje de 138 Kv y solucionando el problema.

### 7.3. TRANSFORMADOR DE 550/220V-35KVA

Este transformador permitirá mejorar notablemente el nivel de voltaje de 220v y estará capacitado para trabajar normalmente alimentando la carga para la cual fue calculado. Las características del transformador son las siguientes:

Capacidad : 35 KVA  
Fases : 3  $\emptyset$   
Voltaje primario 550 voltios  
Voltaje secundario 220 voltios  
Ciclos : 60  
Conexión : DY5

**Tipo : Aceite**  
**Norma : Icontec**  
**Marca : Tracol.**

## 8. LISTA DE EQUIPO Y ESPECIFICACIONES

Transformador Trifásico Marca MITSUBISHI Frecuencia 60Hz  
con cambiador de derivaciones bajo carga.

AT 35.000 / 46.550/ 58.450 Kva.

176/ 234/ 293 A - 15.000 V.

BT 35.000/ 46.550/ 58.450 Kva.

546/ 726/ 912 A - 37.000 V.

Terciario 6.000/ 8.000/ 10.000 Kva.

247/ 330/ 412 A - 14.000 V.

Conexión Tipo Núcleo

Transformador Trifásico Marca Trocol Frecuencia 6.Hz

Voltaje Primario 5.500

Voltaje Secundario 2.200

Capacidad 35 Kva.- Conexión D45 Tipo Aceite

Norma Icontec

Conductor Vulceat 90 # 2/0 Awg

" el Ceat General # 8 y # 2 Awg.

Interruptores General Electric 5.500- 60A- 550V/45A.

550V/15A

5500/25A



**Interruptores General 5.500- 150A.**

**Interruptores 15KV - 1.000 A.**

**Bobinas de C.A 1100**

**Transformador de Potencial 13/800/1100- 160 V.A C1 0,5**

**" " " Intensidad 400/800- 55-5A 20VA C/0,5**

**Luminancias horizontales con vidrio curvo templado Referencia IJKG-VC de 400W- 2200- Sodio con bombillos.**

## CONCLUSIONES

Las más importantes conclusiones a las que se ha podido llegar son las siguientes:

- 1- Los bajos costos del proyecto, debido a que la mayoría de los elementos utilizados en este trabajo son propiedad de la Central Termoeléctrica de Yumbo y se encuentran a completa disposición, tales como el transformador, interruptores, seccionadores, instrumentos de medida, etc.
- 2- El estudio del alumbrado exterior de la planta, fué posible obtenerlo mediante la colaboración del Departamento de Asesoría Técnica de la empresa 'Roy Alpha, la cual suministra una información completa de las lámparas que se utilizarán y sus respectivos costos.
- 3- La compañía Ceat General de Colombia S.A., con su nuevo aporte a la industria nacional del Vuelceat 90, garantizó al tipo de conductor utilizado en la línea; su buen funcionamiento, la seguridad en el aislamiento y sus normas de uso. Por esta razón, se consideró necesario anexar al pro

yecto un catálogo en el cual se aclaran más las especificaciones del conductor.

4- Las curvas que se elaboraron son también de gran importancia, ya que de ellas se extrajo la información concerniente a la generación y consumo de la planta en el barraje de 13,8 KV y gracias a la cual fué posible mediante su interpretación, determinar de una manera más precisa la capacidad de la línea a emplear.

Se logró también mediante la determinación de la capacidad del transformador de 35 KVA, 550/220V subsanar la escasez de tensión a 220 V y obtener al mismo tiempo la alimentación adecuada para el alumbrado exterior de la planta.

## BIBLIOGRAFIA

CATALOGO N°M354 IE. Construcciones eléctricas Iribarrem CA

CATALOGO 7200-7300- 7400 Compagnie continentale D' Equipementes electriques.

CATALOGO 1701 Roy Alpha.

CATALOGO Vuiceat 90 Ceat General de Colombia SA, Cali.

CHECA, Luis Maria. Líneas de transporte de energía. Barcelona, Boixarareu Editores, 1973.

GOURISHANKAR, Vembu. Conversión de energía electromecánica México, Representaciones y servicios de Ingeniería, 1974.

STEEVENSON, William D. Análisis de sistemas eléctricos de potencia. 2ed. México, Mc Graw-Hill, 1970.

WATT, Jhon H. Manual del montador electricista. 3ed. Barcelona, Reverté, 1974.

ZOPPETTI, G. Redes eléctricas de alta y baja tensión, Barcelona, Gustavo Gili, 1965.

**A N E X O S**



ANEXO I. Continuación: HOJA DE REGISTRO DIARIO DE OPERACION.

TRANSFORMADORES DE PLANTA.		DISTRIBUCION 13.8 KV.																							
		FEEDER												FEEDER											
HORA	KV	TEMP. M		CANDELARIA		CALIMA		I			II			III			IV			V					
		R	S	W	R	S	T	LECT. CONT.	M	W	R	S	T	M	W	R	S	T	LECT. CONT.	M	W	R	S	T	
0																									
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									

OBSERVACIONES:

ANEXO 1. Continuación: HOJA DE REGISTRO DIARIO DE OPERACION.

