

Guido Soria Vasco

"PROYECTO DE LINEA DE TRANSMISION DE LA PLANTA
HIDROELECTRICA "LA PENINSULA" A LA CIUDAD DE
AMBATO.-ESTUDIO PRELIMINAR DE LA SUBESTACION
DE DISTRIBUCION"

Tesis previa a la obtención del Título
de
Ingeniero Electricista

Escuela Politécnica Nacional
Quito-Ecuador
1.958

Dirigido por:

Jacome

ING. VICENTE JACOME

A MIS PADRES

con todo cariño

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

Definida la situación de la casa de máquinas, según proyectistas, Ingenieros Ernesto Martínez y Gonzalo Sevilla y aprobada por el Departamento de OO. PP. NM., partimos con la línea de transmisión hacia la subestación de distribución.

E S T U D I O D E L A D E M A N D A

Antes de hablar de la subestación de distribución, es indispensable hacer un estudio detenido de la demanda actual de la ciudad.

Debemos indicar, que los datos del estudio que a continuación se detallan, son extraídos del archivo de la Empresa Eléctrica Municipal o en su defecto del "Plan Nacional de Electrificación" (hecho en las oficinas de la Junta de Planificación y Coordinación Económica) y otros estudios. De inmediato trataremos los diferentes métodos que hemos seguido para la determinación de la demanda.

Lo. Ambato es ciudad industrial y centro comercial, la demanda específica por persona en el año es alta, comparada con las otras ciudades interandinas. Si el servicio eléctrico fuera normal y suficiente, según cálculos realizados por los Ingenieros de la "Rader and Associates" Ingenieros consultores, llega a 460 KWH. anuales por persona.

Si Ambato tiene hoy por lo menos 42.000 habitantes el consumo anual llega a $460 \times 4200 = 19\ 320.000$ KWH anuales, además se ha determinado ya el factor de carga para Ambato en condiciones normales de funcionamiento y es, $F_c = 0,55$ muy cercano al de Quito, que varía de 0,56 a 0,53 y está casi al término medio de los dos valores de factor de carga dados en el "Manual Standard del Ingeniero Electricista" por A.E. Knowlton y los copiados del Ingeniero Vicente Jácome, que dice: para ciudades residenciales varía de 030 a 045 y para industriales está entre 045 a 070. Utilizamos este factor de carga y la fórmula siguiente:

$$F_c = \frac{\text{KWH}}{\text{KWXT}}$$

significando:

F_c = Factor de carga

KWH = Kilowatios hora consumidos en el año

T = Tiempo, en horas al año

KW = Kilowatios máximos de la planta

$$KW = \frac{19\,326\,000}{0,55 \times 3760} = 4020 \text{ KW.}$$

2o. Si en el año 1957 la Planta Miraflores generó 3 423.863 KWH y si se observa el deficiente servicio eléctrico de la ciudad, con la consiguiente restricción para nuevas conexiones de energía, se puede afirmar que el consumo anual puede doblarse y aún más si la energía es barata, se añadirá el consumo de todas las industrias que tienen hoy plantas propias como son:

Industrial Algodonera.....	450 KW (Hidroeléctrico)
Fábrica Venus.....	150 KW (Diesel-eléctrico)
Fábrica Texgal.....	400 KW (No funciona, carece de energía)
Fábrica "El Peral".....	100 KW (Turbina con accionamiento directo a las máquinas)
Molinos Tilulún.....	80 KW (Turbina que mueve el molino)
Aserraderos e industrias pequeñas.....	80 KW (Diesel y Gasolina)

Potencia Total = 1260 KW.

Si éstos utilizan únicamente el 60% de su potencia en las 8 horas de trabajo, al año consumirán:

$$1260 \times 0,6 \times 8 \times 365 = 2\,216\,000 \text{ KWH}$$

utilizando la misma fórmula anterior con el factor de carga igual a 0,55:

$$KW = \frac{19\,016\,000}{0,55 \times 3760} = 3960 \text{ KW}$$

3o. Estudiando el informe que presentó la Knappen-Tippetts Abbet-Mc. Carthy (Ingenieros consultores). Ambato para 1953, con libre venta de energía, necesita 4750 KW.

4o. Revisando detenidamente el informe de 1956 de la "Junta de Planificación y Coordinación Económica", encontramos que ha deducido de estadísticas y estudios hechos, que para 1958 las cabeceras provinciales, cada Hbte. tendrá 100 W, o sea si Ambato hoy sobrepasa de los 42.000 Hbts., como mínimo dispondrá de 4200 KW.

Si Latacunga la única ciudad eficientemente electrificada tiene hoy 150 W por Hbte., pero en 1956 la potencia media utilizada era 50 W por habitante, se debe a que es poco o casi nada industrializada y comercial o sea lo contrario de Ambato. Es de notar que en el mismo Plan Nacional de Electrificación insisten, que la necesidad inmediata de Ambato es 100W por Hbte.

5o. Del estudio del proyecto "Río Verde", en la sección mercado de energía, impone como necesidad inmediata 100 W por Hbte., o sea Ambato necesita 4200 KW.

Del estudio anterior podemos inferir que la demanda actual de Ambato será 4200 KW.

SUBESTACION DE DISTRIBUCION

Estudio de la capacidad.- Dada la extensión de la ciudad y la distribución de la carga, se ha pensado en la necesidad de dos subestaciones de distribución, a donde se llevará la energía producida por las diferentes estaciones generadoras.

La capacidad de barras colectoras de cada una de éstas, teóricamente debería ser el doble de la capacidad ordinaria, para que en caso fallara la una, funcione la otra tomando toda la carga, pero en la práctica no se hace esto, se utiliza únicamente la capacidad de sobrecarga del equipo por corto tiempo.

Si Ambato necesita 4200 KW y si el crecimiento anual de carga es el 10 %, para 1965 necesitará:

$$(KW (1965) = 4200 (1+0,1)^7$$

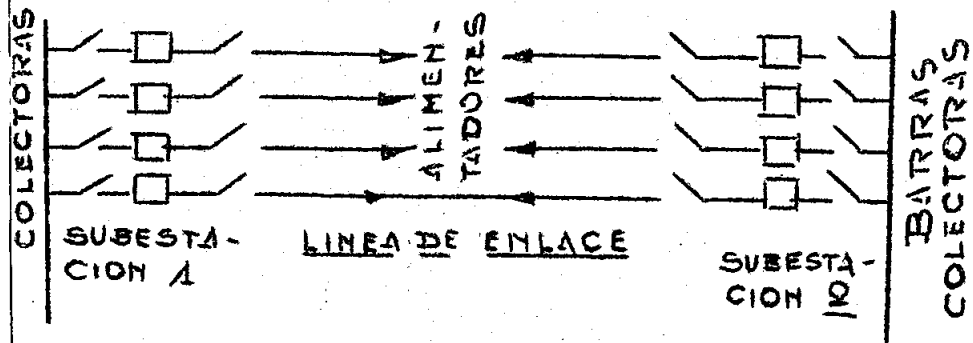
$$KW (1965) = 8180 KW, \text{ con aproximación igual } 8200$$

KW

que se tendrá en la siguiente forma:

Planta Hidroeléctrica de la Península.....	4500 KW
Planta Hidroeléctrica de Miraflores.....	1500 KW
Planta Diesel Eléctrica.....	<u>3000 KW</u>
POTENCIA TOTAL =	9000 KW

Toda esta energía se llevará a dos grandes subestaciones, una de las cuales nos ocupa: y si las subestaciones se proyectan para que en 1965 funcionen eficientemente, cada una de ellas debería tomar 4.100 KW y si ponemos $\frac{9.000}{2} = 4.500$ KW andamos sobreseguros para ese año. Las barras colectoras y los alimentadores de salida serán de 4.500 KW de capacidad, que resistan por corto tiempo el 50 % de sobrecarga o sea llegarían a tener 6750 KW acercándonos así a los 7.200 KW que es la carga máxima de la ciudad y que en caso de falla de la una subestación debería servir la otra. La potencia que no alcanzamos a cubrir sería retirada de la red en las zonas menos importantes. También se puede solucionar este problema, colocando una línea de unión entre las barras colectoras de las dos subestaciones, como puede verse en el esquema simplificado siguiente: instalando antes los correspondientes dispositivos de seguridad.



Hoy nos ocupa la subestación # 1, la hemos previsto para 4.500 de potencia en funcionamiento normal, por las razones antes anotadas y porque toda la energía que se genere en la península irá primeramente a la subestación # 1 y además una segunda etapa irá la energía de la estación generadora Diesel Eléctrica.

Estudio y Elección del Lugar.- Varios son los aspectos que nos han guiado a la elección del sitio de la subestación # 1 como puede verse en el plano # 14 de la ciudad.

1o. Debe estar ya, en el sitio apropiado para la fácil y económica interconexión con la Gran Línea de Transmisión Troncal Interandina que en un futuro atravesará el Ecuador.

2o. Debe estar en lo posible en la zona que el plan regulador señale como industrial por ser zona de carga pesada.

3o. Debe estar junto a la planta Diesel. La estación generadora Diesel debe estar en un lugar, que reúna las siguientes características:

a) Fácil y económico abastecimiento de combustible por línea férrea y vía carrosable con un mínimo de costos en la construcción de las vías.

b) Agua adecuada y suficiente para la refrigeración.

c) Sitio algo alejado de los centros poblados, evitando el ruido que molesta a los vecinos.

Todas estas características reúne el sitio de la subestación # 1, a 200 metros del cruce de la avenida Olímpica y línea sur en dirección a Ambato, y a continuación se discute:

1o. La Gran Línea de Transmisión Interandina con toda seguridad pasará por el lado oriental de la ciudad debido a la topografía y vías de comunicación de la zona y a corta distancia o junto a la subestación # 1.

2o. Está en la zona que luego tendrá mayor carga por ser zona que el plan regulador señala como industrial.

3o. Está junto al Diesel y además sin construir tramo adicional de línea férrea ni carretero tiene los dos servicios exclusivos en el sitio escogido.

Tiene agua para refrigeración de dos fuentes: de la red de agua potable y de la acequia "Lalama"

Es también alejado de los centros densamente poblados y residenciales.

CAPACIDAD ECONOMICA DE LA CIUDAD

Después del terremoto de 1949 que destruyó gran parte de la ciudad, se pudo ver con claridad el potencial energético del pueblo ambateño y como en pocos años ha reafirmado su economía. Si en Agosto de 1949 todo parecía ruina, en 1953 las huellas del terremoto han desaparecido por completo; por doquier se ven hoy edificios antisísmicos modernos, levantados con el esfuerzo de agricultores, industriales y comerciantes pequeños, que forma la economía de Ambato. El comercio se ha reafirmado y aumentado atrayendo capitales. El deseo de trabajo y mejora de comodidades se ha hecho tan notorio, que ya es un clamor popular la demanda de energía eléctrica; el comprador está listo a pagar por la mercancía (energía eléctrica), que hoy no existe disponible.

A continuación hacemos un estudio de la venta de energía y consumo en la ciudad.

Los datos que a continuación se ponen son extraídos del archivo de la Empresa Eléctrica Municipal. Hay que aclarar que en los primeros años no existe la conveniente agrupación de consumos y a los residenciales pertenecen los residenciales propiamente dichos, los comerciales y servicio de focos fijos.

CUADRO DE kWh CONSUMIDOS EN AMBATO

NOTA: Este cuadro se encuentra en la página siguiente.

Se observa que los más afectados por la carencia de la energía eléctrica han sido los consumidores industriales, pues a todos se les ha puesto medidores de doble tarifa con reloj para impedirles el uso de la energía en las horas que la oficina de luz y fuerza ha creído conveniente y aún más se les ha negado la ampliación de sus instalaciones por carecer de energía disponible o por deficiencia de la red. Una gran cantidad de pequeñas y grandes industrias mueven sus máquinas con motores a Diesel o a gasolina: ésta es la razón para

CUADRO DE KWH CONSUMIDOS EN AMBATO

<u>Denominación</u>	<u>1.953</u>	<u>1954</u>	<u>1956</u>	<u>1.955</u>	<u>1.957</u>
Consumo Industrial.	KWH 1132167	1084378	1213235	1460614	1696779
	\$/ 314079	332555	351120	376577	442067
Consumo Resdncial.	KWH 1863035	2332719	3806886	2978632	4010714
	\$/ 575755	706067	1015317	748758	1129827
Consumo Cobrado	KWH 2995202	3407097	5020121	4439246	5223949
	\$/ 889835	1028152	1366437	1126337	1571894
Consumo no Cbdo.	KWH 2041788	3106079	3061945	2995540	3606919
	\$/ -	-	-	-	-
Consumo Total	KWH 5036920	6513176	8082066	7434786	8830868
KWH Generados por Miraflores	5036920	6513176	7709451	7298286	8428643
KWH Proporcionados por I. Algodonera	-	-	372615	136500	402225

que de 1953 a 1957 el incremento de consumo en industrias llegue únicamente a 562.612 KWH, aproximadamente el 50 % del consumo inicial. Si a todos y en especial a éstos se les diera energía en condiciones económicas favorables y con garantías de funcionamiento, el consumo por industrias se triplicaría.

Si observamos ahora el incremento de consumo residencial, es grande pues de 1953 a 1957 (período de renacimiento económico después del terremoto) se llega a 2 141.679 KWH o sea el 100 % del inicial, con el correspondiente incremento de entradas económicas por concepto de venta de energía. El gran porcentaje (40 %) de energía consumida sin remuneración económica, se debe a que la Empresa Eléctrica es municipal y como tal proporciona energía gratuitamente a todas las entidades públicas y hasta a casas privadas y esto ha dado origen a una gran ola de contrabando de energía, que no se puede controlar, por carecer de personal responsable y adecuado (el que existe hoy es personal político acomodaticio) además el desastroso estado de la red hace que se pierda en distribución (según cálculos hechos) un 25 % de la potencia total.

Ambato con una mejor red, servicio bueno y permanente y un buen sistema de recaudación puede triplicar sus entradas anuales. Si hoy se recauda alrededor de \$ 1500.000 anuales, sin dificultad se puede llegar recaudar sobre los \$ 4 000.000 en el año, si se dispusiera de energía suficiente.

Además si se tiene en cuenta que hoy Ambato atraviesa una crisis en el servicio eléctrico, parecida a la que tuvo Latacunga, y si ésta sin ser ciudad industrial y comercial como Ambato, en tres años tuvo un incremento del 200 % (Plan Nacional de Electrificación página 30). Sin presumir se puede afirmar que Ambato en dos años tendrá un incremento mayor del 200 % y que el consumo industrial llegará a ser (como afirma el Plan Nacional de Electrificación página 31) el 90 % del consumo residencial total.

A continuación damos el número de abonados que Ambato posee en sus respectivos grupos y su recaudación mensual (Abril 1958). Procuraremos detallar los abonados industriales.

ABONADOS INDUSTRIALES

<u>Denominación</u>	<u>Número de abonados</u>	<u>KWH consumidos</u>	<u>Ducres recaudados</u>	<u>Precio KWH</u>
Tejidos	9	5.848	1.919,71	0,323
Caucho	6	2.974	2.052,56	0,689
Vulcanizadores	4	223	75,60	0,339
Imprentas	7	5.652	1.249,60	0,221
Alimentos	13	11.993	2.490,80	0,208
Molinos	12	30.244	7.192,02	0,238
Curtiembres	14	14.978	3.956,47	0,364
Frigoríficas	18	19.874	4.406,77	0,222
Mecánicas	37	8.801	3.021,13	0,339
Carpinterías	42	15.364	3.993,87	0,266
Sapaterías	32	3.630	1.054,20	0,291
Varios	29	7.047	1.773,18	0,252
Total Industrias	232	126.627	33.155,91	0,263
Residenciales	3.576	177.311	59.349,90	0,334
Comerciales	713	82.435	25.007,05	0,305
Focos fijos	1.856	22.250	3.200,50	0,368
Recaudación mensual.....	408.623		127.713,36	0,312

Si observamos el cuadro anterior las industrias a pesar de su escaso número relativo (no constan las tres mayores, y numerosas pequeñas por tener generadores propios) y estricta restricción en el uso de energía son las mejores consumidoras y a pesar también, de que un gran número de fábricas pequeñas que constan en la lista, tienen sus plantas propias y no usan energía de la planta Miraflores.

Si se dispusiera de energía suficiente, el consumo industrial llega a triplicarse, pues hay que aclarar, que una gran mayoría de fábricas usan estufas de carbón, para secar

sus artículos, con la correspondiente molestia en el trabajo; oportunamente usarán hornos eléctricos.

Si analizamos los abonados con focos fijos, vemos que son, los que menor remuneración económica producen, siendo éstos los contrabandistas por excelencia y al ser tan numerosos son otras tantas fuentes de fuga de energía no cobrada. Es indispensable seguir una política de supresión de servicios de focos fijos y gratuitos, por las razones antes anotadas.

Para el cálculo de los KWH consumidos por los abonados de focos fijos hemos procedido en la siguiente forma:

Si los 1.856 abonados se descomponen en 1.651 abonados con un foco de 60 W y 205 abonados con dos focos de 60 W. y si suponemos que permanecen encendidos durante 6 horas al día, el consumo por mes será:

$$1.651 \times 60 \times 6 \times 30 = 17.820 \text{ KWH}$$

$$205 \times 120 \times 6 \times 30 = 4.430 \text{ KWH}$$

$$\text{Total} = 22.250 \text{ KWH}$$

Si el control de venta de energía y la recaudación son adecuados, si la red de distribución fuera buena y si se dispusiera de 4.200 KW en vez de 1.200 KW, que hoy existen, las entradas mensuales se aumentarían en la relación siguiente:

$$\frac{4.200 \times 8.760 \times 0,55}{1.200 \times 8.760 \times 0,305} = 2,4$$

$$\text{Serían pues: } \$ 125.000 \times 2,4 = \$ 300.000$$

Al año en estas condiciones se recaudaría

$$\$ 300.000 \times 12 = 3.600.000$$

Esto siempre que el costo del KWH cobrado fuera como es hoy; pero si hacemos un análisis económico del costo del KWH a generarse en esta nueva obra, talvés las entradas varíen. Existen entradas extras de \$ 2.500.000 anuales por concepto de impuestos para electrificación cuyo destino desconocemos y el jefe del Departamento Financiero se negó a dar el informe que se le pidió.

TENSION DE DISTRIBUCION

Tensión existente.- En 1915 se instaló el primer generador de 150 KVA con 2.300 V de generación, accionada por una turbina Pelton. La planta eléctrica Miraflores está prácticamente en la ciudad y no existe línea de transmisión sino que con el voltaje de generación, se adentra en la ciudad con la red de distribución, que era aérea y radial y servía a lo que en ese entonces era la ciudad, (desde la calle Francisco Flor a la Eloy Alfaro y desde la Rocafuerte a la avenida Cevallos) con carga constituida únicamente por alumbrado de calles y casas. En una segunda etapa en 1933 se instalan en el mismo lugar dos generadores de 330 KVA cada uno movidos por turbinas tipo Francis. Comienza la industrialización de Ambato, se mejora su economía, las necesidades y la población crecen, la red se extiende y la carga se vuelve cada vez más densa pero aún funciona eficientemente. En 1948 se siente la necesidad de energía y no se aumenta sino en 1953 año en que la carga y la red se han aumentado desproporcionadamente. Es de notar que todas las extensiones y expansiones de la red han sido hechas teniendo en cuenta cargas existentes sin ninguna previsión futura, sujetos unicamente al criterio económico y en muchas ocasiones por incomprensión de los jefes del Departamento Financiero y Tesorería, se han comprado materiales, que no han satisfecho ni las necesidades para las cuales fueron previstas. Hace algunos años la deficiencia del funcionamiento de la red de alta tensión fué tan notoria, que se trató de mejorar; a) aumentando el calibre del conductor en ciertos tramos, como el comprendido entre la planta Miraflores y la bifurcación (A), pues de alambre # 4 de cobre que era, se cambió con el que resulta del entorchamiento de tres conductores de cobre, # 4 como hoy existe y puede verse. b) Mallando la red de alta, tendiendo tramos que unen los alimentadores abiertos (todo ésto venciendo dificultades en el Departamento Financiero y Tesorería).

Se previeron dispositivos para abrir los anillos y en

y en muchas ocasiones debido al racionamiento de energía, funciona como red radial. La escases de energía disponible, ha hecho servir a la ciudad por partes y todos los transformadores en servicio funcionan a plena carga.

NOTA: Este último procedimiento no es adecuado porque una falla de la red produce interrupciones de servicio para grandes zonas.