GENERACION														TRANSFORMADORES DE PLANTA						
ALTERNADOR I 12,500 KVA - 13,800V - B 24A - Exc: 86V-360A				ALTERNADOR II 12,500 KVA - 13,800V - BMA - Exc: 86V-360A				ALTERNADOR III 11,800 KVA - 13,800V - B30A - Exc: 817A				TRANSFORMADOR I - II		SUM. REC.						
Excit. Temperatura		Excit. Temperatura		Excit. Temperatura		Excit. Temperatura		Excit. Temperatura		Excit. Temperatura		I		II		SUM. REC.				
M	W	M	W	M	W	M	W	M	W	M	W	R	S	T	R	S	T	CONT.	CONIT.	
0																				
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				

OBSERVACIONES:





ANEXO 2. VULCEAT 90

**CEAT GENERAL E C O L O M B I A, S.A.**

Dispone de las más avanzadas técnicas en el campo de la fabricación de los cables eléctricos, contando además con 20 años de experiencia en el País.



Somos los pioneros en Colombia y estamos orgullosos de lanzar la nueva línea de cables marca

**VULCEAT 90**

aislados con polietileno reticulado para Alto, Medio y Bajo voltaje

## **LA RETICULACION ULTIMO AVANCE TECNOLOGICO**

A partir de la década del 60, el polietileno reticulado material aislante termoestable, con excelentes características físicas y eléctricas entró a formar parte de los dieléctricos más solicitados en el mercado mundial.

CEAT GENERAL DE COLOMBIA, S.A., dispone no solo de asistencia técnica europea y norteamericana, sino también de modernos equipos diseñados exclusivamente para la fabricación y pruebas de la línea **VULCEAT 90** operados por personal altamente especializado.

Líneas de fabricación **VULCEAT 90** Alto, Medio y Bajo voltaje en conductores de cobre y aluminio.

### **CONTENIDO:**

- 1. Introducción**
- 2. Rangos de voltaje de la línea **VULCEAT 90****
- 3. Cables de 600 a 46.000 voltios**
- 4. Formación**
- 5. Aislamiento**
  - Tabla 1 Temperaturas máximas de los conductores**
- 6. Pantalla**
- 7. Cubierta**
- 8. Cables Tripolares**
  - Tabla 2 Características de Polietileno Reticulado**
- 9. Intensidad de Cortocircuito Admisible Entre Fases**
  - Tabla 3 Densidad Máxima del Cortocircuito en A/mm<sup>2</sup>**
- 10. Selección del cable**
- 11. Pruebas**
  - Gráfico 1**
- 12. Embalaje**
- 13. Normas y Especificaciones**
- 14. Tabla I**
- 15. Tabla II**

**ANEXO 2. CONTINUACION YUCEALT 90****INTRODUCCION**

La línea **VULCEAT 90** se refiere a cables con aislamiento de polietileno reticulado, con o sin pantalla, para voltajes de servicio desde 600 hasta 46.000 voltios. El polietileno reticulado es un material termoestable, resultado de un proceso de vulcanización para modificar su estructura molecular y obtener enlaces intermoleculares cruzados estables. El polietileno reticulado conocido también como polietileno de cadena cruzada "Cross-linked" o XLPE; aumenta la resistencia contra el agrietamiento por el esfuerzo mecánico y mejora las propiedades de fluidez plástica. Durante la vulcanización, el polietileno aumenta su punto de fusión por el enlace cruzado de su estructura molecular. Su comportamiento al envejecimiento por el calor es superior a todos los aislantes termoplásticos como el PVC y el PTH. Su estructuración permite que trabaje a temperatura de operación de 90°C en ambientes secos o húmedos.

**RANGOS DE VOLTAJE DE LA LINEA**

El polietileno reticulado **VULCEAT 90** se usa en los siguientes voltajes:

- a). 600 voltios
- b). 601 a 2.000 voltios
- c). 2.001 a 5.000 voltios
- d). 5.001 a 46.000 voltios

La serie de cables **VULCEAT 90** de campo eléctrico radial, está diseñado para transmisión de corriente en voltaje desde 5.000 hasta 46.000 voltios.

En este primer informe nos ocuparemos de las series de 5.000 voltios hasta 46.000 voltios dentro de las cuales se presentan, comparativamente, las mejores características del polietileno reticulado.

**CABLES DE 5.000 A 46.000 VOLTIOS**

Los cables de esta serie pueden ser: Monopolar y Tripolar.

Los Monopolares son más recomendables que los tripolares entre otras por las siguientes ventajas:

- Longitudes de fabricación mayores, reduciendo el número de empalmes.
- Admiten mayor capacidad de carga permanente.