Si suponemos que la planta generadora es de capacidad suficiente, la red de alta tendría una carga conectada equivalente a la de sus transformadores y en esas condiciones debería funcionar con el mínimo de caídas de tensión y pérdidas de potencia admisibles.

Veamos ahora como funciona el alimentador que parte del punto (B) (en el plano de la ciudad) sigue la Guayaquil hasta la 12 de Noviembre, por ésta hasta Ingaburco. Si suponemos está abierta en los puntos C, D, E, F, G, y el recorrido es de cobre # 4, la distancia entre conductores es de 60 cm. Las distancias entre tomas de carga hemos sacado a escala en el plano.

Se trata de calcular la caída de tensión al extremo del alimentador, en tanto por ciento; los datos a usarse son:

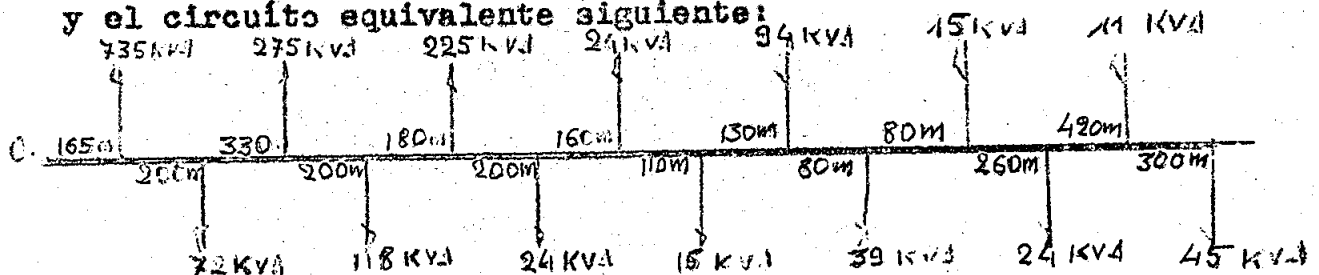
$E =$ Voltaje de distribución = 2.300 V

$S =$ Sección del conductor = 21,1 cm²

Factor de potencia = 0,8

Distancia entre conductores = 0,6 m.

y el circuito equivalente siguiente:



que lo transformamos en el cuadro siguiente, reducidos sus valores a KW, para facilitar el cálculo de caída de tensión ohmica sin tener en cuenta la autoinducción, cuya fórmula es:

KW	1453	866	728	507	413	233	214	194	181	107	76	64	45	36
Tramo m.	165	200	330	200	180	200	160	110	130	80	80	260	420	300

$$e \% = \frac{\sum_{l=1}^n P.L}{0,57.S.E^2} = \text{caída de tensión en \%}$$

$\sum_{l=1}^n$ = Signo de sumatorio.

P = Potencia a transportarse por tramo, en KW.

L = Longitud de cada tramo, en m.

S = Sección del conductor, en mm².

E = Tensión de distribución.

$$e \% = \frac{1}{0,57 \times 21,1 \times 2,3^2} (1.452 \times 0,165 + 866 \times 0,2 + 728 \times 0,33 + 507 \times 0,2 + 413 \times 0,18 + 233 \times 0,2 + 214 \times 0,16 + 194 \times 0,11 + 182 \times 0,13 + 107 \times 0,8 + 76 \times 0,08 + 64 \times 0,26 + 45 \times 0,42 + 36 \times 0,3)$$

$$e \% = \frac{1.000,98}{63} = 15,89 \%$$

Esta es la caída de tensión óhmica; para determinar la caída de tensión con autoinducción, hay que multiplicar por un factor que encontramos en una tabla (pag. 28- Electrotecnia del Ing. Alfonso Mendisaval): Para factor de carga = 0,8; S = 21,1; distancia entre conductores 60 cm.

$$K = 1,36$$

$$e \% = 15,89 \times 1,36 = 21,6 \%$$

La caída de tensión es demasiado grande. Se podrá disminuir aumentando la sección del conductor o el voltaje de distribución.

TENSION ESCOGIDA ENTRE VARIAS POSIBILIDADES

Del estudio anterior vemos que los 2.300 V de distribución para el área y carga actual de la ciudad son inadecuados. Es necesario hacer de inmediato un análisis de las posibilidades de mejoramiento de la red de alta con sus diferentes voltajes standard americanos y europeos, que se

pueden introducir en nuestras condiciones.

lo. Aspecto Eléctrico.- Si los transformadores actuales todos son de 2300 V con 4 derivaciones de 2,5 % para ajuste del voltaje, no cometemos mayor error, al poner que son de 2.400 V en conexión triángulo en alta y estrella en bajo.

Si en los transformadores trifásicos de conexión triángulo en alta, cambiamos a conexión estrella en alta con el neutro a tierra el voltaje de distribución sube a 4.160 V que es un voltaje estándar para los americanos.

Las pérdidas y las caídas de tensión están en relación inversa a la tensión al cuadrado y refiriéndonos al alimentador que estudiamos en el párrafo anterior cuya caída de tensión es de 21,6 % (para 2.300 V) para los 4.160 V será:

$$e \% = \frac{21,6}{3} = 7,2 \%$$

Y si se dispone de dos subestaciones como es el proyecto, la ciudad se dividirá en dos grandes zonas, cuyos alimentadores tendrán menor longitud y carga, disminuyendo por tanto las caídas de tensión y pérdidas de energía a límites aceptables: Aún más en previsión de aumento de cargas futuras se puede aumentar la sección de los conductores en ciertos tramos principales y así la red funciona en condiciones ventajosas.

Aspecto Económico.- Si se analiza ligeramente el aspecto económico de este nuevo voltaje, resulta, que se utiliza todo el equipo existente de transformadores y los monofásicos podemos convertirlos en bancos trifásicos con el neutro a tierra. El equipo de red propiamente dicho, que consta de conductores, aisladores, fusibles, etc., queda en funcionamiento, pues la distancia entre conductores es todavía adecuada y no necesita ningún reacondicionamiento.

Con cierta previsión futura la red de alta tensión a 4.160 V, resulta la más económica en su costo inicial, pues se usará todo el equipo existente sin mayor reforma en las líneas; el costo de material nuevo se reduciría a conductores adecuados para mejorar en sección a ciertos tramos de los circuitos. El costo de mano de obra en los trabajos de reacondicionamiento de la red que será radial y abierta, representa un mínimo comparado con el capital que se perdería al deshechar el equipo de transformadores si se introduce otro voltaje.

No podemos hacer un estudio más detallado por carecer de datos.

2o. Aspecto Eléctrico.— Se ha pensado en utilizar los 6.000 V de distribución, estándar en algunas ciudades europeas, previendo necesidades futuras, con transformadores en conexión triángulo en alta, para en una segunda etapa pasar a conexión estrella con un voltaje = $6.000 \times \sqrt{3} = 10.380$ V sin costo adicional grande.

Si volvemos a analizar el mismo circuito anterior,, cuyas caídas de tensión suben a 21,6 % para 2.300 V, para los 6000 V de distribución será inversamente proporcional a la relación siguiente:

$$\left(\frac{6.000}{2.300} \right)^2 = 8,19$$

La caída de tensión total será:

$$\frac{21,6}{8,19} = 2,64 \%$$

Aún más como la longitud de los alimentadores disminuyen por la existendia de dos subestaciones, las caídas de tensión normales bajan también y lo mismo sucede con las pérdidas de potencia.

Aspecto Económico.+ Si pensamos que el actual equipo de 2.300 V, ya ha cumplido su vida media de funcionamiento (43 años) y si disponiendo de capital necesario (empréstimo del Eximbanc), se

quiere hacer una nueva red. El período de funcionamiento será largo y los 6.000 V con una red adecuada servirá por largo tiempo, previendo ya expansiones futuras; El costo inicial sería como el de toda nueva red; quedaría endeso todo el equipo de transformadores de 2.300 V y parte del resto del equipo.

La red nueva de 6.000 V bien mantenida y cuidada y financiada, produciría entradas suficientes como para pagar su costo inicial. El problema está en la administración económica del Municipio y falta de personal competente y adecuado en los Departamentos Financiero y Tesorería, que siempre han invertido las entradas de la Empresa Eléctrica en cosas, que nada tienen que ver con ella, llevándola al calamitoso estado que hoy se encuentra.

3o. Se pensó en voltajes más elevados como 10.000 V (estandar en ciudades europeas) y 13.000 V (estandar en ciudades americanas) pero la extensión y carga de la ciudad, no requieren estos voltajes. Si analizamos el circuito anterior de 21,6 % de caída de tensión, para estos voltajes serán: 1

$$a) \text{ Para } 10.000 \text{ V; } \left(\frac{10.000}{2.300}\right)^2 = 18,9$$

$$e \% = \frac{21,6}{18,9} = 1,14 \%$$

Esta caída sería menor por las causas antes anotadas.

$$b) \text{ Para } 13.200 \text{ V; } \left(\frac{13.200}{2.300}\right)^2 = 32,94$$

$$e \% = \frac{21,6}{32,94} = 0,66 \%$$

La caída de tensión es por demás pequeña.

Consideraciones finales.- De las tres posibilidades anteriores, si se dispone de capital inicial, la de 6.000 V es la más ventajosa por los aspectos expuestos ya; si no dispone del

capital necesario y se va por la solución más barata se decidirá por los 4.160 V.

El I Concejo en compañía de la Junta de Reconstrucción de Tungurahua han decidido ya por los 4.160 V.

INTRODUCCION A LA LINEA DE TRANSMISION

Se ha hecho antes un estudio de la potencia que hoy necesita Ambato, para determinar la capacidad de la subestación; y además para escoger el voltaje de distribución hemos analizado el actual voltaje y el estado de la red de distribución con las diferentes posibilidades para la nueva red; hemos estudiado también que potencia disponible será necesaria para Ambato en el año 1965, hemos visto la solución, instalando en la Península 4.500 KW y luego el equipo Diesel eléctrico hasta completar los 9.000 KW.

Del estudio anterior salen los datos para la línea de transmisión que son: Potencia a transportarse 4.500 KW Distancia (en exceso) según el plano topográfico es 2.250 m, el voltaje de la red de alta tensión de distribución será 4160 V y de aquí partimos al cálculo de la línea de transmisión propiamente dicho.

Para la elaboración del plano topográfico se ha considerado: que por ser línea corta la línea recta será la más adecuada para unir la casa de máquinas con la subestación, poniendo al paso los accidentes que pueden influir en el curso de la línea.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA SELECCION DEL VOLTAJE

Existen varios procedimientos y fórmulas para calcular el voltaje más económico, pero la mayor parte se refieren a transmisión de grandes potencias a grandes distancias utilizando voltajes muy altos, estas fórmulas son sacadas del estudio de costos de gran número de líneas de

transmisión que reúnen las características antes citadas y por tanto son aplicables sólo a esas condiciones.

La línea que hoy nos ocupa tiene una potencia pequeña de 4.500 KW a una distancia ínfima de 2.250 m., por tanto las fórmulas de las líneas americanas y europeas, no dan resultados satisfactorios para el cálculo del voltaje económico.

El proceso más viable y que nos lleva a una solución definitiva, es realizar el cálculo por tanteos, tomando algunas tensiones normalizadas de acuerdo a las condiciones de la línea. En nuestro caso los voltajes que usaremos son: 6.900 V, 13.200 V, y 22.000 V.

Consideraciones Generales para la selección del conductor.- La economía decidirá también la selección del calibre del conductor, utilizaremos para nuestro cálculo conductores de cobre cableados estirado en frío de 97,3 % de conductividad.

También existen métodos y fórmulas para esta selección, pero como en el caso anterior y relacionando con el voltaje a seleccionar haremos un cálculo por tanteos, para ver simultáneamente el conductor y el voltaje más económicos.

Los valores que entrarán para nuestro cálculo económico son los siguientes: a) costo de conductores, b) costo de aisladores, c) costo de transformadores que son variables para cada caso, d) costo de pararrayos, e) costo de interruptores de cuchilla, f) costo de interruptores automáticos, g) costo de fusibles. Luego para el costo de operación anual entrarán: a) interés del capital invertido, b) de depreciación y obsolescencia en %, c) pérdidas de energía anuales. Los demás valores no tomamos en cuenta por considerarles constantes.

Proceso del cálculo.- Para cada voltaje propuesto anteriormente, imponiéndonos en % las pérdidas de energía máximas en transmisión, calculamos la sección del conductor y tomamos algunos calibres de los más cercanos; para cada uno de ellos determi-

naremos el costo de operación anual y luego en cada caso uno será el ventajoso; de las cuatro posibilidades propuestas, el quemenor costo de operación presente, será el escogido.

A continuación damos el proceso de cálculo para uno de los voltajes y como elaboramos el cuadro que luego se ve:

Cálculo de la sección del conductor.- Partimos de las pérdidas

de energía en % usando la fórmula común siguiente:

$$p = \frac{W.L.100}{56.S.E^2.Cos\theta^2}$$

Significando:

p = Pérdidas de energía en % = 4 %

W = Watios a transportarse = 4 500.000 W

L = Distancia de línea = 2.250 m.

S = Sección del cobre en mm.²

Cos.0 = Factor de potencia = 0,8

E = Tensión de línea = 6.900 V

$$S = \frac{4\ 500.000 \times 2.250 \times 100}{56 \times 6.900^2 \times 0,8^2 \times 4} = 148,5\ \text{mm}^2.$$

Los conductores que más se acercan a esta sección son: 350.000 C.M., 300.000 C.M., 250.000 C.M., # 4/0, # 3/0, AWG.

Si el transporte de la energía se hace con doble circuito, los conductores a usarse son:

$$\frac{148,5}{2} = 74,25\ \text{mm}^2.$$

Y corresponden a los calibres # 4/0, 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2.

Si se trata de 22.000V

$$S = \frac{4\ 500.000 \times 2.250 \times 100}{56 \times 4 \times 22.000^2 \times 0,8^2} = 14,6\ \text{mm}^2$$

Los conductores a usarse en el cálculo serán: # 1, 2, 3, 4, 5, 6. Las características de los conductores que a continuación ponemos son extraídos del "Manual Standard del Ing. Electricista" por A.E.Knowlton y todos se refieren a la galga AWG. y CM.

TABLA DE CONDUCTORES DE COBRE DURO DE 97,3 % DE CONDUCTIVIDAD

Número AWG.CM.	Número de hlos.	Dmtro. mm.	Sección mm ²	Rstcia. ohs/Km.	Peso Kg/Km.	Carga de rotura Kg.
350,000	1 19	17,25	177,30	0,1050	1.609	7.072
300.000	19	15,98	152,00	0,1221	1.379	6.128
250.000	19	14,58	126,70	0,1460	1,149	5.153
4/0	19	13.41	107,20	0,1721	973	4.362
3/0	12	12,5	85,00	0,2175	771	3.427
2/0	7	10,51	67,40	0,2734	612	2.688
1/0	7	9,35	53,50	0,3449	485	2.155
1/	7	8,33	42,40	0,4344	385	1.725
2	7	7,41	33,6	0,5481	305	1.381
3	3	7,24	26,70	0,6911	240	1.070
4	3	6,45	21,10	0,8626	190	852
5	3	5,75	16,70	1,0876	150,30	682
6	3	5,10	13,30	1,3735	119,30	546

Continuando con nuestro cálculo y valiéndonos del cuadro anterior determinamos: lo. las pérdidas de potencia en transmisión para los diferentes voltajes en la fórmula siguiente:

$$W_p = I^2 \cdot R \cdot 3$$

Significando: W_p = Watios perdidos en la línea.

I = Corriente en amperios.

R = Resistencia total del conductor en óhmios.

Para ésto calculamos primero los amperios a transportarse en cada caso, con la conocida fórmula,

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot E \cdot \text{Cos. } \theta}$$

Significando:

W = Watios a transportarse.

E = Tensión de Transmisión.

$\text{Cos. } \theta$ = Factor de potencia de la línea.

Para 6.900 V con un sólo circuito será:

$$I = \frac{4\,500.000}{1,73 \times 6.900 \times 0,8} = 470 \text{ A.}$$

Determinamos ahora la resistencia total de cada conductor a usarse, en nuestras condiciones según se indica en el cuadro # 1 para el calibre de 350.000 CM

$$R_t = L.R_c.$$

Significando:

L = Longitud en Km.

R_c = Resistencia en ohmios por Km.

$$R_t = 2,25 \times 0,1050 = 0,2365 \text{ ohmios/Km}$$

Las pérdidas de potencia en la línea serán:

$$W_p = 3 \times 470^2 \times 0,2365 = 156,6 \text{ KW}$$

Este cálculo se repite para todos los conductores propuestos.

2o. Cálculo de KWH perdidos en el año. - Es también bastante sencillo y utilizamos la fórmula siguiente:

$$KWH = KW_p.H.F.$$

Significando:

KW = Kilowatios perdidos en transmisión

H = Horas en el año (8.760)

F = Factor de multiplicación

Para determinar el factor de multiplicación, partimos del factor de carga anual, utilizando la siguiente fórmula:

$$F = 0,7.F_c^2 + 0,3.F_c.$$

Significando:

F_c = Factor de carga anual (0,55)

$$F = 0,7 \times 0,55^2 + 0,3 \times 0,55 = 0,3766$$

$$KWH = 156,6 \times 8.760 \times 0,3766 = 51.660 \text{ KWH.}$$

3o. Peso total de conductores. - Utilizamos el cuadro # 1 y aplicamos

la fórmula siguiente:

$$P = \text{Kg/Km.} \times L \times 3$$

Para 350.000 CM.

$$P = 1.609 \times 2,25 \times 3 = 10.860 \text{ Kg.}$$

CALCULO ECONOMICO. - Los valores y costos que a continuación ponemos son los de la "Line Material" y tomando estos valores como base determinamos el voltaje y el conductor más económicos.

1o. Costo de conductores de cobre. - La tonelada métrica de estos conductores vale \$ 1.000, si el ~~dozar~~ ^{doz} cuesta 15,15 sucres,

la tonelada puesta en el Ecuador costará \$ 15.150

2o. Costo de Transformadores.- A los valores dados CIF Guayaquil, añadimos el transporte a Ambato y el bodegaje, 0,5 % y damos el valor en sucres teniendo en cuenta que el dólar vale \$ 15,15.

a) Transformador monofásico de 6.900/2.400/4.160-\$ 7.900(1+0,005) = \$ 7939,50
1.875 KVA. (S/ 126.300)

b) Transformador monofásico de 6.900/13.200 } \$ 8.200(1+0,005) = \$ 8241
13.200/2.400/4160- } (S/124.900)
1.875 KVA.

c) Transformador monofásico de 6.900/22.000 } \$ 8.500(1+0,005) = \$ 8542 (\$)
22.000/2.400/4160- } (S/129.500)
1.875 KVA.

3o. Costo de Aisladores tipo PIN.- Con liberación de derechos FOB

- a) Para 22 KV = \$ 5,7(1+0,12) = \$ 6,25 = S/ 96,65
- b) Para 13,2 KV = \$ 4(1+0,12) = \$ 4,48 = S/ 67,87
- c) Para 6,9 KV = \$ 1,2(1+0,12) = \$ 1,34 = S/ 20,30

Si suponemos que el vano medio es de 60 m. calculamos el número de aisladores.

$$\left(\frac{2.250}{60} + 1\right) \times 3 = 117 \text{ aisladores}$$

4o. Costo de pararrayos.- Tenemos los costos de fábrica, si añadimos el 30 % por todos los demás gastos, tendremos el costo de los pararrayos puestos en Ambato, con liberación de derechos consulares.