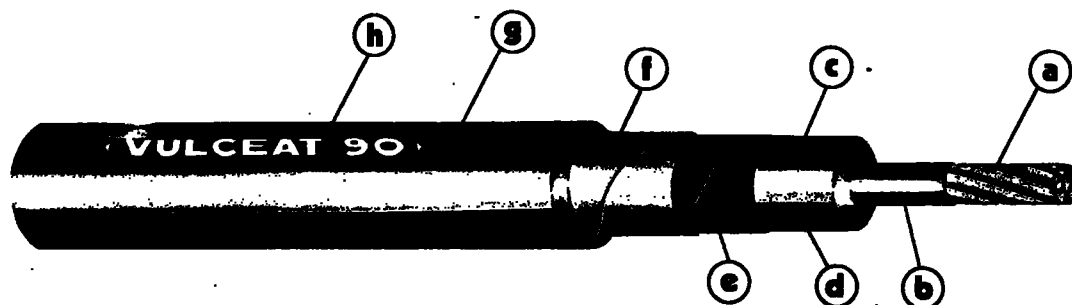
- Facilitan la ejecución de empalmes y terminales
- Mayor facilidad de manejo durante el tendido
- Menor radio de curvatura permisible.
- En caso de daño, es más fácil la sustitución de la fase averiada.

**FORMACION**

- a. Conductores de aluminio o cobre compactos.
- b. capa semiconductora extruída.
- c. capa de polietileno reticulado, de espesor adecuado a su voltaje de servicio.

Nota: Los elementos b. y c. son aplicados simultáneamente.

- d. capa micrométrica de grafito pulverizado
- e. cinta semiconductora aplicada en forma helicoidal.
- f. pantalla constituida por una cinta de cobre suave electrolítico aplicada en forma helicoidal.
- g. cubierta exterior del cloruro de Polivinilo (PVC) especial para la intemperie y/o trabajo pesado.
- h. identificación impresa a todo lo largo del cable con indicación del tipo, voltaje, calibre y metraje progresivo.



## ANEXO 2. Continuación. VULCEAT 90 AISLAMIENTO

Como aislamiento de los cables **VULCEAT 90** se emplea polietileno especial reticulado, que por sus excelentes características térmicas, por su gran adapta-

bilidad a todas las temperaturas y también por su alta resistencia a la humedad, permite garantizar un servicio permanente por muchos años.

### TEMPERATURAS MAXIMAS DEL CONDUCTOR TABLA 1

TIPO DE AISLAMIENTO	EN OPERACION NORMAL	EN OPERACION DE EMERGENCIA	EN OPERACION DE CORTOCIRCUITO
POLIETILENO RETICULADO	90°C	130°C	250°C
POLIETILENO CONVENCIONAL	75°C	90°C	150°C

#### COMENTARIO:

Las características dieléctricas del polietileno reticulado no son suficientes, por sí solas, para obtener un cable de absoluta garantía y larga duración. Adicionalmente debe ir acompañado de una muy tecnificada y cuidadosa fabricación, así como de un riguroso control en sus diferentes etapas de producción todas plenamente garantizadas por CEAT GENERAL DE COLOMBIA, S.A.

La presencia de burbujas en la masa de aislamiento, origina ionización en dichos puntos, que provocan a largo plazo una perforación por efecto térmico del arco y no por efecto de degradación por el ozono ya que el polietileno reticulado es resistente al ozono.

La eliminación de puntos ionizables se obtiene mediante:

- a.) la fabricación del conductor de cobre o aluminio de forma compacta.
- b.) la aplicación del polietileno reticulado por extrusión simultánea con la primera capa semiconductora, con lo que se consigue una perfecta incorporación entre ambas, precisamente en la zona de gradiente de potencial máximo del cable.
- c.) la aplicación de una capa de grafito entre el aislamiento y la segunda capa semiconductora.
- d.) una cinta semiconductora aplicada helicoidalmente con un traslape no inferior al 20%.

#### Pantalla

Normalmente se utiliza una cinta de cobre suave electrolítico puro al 99.99% aplicada helicoidalmente con un traslape suficiente para mantener los valores de resistencia ohmica bajos y aplicada de manera que se adhiera perfectamente a la segunda cinta semiconductora.

La función principal de la pantalla, es la de mantener el campo eléctrico radial, en tal forma que el esfuerzo eléctrico del aislamiento sea uniforme en todos sus puntos y perpendicular al mismo.

#### Cubierta

Se emplea como cubierta compuestos de cloruro de polivinilo (PVC), especialmente formulados para trabajar bajo rigurosas condiciones; cumpliendo con las características que se exigen en las normas: IPCEA, NEMA y otras.

#### Cables tripolares

En los cables tripolares las fases aisladas en polietileno reticulado se cablean entre sí, quedando en contacto las tres pantallas de cobre. Sobre el conjunto se aplica un relleno especial de Cloruro de Polivinilo (PVC), logrando así la forma cilíndrica, finalmente se aplica la cubierta externa de Cloruro de Polivinilo (PVC). También se puede fabricar el cable conocido como el tipo triplex, o sea, cada fase recubierta individualmente cableando entre sí las tres fases.

**ANEXO 2. Continuación. VULCEAT 90**

**TABLA 2 CARACTERISTICAS DEL POLIETILENO RETICULADO**

<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>		
—densidad a 20°C gr/cm <sup>3</sup>		0.92
—resistencia a baja temperatura °C		—90
—resistencia a la humedad		excelente
<b>CARACTERISTICAS MECANICAS:</b>		
—carga de rotura a 20°C kg/cm <sup>2</sup>		155
—alargamiento a la rotura %		500
—dureza, shore D		45
<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS:</b>		
—resistencia dieléctrica a 20°C KV/mm		22
—factor de disipación:		
	60 Hz	0.0003
	1 KHz	0.0003
	100 KHz	0.0003
	1 MHz	0.0003
—CONSTANTE DIELECTRICA:		
	60 Hz	2.3000
	1 KHz	2.3000
	100 KHz	2.3000
	1 MHz	2.3000
—RESISTIVIDAD DE VOLUMEN OHMS./CM.		10 <sup>16</sup>

**CARACTERISTICAS TERMICAS:**

—ENVEJECIMIENTO POR CALOR A 135°C

	SEMANAS		
	0	2	4
—carga de rotura kg/cm <sup>2</sup>	202	197	193
—porcentaje de conservación	—	96%	95%
—alargamiento a la rotura %	620	605	580
—porcentaje de conservación		97%	94%

**ANEXO 2, Continuación. VULCEAT 90**

**Intensidad de Cortocircuito Admisible entre Fases**

Se asume que los conductores en su operación inicial tengan una temperatura de 90°C y que al final del cortocircuito no superen los 250°C.

En los cables **VULCEAT 90** en caso de cortocircuito, la deformación que sufre el aislamiento es casi nula, por ser el polietileno reticulado, un material termoestable. Esto no sucede en los conductores aislados con polietileno convencional, debido a que la deformación del

aislamiento aumenta en proporción a la elevación de la temperatura del conductor durante el cortocircuito, afectándose notablemente la vida útil del cable.

Los valores de densidad de corriente en A/mm.2 en el cable se muestran en la tabla 3 y han sido calculados en función de la duración del cortocircuito y considerando que el calentamiento es adiabático.

**TABLA 3 DENSIDAD MAXIMA DE CORTOCIRCUITO EN A/mm.2**

DURACION DE LA SOBRECARGA EN:  CICLOS  SEGUNDOS	CONDUCTORES DE COBRE				CONDUCTORES DE ALUMINIO			
	6	12	30	60	6	12	30	60
TEMPERATURAS: INICIAL 90°C. y FINAL 250°C.	440	313	200	140	294	208	132	93

**SELECCION DEL CABLE**

Para la selección adecuada de esta serie **VULCEAT 90** deben tenerse en cuenta cuatro factores principales:

- 1.- Voltaje de la red y su regimen de conexión. Sistema neutro a tierra o neutro aislado.
- 2.- Intensidad de carga en amperios del circuito bajo determinadas condiciones de instalación.
- 3.- Intensidad de cortocircuito admisible entre fases y tierra.
- 4.- Intensidad del cortocircuito admisible entre fases y su duración.

*Intensidad de corriente de carga del circuito:*

Las tablas normalmente indican la intensidad admisible para un determinado factor de carga y su condición de instalación. Si esta varía debe aplicarse el correspondiente factor de corrección. En este caso tendremos la intensidad que el conductor puede resistir térmicamente. A título ilustrativo citamos la capacidad de carga de los cables **VULCEAT 90** Monopolares para una tensión de 15.000 voltios con sistema neutro a tierra, aislados con polietileno, comparándose con conductores aislados con polietileno convencional. Ver tabla I y tabla II, conductores de cobre y aluminio respectivamente.

*Intensidad de cortocircuito y su duración:*

La intensidad en caso de cortocircuito entre fases afecta exclusivamente los conductores. En el gráfico 1. se dan los valores correspondientes de densidad máxima admisible en función del tiempo.

Este puede ser un factor determinante para la selección del calibre. Puede darse el caso, que un calibre sea suficiente térmicamente para una carga permanente, pero que no alcance a soportar la corriente de cortocircuito durante un cierto tiempo, dadas las características de la red y del interruptor de protección.

Cuando la intensidad y el tiempo del cortocircuito fase tierra, no es admisible por la pantalla normal, debido a sus elevados valores, debe preverse la formación de una pantalla especial, de acuerdo con dichas características.

**PRUEBAS**

La calidad controlada de **CEAT GENERAL DE COLOMBIA, S.A.**, para la línea **VULCEAT 90** implica pruebas y controles sobre los cables durante los diferentes procesos de fabricación y pruebas sobre cables terminados. Dichas pruebas son realizadas sobre la totalidad de los tramos fabricados y cumplen con las más estrictas normas nacionales e internacionales.

**PRUEBAS SOBRE MATERIALES**

Mediante un sistema de muestreo se controlan la totalidad de las materias primas que se utilizan en la fabricación de los cables de la línea **VULCEAT 90** comprobándose que satisfagan con las especificaciones exigidas en las normas: **AEIC No. 5, IPCEA, NEMA, ASTM.**

**ANEXO 2. Continuación. VULCEAT 90  
CONTROL DE CALIDAD**

**PRUEBAS DURANTE LOS  
PROCESOS DE FABRICACION**

- Resistencia ohmica del conductor de cobre o aluminio, control dimensional y verificación de su calibre.
- Determinación de eventuales burbujas en el polietileno reticulado
- Comprobación de la reticulación de polímeros de etileno por proceso de extracción.
- Pruebas de reticulación por compresión
- El conductor aislado con polietileno reticulado es sometido a una prueba de voltaje en corriente alterna, previa su inmersión en agua.
- Resistencia de aislamiento.