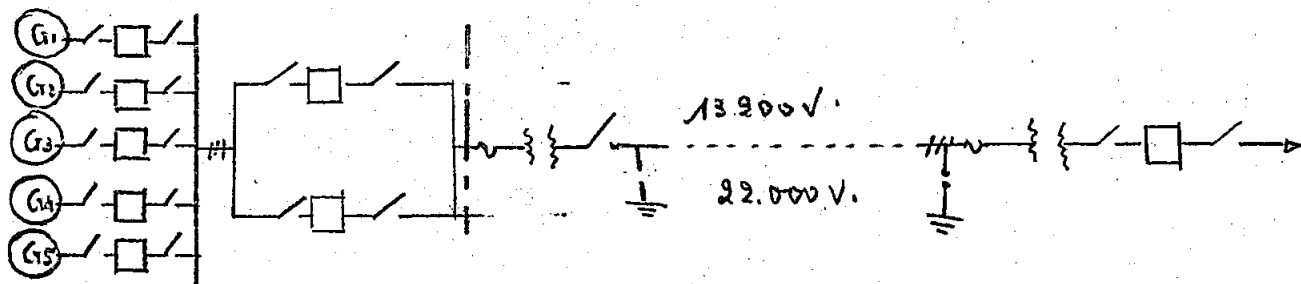
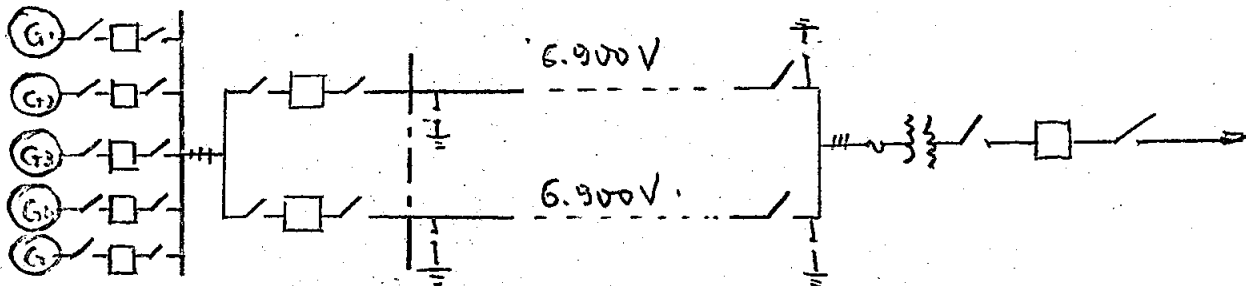
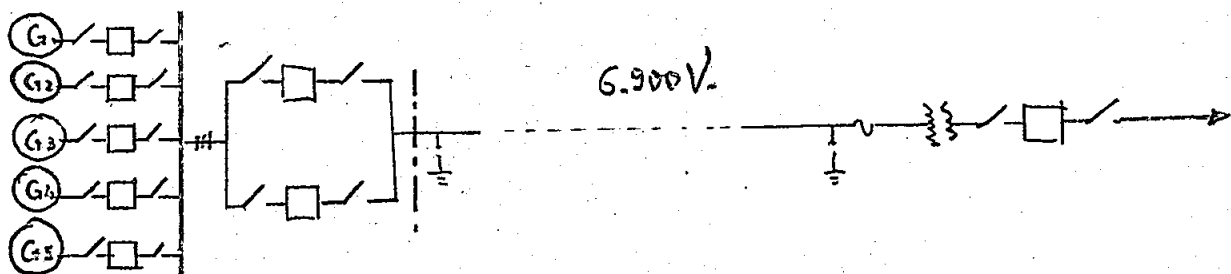
- a) Para 22 KV = \$ 107,5(1+0,30) = \$ 140 = S/ 2.120
- b) Para 13,2 KV = \$ 64,5(1+0,30) = \$ 83,80 = S/ 1.270
- c) Para 6,9 KV = \$ 43,5(1+0,30) = \$ 55,6 = S/ 855

50. Costo de interruptores de cuchilla.- Para todos los voltajes usamos el mismo tipo de interruptores cuyo costo es:

$$\text{\$ } 50(1+0.12) = \text{\$ } 56 = \text{\$ } 848$$

Para determinar el costo inicial de la línea, tomamos únicamente los valores variables y para saber cuales son elaboramos antes los esquemas simplificados de la línea de transmisión en las diferentes posibilidades a tratarse:

- 1o. Transmisión a 6.900V (un circuito)
- 2o. Transmisión a 6.900 V (dos circuitos)
- 3o. Transmisión a 13.200 V.
- 4o. Transmisión a 22.000 V.



De la observación de los diagramas anteriores se desprende que entran como valores variables:

6o. Costo de interruptores automáticos.- Valores FOB

- a) Para 6.900 V \$ 900(1+0,12) = \$ 1.008 = \$ 15.270
- b) Para 13.200 V \$ 2.300(1+0,12) = \$ 2.576 = \$ 39.000
- c) Para 22.000 V \$ 3.800(1+0,12) = \$ 4.260 = \$ 64.500.

7o. Fusibles desconectores.- Valor FOB

- a) Para 6.900 V = \$ 25(1+0,12) = \$ 28 = \$ 424
- b) Para 13.200 V = \$ 30(1+0,12) = \$ 33,6 = \$ 508
- c) Para 22.000 V = \$ 36(1+0,12) = \$ 40,6 = \$ 615

Con los valores antes anotados podemos determinar el costo inicial en la primera posibilidad cuyos factores variables según el esquema simplificado son:

1o. Costo de Conductores.- Sea para el caso que estudiamos conductor de

$$350.000 \text{ CM} = 10,86 \times 15.150 = \$ 164.529$$

2o. Costo de Aisladores.-

$$\text{Sucres} = 117 \times 20,30 = \$ 2.375$$

3o. Costo de Transformadores.- En este caso por transmitirse al voltaje de

generación, necesitamos unicamente tres transformadores de reducción.

$$\text{Sucres} = 3 \times 120.300 = 360.900$$

4o. Costo de pararrayos.- Será pues:

$$\text{Sucres} = 6 \times 855 = \$ 5.130$$

5o. Costo de interruptor automático.-

$$\text{Sucres} = 15.270$$

6o. Costo de interruptores de cuchilla.-

$$\text{Sucres} = 6 \times 848 = \$ 5.088$$

7o. Costo de fusibles desconectores.-

$$\text{Sucres} = 3 \times 424 = \$ 1272$$

8o. El costo inicial total para nuestro cálculo será:

Conductores	= \$	164.529
Aisladores	= \$	2.375
Transformadores	= \$	360.900
Pararayos	= \$	5.130
Y. Automático	= \$	15.270
I. de Cuchilla	= \$	5.088
Fusible D.	= \$	1.272
Costo Total Inicial	= \$	<u>554.564.</u>

Intereses.- Esta obra con toda seguridad se hará con una financiación y los capitales que se inviertan ganarán intereses. Por ser obra de largo tiempo de funcionamiento, el empréstito se hará también para largo plazo y en estos casos el interés anual es el 8 %.

Depreciación.- Las líneas de transmisión normales tienen una duración de 30 a 40 años. La línea que nos ocupa puede llegar a estos valores, pero por seguridad disminuimos a 25 años de duración; en estas condiciones la depreciación anual directa al 4 %.

Costo de Mantenimiento.- Aquí entran los valores pagados por concepto de sueldos a todos los empleados de administración como: Gerente, Secretario, Contador, etc., pero relacionado únicamente con la línea de transmisión, entran también los jornales y sueldos de todo el personal técnico de mantenimiento; y el costo de materiales nuevos que entran en lugar de los viejos deteriorados, con su respectivo transporte y mano de obra. El cálculo hemos hecho en la siguiente forma:

a) Recorrido mensual de dos trabajadores por toda la línea cuyos jornales son: ~~Suaves~~ \$ 25 y \$ 20 respectivamente que al año dan = \$ 45 x 12 = \$ 540 (el recorrido es mensual).

b) Costo de materiales- No tenemos datos exactos de material cambiante, pero por seguridad tomamos valores altos, al suponer que un 3 % de aisladores fallan al año y será $0,03 \times 117 = 4$

$$\text{Sucres} = 20,30 \times 4 = \$ 81,20$$

Suponemos también que el resto de material cambiante cuesta \$ 200 y si por seguridad tomamos \$ 400 anuales por este concepto, creemos no pecamos en exceso.

c) Costo de mano de obra- Para el cambio del material deteriorado y cualquier otro trabajo en las estructuras, suponemos que necesitamos tres obreros por un sólo día al trimestre, si los jornales son: \$ 25, \$ 20, \$ 15, en el año serán = \$ 60 x 4 = \$ 240.

Si, por costo de herramientas y otros conceptos, ponemos \$ 300 al año, también creemos estamos bien.

Si por concepto de movilización del personal y vehículos en este trabajo, ponemos \$ 100 por día; resulta aproximadamente \$ 640.

d) Si suponemos que al año hay dos daños graves en la línea cuya reparación es urgente, con los respectivos sobretiempos del personal y si tenemos en cuenta gastos de transporte y materiales, llega a \$ 1000 por daño al año será \$ 2000.

e) Si suponemos que el personal de administración económico se ocupa un día por trimestre en asuntos de línea de transmisión y si al día se gastará en jornales \$ 400; al año serán \$ 1.600.

De aquí deducimos el costo total del mantenimiento al año, que resulta de sumar todos los valores anteriores dando un total de \$ 5.180.

Si tenemos en cuenta que todos estos valores hemos tomado con aproximación podemos redondear a \$ 5.500 que reducido a % del costo inicial da con aproximación el 1 %.

Con el costo inicial total puesto en la casilla correspondiente y resumiendo en otra casilla el interés, la depreciación y el costo de mantenimiento vienen a dar un total de 13 % .

Pérdidas de Energía.- Para determinar el costo en pérdidas de energía anuales, necesitamos antes conocer, el costo del KWH, que calcularemos a continuación:

Si el proyecto total de la Península, inclusive la línea de transmisión cuesta \$ 13 000.000. Sabemos que un capital invertido debe producir utilidades o sea ganar intereses y aún más dentro del tiempo previsto, debe pagarse este capital; la única fuente de entradas económicas es la venta de energía, de aquí nace la importancia de hacer un estudio minucioso y exacto del costo del KWH.

Si para los 25 años de funcionamiento el capital debe estar amortizado con interés simple del 8 % y con depreciación directa tenemos el 12 % anual, que en sucres será \$ 1 560.000. El pago de empleados y movilización del personal de la planta y mantenimiento de obras hidráulicas ascenderá a \$ 150.600, según cálculos hechos en la Empresa Eléctrica; el gasto por mantenimiento de línea será \$ 5.500; gastos totales en el año serán \$1715.000.

Si la recaudación se hace en forma adecuada, con buena red, la energía que no se cobra llegará al 25 %, (no como hoy llega al 40 %). Si Ambato consume 19 000.000 de KWH, el 75 % será: 14 250.000 KWH. Así pues el costo del KWH será:

$$\text{\$ 1 KWH} = \frac{1\,715.000}{14\,250.000} = \text{\$ } 0,1205 = 0,121$$

El costo de pérdidas de energía anuales en cada caso será: 51.700 KWH x \$ 0,121 = \$ 6.256

Sumando las dos últimas columnas tenemos el costo de operación total, (cuadro # 2).

Selección del voltaje y conductor.- Del estudio económico anterior y analizando el cuadro # 2, vemos, que el menor costo de operación anual se consigue, utilizando los 6.900 V de generación, con un sólo circuito de conductor de cobre de 200.000 CM. Por ser línea tan corta vemos que influye grandemente el costo de transformadores de elevada, que se introduciría al transmitir a un voltaje diferente al de generación. Hemos analizado también la posibilidad de transmitir con los 6.900 V en dos circuitos y vemos que el costo de operación es ligeramente mayor al anterior con un conductor de cobre # 1/0 AWG.

Se ha decidido por esta segunda posibilidad (siguiendo la recomendación de los personeros de la Junta de Planificación) porque en caso de fallar el un circuito, el otro queda en servicio y aún más el montaje de línea es sencillo. Para comprobar que la caída de tensión producida por el conductor, permanezca dentro de límites tolerables, tenemos antes que determinar la distancia entre conductores para luego ir a la caída de tensión en tanto por ciento que calcularemos en un párrafo próximo a-parte.

Distancia entre conductores.- La distancia entre conductores debe ser tal, que las líneas en el centro del vano y con viento fuerte, no se acerquen peligrosamente y permitan que salte el arco.

Existen varios métodos y formas para calcular esta distancia y muchos de ellos no son aplicables a nuestras condiciones, por tratarse en especial de líneas de elevados voltajes a grandes distancias.

Para el cálculo utilizaremos una fórmula sencilla con un factor de seguridad algo amplio.

$$d = 15,24 + 3,8 \text{ KV.}$$

Significando: d = Distancia entre conductores en centímetros.

KV = Kilovoltios de línea.

$$d = 15,24 + 3,8 \times 6,9 = 41,47 \text{ cm.}$$

Si por seguridad ponemos d = 60 cm. = 2 pies no pecamos por exceso y calculemos con esta distancia entre con-

Pérdidas de potencia en la línea.- La resistencia óhmica que ofrecen los conductores al paso de la corriente, producen pérdidas de potencia, que se manifiestan en calentamiento.

Lo importante en una línea es, que, no llegue a valores altos, que afecten a la economía del sistema.

El cálculo que a continuación hacemos, es muy sencillo y está comprobado con otras fórmulas, llegando al mismo resultado.

$$P \% = \frac{W.L.100}{57.S.E^2.Cos^2 \theta}$$

Cuyo significado es el mismo que el expuesto ya al tratar de determinar la sección de los conductores adecuados.

$$p \% = \frac{2.250.000 \times 2.250 \times 100}{57 \times 53,5 \times 6.900^2 \times 0,8^2} = 5,64 \%$$

Llegamos a un valor mayor al prescrito ordinariamente como máximo (4 %), pero en algunos libros se afirma que se puede llegar al 6 % de pérdidas de potencia. Si en nuestro caso el costo de pérdidas de energía, no influye grandemente en el costo de operación anual de la línea, podemos aceptar esta pérdida, como enmarcada en límites tolerables y además teniendo en cuenta que los 4.500 KW se transmitirán únicamente por pocas horas y sólo desde la última etapa del proyecto.

Aislamiento de la línea.- Este es un factor muy importante para el buen funcionamiento de cualquier línea desde el punto de vista eléctrico. En buena práctica se requiere, que la tensión del arco en seco de los aisladores completos sea de 3 a 5 veces mayor que la tensión nominal de funcionamiento y que la longitud de la línea de fugas sea aproximadamente el doble de la menor distancia entre puntos con tensión en el aire.

La función de los aisladores es, no sólo separar al conductor con tensión del soporte o poste, sino que mecánicamente, debe soportar esfuerzos en condiciones muy des-

ductores la caída de tensión.

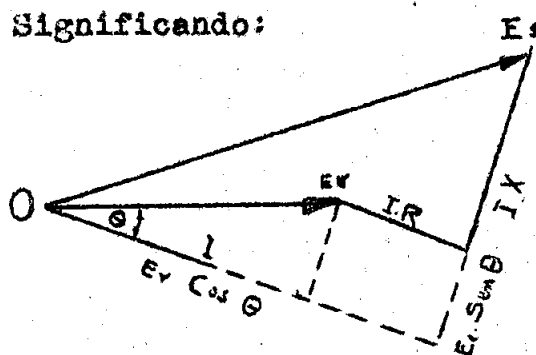
Caída de Tensión de la Línea.- Según normas internacionales aceptadas en nuestro país, la caída de tensión en líneas de transmisión, no debé sobrepasar al 6 % de la tensión nominal.

El cálculo haremos teniendo en cuenta la caída de tensión óhmica e inductiva, despreciando el efecto de capacidad de los conductores, por tratarse de una línea corta.

La fórmula que utilizaremos, es la universal para caídas de tensión; que es:

$$E_s = \sqrt{(E_r \cdot \cos \theta + I \cdot R)^2 + (E_r \cdot \text{Sen} \theta + I \cdot X)^2}$$

Significando:



- E_s = Tensión de salida
 - E_r = Tensión de recepción
 - I = Corriente de línea
 - R = Resistencia óhmica/conductor
 - X = Reactancia inductiva
 - θ = Angulo de desfase entre la tensión y la corriente.
- Si, $E_r = 6.900 \text{ V}$; $\cos \theta = 0,8$;
 $\text{Sen} \theta = 0,6$; $I = 235 \text{ A}$; $R = 0,3449 \text{ Ohmios/Km.}$; $R_t = 0,7760 \text{ Ohms.}$

Para dos pies, $X = 0,3914 \text{ Ohmios/Km.}$; $X_t = 0,8806 \text{ Ohmios.}$

$$E_s = \sqrt{(6900 \times 0,8 + 235 \times 0,776)^2 + (6900 \times 0,6 + 235 \times 0,8806)^2}$$

$$E_s = 7.170$$

$$\text{Caída de tensión} = E_s - E_r$$

$$\text{Caída de tensión} = 7.170 - 6.900 = 270 \text{ V}$$

$$e \% = \frac{270 \times 100}{6.900} = 3,92 \times 100$$

La caída de tensión está muy por debajo del máximo admitido.

NOTA: La distancia equivalente entre conductores hemos calculado así = $\sqrt{0,6 \times 0,6 \times 0,6} = 0,6 = 2 \text{ pies}$

favorables, impidiendo que el conductor se desprenda de él. La producción del arco de contorneo debe ser evitado en todos los casos, a excepción del rayo, cualquiera sean las condiciones de humedad, temperatura, lluvia, cantidad de polvo y sales que habitualmente se acumulan, hasta ser limpiados con el agua. La línea que hoy nos ocupa, el punto más alto está a 2.600 m. sobre el nivel del mar, donde la densidad del aire es menor por tanto la tensión del arco también y tomaremos mayores precauciones. Hablemos ahora de los aisladores a usarse: Por tratarse de una línea liviana y de un voltaje bajo usaremos los de soporte, tipo PIN, en la mayoría de los postes, existiendo unos pocos de tensión o amarre, como se indicará oportunamente.

Forma de los Aisladores.- Al hablar de la forma, la técnica de los fabricantes de aisladores es tal, que de acuerdo a una ley fundamental de electrostática, la superficie de las porcelanas y vidrios del aislador, casi llegan a ser paralelas o normales a las líneas de fuerza eléctrica con la máxima tensión del arco por contorneo del aislador.

Si los aisladores no llegan a tener estas formas, existirán porciones de aire sometidas a tensiones excesivas, originándose el efecto corona.

Esta forma ideal coordinan (los fabricantes) con la forma de fijación en el apoyo, consiguiendo también suficiente longitud de la línea de fugas, características óptimas de funcionamiento bajo lluvia y sólidas uniones mecánicas.

Al referirnos a aisladores de soporte o rígidos para tensiones de más de 20 KV, el riesgo de un golpe o choque mecánico o de arcos de gran potencia, fracturas profundas con la posible perforación del aislador, se disminuye, formándolo con 2 o más piezas unidas entre sí con un cemento especial sin dilataciones y contracciones por temperatura. En esta forma la falla o rotura de una pieza no se transmite

a la otra gracias al cemento intermedio (como puede verse en el plano # 1), evitándose así el contacto a tierra de la línea.

Estos aisladores se suministran bien sea con una rosca formada en porcelana o con un casquillo de zinc o acero galvanizado cementado dentro del agujero para el soporte. El casquillo metálico es el que nos interesa por tener que usar soportes metálicos. Para aisladores de amarrar por tratarse de 6,9 KV bastaría colocar un sólo disco, que se colocan generalmente al final de una línea, en cambios de direcciones, o cuando el poste está en una concavidad o en la cima de una colina o en el paso de carreteros o líneas férreas.

Estos aisladores deben soportar el pleno esfuerzo de tracción y han de ser calculados con un amplio factor de seguridad y para el viento más fuerte. El esfuerzo máximo a resistir el aislador en sus herrajes será el del conductor.

Materia Aislante. - La materia aislante propiamente dicha no debe absorber agua, debe ser insensible a influencias químicas y a la temperatura y debe poderse trabajar con facilidad. Existen algunas sustancias que han reunido estas características y son: El vidrio, la porcelana, y las pastas patentadas. El vidrio Pirex es el apto para la fabricación de aisladores de alta tensión por tener especial resistencia a la temperatura.

La porcelana para aisladores eléctricos se obtiene, por vitrificación a altas temperaturas de una mezcla de arcilla y feldespato molido y sílice: Debe ser de una composición química apropiada, libre de grietas, huecos y esfuerzos internos originados por el enfriamiento. Los métodos de fabricación en estos últimos años se han perfeccionado tanto, que se han llegado a obtener características casi ideales.

La buena porcelana tiene un coeficiente de dilatación lineal de $0,03 \times 10^{-4}$ por grado centígrado; resisten-

cia a la tracción de 490 a 630 Kg/cm²; resistencia a la compresión de 2800 a 4200 Kg/cm².; rigidez dieléctrica de 60 a 100 KV por cm.

La superficie de estos aisladores debe ser tersa y liza y debe estar cubierta por una fina película de esmalte coloreado generalmente de marrón oscuro. Es muy importante que este esmalte tenga el mismo coeficiente de dilatación que la porcelana, para impedir su agrietamiento.

Las pastas patentadas o compound de origen orgánico no resisten a la acción prolongada de altas tensiones, especialmente si están a la intemperie, por lo cual su uso se ha limitado para bajas tensiones.