**PRUEBAS DE RECEPCION Y ACTA  
DE ENTREGA**

Nuestros clientes, si así lo desean, pueden presenciar las pruebas finales en nuestros laboratorios sobre los cables terminados para lo cual se les avisa oportunamente; o solicitar se les remitan los certificados de prueba en donde aparecerán los valores obtenidos durante las pruebas o todos y cada uno de los tramos que conforman el lote a despachar.

CEAT GENERAL DE COLOMBIA, S.A. archiva en sus laboratorios las copias de los certificados finales de las pruebas, de todas y cada una de las bobinas fabricadas a fin de tener un control estricto lo que permite conocer con exactitud todos los datos relativos a los procesos de fabricación, así como también la información que posteriormente el cliente pueda requerir.

**PRUEBAS SOBRE CABLES  
TERMINADOS**

- Prueba de voltaje en corriente alterna
- Resistencia de aislamiento
- Nivel corona o prueba de ionización
- Resistencia ohmica en corriente directa.

**EMBALAJE**

Los cables **VULCEAT 90** son cuidadosamente embalados en bobinas debidamente protegidas. En cada bobina se coloca una tarjeta de color rojo con instrucciones precisas de la mejor forma de realizar un empalme o terminación, debiéndose tener especial cuidado en la limpieza del conductor.



*Vista parcial de los laboratorios de inspección y prueba.*

**NORMAS Y ESPECIFICACIONES  
DE LOS CABLES "VULCEAT 90"**

- A.E.I.C. No. 5** Association of Edison Illuminating Companies.
- A.S.T.M.** American Society for Testing and Materials.
- I.P.C.E.A.** Insulated Power Cable Engineers Association S. 66-524. (Pub. No. WC5).

**N.E.M.A.** National Electrical Manufacturer Association.

*Nota:* también estamos en capacidad de acordar con el cliente condiciones especiales de fabricación cumpliendo con valores debidamente estipulados a fin de satisfacer condiciones específicas.

ANEXO 2. Continuación. VULCEAT 90

COMPARACION LINEA "VULCEAT 90" Y LINEA AISLADA CON POLIETILENO CONVENCIONAL CONDUCTOR DE COBRE - MONOPOLAR DE 15.000 VOLTIOS

ENTERRADO DIRECTO- SISTEMA NEUTRO A TIERRA.

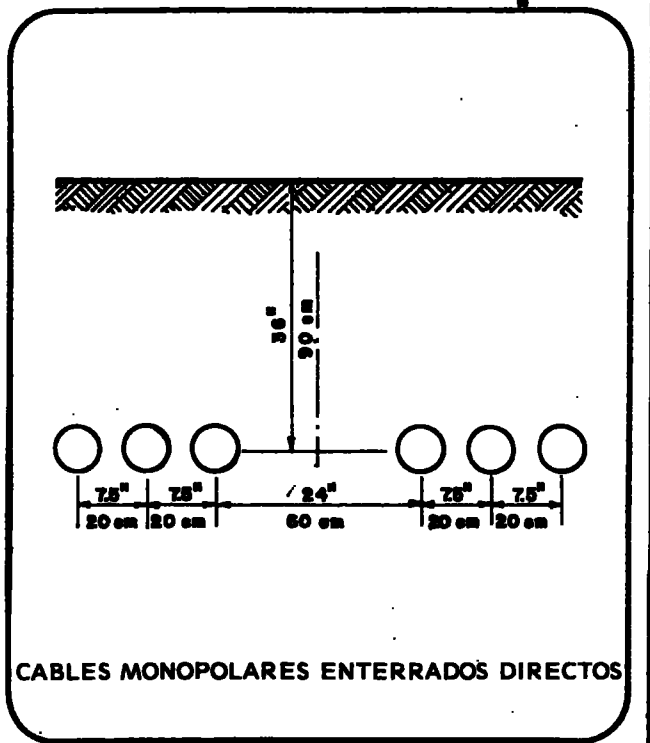
CALIBRE DEL CONDUCTOR COBRE	CAPACIDAD EN AMPERIOS							
	NUMERO DE CIRCUITOS DE IGUAL CARGA							
MCM	UNO				DOS			
	FACTOR DE CARGA							
AWG	75%		100%		75%		100%	
	TIPO DE AISLAMIENTO							
	POLIETILENO		POLIETILENO		POLIETILENO		POLIETILENO	
	VULCEAT 90	Convencional	VULCEAT 90	Convencional	VULCEAT 90	Convencional	VULCEAT 90	Convencional
2	230	209	210	191	219	199	197	179
1	264	239	240	218	251	227	225	204
1/0	302	274	274	248	286	260	256	232
2/0	345	313	312	283	327	296	291	263
3/0	392	356	354	321	371	336	329	298
4/0	449	407	403	365	424	384	374	339
250	494	448	442	401	465	422	410	372
350	600	543	534	484	563	510	494	447
500	734	665	649	588	686	621	598	542

INSTALACION

FACTOR DE CORRECCION SEGUN TEMPERATURA DE LA TIERRA	15°C	1.04
	20°C	1.00
	25°C	.95
	30°C	.90
	35°C	.85
	40°C	.79

CONDICIONES:

- 1.- Temperatura máxima permisible del conductor en operación continua:  
75°C para polietileno convencional  
90°C para polietileno reticulado VULCEAT 90
- 2.- Temperatura de la tierra: 20°C
- 3.- Frecuencia 60 Hz (ciclos)
- 4.- Resistencia térmica de la tierra: 90°C cm vatio
- 5.- Distancia entre los centros de los cables: 20 cms.
- 6.- Distancia entre los centros de los cables más próximos, de circuitos distintos: 60 cms.
- 7.- Profundidad de instalación: 90 cms.





ANEXO 2. Continuación. VULCEAT 90

COMPARACION: LINEA "VULCEAT 90" Y LINEA AISLADA CON POLIETILENO CONVENCIONAL CONDUCTOR DE ALUMINIO - MONOPOLAR DE 15.000 VOLTIOS

ENTERRADO DIRECTO - SISTEMA NEUTRO A TIERRA

CALIBRE DEL CONDUCTOR ALUMINIO	CAPACIDAD EN AMPERIOS							
	NUMERO DE CIRCUITOS DE IGUAL CARGA							
MCM	UNO				DOS			
	FACTOR DE CARGA							
AWG	75%		100%		75%		100%	
	TIPO DE AISLAMIENTO							
	POLIETILENO		POLIETILENO		POLIETILENO		POLIETILENO	
	VULCEAT 90	Convencional	VULCEAT 90	Convencional	VULCEAT 90	Convencional	VULCEAT 90	Convencional
2	180	163	164	149	171	155	154	139
1	206	187	187	170	195	177	175	159
1/0	235	214	213	194	223	203	199	181
2/0	269	244	243	220	255	231	226	205
3/0	306	277	276	250	289	262	257	233
4/0	350	318	314	285	330	300	292	265
250	385	349	345	313	363	329	320	290
350	468	425	417	378	440	399	386	350
500	575	521	508	461	537	487	468	425

INSTALACION

FACTOR DE CORRECCION SEGUN TEMPERATURA DE LA TIERRA	15°C	1.04
	20°C	1.00
	25°C	.95
	30°C	.90
	35°C	.85
	40°C	.79

CONDICIONES:

- 1.- Temperatura máxima permisible del conductor en operación continua:  
75°C para polietileno convencional  
90°C para polietileno reticulado VULCEAT 90
- 2.- Temperatura de la tierra: 20°C
- 3.- Frecuencia 60 Hz (ciclos)
- 4.- Resistencia térmica de la tierra: 90°C cm vatio
- 5.- Distancia entre los centros de los cables: 20 cms.
- 6.- Distancia entre los centros de los cables más próximos, de circuitos distintos: 60 cms.
- 7.- Profundidad de instalación: 90 cms.

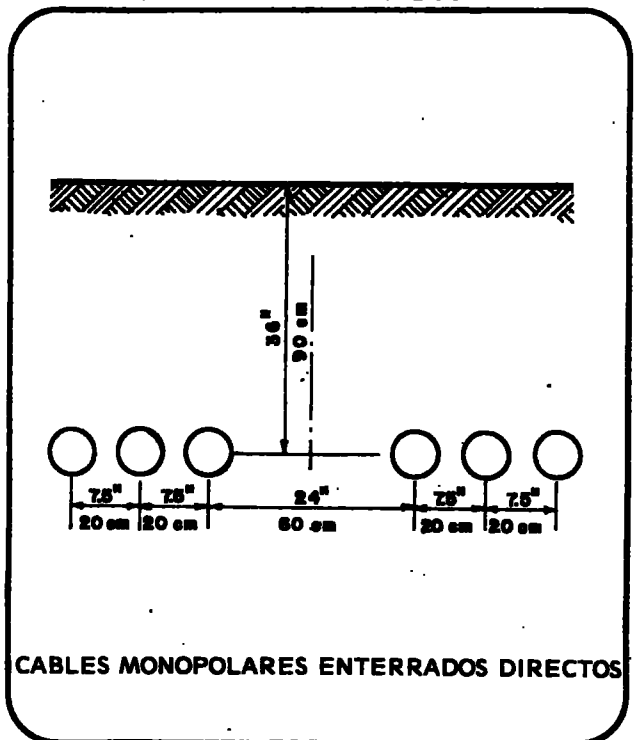
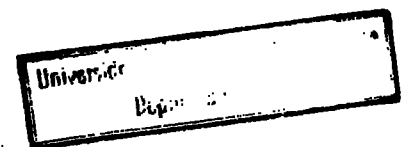


Table 2-12 ▲  
 Nominal Direct-current Resistance of Aluminum and Annealed Uncoated Copper Conductors  
 Concentric Stranded Classes B, C and D and Compact Stranded