De las consideraciones anteriores se deduce, que el escogitamiento de los aisladores para líneas de alta tensión es una labor prolija y delicada, de la cual dependerá en gran parte su buen funcionamiento. Con las consideraciones que se hizo ya al referirnos a su altura sobre el nivel del mar, la tensión del arco en seco de los aisladores es de 4 a 5 veces mayor que la tensión nominal de funcionamiento.

Al usar el catálogo de los materiales eléctricos de la "Line Material" satisface todas las condiciones prescritas el JD-13, cuyas características ponemos a continuación y cuya forma y dimensiones están en el plano # 3.

Aislador rígido de soporte- # de catálogo- JD-13

Resistencia a la tracción = 2.500 lbs. = 1.136 Kg.

Diámetro de rosca = 1 pulgada = 25,4 mm.

Altura mínima del PIN = 4 pulgadas = 101,5 mm.

Descarga de contorneo en seco = 65 KV

Descarga de contorneo bajo lluvia = 35 KV

Peso neto por 100 unidades = 236 lbs. = 107 Kg.

Ahora al hablar de los aisladores de tensión o amarre, estamos en la obligación de escoger, los que satisfagan las condiciones que ya nos impusimos. Si de acuerdo al catálogo de la "Line Material" ponemos un disco-JD-2680 cuyas carac-

terísticas son:

Resistencia a la tracción = 10.000 lbs. = 4.540 Kg.

Descarga de contorneo en seco = 60 KV

Descarga de contorneo con lluvia = 35 KV

Peso neto por 100 unidades = 533 lbs. = 242 Kg.

En la figura # 2 damos los detalles de construcción de los aisladores estandar de retención y sus partes principales con el cemento intermedio de unión entre las piezas de porcelana.

En el plano # 3 damos las dimensiones y formas del aislador JD-13 que usaremos en la línea.

En el plano # 4 damos las dimensiones y formas del aislador JD-2680 que usaremos.

En capítulo aparte trataremos y daremos los detalles de todos los aditamentos y herrajes a utilizarse.

Protección de la Línea.— Las descargas atmosféricas sobre las líneas de alta tensión son las causantes de las interrupciones en el servicio y daños en la línea y equipos; es pues necesario tomar medidas defensivas para garantizar un buen funcionamiento de la línea, dependiendo de la densidad de descargas anuales en la zona, (carecemos de registros sobre descargas eléctricas), de la importancia y calidad del servicio; del costo de protección como valor de un seguro contra desperfectos de los equipos; balanceados estos factores se eligirá el sistema de protección.

Los métodos actualmente usados para proteger los sistemas de transmisión contra las interrupciones debidas a las descargas eléctricas son: primero conductores aéreos de tierra; segundo pararrayos y tubos de expulsión .

Conductores aéreos de Tierra.— Consiste en la colocación de un cable sobre los conductores, cuyo objeto principal es proteger de las sobretensiones producidas por el impacto de un rayo.

La protección obtenida con los conductores aéreos de tierra, ha sido objeto de controversias, pero hoy día

se está de acuerdo en que para que la protección del cable a tierra sea efectivo es necesario:

- a) Que estos cables apantallen a todos los conductores de la línea.
- b) Que el aislamiento con la línea sea relativamente elevado.
- c) Que la distancia entre los cables de tierra y los de la línea sea adecuada y no salte el arco.

Esto se consigue cuando el ángulo de apantallamiento varía de 20° a 30° ; cuando la conducción a tierra se hace con un cable de baja resistencia eléctrica, sujetando directamente a las torres o postes si son metálicos y cuando la separación de los cables de línea es amplia especialmente en el centro del vano, impidiendo que salte el arco entre el conductor de fuerza y el cable de tierra.

El cable que generalmente se usa es de acero galvanizado, con éste se consigue mayor resistencia mecánica de la línea. Según experiencias de la Empresa Eléctrica, el año que más rayos han caído en la red de Ambato, ha sido en 1953 y llega a 4; como la línea atravesará una zona parecida a la de la ciudad, creemos no necesaria esta protección y nos inclinaremos por los segundos.

Pararrayos - Tubos de expulsión. - En síntesis tienen dos conexiones; la una al conductor y la otra a tierra. La resistencia a tierra y la impedancia de onda tienen que ser lo más pequeñas posible. Los pararrayos actúan como válvulas de seguridad, destinadas a descargar las sobretensiones causadas por descargas atmosféricas, maniobras, u otras perturbaciones, que en caso contrario se descargarían por los aisladores o perforando el aislante, ocasionando interrupciones en la línea y a veces desperfectos en las máquinas.

Están proyectados de modo que absorban suficiente energía transitoria y corten la corriente en su primer paso por 0. La resistencia de los pararrayos es con aproximación inversamente p-proporcional a la tensión que soporte.

El aparato consta de uno o más juegos de distancias explosivas, que determinan la tensión de descarga y ayudan a la extinción del arco evitando el paso de corriente en servicio normal. Los pararrayos se conectan lo más cerca posible de los aparatos a protegerse y en ocasiones directamente sobre los tanques de los transformadores y siempre al lado de la línea.

La tensión nominal de los pararrayos se expresa generalmente con la tensión entre conductores. La tensión nominal de un pararrayo de un sistema con el neutro directamente a tierra es una y la tensión nominal de un sistema con el neutro aislado es otra.

La tensión de descarga disruptiva de un pararrayos para un sistema con el neutro a tierra es aproximadamente el 80 % de la tensión disruptiva de un pararrayos para un sistema de neutro aislado. Se llama neutro aislado cuando está conectado a tierra por medio de una bobina Petersen o a través de una resistencia o reactancia elevadas. La tensión máxima nominal de los pararrayos debe ser superior a las tensiones máximas, que pueden existir en la línea. Existen una infinidad de tipos de pararrayos y cada fábrica trata de superar en su funcionamiento y construcción ofreciendo patentes diferentes.

Pararrayos tipo "Thyrite" (General Eléctric) emplean discos de una composición de cerámica especial, homogénea, no porosa e inorgánica, que se convierten de aislantes en excelentes conductores, cuando la tensión se eleva a un valor determinado. En serie con los discos "Thyrite" se hallan un conjunto de varias distancias disruptivas formando unidad, cada una de las cuales está shuntada por una resistencia "Thyrite" en derivación, que asegura una distribución de la tensión regulada y uniforme. Los discos y las distancias disruptivas están encerradas dentro de un cuerpo de porcelana con tapa y fondo metálicos, estos pararrayos se pueden conseguirse de 2,3 KV hasta 287 KV

y pueden resistir una corriente de descarga atmosférica de 10.000 A.

Los pararrayos de partículas de óxido se componen de cierto número de celdas, que contienen peróxido de plomo en serie con una distancia disruptiva entre línea y tierra (este tipo está en desuso).

Los pararrayos de tipo de bolitas o píldoras "Pellet" es modificación del anterior. El peróxido de plomo está en forma de bolitas barnizadas y colocadas en un tubo convenientemente aislado, según tensión a usarse, completando el conjunto una distancia explosiva en serie y los conductores terminales. La descarga después de salvar la distancia explosiva, perfora la capa aislante de las bolitas y seguidamente dicha capa se regenera cortando el paso de la corriente dinámica. Estos pararrayos se construyen para tensiones de 1 a 73 KV y sería apropiado para nuestra línea.

Los pararrayos autoválvulas (Westinghouse) se componen de bloques cilíndricos porosos y elementos explosores; el conjunto es comprimido por medio de resortes; las unidades así formadas están encerradas en una capa de porcelana, provista de fondo y tapa metálicas con las conexiones adecuadas.

Luego de todo lo dicho anteriormente, escogeremos entre los catálogos pararrayos tipo de bolitas "Pellet" para 6.900 ó 7.000 V con un voltaje de descarga menor que el voltaje de contorno de los aisladores pero bajo lluvia y que actúen en unos 40 microsegundos.

Además los pararrayos escogidos deben ser para una altura de 6.000 a 12.000 pies sobre el nivel del mar y de tipo estación.

Nos hemos decidido por la utilización de pararrayos porque: primero es una zona en la que las descargas eléctricas son escasas; segundo porque la línea es corta y necesita únicamente dos equipos de pararrayos; el uno en la

casa de máquinas y el otro en la subestación; y la distancia entre los equipos de pararrayos es de 2.250 m. menor que la prescrita para líneas ordinarias, que es cada 3 a 5 Km.

Si utilizamos pararrayos de "Line Material" el apropiado es el B-305139-47, tensión = 9.000 V, altura sobre el nivel del mar de 6.000 a 12.000 pies (1.800 a 3.600 m.)

C A L C U L O M E C A N I C O

Generalidades.- Las líneas aéreas están sometidas a la acción del viento y de las variaciones de temperatura, que se producen durante el día en las diversas estaciones del año.

Por lo que respecta a los conductores, las acciones indicadas influyen en su resistencia mecánica y por ello es necesario que la sección adoptada resista, dentro de los límites de seguridad prescritos, los esfuerzos a que se hallan sometidos.

En cuanto a los apoyos, es preciso que resistan los esfuerzos que sobre ellos ejercen los conductores, además de la presión del viento en la superficie del apoyo expuesta a dicha acción. En nuestro país, no existen normas para el cálculo de esta clase de construcciones e instalaciones, adoptaremos algunos de países extranjeros aplicables al nuestro.

Cálculo Mecánico de los Conductores.- El proyecto de un vano consiste, en determinar la flecha que debe dejarse, al tender los conductores, de modo que los vientos fuertes, los cambios de temperatura, aún cuando se mantengan durante varios días, no sometan a los conductores a esfuerzos superiores a la carga de rotura dividida para un factor de seguridad (en nuestro caso es 2). Las fuerzas que actúan en un conductor son: el peso propio en sentido vertical y en sentido horizontal la carga de vida al viento. La suma vectorial de estos dos esfuerzos nos da la resultante que actúa formando un ángulo con la vertical y es la posición que toma el conductor al ser accionado por los dos esfuerzos.

La presión del viento para superficies cilíndricas es proporcional a la velocidad al cuadrado y se calcula con la fórmula siguiente:

$$p = 0,00471 \times v^2 = \text{Kg/cm}^2$$

Significando: v = Velocidad del viento en Km/hora

En esta zona tenemos un anemómetro en la quinta normal de agricultura; revisados los registros se llega a un valor máximo de 25 Km/hora. No contentos con estos datos hemos procurado obtener en la zona misma de la línea de transmisión, averiguando a la gente que por allí vive, si durante su vida han visto vientos huracanados, que hayan llevado tejas, roto ramas o derrivado árboles; tres personas de aproximadamente 55 años de edad aseguran no haber sentido esta clase de vientos, nosotros por prudencia y por considerar, que los registros no son lo suficientemente antiguos, tomaremos valores altos de velocidad de viento, en comparación con los registrados hasta hoy y calcularemos la línea para 90 Km/hora que es el valor tomado para los cálculos de las líneas en la provincia del Pichincha, donde se tiene registros de velocidad de vientos de algunos años y cuyo valor máximo se acerca a los 50 Km/hora.

$$p = 0,00471 \times 90^2 = 38,15 \text{ Kg/m}^2.$$

La carga unitaria por viento sobre un conductor de cobre # 1/0 AWG estirado en frío será:

$$W = 0,00935 \times 38,15 = 0,356 \text{ Kg/m.}$$

Compuesta vectorialmente y en la forma antes indicada será:

$$W_r = \sqrt{W_c^2 + W_v^2}$$

Significando:

W_c = Peso de 1 m. de conductor.

W_b = Carga por viento sobre 1 m. de conductor.

$$W_r = \sqrt{0,482^2 + 0,356^2} = 0,599 = 0,6$$

Calculamos también el ángulo sobre el cual actúa la resultante

$$a = \text{arc.tg.} \frac{W_v}{W_c} = \text{arc.tg.} \frac{0,356}{0,484}$$

$$a = 36,3^\circ$$

$$W_r = 0,6 \text{ } \underline{36,3^\circ} \text{ Kg/m.}$$

Al actuar esta carga resultante sobre el conductor, la ten-

sión debe ser a lo más la tensión de rotura dividida para el coeficiente de seguridad 2, que para un conductor # 1/0 AWG es $\frac{2.155}{2} = 1.077,5$ Kg. Por una parte, y por otra los conductores de alta tensión en las peores condiciones de funcionamiento, siempre deben tener una distancia adecuada del suelo y según normas aceptadas internacionalmente, debe ser 6 m. para zonas transitadas por peatones; puede llegar a 5 m. en zonas inaccesibles y para cruzar carreteras y vías férreas, hay que tomar precauciones especiales y considerar que la altura mínima será 8 m. y en lo posible debe estar protegida por una malla metálica, en tal forma que si se arranca un conductor, éste no caerá al suelo.

El conductor se acercará más al suelo o sea su flecha será mayor en posición vertical con el peso propio a la temperatura máxima del ambiente; pues estudiada la climatología del país y por la experiencia que se tiene en otras líneas, éstas son las peores condiciones de funcionamiento y para estas condiciones calcularemos la ecuación de la parábola, que servirá para trazar la plantilla para la localización de los postes.

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot T}$$

Significando:

f = Flecha en m.

p = Carga del conductor en Kg/m. (peso)

a. = Luz o vano en m.

T = Tensión del conductor.

Sabemos que T varía con la temperatura y para determinar el valor de T a la máxima temperatura aplicamos la ecuación del cambio de condiciones (Escuela del Técnico Electricista- Tomo X)

$$T^2(T + A) = B$$

En la cual $A = d(t_a - t) \cdot \frac{S}{E} + \frac{a^2 \cdot p \cdot a^2 \cdot S}{24 \cdot T_m^2 \cdot E} - T_m$

$$B = \frac{a^2 \cdot p^2 \cdot S}{24 \cdot E}$$

- Significando: T = Tensión del conductor a la temperatura t.
T_m = Tensión máxima del conductor.
t_a = Máxima temperatura
t = Mínima temperatura
d = Coeficiente de dilatación lineal del cobre
S = Sección del conductor
a = vano
P_a = Carga uniformemente repartida, por unidad de longitud sin viento.
P = Carga uniformemente repartida por unidad de longitud y con viento.

Ante todo hechas las investigaciones del caso para determinar las variaciones máximas de temperatura en la zona, tenemos los siguientes valores sacados de los registros de la Quinta Normal de Agricultura.

$$\text{Temperatura máxima} = 32^{\circ} \text{ C.}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 2^{\circ} \text{ C.}$$

Si consideramos que los conductores estarán sujetos a doble calentamiento, el uno por la acción directa del sol y el otro por la circulación de corriente, ampliaremos la gama de variaciones de temperatura de 0° C. a 50° C.; en la fórmula anterior los valores a reemplazarse son:

$$T = \text{Desconocido} \quad d = 1,7 \times 10^{-5}$$

$$T_m = 1077 \text{ Kg.} \quad S = 53,5 \text{ mm}^2.$$

$$t_a = 50^{\circ} \text{ C.} \quad a = 100 \text{ m.}$$

$$t = 0^{\circ} \text{ C.} \quad \frac{1}{E} = \frac{1}{1,3 \times 10^4}$$

$$P_a = 0,482 \text{ Kg/m.}$$

$$P = 0,6 \text{ Kg/m.}$$

Que reúnen las condiciones más desfavorables.

$$A = 1,7 \times 10^{-5} (50-0) 53,5 \times 1,3 \times 10^4 + \frac{100^2 \times 0,484^2 \times 53,5 \times 1,3 \times 10^4}{24 \times 1.077^2} - 1077$$

$$A = -480$$

$$B = \frac{100^2 \times 0,6^2 \times 53,5 \times 1,3 \times 10^4}{24} = 10,42 \times 10^6$$

$$T^2(T-480) = 10,42 \times 10^6 \quad \dots \quad T = 696 \text{ Kg.}$$

La ecuación final de la parábola que nos servirá para trazar la plantilla será:

$$f = \frac{a^2 \times 0,484}{8 \times 696} = 8,7 \times 10^{-5} \times a^2$$

Dando valores al vano a, determinamos las flechas y trazamos así la parábola . (plano # 17)

TABLA DE VALORES PARA TRAZAR LA PARABOLA

$$f = 8,7 \times 10^{-5} \times a^2$$

<u>a = m.</u>	<u>f = m.</u>
50	0,2175
100	0,87
150	1,96
200	3,48
250	5,44
300	7,83
400	13,93
500	21,75
600	31,25
700	42,60
800	55,60
900	70,50
1000	87,00
1100	105,20
1200	125,20
1300	147,60
1400	163,30
1500	195,70
1600	222,30
1700	251,40
1800	282,00
1900	314,00
2000	348,00

C A L C U L O M E C A N I C O D E P O S T E S

Introducción.- El cálculo mecánico consta de varias partes y todas se reducen a comprobar que las piezas y materiales que soportan los conductores, no sufran esfuerzos excesivos, que pongan en peligro de deformación permanente o rotura a cualquiera de las partes antes mencionadas, en condiciones de cálculo impuestas según normas utilizadas.

Selección de las Estructuras.- La dirección técnica de la Empresa Eléctrica Municipal, ha decidido ya el tipo de poste a usarse: Nos limitaremos únicamente a indicar, que la línea con doble circuito, que nos ocupa, se instalará en postes tubulares de acero "Mannesmann" de 9 m. de largo y de 7 pulgadas de diámetro exterior en la sección de empotramiento.

NOTA.- El cálculo que a continuación hacemos es para postes de alineación, no aptos para soportar cualquier esfuerzo.

Selección del Vano.- Este es un capítulo que trataremos por partes, pues la topografía del terreno nos obligará a usar varias luces, especialmente para salvar obstáculos y pasar el río.

La selección del vano máximo para un sólo poste realizamos enseguida, mediante un cálculo sencillo, utilizando las tablas que el manual de postes "Mannesmann" trae.

Si queremos aprovechar al máximo, la altura exterior del poste; (# 193 Zrawy del catálogo Mannesmann # 2.266). Las crucetas trataremos de poner lo más alto posible; colocamos la cruceta superior distando un pie del extremo del poste, previendo que algunos de estos postes tendrán aisladores de tensión y por tanto la cruceta subirá a la altura de los aisladores de soporte para mantener la misma altura del conductor al suelo.

Es oportuno también indicar, que existen zona-s de terreno bastante flojo y no pecamos por exceso al clavar los postes 1 pié más al aconsejado en el manual, es decir en vez de 5 pies clavamos 6 pies; ésto se demostrará en un párrafo siguiente, al tratar de los esfuerzos que soporta el suelo en la base del poste.

Al efectuar este cambio en la colocación del poste, varían también algunos datos de la tabla, disminuyendo en sus valores, pero, para ir a favor del cálculo, seguimos suponiendo que los valores de la tabla no han sufrido ninguna alteración.

NOTA: La tabla de postes "Mannesmann", está en la siguiente pag..