Conductor Size, AWG or MCM	20°C				25°C			
	Aluminum		Copper		Aluminum		Copper	
	ohms per 1000 Feet	ohms per km	ohms per 1000 Feet	ohms per km	ohms per 1000 Feet	ohms per km	ohms per 1000 Feet	ohms per km
22	...	...	...	...	...	...	...	...
20	...	...	10.3	33.9	...	...	10.5	34.6
19	...	...	...	...	...	...	...	...
18	...	...	6.51	21.4	...	...	6.64	21.8
17	...	...	...	...	...	...	...	...
16	...	...	4.10	13.4	...	...	4.18	13.7
15	...	...	...	...	...	...	...	...
14	...	...	2.57	8.45	...	...	2.63	8.61
13	...	...	2.04	6.69	...	...	2.08	6.83
12	2.66	8.71	1.62	5.32	2.71	8.89	1.65	5.42
11	2.11	6.92	1.29	4.22	2.15	7.06	1.31	4.30
10	1.67	5.48	1.02	3.34	1.70	5.59	1.04	3.41
9	1.33	4.35	0.808	2.65	1.35	4.44	0.824	2.70
8	1.05	3.45	0.641	2.10	1.07	3.52	0.653	2.14
7	0.833	2.73	0.508	1.67	0.850	2.79	0.518	1.70
6	0.661	2.17	0.403	1.32	0.674	2.21	0.411	1.35
5	0.524	1.72	0.320	1.05	0.535	1.75	0.326	1.07
4	0.416	1.36	0.253	0.832	0.424	1.39	0.258	0.848
3	0.330	1.08	0.201	0.660	0.336	1.10	0.205	0.673
2	0.261	0.857	0.159	0.523	0.267	0.875	0.163	0.533
1	0.207	0.680	0.126	0.415	0.211	0.694	0.129	0.423
1/0	0.164	0.539	0.100	0.329	0.168	0.550	0.102	0.335
2/0	0.130	0.428	0.0795	0.261	0.133	0.436	0.0811	0.266
3/0	0.103	0.339	0.0631	0.207	0.105	0.346	0.0643	0.211
4/0	0.0820	0.269	0.0500	0.164	0.0836	0.274	0.0510	0.167
250	0.0694	0.228	0.0423	0.139	0.0708	0.232	0.0432	0.142
300	0.0578	0.190	0.0353	0.116	0.0590	0.194	0.0360	0.118
350	0.0496	0.163	0.0302	0.0992	0.0506	0.166	0.0308	0.101
400	0.0434	0.142	0.0265	0.0868	0.0442	0.145	0.0270	0.0885
450	0.0385	0.126	0.0235	0.0771	0.0393	0.129	0.0240	0.0786

(Continued)



ANEXO 3. Continuación. TABLA DE RESISTENCIA.