Altura sobre el suelo de la cruceta superior.- La altura de la parte exterior del poste es:

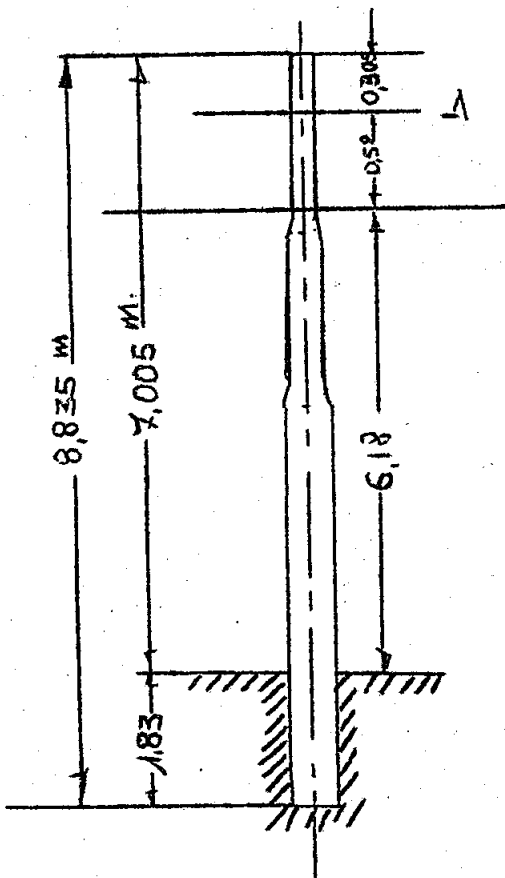
$$8,835 \text{ m.} - 1,83 \text{ m.} = 7,005 \text{ m.}$$

Se dijo ya, que la cruceta superior A, se colocará a 1 pié del extremo por tanto a una altura de:

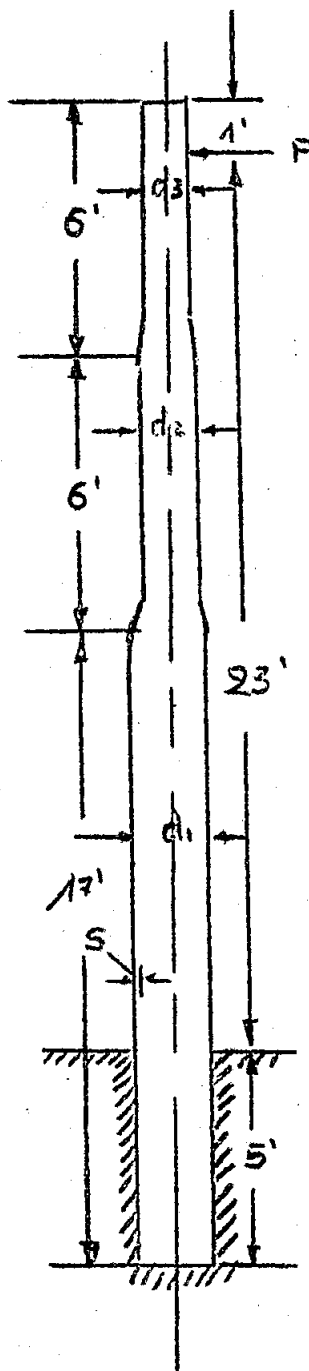
$$7,005 \text{ m.} - 0,305 \text{ m.} = 6,70 \text{ m.}$$

Altura sobre el suelo de la cruceta inferior.- Si los conductores ocupan los vértices de un triángulo equilátero, cuya base está sentada en la cruceta inferior y cuyo lado es la distancia entre conductores (60 cm.), con un sencillo cálculo trigonométrico determinamos la altura de este triángulo y por ende la separación entre crucetas:

$$\frac{6}{60} = \text{Sen. } 60^\circ$$
$$a = 60 \text{ cm.} \times \text{Sen. } 60^\circ = 52 \text{ cm.}$$



CUADRO DE POSTES "MANNESMANN"



# del Serie poste poste		Diámetro						Sección	
		d1	d2	d3	d1	d2	d3	Pulg.	mm.
185	Zrabb	5	127	4	102	3	76	0,192	4,9
187	Zraef	5 1/2	140	4 1/2	114	3 1/2	89	"	"
189	Zraik	6	152	5	127	4	102	"	"
191	Zrasu	6 1/2	165	5 1/2	140	4 1/2	114	"	"
193	Zrawy	7	178	6	152	5	127	0,202	5,1
195	Zreay	7 1/2	190	6 1/2	165	5 1/2	140	0,242	6,1
197	Zrecb	8 1/2	216	7 1/2	190	6 1/2	165	0,250	6,4

CARACTERISTICAS MECANICAS

# del Serie poste poste		Peso total Kg.	Peso Fmto. Kg.	Carga Rtra. Kg.	Carga Tredra. Kg.	Carga Tbjo. Kg.	Supficie. expta. Viento m. cuadrados
185	Zraab	108	2,84	491	349	239	0,3513
187	Zraef	122	2,47	601	426	292	0,3979
189	Zraik	134	2,70	721	512	351	0,4444
191	Zrasu	147	2,93	853	606	415	0,4915
193	Zrawy	167	3,32	1.043	740	507	0,5375
195	Zreay	217	4,26	1.420	1.008	690	0,5841
197	Zrecb	259	5,00	1.901	1.349	924	0,6771

La cruceta inferior estará pues a una altura equivalente:

$$6,70 \text{ m.} - 0,52 \text{ m.} = 6,18 \text{ m.}$$

Si la altura del aislador es 18 cm. la altura a la que se sujeta el conductor es:

$$6,18 \text{ m.} + 0,18 \text{ m.} = 6,36 \text{ m.}$$

Flecha máxima admisible.- Si la parte más baja del conductor debe distar 6 m. del suelo,

la diferencia:

$$6,36 \text{ m.} - 6,0 \text{ m.} = 0,36 \text{ m.}$$

corresponde a la flecha máxima que puede tener el conductor en las peores condiciones de funcionamiento de la línea.

Cálculo del Vano Máximo.Normal.- De la ecuación que nos sirvió para trazar la parábola, podemos despejar el vano máximo normal reemplazando antes la flecha por su valor determinado en el párrafo anterior.

$$f = 8,7 \times 10^{-5} x a^2$$

$$0,36 = 8,7 \times 10^{-5} x a^2$$

$$a^2 = \frac{0,36 \times 10^5}{8,7} = 4.138$$

$$a = 64,3 \text{ m.}$$

Este sería el vano en el cual la distancia entre el suelo y la distancia más baja del conductor tiene 6 m., pero esto es como mínimo; si por facilidad de medida usamos vanos de 70 m., cuya flecha es 0,426 m., mayor a la prescrita, nos acercamos peligrosamente al suelo; si usamos vanos de 60 m., la flecha es ligeramente menor a la propuesta y la distancia del suelo al conductor es algo mayor a 6 m. y por tanto aceptable.

De todo el cálculo anterior se desprende, que es conveniente usar los 60 m. como vano máximo normal para estructura simple.

Cálculo de Comprobación de los esfuerzos del poste para este vano.-

Coefficiente de trabajo permanente.- El manual de postes de acero "mannesmann", dice que la carga de rotura para estos postes varía de 35 a 45 toneladas/pulgada cuadrada; si tomamos el valor menor para andar seguros, su equivalente en el sistema métrico es, 4.930 Kg/cm^2 . Si el factor de seguridad fluctúa de 3 a 4, para estos materiales, la carga de trabajo permanente está entre los 1.230 a 1640 Kg/cm^2 . y una buena práctica general ha demostrado, que al tomar 1200 Kg/cm^2 . como carga de trabajo permanente, se anda bien en los cálculos, por lo cual aceptaremos este valor como máximo.

Coefficiente de trabajo a flexión del poste.-

a) Momento flector debido a la carga del viento en la cruceta superior.- Los esfuerzos que la presión del viento, producen en los conductores y aisladores, se transmiten a las respectivas crucetas. La presión del viento sobre los conductores, es proporcional a la longitud del conductor y a la presión sobre h m. de conductor, cuyo valor conocemos ya: Para conductor de cobre # 1-0 AWG es $0,356 \text{ Kg/m}$.

Presión total en conductores = $0,356 \times 60 \times 2 = 42,7 \text{ Kg}$.
El viento actúa sobre la superficie de los aisladores; si cada uno presenta un frente de 91 cm^2 ; el esfuerzo a transmitirse a la cruceta será:

$$2 \times 0,0091 \text{ m}^2 \times 38,15 \text{ Kg/m}^2 = 0,695 \text{ Kg}.$$

Además la cruceta misma ejerce una presión adicional por el viento que actúa en su perfil, que es hierro U de $2\frac{1}{2}'' \times 1/4''$ y sin cálculo previo nos imponemos un exceso de $1,5 \text{ Kg}$., por este concepto.

La presión total en la cruceta es:

$$42,7 \text{ Kg} + 0,695 \text{ Kg} + 1,5 \text{ Kg} = 44,895 \text{ Kg}.$$

Que actúa a $6,7 \text{ m}$. del suelo, produciendo un momento flector de:

$$44,895 \text{ Kg} \times 6,7 \text{ m} = 305 \text{ Kgm}.$$

b) Momento flector debido a la presión del viento en la cruceta inferior.- Consta de 4 conductores o sea el doble de la anterior. Si doblamos la fuerza obtenida para la cruceta anterior y restamos 1,5 Kg. que es al único valor no doblado tenemos:

$$44,895 \times 2 - 1,5 = 88,29 \text{ Kg.}$$

que actúa a una altura de 6,18 m. sobre el suelo, produciendo un momento flector de:

$$88,29 \text{ Kg.} \times 6,18 \text{ m.} = 545 \text{ Kgm.}$$

c) Momento flector debido a la presión del viento en el poste.- Si la superficie expuesta al viento es $0,5.375 \text{ m}^2$ (según catálogo) y si la presión en superficies cilíndricas es $38,15 \text{ Kg/m}^2$ da una presión total de:

$$0,5375 \text{ Kg/m}^2 \times 38,15 \text{ Kg/m}^2 = 20,5 \text{ Kg.}$$

que actúa aproximadamente a media altura de la parte libre del poste dando un momento flector de:

$$20,5 \text{ Kg.} \times 3,5 \text{ m.} = 71,7 \text{ Kgm.}$$

e) Momento flector total.- La suma de todos los momentos antes calculados nos da el momento flector total:

$$305, \text{ Kgm.} + 545 \text{ Kgm.} + 71,7 \text{ Kgm.} = 921,7 \text{ Kgm.}$$

Módulo de la Sección.- Para calcular el coeficiente de trabajo del poste, necesitamos conocer el módulo de la sección de empotramiento que calculamos con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{3,1416}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$$

Significando: W = Módulo de la Sección (cm^3)

D = Diámetro exterior del tubo (cm.)

d = Diámetro interior del tubo (cm.)

$$W = 0,0982 \left(\frac{17,8^4 - 16,58^4}{17,8} \right) = 134,3 \text{ cm.}^3$$

$$W = 134,3 \text{ cm.}^3$$

Coefficiente de trabajo a flección.- Conocidos los valores del momento flector y del módulo de la sección, determinamos el coeficiente de trabajo a flección con la fórmula siguiente:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Significando:

σ = Coeficiente de trabajo a flección

M = Momento flector.

W = Módulo de la sección

$$\sigma = \frac{92.170 \text{ Kg. cm.}}{134,3 \text{ cm.}^3} = 687 \text{ Kg/cm.}^2$$

Coefficiente de trabajo a compresión.- Además del esfuerzo estudiado anteriormente por la acción del viento, el poste sufre también un esfuerzo de compresión debido al peso que soporta, tanto de los conductores, aisladores, crucetas, etc. como también su peso propio. Nos es pues necesario hacer un cálculo del coeficiente de trabajo por compresión, que sumado al anterior no debe sobrepasar al límite prescrito.

Pesos que intervienen en la compresión- Los postes soportan todo el peso de los conductores y esto variará de acuerdo a la semi-luz.

a) Peso de los conductores.- Si tenemos 6 conductores de cobre # 1/0 AWG de 0,484 Kg/m. y si la luz media es de 60 m.:

$$\text{Peso} = 60 \text{ M.} \times 0,484 \text{ Kg/m.} \times 6 = 175 \text{ Kg.}$$

b) Peso de aisladores de línea.- Está formado por dos partes: El peso del aislador propiamente dicho y el peso del perno recto o soporte.

$$\text{Peso del aislador \# JD-13} = 1,07 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso del perno \# 30026} = \underline{1,18 \text{ Kg.}}$$

$$\text{Peso Total} = 2,25 \text{ Kg.}$$

Son 6 aisladores que dan:

$$\text{Peso} = 6 \times 2,25 \text{ Kg.} = 13,5 \text{ Kg.}$$

c) Peso de crucetas.- Se usa hierro U de 2½" x 1/4", según plano las dos crucetas dan una longitud total de:

$$2 \text{ m.} + 1,4 \text{ m.} = 3,4 \text{ m.}$$

y si la sección del hierro es: $S = 7,135 \text{ cm.}^2$

Peso = Sección (cm.^2) x longitud (cm.) x 7,8 = Gramos

Peso = $7,135 \text{ cm.}^2 \times 340 \text{ cm.} \times 7,8 = 18.920 \text{ gr.}$

Peso de crucetas = 18,92 Kg.

Además de esto, existen en las crucetas, para asegurar al poste unos tornapuntas de hierro ángulo de $1\frac{1}{2}'' \times 1/8''$ cuyo peso es de 1,83 Kg/m.; si en la cruceta superior, cada tornapuntas mide 0,45 m. los 2 serán 0,9 m.

Si en la cruceta inferior, cada tornapuntas mide aproximadamente 0,8 m. los 2 serán 1,60 m., que reunidos dan un total de 2,50 m.

Peso = 2,5 m. x 1,83 Kg/m. = 4,575 Kg.

Si entre pernos y abrazaderas ponemos 3,5 Kg. el peso de la cruceta queda:

$$18,92 \text{ Kg.} + 4,575 \text{ Kg.} + 3,5 \text{ Kg.} = 27 \text{ Kg.}$$

d) Peso del poste.- El peso que nos interesa es el de la parte exterior; si utilizamos el cuadro de características de los postes, nos es fácil determinar el peso, pues comocemos el peso total y el de la parte enterrada, cuya diferencia es el peso que buscamos:

$$167 \text{ Kg.} - 3,32 \text{ Kg.} = 163,68 \text{ Kg.}$$

e) Peso total.- La suma de todos los pesos anteriores nos da el peso total:

$$175 \text{ Kg.} + 13,5 \text{ Kg.} + 26 \text{ Kg.} + 163,68 \text{ Kg.} = 382,18 \text{ Kg.}$$

Momento de Inercia.- Para el cálculo que a continuación hacemos, necesitamos conocer con exactitud el momento de inercia de la sección de empotramiento, tratándose de un tubo es:

$$I = \frac{3,1416}{64} (D^4 - d^4) = 0,0422 (D^4 - d^4)$$

Significando: $I =$ Momento de inercia (cm.^4)

$D =$ Diámetro exterior (cm.)

$d =$ Diámetro interior (cm.)

Reemplazando los valores resulta:

$$I = 0,0492 (17,8^4 - 16,78^4) = 1.032 \text{ cm.}^4$$

Coefficiente de resistencia a la compresión.- Comprobamos antes si en este poste existe el pandeo: Si la relación de la luz libre y el diámetro es menor de 15, no hay pandeo:

$$\frac{700}{17,8} = 39$$

Como 39 es mayor que 15 existe pandeo y en tal caso la fórmula para el cálculo de la compresión es: (Redes Eléctricas de "Zoppetti")

$$\sigma_c = \frac{P}{S} \left(1 + K \frac{l^2 \cdot S}{m_2 \cdot I} \right)$$

Significando: σ = Coeficiente de trabajo a compresión (Kg/mm.²)

(K

P = Peso total del poste (Kg.)

S = Sección de empotramiento (mm.²)

l = Longitud de la pieza sometida a compresión (metros.)

I = Momento de inercia mínimo de la sección de la pieza (cm.⁴)

K = Coeficiente que vale 0,011 para el hierro

m_2 = Coeficiente que depende del modo de fijación de los extremos de la pieza comprimida, y vale 0,25 si el 1 extremo está empotrado y el otro nó.

Para hacer los reemplazos correspondientes, calculamos antes la sección de empotramiento con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{3,1416}{4} (D^2 - d^2) = 0,7854 (D^2 - d^2)$$

$$S = 0,7854 (x 178^2 - 167,8^2) = 2.750 \text{ mm.}^2$$

Hacemos todos los reemplazos en la fórmula y tenemos:

$$\sigma = \frac{382,18}{2.750} \left(1 + 0,011 \frac{7^2 \times 2.750}{0,25 \times 1023} \right) = 0,938 \text{ Kg/mm.}^2$$

$$\sigma = 93,8 \text{ Kg/cm.}^2$$

Coefficiente de trabajo final.- Simultaneamente actúan sobre el poste, el esfuerzo a flección producido por el viento y el esfuerzo a compresión

sión o sea el producido por todo el peso del poste y conductores.

Si la suma de estos dos esfuerzos producen un coeficiente de trabajo menor al límite máximo prescrito para trabajo continuo, el poste trabajará en báemas condiciones, así pues

$$\text{Coeficiente de T.a F.} = 637 \text{ Kg/cm.}^2$$

$$\text{Coeficiente de T.a C.} = \underline{93,8 \text{ Kg/cm.}^2}$$

$$\text{Coeficiente de trabajo final} = 770,8 \text{ Kg/cm.}^2$$

Redondeando este valor el coeficiente de trabajo final del poste es = 771 Kg/cm.² que es menor a 1.200 Kg/cm.².

El poste trabaja en buenas condiciones.

Cálculo de comprobación de la cruceta. - Nos contentaremos

con hacer el cál-

culo de comprobación de la cruceta inferior, que es la que en peores condiciones trabaja; si esta cruceta con los ma-

teriales puestos no llega al coeficiente de trabajo máximo prescrito, funciona en buenas condiciones, y es natural que la cruceta superior estará en mejores condiciones. Las fuerzas que actúan en la cruceta son: El peso de los conductores con sus aisladores:

$$\text{Peso} = 0,484 \times 60 + 2,25 = 32,15 \text{ Kg.}$$

Calculamos ahora el momento flector de la cruceta:

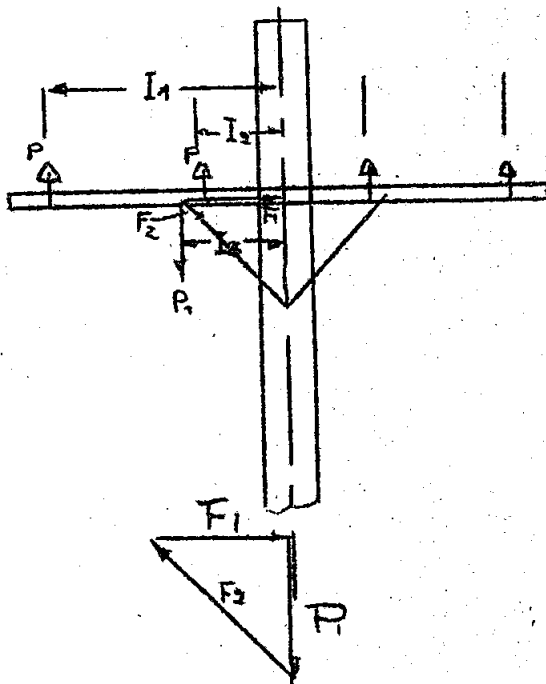
$$M_t = P \cdot I_1 + P \cdot I_2 = P(I_1 + I_2)$$

$$M_t = 32,15(0,9 + 0,3) = 38,54 \text{ Kgm.}$$

$$\text{Siendo: } I_1 = 0,9 \text{ m.}$$

$$I_2 = 0,3 \text{ m.}$$

Nos interesa conocer ahora el valor de P_1 , que despejaremos de la fórmula de momentos: $M_t = P_1 \times I_3$ (Fig.)



Si: $I_3 = 0,54 \text{ m.}$ (Según plano)

$$P_1 = \frac{Mt}{I_3} = \frac{38,54 \text{ Kgm.}}{0,54 \text{ m.}} = 71,4 \text{ Kg.}$$

Esta fuerza P_1 con la disposición de la cruceta tiene 2 componentes; F_1 que hace trabajar a tracción a la cruceta; F_2 que hace trabajar a compresión al tornapuntas, y cuya fórmula de cálculo es la siguiente: (Redes Eléctricas Zoppetti)

$$F_1 = P_1 \frac{I_2}{d} = 71,4 \frac{0,54}{0,54} = 71,4 \text{ Kg.}$$

$$F_2 = P_1 \sqrt{1 + \left(\frac{I_2}{d}\right)^2} = 71,4 \cdot 2 = 101 \text{ Kg.}$$

El coeficiente de trabajo a tracción de la cruceta será:

$$\sigma_t = \frac{F_1}{S} = \frac{71,4 \text{ Kg.}}{7,135 \text{ cm.}^2} = 10 \text{ Kg/cm.}^2$$

Un valor que está muy por debajo del máximo prescrito para estos materiales.

Coeficiente de trabajo a compresión del tornapuntas: Ante todo comprobamos que no exista pandeo en este tornapuntas para aplicar la fórmula sencilla de cálculo:

$$\frac{\text{Largo}}{\text{lado menor}} = \frac{0,54}{0,038} = 14,2 \text{ que es menor que } 15.$$

Como la relación nos dice que no hay pandeo aplicamos la fórmula sencilla:

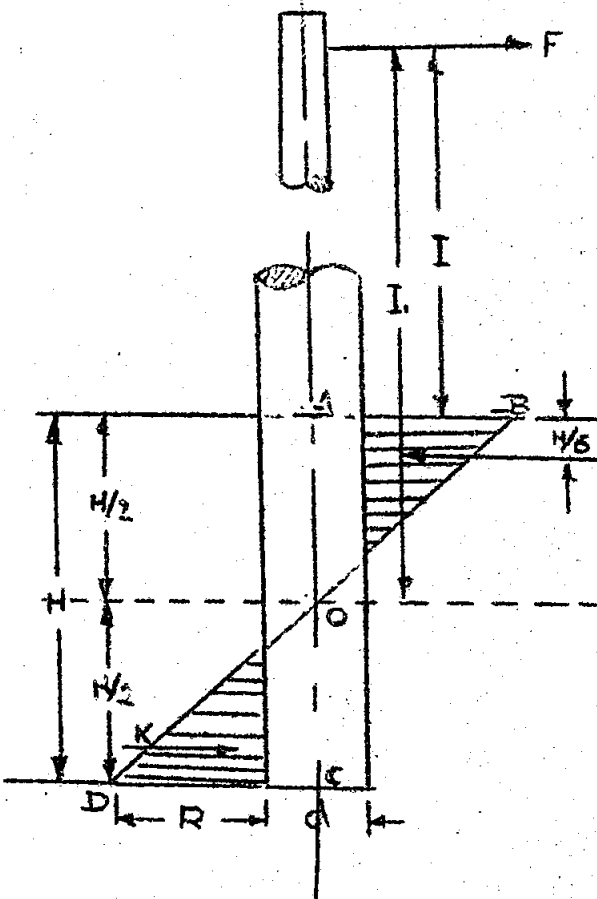
$$\sigma_c = \frac{F_2}{S} = \frac{101 \text{ Kg.}}{2,158 \text{ cm.}^2} = 46,8 \text{ Kg/cm.}^2$$

La sección del hierro ángulo de $2\frac{1}{2}'' \times 1/8''$ del tornapuntas es $= 2,158 \text{ cm.}^2$

El valor del coeficiente del trabajo a compresión también está muy por debajo del máximo prescrito para estos materiales.

Fijación del Poste en el Terreno.- Los postes se introducen en el terreno, practicando previamente un hoyo de las dimensiones apropiadas; una vez colocado el poste en su posición definitiva, se rellena con tierra retacándola después para que tenga la necesaria consistencia. El esfuerzo que actúa sobre el poste, tiende a volcarlo, pero ésto es impedido por el terreno, que soporta la presión producida y que debe tener para ello la necesaria resistencia.

Supongamos que el poste está sometido a un esfuerzo F , cuyo brazo de palanca con respecto a la sección de empotramiento es I (Fig.), el momento que da origen será: $M = F \times I$ y produce una presión en el terreno; la cual se distribuye según "Kyser" en la forma que indica la figura; se aprecia en ella que las presiones unitarias van aumentando de 0 a A y de 0 a C y



que AB y CD representan a una escala determinada las presiones unitarias máximas, que el terreno debe soportar, a las que designaremos por R .

Llamamos K a la resultante de las presiones unitarias y es el área de cualquiera de los triángulos OAB y OCD o sea:

$$K = \frac{R \cdot H}{4}$$

La presión total se obtendrá multiplicando dicho valor por la anchura del poste,

$$P = K \times d = \frac{R \cdot H \cdot d}{4}$$

Esta fuerza actúa a los $\frac{2}{3}$ de OC, que es $\frac{H}{2}$, siendo H la porción de poste enterrada y por tanto $\frac{H}{3}$.

Tomando momentos con respecto al punto neutro O, de todas las fuerzas actuales tenemos:

$$F \times I_1 = F(I + H/2) = P \times H/3 + P \times H/3 = \frac{2 \cdot P \cdot H}{3}$$

$$M_1 + \frac{F \cdot H}{2} = \frac{2 \cdot P \cdot H}{3} \text{ siendo : } P = \frac{R \cdot H \cdot d}{4}$$

$$M_1 + \frac{F \cdot H}{2} = \frac{R \cdot H^2 \cdot d}{6}$$

Reemplazando en esta ecuación los valores conocidos resulta:

$$M_1 = 92.170 \text{ Kg.cm.}$$

$$F = 154 \text{ Kg.}$$

R = Depende de la clase del terreno; para trabajar seguros tomamos $1,5 \text{ Kg/cm.}^2$ como máximo permitido en zonas muy flojas, según estudios de Ings. Martínez y Sevilla.

$$H = 1,83 \text{ m.}$$

Que da:

$$92.710 \text{ Kg.cm.} + \frac{154 \times 183}{2} = \frac{R \times 183^2}{6} \times 17,8$$

$$R = \frac{105.890}{99.400} = 1,064 \text{ Kg/cm.}^2$$

La presión unitaria en el terreno más suave es: $1,064 \text{ Kg/cm.}^2$ que es menor al $1,5 \text{ Kg/cm.}^2$, que nos hemos impuesto como máximo, de acuerdo a los datos que se tiene en otros estudios e informes.

CALCULO MECANICO DE SOPORTES ESPECIALES

Generalidades.- A este grupo pertenecen: a) los apoyos de extremo de línea, que resistirán el tiro de los conductores en un sólo lado. b) Los apoyos que servirán para cruzar el río y proporcionarán una zona de línea de resistencia mecánica mayor.

Apoyos de Extremo de Línea.- Son los apoyos # 1 y 34 (según perfil longitudinal)

y deben resistir el tiro de los conductores de un sólo lado. Las fuerzas que actúan unilateralmente en el poste son demasiado grandes para que las resista un poste simple. Por lo cual es necesario diseñar una estructura especial de proporciones adecuadas, que resista este gran esfuerzo:

En nuestro caso usaremos postes de hierro en (H) con tensores adecuados y aisladores de tensión.

Estudio de Fuerzas y Momentos que actúan.- a) En aisladores superiores.-

En cada uno de ellos actúa la tensión máxima de un conductor de cobre # 1/0 cuyo valor es 1.077 Kg. Los dos dan un total de $2 \times 1077 = 2.154$ Kg., que se aplica a una altura diferente de las crucetas ordinarias con aisladores de soporte; pues para mantener la misma separación entre el suelo y conductor necesitamos elevar los aisladores de tensión, una altura equivalente a la del aislador de soporte; así pues la altura a colocarse es:

$$6,70 \text{ m.} + 0,18 \text{ m.} = 6,88 \text{ m.}$$

Que produce un momento flector de:

$$2.154 \text{ Kg.} \times 6,88 \text{ m.} = 14.800 \text{ Kgm.}$$

b) En cruceta.- En la cruceta actúan 4 conductores de cobre # 1/0 AWG con una tensión máxima de trabajo = 1.077,5 Kg dando una fuerza unilateral de: $4 \times 1.077,5 \text{ Kg.} = 4.310 \text{ Kg.}$ aplicada a una altura de: $6,88 \text{ m.} - 0,52 \text{ m.} = 6,35 \text{ m.}$ produciendo un momento flector de:

$$4.310 \text{ Kg.} \times 6,35 \text{ m.} = 27.380 \text{ Kgm.}$$

c) En los soportes.- Si suponemos que el viento actúa en sentido longitudinal a la línea y a favor de los conductores: producirá un esfuerzo adicional en el sentido de los conductores, cuyo valor es:

Superficie expta. al viento x presión de viento/ $M.^2$

Según las tablas y por tratarse de 2 postes es:

$$2 \times 0,5375 \times 38,19 = 41 \text{ Kg.}$$

Que según normas de cálculo europeas actúa aproximadamente a media altura dando un momento flector de:

$$M = 41 \text{ Kg.} \times 3,5 \text{ m.} = 143,5 \text{ Kgm.}$$

Sobre las crucetas actúa también el viento y sin efectuar cálculo adicional redondeamos los 143,5 Kgm. a 150 Kgm. (para ir a favor del cálculo) y así tenemos en cuenta este valor:

Momento Flector Total.- Sumamos todos los momentos flectores y tenemos:

$$14.800 \text{ Kgm.} + 27.330 \text{ Kgm.} + 150 \text{ Kgm.} = 42.330 \text{ kgn.}$$

Si suponemos que todas las fuerzas actúan reunidas y en un sólo punto calculamos la altura a la cual actúan:

$$M_t = F \times B$$

$$42.330 \text{ Kgn.} = 6.506 \text{ Kgn.} \times B \text{ (m.)}$$

$$B \text{ (m.)} = \frac{42.330 \text{ kgn.}}{6.506 \text{ Kg.}} = 6,5 \text{ m.}$$

Para el cálculo que luego hacemos, vamos a suponer que existe una fuerza concentrada de 6.506 kg. actuando a una altura de 6,50 m.

Coefficiente de Trabajo a Flexión.- Aplicamos para este cálculo la fórmula conocida cuyo significado sabemos:

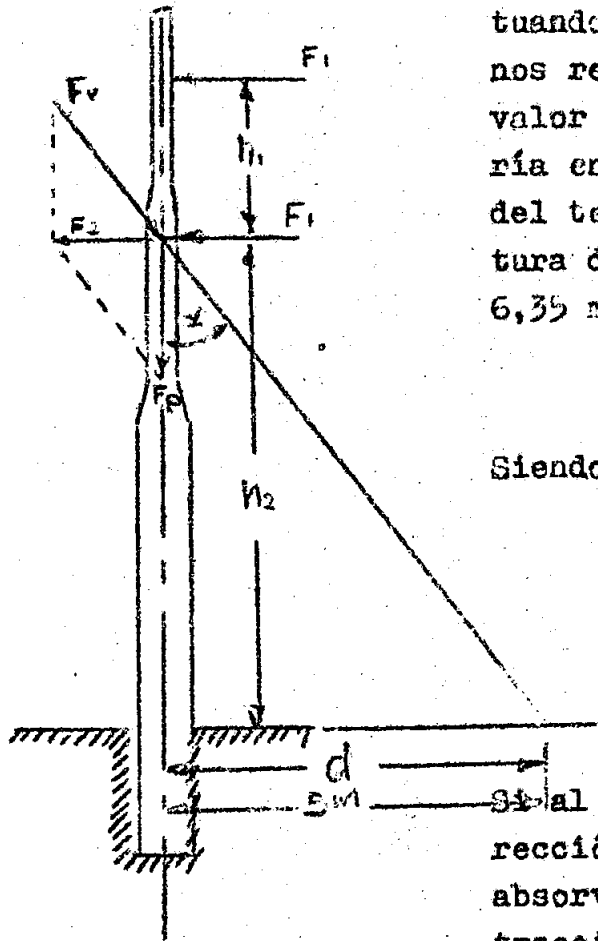
$$= \frac{M_t}{W} = \frac{42.330 \text{ Kgn. cm.}}{2 \pi 134,3 \text{ cm.}^2} = 15.770 \text{ Kg/cm.}^2$$

Es un esfuerzo muy superior al de rotura.

Para no calcular una estructura de proporciones muy grandes colocamos tensores convenientes.

Cálculo del Soporte con Tensor. - Se puede contrarrestar el esfuerzo unilateral del soporte con la colocación del tensor. Si aprovechamos la suposición antes anotada, que existe únicamente

la fuerza $F_1 = 6.506$ Kg. actuando en el punto A a 6,5 m, nos resulta fácil, calcular el valor de F_2 , fuerza que actuaría en el sitio de sujeción del tensor, que será a la altura de la cruceta o sea a 6,35 m. del suelo.



$$F_2 = F_1 \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)$$

Siendo: $F_1 = 6.506$ Kg.

$$h_1 = 6,5 - h_2 = 0,25 \text{ m.}$$

$$h_2 = 6,35 \text{ m.}$$

$$F_2 = 6.506 \left(1 + \frac{0,25}{6,35}\right)$$

$$F_2 = 6.750 \text{ Kg.}$$

Si al tensor colocamos en dirección opuesta a F_2 ; éste absorberá todo el esfuerzo de tracción de los conductores y el poste estaría sujeto únicamente

al esfuerzo producido por el peso de los conductores y estructura; pero esto es imposible y al tensor colocamos oblicuo, distando 5 m. de la base, el sitio de sujeción al suelo: En esta forma la fuerza F_2 , se descompone en dos valores que son: F_p = Fuerza perpendicular, que hace trabajar a compresión al poste y F_v = Fuerza en dirección al tensor que le hace funcionar a tracción; cuyos valores numéricos calculamos con las siguientes fórmulas (Redes Eléctricas Zoppetti)

$$F_p = F_2 \frac{h_2}{d} = 6.750 \text{ Kg.} \times \frac{6,35}{5} = 8.575 \text{ Kg.}$$

$$F_v = F_2 \sqrt{1 + \left(\frac{h_2}{d}\right)^2} = 6.750 \sqrt{1 + \left(\frac{6,35}{5}\right)^2} = 10.920 \text{ Kg}$$

Con esta disposición; el poste trabaja sólo a compresión, a esta componente vertical hay que añadir los Kg. de peso de la estructura y conductores.

Cálculo del Coeficiente de Trabajo a compresión. - Las fuerzas

que en sentido vertical actúan comprimiento son:

a) Componente vertical que se produce al colocar el tensor.- Se calculó ya en el párrafo anterior y es:

$$F_p = 8.575 \text{ Kg.}$$

b) Peso de los conductores.- La longitud de conductor que actúa en el soporte será, $60/2 = 30 \text{ m.}$ Son 6 conductores # 1/0 AWG de cobre con un peso total de:

$$6 \times 30 \text{ m.} \times 0,484 \text{ Kg/m.} = 86,6 \text{ Kg.}$$

c) Peso de aisladores.- Si se usa aisladores de retención # JD-2680 cuyo peso es de 0,288 Kg. unido a una empalmadura o grampa envolvente de tensión # JD-5035 cuyo peso es de 0,182 Kg. y sujetos a la cruceta con horquillas fijadoras de suspensión # JD-1461 (plano # 3) cuyo peso es 0,071 Kg.; El peso total de los aisladores con sus herrajes llega a 0,54 Kg.. Si a los dos lados de la torre utilizamos esta clase de aisladores, necesitamos 12;

$$\text{Peso total} = 0,54 \text{ Kg.} \times 12 = 6,5 \text{ Kg.}$$

Utilizamos dos aisladores de soporte para el paso de los conductores en la parte superior, cuyo peso será:

$$2,25 \text{ Kg.} \times 2 = 4,5 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso total} = 6,5 \text{ Kg.} + 4,5 \text{ Kg.} = 11 \text{ Kg.}$$

d) Peso de la cruceta.- Si usamos como travezanos hierros U de 3" x 1/4" en número de 2, el peso por este concepto es:

$$\text{Si 1 m. de Fe. U-3" x 1/4 pesa} = 6,91 \text{ Kg.}$$

$$2 \times 2 \times 6,91 = 27,64 \text{ Kg.}$$

Por concepto de pernos y herrajes adicionales ponemos 1,5 Kg. el peso total será 29,14 Kg. que redondeados tenemos 30 Kg. de peso total.

e) Peso de los postes.- En el cálculo de soportes normales tenemos ya el peso de la parte exterior de un poste; como ahora son dos, el peso de la estructura será:

$$163,68 \text{ Kg.} \times 2 = 327,3 \text{ Kg.}$$

f) Fuerza Vertical Total.- Está formada por todos los pesos calculados anteriormente y por la componente vertical de la tensión del tensor.

$$\begin{aligned} \text{Fuerza total} &= 8.575 \text{ Kg.} + 86,6 \text{ Kg.} + 11 \text{ Kg.} + 30 \text{ Kg.} + \dots \\ &327,3 \text{ Kg.} = 8.952 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

Cálculo del Coeficiente de Trabajo a Compresión.-

Como las proporciones de cada poste permiten que exista pandeo, aplicamos la fórmula conocida:

$$\sigma_c = \frac{P}{S} \left(1 + K \cdot \frac{I^2 \cdot S}{m^2 \cdot A} \right)$$

Haciendo los reemplazos correspondientes se tiene:

$$\sigma_c = \frac{8952}{2 \times 2750} \left(1 + 0,011 \frac{6,35^2 \times 2.750 \times 2}{0,25 \times 1023 \times 2} \right)$$

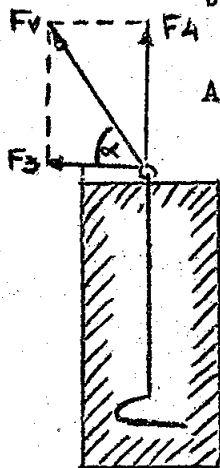
$$\sigma_c = 9,38 \text{ Kg/mm.}^2 = 938 \text{ Kg/mm.}^2$$

Como puede verse los 938 Kg/cm.² tienen un valor menor al máximo prescrito para trabajo continuo en esta clase de materiales.

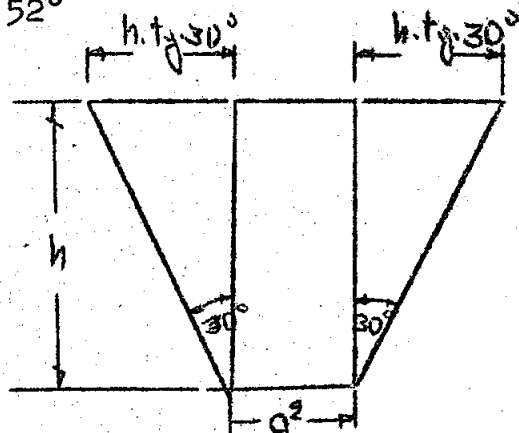
Cálculo del Tensor.- La fuerza que actúa en el tensor conocemos ya $F_v = 10.920 \text{ Kg.}$ Si usamos cables de acero de alta resistencia mecánica y con un factor de seguridad no menor de 2, el de 5/8" de diámetro de 19 hilos cuya carga mínima de rotura es: 12.746 Kg. colocado 1 en cada poste darían una carga de rotura total de $12.746 \text{ Kg.} \times 2 = 25.492 \text{ Kg.}$, que es superior a dos veces la fuerza de tracción a soportar por

por los 2 tensores. Se usarán por tanto 2 cables de 5/8" de 19 hilos.

Cálculo del bloque de amarre del tensor.- Si el tensor está amarrado en un bloque de hormigón en masa, las dimensiones de éste se calcularán partiendo de los datos de la figura y de la fuerza de tracción del tensor = $\frac{10.920}{2} = 5.460 \text{ Kg.}$ El cable forma con la horizontal un ángulo que calculamos así: $\text{tg. } a = \frac{6,35}{5} = 1,27$



$$\text{Arc. tg. } 1,25 = 52^\circ$$



La fuerza de tracción del cable tiene dos componentes; una horizontal y otra vertical cuyos valores respectivos son:

$$F_3 = 5.460 \text{ Kg.} \times \text{Cos. } 52^\circ = 3.360 \text{ kKg.}$$

$$F_4 = 5.460 \text{ Kg.} \times \text{Sen. } 52^\circ = 4.300 \text{ Kg.}$$

Esta última fuerza tiende a levantar al bloque, por lo que su peso debe contrarrestarla. Además del peso del bloque mismo se admite la acción del terreno sobre el sócalo de hormigón; equivale al peso de un volumen de tierra que corresponde a un tronco de pirámide hueco, en el que se considera que el talud natural de las tierras forma con la vertical un ángulo de 30° .

Si el volumen de dicho tronco de pirámide (siendo H = altura, S_1 y S_2 las bases del mismo) se obtiene de la

$$\text{fórmula } V = \frac{1}{3} \cdot h \left[s_1 + s_2 + \sqrt{s_1 \times s_2} \right]$$

Si el macizo es de sección cuadrada cuyo lado es a, la sección de la base menor será a² y la base mayor $(a + 2h \text{ tg. } 30^\circ)^2$ por tanto el volumen de tierra correspondiente tendrá por valor:

$$V = \frac{1}{3} \cdot h \left[a^2 + (a + 2h \text{ tg. } 30^\circ)^2 + \sqrt{a^2(a^2 + 2h \text{ tg. } 30^\circ)^2} - a^2 h \right]$$

Este último término precedido del signo menos corresponde al volumen del macizo.

El peso del volumen de tierra será pues:

$$P_1 = 1.600 \text{ Kg/m.}^3 \times V \quad \text{siendo:}$$

Si llamamos P₂ al peso del macizo será:

$$P_2 = 2.200 \text{ Kg/m}^3 \cdot a^2 \times h$$

Estos dos pesos deben contrarrestar a la componente vertical F₄

$$F_4 = P_1 + P_2 = 1.600 \text{ Kg/m.}^3 V + 2.200 \text{ Kg/m.}^3 a^2 \cdot h$$

Reemplazando los valores, resulta una ecuación con dos incógnitas a y h; es pues necesario dar valor a una de ellas para determinar la otra.

Si hacemos que a = 0,5 m.

$$P_1 = \frac{1600 \cdot h}{3} \left[0,5^2 + (0,5 + 0,577 \times 2h)^2 - 0,5^2 h \right]$$

$$P_2 = 2200 \times 0,5^2 \times h = 550 \times h$$

$$F_4 = 4300 = 949,75 \times h + 748,3 \times h^2 + 709,9 \times h^3$$

$$h = 1,34 \text{ m.}$$

Cálculo de Comprobación de la cruceta. - Nos interesa conocer, si el es-

fuerzo a que está sometida la cruceta, está dentro de los límites tolerables o sea que el coeficiente de trabajo sea menor al máximo prescrito.