September 1973

IEEE S-61-402, NEMA WC 5

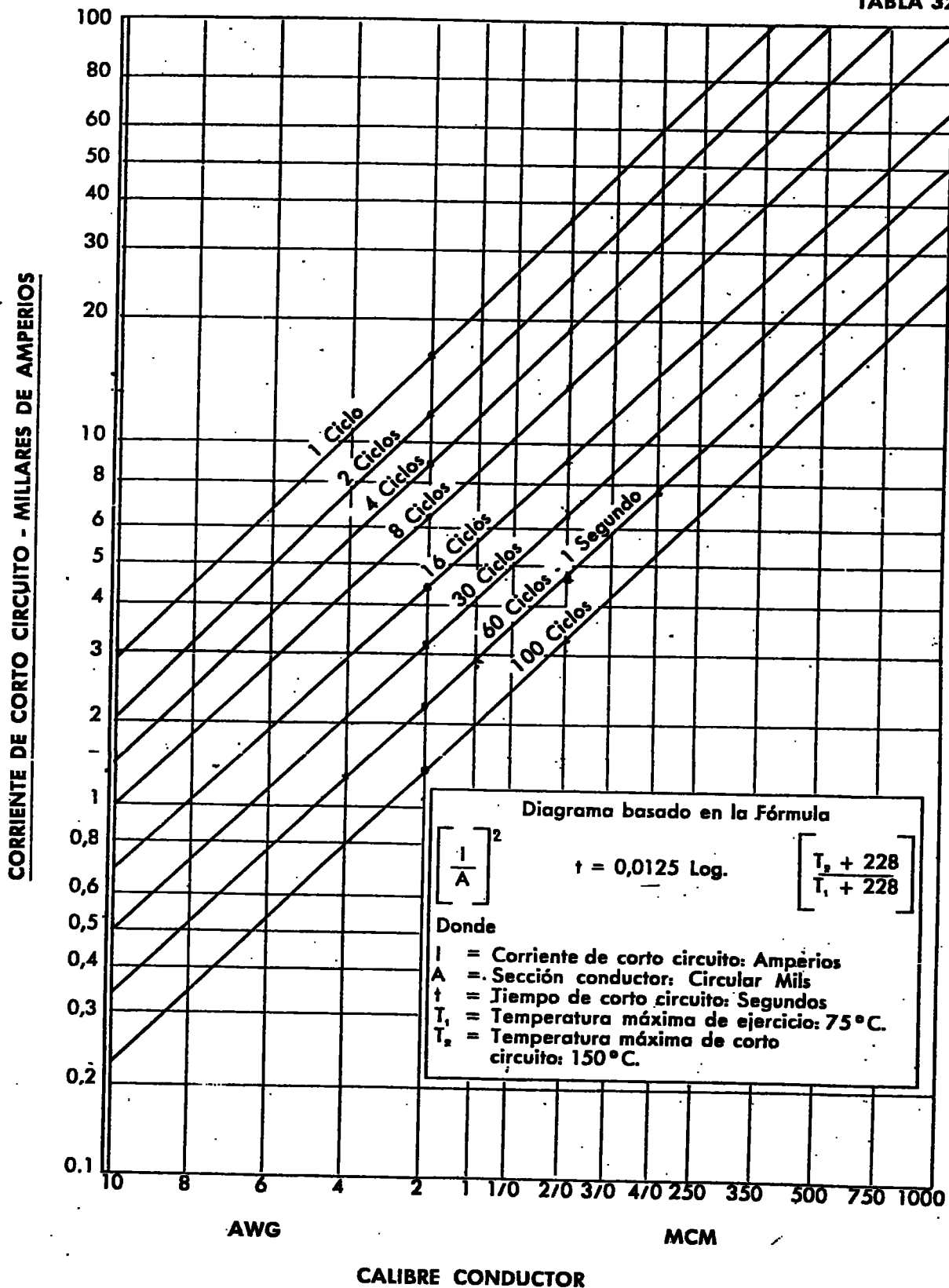
Part 2 Page 19

Table 2-12 (Continued)  
Nominal Direct-current Resistance of Aluminum and Annealed Uncoated Copper Conductors,  
Concentric and Compact Stranded

Con- ductor Size, AWG or MCM	20°C				25°C			
	Aluminum		Copper		Aluminum		Copper	
	ohms per 1000 Feet	ohms per km	ohms per 1000 Feet	ohms per km	ohms per 1000 Feet	ohms per km	ohms per 1000 Feet	ohms per km
500	0.03468	0.1138	0.02116	0.06941	0.03538	0.1161	0.02157	0.07078
550	0.03153	0.1034	0.01923	0.06310	0.03217	0.1055	0.01961	0.06434
600	0.02890	0.09483	0.01763	0.05784	0.02949	0.09674	0.01798	0.05898
650	0.02668	0.08753	0.01627	0.05340	0.02722	0.08930	0.01659	0.05444
700	0.02477	0.08128	0.01511	0.04958	0.02527	0.08292	0.01541	0.05056
750	0.02312	0.07586	0.01410	0.04628	0.02359	0.07739	0.01438	0.04718
800	0.02168	0.07112	0.01322	0.04338	0.02211	0.07255	0.01348	0.04424
900	0.01927	0.06322	0.01175	0.03856	0.01966	0.06449	0.01198	0.03932
1000	0.01734	0.05690	0.01058	0.03471	0.01769	0.05804	0.01079	0.03539
1100	0.01577	0.05172	0.009617	0.03155	0.01608	0.05277	0.009806	0.03217
1200	0.01445	0.04741	0.008816	0.02892	0.01474	0.04837	0.008989	0.02949
1250	0.01387	0.04552	0.008463	0.02777	0.01415	0.04643	0.008629	0.02831
1300	0.01334	0.04377	0.008137	0.02670	0.01361	0.04465	0.008297	0.02722
1400	0.01239	0.04064	0.007556	0.02479	0.01264	0.04146	0.007705	0.02528
1500	0.01156	0.03793	0.007052	0.02314	0.01179	0.03870	0.007191	0.02359
1600	0.01084	0.03556	0.006612	0.02169	0.01106	0.03628	0.006742	0.02212
1700	0.01020	0.03347	0.006223	0.02042	0.01041	0.03414	0.006345	0.02082
1750	0.009910	0.03251	0.006045	0.01983	0.01011	0.03317	0.006164	0.02022
1800	0.009634	0.03161	0.005877	0.01928	0.009829	0.03225	0.005992	0.01966
1900	0.009127	0.02995	0.005568	0.01827	0.009311	0.03055	0.005677	0.01863
2000	0.008671	0.02845	0.005289	0.01735	0.008846	0.02902	0.005393	0.01769
2500	0.007005	0.02298	0.004273	0.01402	0.007146	0.02344	0.004357	0.01429
3000	0.005837	0.01915	0.003561	0.01168	0.005955	0.01954	0.003631	0.01191
3500	0.005052	0.01657	0.003082	0.01011	0.005154	0.01691	0.003142	0.01031
4000	0.004421	0.01450	0.002697	0.008847	0.004510	0.01480	0.002749	0.009021
4500	0.003967	0.01302	0.002420	0.007939	0.004047	0.01328	0.002467	0.008095
5000	0.003570	0.01171	0.002178	0.007146	0.003642	0.01195	0.002221	0.007286

# CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLE PARA CONDUCTORES DE ALUMINIO CON AISLAMIENTO TERMOPLASTICO

TABLA 32



ANEXO 5. Continuación. CONDUCTOR Vs. CTE. CORTO-CIRCUITO,  
 CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLE PARA  
 CONDUCTORES DE COBRE CON AISLAMIENTO TERMOPLASTICO

TABLA 31