Se ha utilizado hierro U de 3" x 1/4" cuyo coeficiente

de trabajo es 1.200 Kg/cm.^2 . La cruceta está formada por dos hierros unidos solidamente y que forma al poste (H). La cruceta funciona como una viga con dos apoyos con cargas concentradas en los aisladores, cuyos valores determinamos de inmediato.

a) Tensión de los conductores.- Los conductores en las peores condiciones estarán templados con una tracción de 1.077 Kg. , que vienen a ser carga en la cruceta, aplicada en el punto de apoyo de los aisladores.

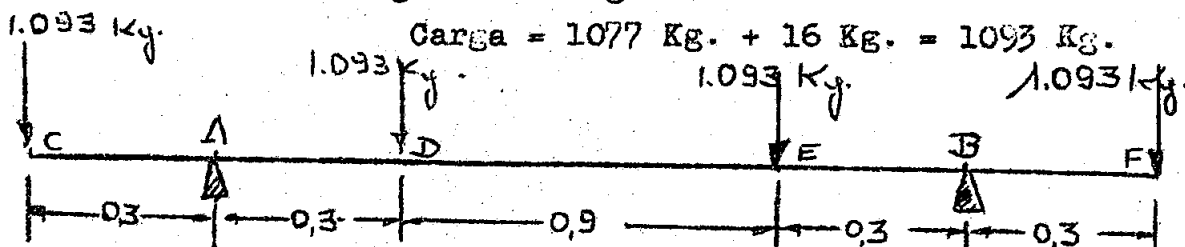
b) Peso de los conductores.- Además del esfuerzo anterior, existe el esfuerzo producido por el peso de conductores y aisladores cuyos valores son:

$$\text{Peso de conductores} = 30 \text{ m.} \times 0,484 \text{ Kg.} = 14,45 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso de aisladores} = 2 \times 0,54 \text{ Kg.} = \underline{1,08 \text{ Kg.}}$$

$$\text{Peso total} = 15,53 \text{ Kg.}$$

Si consideramos que el esfuerzo producido por la tracción de los conductores se asemeja un peso adicional que trata de flejar a la cruceta, podemos reunir en un sólo valor como carga concentrada total y realizar el cálculo como si se tratara de la viga de la figura.



c) Cálculo de momentos.- El cálculo haremos por partes; primero los segmentos exteriores CA y BF que producen momentos negativos.

$$M(\text{max.})_A^C = - 1093 \text{ Kg.} \times 0,3 \text{ m.} = - 328 \text{ Kgm.}$$

$$M(\text{max.})_B^F = - 1093 \text{ Kg.} \times 0,3 \text{ m.} = - 328 \text{ Kgm.}$$

Determinamos ahora el momento de la parte central, independientemente del resto. Pero antes necesitamos conocer las reacciones de los soportes: Como son cargas simétri-

cas concentradas las reacciones valen: R

$$R_a = R_b = \frac{1093 + 1093}{2} = 1093 \text{ Kg.}$$

El momento máximo se producirá al centro de la luz y tiene por valor:

$$M(\text{máx.}) = 1093 \text{ Kg.} \times 0,9 \text{ m.} \mp 1093 \text{ Kg.} \times 0,3 \text{ m.} = 328 \text{ Kgm.}$$

Con estos valores y tomando una escala adecuada se puede trazar el gráfico de momentos y determinar el máximo momento positivo y negativo. Si hacemos la diferencia de los dos valores, el momento positivo en el tramo central es 0, pero el momento negativo tiene su máximo valor en los puntos de sujeción a los postes; y para esta sección hacemos el respectivo cálculo de comprobación, usando la fórmula conocida.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\text{Momento flector}}{\text{Módulo de la Sección}} = \frac{32.800 \text{ kgcm.}}{W \text{ (cm.}^3\text{)}}$$

Cálculo del Módulo de la Sección. - Nos servimos de la fórmula que presenta el manual teórico práctico del hormigón armado (Beton Calender)

$$W = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6H}$$

Hacemos los reemplazos:

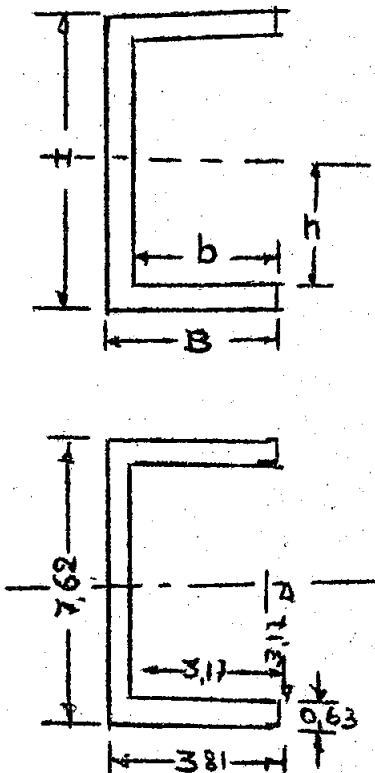
$$W = \frac{3,81 \times 7,62^3 - 3,17 \times 3,17^3}{6 \times 7,62}$$

$$W = 34,5 \text{ cm.}^3$$

Como son dos hierros U solidamente unidos (para ir a favor del cálculo) suponemos que el módulo de la sección es el doble.

$$\sigma = \frac{32.800 \text{ Kgcm.}}{34,5 \times 2 \text{ cm.}^3} = 476 \text{ Kg/cm.}^2$$

El coeficiente de trabajo de la cruceta es menor al máximo prescrito que es 1.200 Kg/cm.²



Cálculo de Comprobación de la Sección de Amarre del Tensor

en el Poste.- Si actúa la máxima fuerza de tracción del conductor que es = 1.077 Kg. con un brazo de 52 cm. producirá un momento flector de:

$$M = 1.077 \text{ Kg.} \times 0,52 \text{ m.} = 560 \text{ Kgm.}$$

Si en la sección a considerarse el diámetro ha disminuído en dos pulgadas con relación a la sección de empotramiento del poste y si el módulo de la sección presente (para ir a favor del cálculo) tomamos como si fuera igual a la mitad del módulo de la sección de empotramiento o sea $67,3 \text{ cm.}^3$, con aproximación pongamos 70 cm.^3 y calculemos el coeficiente de trabajo a flección:

$$= \frac{M}{W} = \frac{56.000 \text{ Kgcm.}}{70 \text{ cm.}^3} = 800 \text{ Kg.cm.}^2$$

Que añadido el coeficiente de trabajo a compresión en ningún caso pasará de 1.000 Kg/cm.^2 o sea siempre menor de 1.200 Kg/cm.^2 que es el máximo prescrito para trabajo continuo para esta clase de materiales.

La sección de sujeción del tensor al poste, trabaja en buenas condiciones.

CALCULO DE COMPROBACION DE LOS POSTES # 5 Y 6

La luz media que actúa en cada uno de estos sopor-tes tiene el siguiente valor:

$$\frac{130 + 60}{2} = 95 \text{ m.}$$

Por tratarse de un vano especial (130m.) la distancia entre conductores tomará el valor siguiente:

$$d = 0,75 \sqrt{f} + \frac{U}{150}$$

Significando: d = Distancia entre conductores (m.)

f = Flecha máxima (m.)

U = Tensión de transmisión (KW)

$$d = 0,75 \sqrt{2,175} + \frac{6,9}{150} = 1,15 \text{ m.}$$

Si los conductores ocupan los vértices de un triángulo equilátero, cuya base está sentada en la cruceta, el conductor superior distará de ella:

$$a = 1,15 \times \text{Sen}.60^{\circ} = 1 \text{ m.}$$

El cálculo de comprobación que a continuación hacemos, lo hemos simplificado al máximo, utilizando la tabla de postes Mannesmann. Trasladamos las fuerzas que actúan en el poste a un pie de su extremo superior; si esta fuerza es menor o igual a la dada en el manual como carga permanente, el poste funcionará en buenas condiciones. A continuación damos los diferentes esfuerzos que se producen en el poste:

a) Esfuerzo que produce la presión del viento en la cruceta inferior.- En esta cruceta existen 4 conductores de cobre # 1/0 AWG cuya carga por viento en m. de conductor es 0,356 Kg/m.

$$\text{Carga total} = 4 \times 95 \text{ m.} \times 0,356 \text{ Kg/m.} = 135,28 \text{ Kg.}$$

Existen además 4 aisladores de soporte que presentan al viento 91 cm.² de superficie, dando una presión adicional de:

$$0,0091 \text{ m.}^2 \times 4 \times 38,15 \text{ Kg/m.}^2 = 1,39 \text{ Kg.}$$

Si sobre el perfil de la cruceta actúa un Kg. adicional, la carga total en la cruceta será:

$$135,28 \text{ Kg.} + 2,39 \text{ Kg.} = 137,67 \text{ Kg.}$$

Que actúa a 6,18 m. del suelo con un momento flector de:

$$137,67 \text{ Kg.} \times 6,18 \text{ m.} = 850 \text{ Kgm.}$$

b) Esfuerzo que produce la presión del viento en los conductores superiores.- Sobre esta cruceta actúan el esfuerzo de dos conductores con sus respectivos aisladores. Sin cometer error tomamos la mitad del valor calculado para la cruceta anterior:

$$\frac{137,67}{2} = 68,83 \text{ Kg. o sea } 69 \text{ Kg.}$$

Esta fuerza actúa a una altura de: 6,18 m, más 1 m. = 7,18 m. del suelo produciendo un momento flector de:

$$69 \text{ Kg} \times 7,18 = 495 \text{ Kgm.}$$

c) Esfuerzo que produce la presión del viento sobre el poste.- Si la superficie expuesta al viento según cuadro de postes "mannesmann" es $0,5375 \text{ m.}^2$ con una presión de $38,15 \text{ Kg/m.}^2$. La presión será:

$$38,15 \text{ Kg/m.}^2 \times 0,5375 \text{ m.}^2 = 20,5 \text{ Kg.}$$

Actuando según normas de cálculo europeas aproximadamente a media altura del poste o sea a $3,5 \text{ m.}$ del suelo, produciendo un momento flector de:

$$20,5 \text{ Kg.} \times 3,5 = 71,6 \text{ Kgm.}$$

d) Momento flector total.- Tiene el siguiente valor:

$$850 \text{ Kgm.} + 495 \text{ Kgm.} + 71,6 \text{ Kgm.} = 1.416,6 \text{ Kgm.}$$

e) Fuerza resultante a $6,7 \text{ m.}$ del suelo.- Para este cálculo usamos la fórmula de momentos que dice;

$M_t =$ Fuerza por brazo

$$F = \frac{M}{B} = \frac{1.416,6 \text{ Kgm.}}{6,7 \text{ m.}} = 211,5 \text{ Kg.}$$

La fuerza que actúa a un pie del extremo superior es $211,5 \text{ Kg.}$, que es menor de 507 Kg. , que es la carga para trabajo permanente y a la misma altura de esta clase de postes; por tanto el poste funciona en buenas condiciones.

No hacemos ninguna otra comprobación adicional del resto de partes del poste, porque en el cálculo que se hizo anteriormente, todas tenían un coeficiente de trabajo muy por debajo del máximo permitido y al cambiar ligeramente de valor, el coeficiente de trabajo no aumentará mayor cosa y siempre se mantendrá dentro de límites tolerables.

CALCULO PARA LOS SOPORTES # 15-16-17-18

Hemos decidido usar tres vanos para cruzar el río Ambato en la forma que muestra el perfil longitudinal, por ofrecer así mayor resistencia mecánica y evitar una luz demasiado grande (500 m.) que exigiría conductores especiales y distancia entre conductores amplia. Usaremos el mismo tipo de postes para todo el cruce del río. El cálculo efectuaremos imponiéndonos las condiciones más desfavorables. Supondremos que existe un poste cuyas luces contiguas son: 212 m. por el un lado y 60 por el otro, además la tensión de las conductores hace trabajar al poste a compresión (poste 18) y así efectuamos el cálculo de comprobación.

Tipo de Soporte.- La semisuma de las luces contiguas que actúan sobre este soporte es 136 m., más del doble del vano normal; proyectamos soportes de doble poste de hierro (plano 20) en forma de (H) cuya resistencia mecánica transversal y longitudinal es cuando menos el doble de un poste ordinario; usamos cuatro de estas estructuras seguidas, obteniendo así una zona de línea de mayor resistencia mecánica, cuyo conjunto haría las veces de una estructura de anclaje por encontrarse exactamente en medio del recorrido.

El cálculo efectuamos para las condiciones que nos impusimos, pero antes necesitamos conocer la distancia entre conductores:

$$d = 0,75 \sqrt{f} + \frac{U}{150}$$

Significando: f = Flecha para un vano de 208 m. = 5,72m.

U = Voltaje de transmisión = 6,9 KV

$$d = 0,75 \times \sqrt{5,72} + \frac{6,9}{150} = 1,83 \text{ m.}$$

Si los conductores ocupan los vértices de un triángulo equilátero de 1,83 m. de lado, cuya base está sentada en la cruceta, la altura de los conductores superiores será

la del triángulo equilátero que tiene por valor:

$$a = 1,83 \text{ m.} \times \text{Sen.}60^\circ = 1,58 \text{ m.}$$

Con estas dimensiones podemos ya proyectar el poste y calcular los esfuerzos que sobre él se producen.

a) Esfuerzo que produce la presión del viento en la cruceta y momento flector.- Existen cuatro conductores de cobre # 1/0 AWG; la carga por viento sobre un m. de conductor es: 0,356 Kg/m.

$$\text{Carga total} = 4 \times 136 \text{ m.} \times 0,356 \text{ Kg/m.} = 193,64 \text{ Kg.}$$

La presión del viento actúa también sobre los aisladores; si cada uno presenta 110 cm.² de superficie al viento y si son 12, la presión total será:

$$12 \times 0,011 \text{ m.}^2 \times 38,15 \text{ Kg/m.}^2 = 3,57 \text{ Kg.}$$

La cruceta recibe también la presión del viento en su perfil, usamos hierro U de 3" x 1/4" en número de dos Unidos solidamente; aceptamos que por este concepto existe un Kg. adicional de presión dando en conjunto un total de:

$$\text{Presión total} = 193,64 \text{ Kg.} + 3,57 \text{ Kg.} + 1 \text{ Kg.} = 198 \text{ Kg.}$$

Que actúa a 6,35 m. del suelo (altura de la cruceta con aisladores de retención) produciendo un momento flector de:

$$198 \text{ Kg.} \times 6,35 \text{ m.} = 1.257 \text{ Kgm.}$$

b) Esfuerzo que produce la presión del viento en los conductores superiores y momento flector.- Existen dos conductores de cobre # 1/0 AWG, cuya presión por viento es con bastante aproximación la mitad del valor calculado en el párrafo anterior o sea:

$$\frac{198 \text{ Kg.}}{2} = 99 \text{ Kg.}$$

Que actúa en el extremo del poste o sea a 7 m. del suelo; no hemos colocado a 7,93 m. = 6,35 m. + 1,58 m., de altura, que sería necesaria para mantener los 1,83 m. de distancia entre conductores y disposición triangular perfecta, porque el conductor superior con sus balanceamientos, nunca llegaría a topar a los demás.

Estos conductores producen un momento flector de:

$$99 \text{ Kg.} \times 7 \text{ m.} = 693 \text{ Kgm.}$$

c) Esfuerzo que produce la presión del viento en los soporte y momento flector.- En capítulos anteriores hemos determinado este valor y su momento dando un total de 150 Kgm. para los dos postes.

d) Momento flector total.- La suma de todos los momentos flectores parciales nos da el momento flector total que vale:

$$1.257 \text{ Kgm.} + 693 \text{ Kgm.} + 150 \text{ kgm.} = 2.100 \text{ Kgm.}$$

Cálculo del Coeficiente de Trabajo a Flección.- Aplicamos la

fórmula conocida:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Esta estructura tiene rigidez transversal, por tanto las condiciones de trabajo son más favorables por aumentarse así el momento de inercia, pero para andar en favor del cálculo, suponemos el caso más desfavorable, admitiendo que cada poste trabaje sólo dando un módulo de sección total igual a dos veces el módulo de sección de un poste

$$\sigma = \frac{210.000 \text{ Kgcm.}}{2 \times 134,3 \text{ cm.}^3} = 782 \text{ Kg/cm.}^2$$

A este coeficiente de trabajo a flección tenemos que añadir el coeficiente de trabajo a compresión, para así determinar el coeficiente de trabajo total.

Cálculo del Coeficiente de Trabajo a Compresión.- Actúan comprimiendo el peso de los conductores, el peso de la estructura y la componente vertical de la fuerza de tracción de los conductores como luego calcularemos.

a) Peso de los conductores.- Tenemos 6 conductores de cobre # 1/0 AWG con 136 m. de semisuma de luces, si el peso de un m. de conductor es 0,484 Kg.

$$\text{Peso total} = 6 \times 136 \text{ m.} \times 0,484 \text{ Kg/m.} = 393,3 \text{ Kg.}$$

b) Peso de aisladores.- En cada conductor usamos dos aisladores de retensión cuyo peso unitario es 0,54 Kg. dando un total de

$$12, \times 0,54 \text{ Kg} = 6,5 \text{ Kg.}$$

En los conductores superiores usamos dos aisladores de soporte cuyo peso es 2,25 Kg. dando un total de:

$$2 \times 2,25 \text{ Kg.} = 4,5 \text{ Kg.}$$

Peso total en aisladores es: = 6,5 Kg. + 4,5 Kg = 11 Kg.

c) Peso de la crubeta.- Si la crubeta esta formada dos hierros U de 3" x 1/4" de 5,70 m. de largo, unidos solidamente por 8 piezas de pletina de 20 cm. de largo de 2" x 1/4" cuyos pesos por unidad de longitud (m.) son:

$$\text{Hierro U de } 3" \times 1/4" = 6,91 \text{ Kg/m.}$$

$$\text{Hierro } \neq \text{ de } 2" \times 1/4" = 1,229 \text{ Kg/m.}$$

Peso de travézanos (B-3" x 1/4") = $2 \times 5,7 \times 6,91 = 77,4 \text{ Kg.}$

Peso de refuerzos (\neq 2" x 1/4") = $8 \times 0,2 \times 1,229 = \underline{1,97 \text{ Kg.}}$

$$\text{Total} = 79,37 \text{ Kg.}$$

Si tenemos en crucetas pernos y herrajes adicionales podemos redondear el peso a los 81 Kg.

d) Peso de los postes.- Dos postes simples cuyo peso unitario es 163,68 Kg. da un total de:

$$163,68 \text{ Kg.} \times 2 = 327,3 \text{ Kg.}$$

e) Peso total de la estructura.- Resulta de sumar todos los pesos antes calculados:

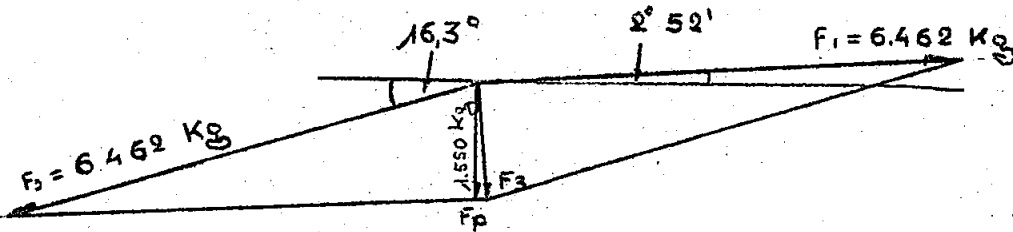
$$393,3 \text{ Kg.} + 12 \text{ Kg.} + 81 \text{ Kg.} + 327,3 \text{ Kg.} = 823,6 \text{ Kg.}$$

Componente Vertical de la Tensión de los Conductores.-

Si hacemos un cálculo pectorial gráfico de la tensión de los conductores para el poste en consideración, que ocupa un lugar saliente del terreno, vemos que existe una componente vertical que trata de clavarlo al suelo.

Si en cada vano actúan 6 conductores cuya fuerza de tracción máxima es de 1.077 Kg. por conductor, a cada lado del poste y en dirección de los conductores existirá una fuerza total de:

$$1.077 \text{ Kg.} \times 6 = 6.462 \text{ Kg.}$$



Las fuerzas que entran en el cálculo vectorial son:

$F_1 = 6.462 \text{ Kg. } (16,3^\circ)$ y $F_2 = 6.462 \text{ Kg. } (2^\circ 52')$ que dan una resultante F_3 cuya componente vertical vale 1.550 Kg. = F_p .

Fuerza Total para la Compresión.- La fuerza total que actúa comprimiendo al soporte está formada por el peso total de la estructura, añadida la componente vertical F_p que da:

$$F_t = 1.550 \text{ Kg.} + 823,6 \text{ Kg.} = 2.373,6 \text{ Kg.}$$

Coefficiente de Trabajo a Compresión.- Con los datos obtenidos en cálculos anteriores, determinamos el coeficiente de trabajo a compresión teniendo en cuenta el pandeo.

$$\sigma_c = \frac{P}{2S} \left(1 + K \frac{l^2 \cdot 2.8}{m_2 \cdot I \cdot 2} \right)$$

Valiendo:

$$P = 2.373,6 \text{ Kg.}$$

$$S = 2.750 \text{ mm.}^2$$

$$K = 0,011$$

$$I = 1.023 \text{ cm.}^4$$

$$l = 7 \text{ m.}$$

$$m_2 = 0,25$$

$$\sigma_c = \frac{2.373,6}{2 \times 2.750} \left(1 + 0,011 \frac{7^2 \times 2 \times 2.750}{0,25 \times 2 \times 1.023} \right)$$

$$\sigma_c = 298 \text{ Kg/cm.}^2$$

Coefficiente de Trabajo Total.- Conocidos los coeficientes de trabajo de flexión y compresión, teniendo en cuenta que estos dos actúan simultáneamente, determinamos el coeficiente de trabajo final con la suma de los valores antes calculados.

$$C = 782 \text{ Kg/cm.}^2 + 294 \text{ Kg/cm.}^2 = 976 \text{ Kg/cm.}^2$$

Como puede verse los 276 Kg/cm.^2 tiene un valor menor a 2.200 Kg/cm.^2 que es el valor máximo admitido para trabajo continuo.

Con este cálculo hemos demostrado que los soportes proyectados funcionan en buenas condiciones y con seguridad.

Cálculo de Comprobación de la Cruceta.- La cruceta está

formada por dos

hierros U de $3'' \times 1/4''$, que unen los dos postes en forma de travesaño total dando la apariencia de postes (H).

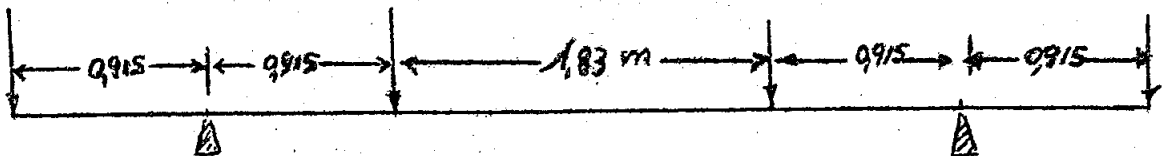
Estáticamente la cruceta funciona como viga de dos apoyos con cargas simétricas concentradas en los aisladores, representadas éstas por el peso de conductores y componente vertical de cada uno de ellos.

$$\text{Peso de conductores} = 136 \text{ m.} \times 0,484 \text{ Kg/m.} = 65,5 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso de aisladores} = 2 \times 0,54 = 1,08$$

$$\text{Componente vertical} = \frac{1.550}{6} = 260 \text{ Kg.}$$

$$\text{Total} = 327 \text{ Kg.}$$



Cálculo de Momentos.- El cálculo efectuaremos por partes: primero los dos extremos que producen un momento negativo:

$$M (\text{max})_A^C = M (\text{max})_B^F = - 327 \text{ Kg.} \times 0,915 \text{ m.} = - 300 \text{ Kg.m.}$$

Para calcular los momentos en el tramo central tenemos que conocer las reacciones en los apoyos; por ser cargas

simétricas concentradas determinamos facilmente:

$$R_A = R_B = \frac{2 \times 327}{2} = 327 \text{ Kg.}$$

Los momentos en la parte central se calculan con la ecuación siguiente:

$$M_{\frac{D}{E}} = 327 \text{ Kg.} \times v - 327 \text{ Kg.} (b - 0,915)$$

El momento máximo será al centro de la viga y tiene por valor:

$$M (\text{max}) = 327 \text{ Kg.} \times 1,83 \text{ m.} - 327 \text{ Kg.} \times 0,915 \text{ m.} = 300 \text{ Kgm.}$$

Con estos valores y tomando una escala adecuada, podemos trazar el gráfico de momentos y determinar los valores máximos positivo y negativo. Por tratarse de cargas simétricas, sabemos que el momento máximo positivo estará al centro y tendrá un valor (300 Kgm. - 300 Kgm. = 0) nulo.

Pero si observamos los momentos negativos ellos permanecen con su máximo valor = - 300 Kgm. y para esta sección efectuaremos el cálculo de comprobación.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{30.000 \text{ Kgc.m.}}{34,5 \text{ cm.}^3} = 435 \text{ Kg/cm.}^2$$

$$(W = 34,5 \text{ cm.}^3 \text{ según cálculo hecho})$$

El coeficiente de trabajo de la cruceta está muy debajo del máximo permitido para trabajo continuo para estos materiales, que según manuales es 1.200 Kg/cm.²

CURVAS PARA EL TENDIDO DE LA LÍNEA

Para el tendido mismo de la línea nos es necesario conocer las tensiones que tendría el conductor a las diferentes temperaturas, para pasar luego a determinar las flechas en los diferentes vanos para estas temperaturas. Este trabajo es de realizar para varias luces; pero existe un procedimiento corto y muy usado en los Estados Unidos y puesto en práctica en algunas líneas de nuestro país, que consiste: primero en determinar el "Vano Regulador", que es una longitud tal, en la cual la tensión de los conductores, está muy cerca de la tensión media en las varias longitudes de los vanos entre dos puntos de apoyo, con cambios de temperatura y carga. Su finalidad en el diseño de las líneas es proporcionar una longitud representativa de vano para el tendido.

En teoría el Vano Regulador es un vano compensado, de las diferentes longitudes de vano y se calcula con la fórmula empírica siguiente:

$$A_r = \text{vano medio} + \frac{2}{3}(\text{vano máximo} - \text{vano medio})$$

En nuestra línea existen vanos grandes repartidos en su trayecto, (212 m. inclinados, 184 m. inclinados, 130 m.) que influyen grandemente en la determinación del Vano Regulador por ser línea corta, dándole valores altos. De esto se desprende que esta fórmula de cálculo es muy adecuada para líneas de transmisión de gran longitud y cuyos vanos permanecen constantes en su longitud; e inadecuados para nuestra línea.

Este es el motivo por el cual necesariamente trazamos las curvas de tensión y flechas para los vanos más comunes y especiales.

El proceso de cálculo es el siguiente: Determinamos los valores de tensión que tiene el conductor en las varias temperaturas, usando la ecuación del cambio de condiciones, poniendo en las abscisas la temperatura y

en las ordenadas las tensiones, trazamos la curva de tensiones; ahora con las tensiones calculadas, determinamos las flechas para las diferentes temperaturas, representando en las abscisas la temperatura y en las ordenadas las flechas, trazamos así las curvas de flechas.

CAMBIO DE CONDICIONES PARA EL VANO NORMAL

El Vano Normal es de 60 m, pero entre éstos existen unos horizontales y otros inclinados, cuya proyección horizontal se acerca a los 50 m.; por lo cual haremos el cálculo del cambio de condiciones para estas dos posibilidades, que usaremos como normales, La ecuación del cambio de condiciones es la que usamos al trazar la plantilla parabólica cuyos valores a reemplazarse son:

$$d = 1,7 \times 10^{-5}$$

$$t_a - t = \text{Valores variables}$$

$$S = 53,5 \text{ mm.}^2$$

$$\frac{Y}{E} = 1,3 \times 10^4$$

$$a = 60 \text{ m.}$$

$$P_a = 0,484 \text{ Kg/m.}$$

$$P = 0,6 \text{ Kg/m.}$$

$$T_m = 1.077 \text{ Kg.}$$

Reemplazados estos valores en la fórmula antedicha tenemos:

$$A = 1,7 \times 10^{-5} \times (t_a - t) \times 53,5 \times 1,3 \times 10^4 + \frac{60^2 \times 0,484^2 \times 53,5 \times 1,3 \times 10^4}{24 \times 1.077^2} \dots$$

1.077Kg.

$$A = 11,82(t_a - t) - 1.056$$

$$B = \frac{60^2 \times 0,6^2 \times 53,5 \times 1,3 \times 10^4}{24} = 3,755 \times 10^7$$

Con estas ecuaciones y dando valores a t_a = Temperatura en el montaje (ya que $t = 0^\circ$) calculamos los valores de A

Para $t_a = 5^\circ$;	$A = 11,82 \times 5 - 1.056 = -997$;	$B = 3,755 \times 10^7$
" " = 10° ;	$A = 11,82 \times 10 - 1.056 = -938$;	" " "
" " = 15° ;	$A = 11,82 \times 15 - 1.056 = -879$;	" " "
" " = 20° ;	$A = 11,82 \times 20 - 1.056 = -820$;	" " "
" " = 25° ;	$A = 11,82 \times 25 - 1.056 = -761$;	" " "
" " = 30° ;	$A = 11,82 \times 30 - 1.056 = -702$;	" " "
" " = 35° ;	$A = 11,82 \times 35 - 1.056 = -642$;	" " "
" " = 40° ;	$A = 11,82 \times 40 - 1.056 = -583$;	" " "
" " = 45° ;	$A = 11,82 \times 45 - 1.056 = -524$;	" " "
" " = 50° ;	$A = 11,82 \times 50 - 1.056 = -465$;	" " "

Obtenido el valor de A para las varias temperaturas propuestas, utilizando la fórmula $T^2(T+A) = B$, calculamos la tensión (T) del conductor en las diferentes temperaturas.

Para $t_a = 5^\circ$;	$T^2(T-997) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 1.032$ Kg.
" " = 10° ;	$T^2(T-938) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 977$ "
" " = 15° ;	$T^2(T-879) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 924$ "
" " = 20° ;	$T^2(T-820) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 870$ "
" " = 25° ;	$T^2(T-761) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 817$ "
" " = 30° ;	$T^2(T-702) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 766$ "
" " = 35° ;	$T^2(T-642) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 715$ "
" " = 40° ;	$T^2(T-583) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 667$ "
" " = 45° ;	$T^2(T-524) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 621$ "
" " = 50° ;	$T^2(T-465) = 3,755 \times 10^7$;	$T = 578$ "

Con los valores de tensión calculados determinamos las flechas, que tomaría el conductor en un vano de 60 m. para las diferentes temperaturas. La fórmula a utilizarse es:

$$f = \frac{a^2 \times p}{8 \cdot T}$$

Significando:

f = Flecha en metros

a = Vano (60m.)

p = Peso del conductor por metro lineal
(0,484 Kg.)

T = Tensión para diferentes temperaturas

$$f = \frac{60^2 \times 0,484}{8.T} = \frac{218}{T}$$

Para $t_a = 5^\circ$ $f = \frac{218}{1.032} = 0,211$ m.

" " = 10° $f = \frac{218}{977} = 0,223$ m.

" " = 15° $f = \frac{218}{924} = 0,236$ m.

" " = 20° $f = \frac{218}{870} = 0,250$ m.

" " = 25° $f = \frac{218}{817} = 0,267$ m.

" " = 30° $f = \frac{218}{766} = 0,284$ m.

" " = 35° $f = \frac{218}{715} = 0,305$ m.

" " = 40° $f = \frac{218}{667} = 0,327$ m.

" " = 45° $f = \frac{218}{612} = 0,351$ m.

" " = 50° $f = \frac{218}{573} = 0,377$ m.

Si en las abscisas ponemos la temperatura y en las ordenadas ponemos la tensión, trazamos una curva de tensión para el vano de 60 m., que servirá para el tendido de la línea, en caso de utilizar dinamómetro. Conociendo la temperatura con la ayuda de la curva y por proceso gráfico, se puede conocer la tensión a la que se debe tender el conductor. En idéntica forma, si en las abscisas tenemos la temperatura y en las ordenadas las flechas, trazamos una curva que también nos sirve para el tendido de la línea; si utilizamos los valores de flecha, conocida la temperatura, podemos conocer la flecha que debe quedar en el tendido.

Para los cálculos que a continuación haremos, seguiremos el mismo procedimiento del inmediato anterior, y pondremos únicamente en forma de tablas resumidas los valores necesarios para el trazo y dibujo de las curvas de tendido para los diversos vanos a usarse en la línea.

Cambio de Condiciones para un Vano de 50 Metros.- A este grupo

pertenecerán los vanos horizontales de 50 m, y los inclinados cuya proyección horizontal se acerca a los 50 m.; los vanos que pertenecen a este grupo son: IV - VIII - X - XI - XII - XIII - XXVIII - XXIX - XXVI.

Resumen de cálculos

Temperatura Grados C.	A	B	T Tensión Kg.	f Flecha m.
5	-1.003	2,61x10 ⁷	1.027	0,147
10°	-944	2,61x10 ⁷	971	0,155
15	-855	2,61x10 ⁷	926	0,163
20	-826	2,61x10 ⁷	861	0,175
25	-767	2,61x10 ⁷	807	0,187
30	-708	2,61x10 ⁷	756	0,199
35	-649	2,61x10 ⁷	703	0,214
40	-590	2,61x10 ⁷	652	0,231
45	-531	2,61x10 ⁷	603	0,250
50	-471	2,61x10 ⁷	556	0,270

Con estos datos trazamos las dos curvas de la Pag. siguiente.

CURVA - A

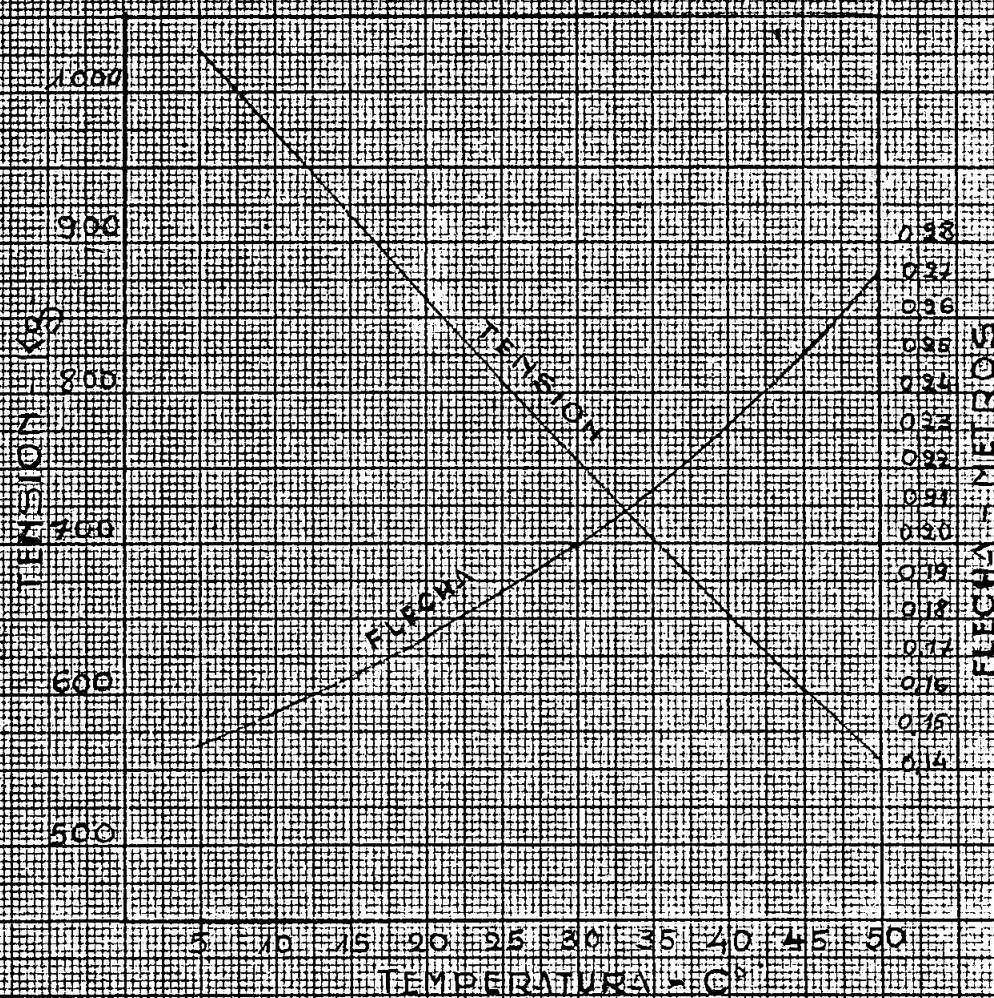


GRÁFICO PARA EL TENDIDO DE LA LÍNEA
PARA EL VANO IV DE 50 METROS

Cambio de Condiciones para el Vano IX.— Por tratarse de un vano especial de longitud inclinada de 46 m. que da una proyección horizontal de 35 m. determinamos los valores de tensión y flechas para el trazado de las curvas, siguiendo el proceso de cálculo ya explicado.

Resumen de Cálculos

<u>Temperatura Grados C.</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>Tensión Kg.</u>	<u>Flecha m.</u>
5	-1.011	$1,28 \times 10^7$	1.024	0,072
10	-952	"	964	0,076
15	-893	"	909	0,081
20	-834	"	852	0,087
25	-775	"	796	0,093
30	-716	"	739	0,100
35	-657	"	685	0,107
40	-598	"	630	0,117
45	-539	"	570	0,128
50	-479	"	526	0,140

Con estos valores trazamos las curvas de tensión y flechas para este vano y están en la Pag. siguiente.

Ensayo

VANO = 60 METROS

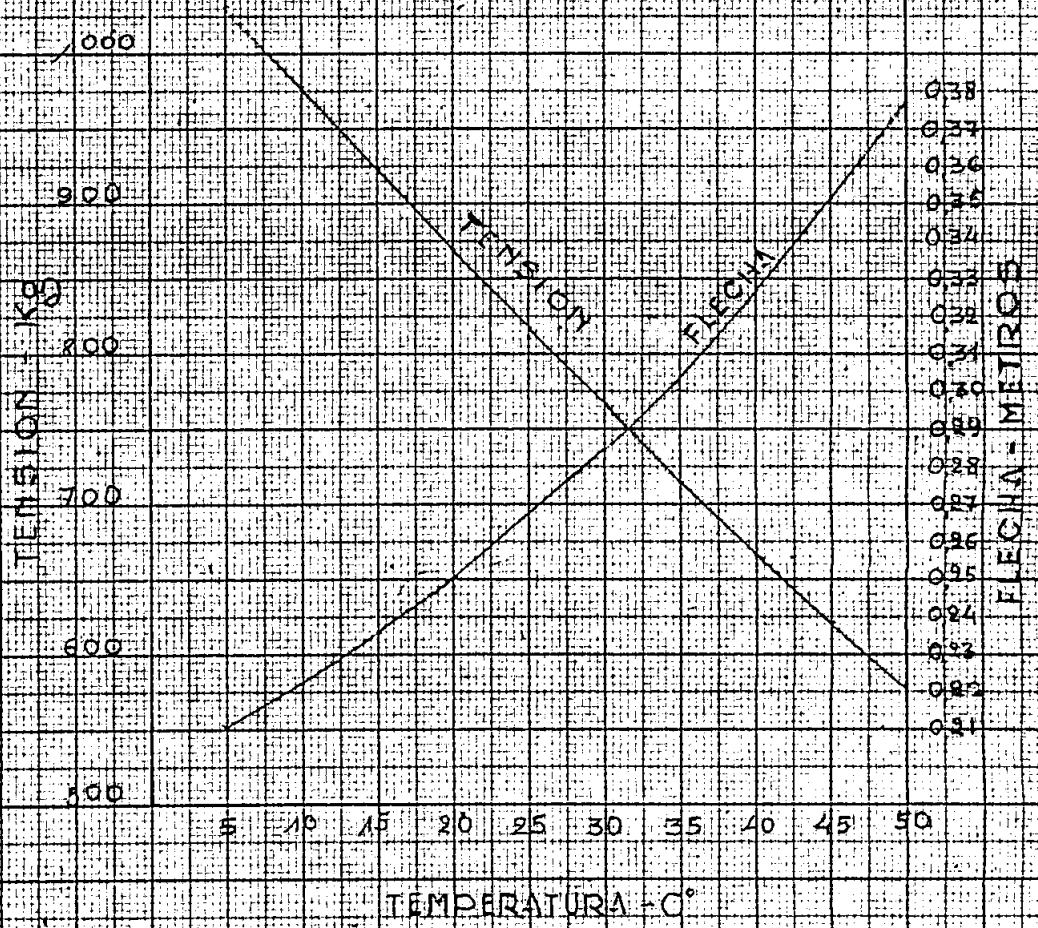
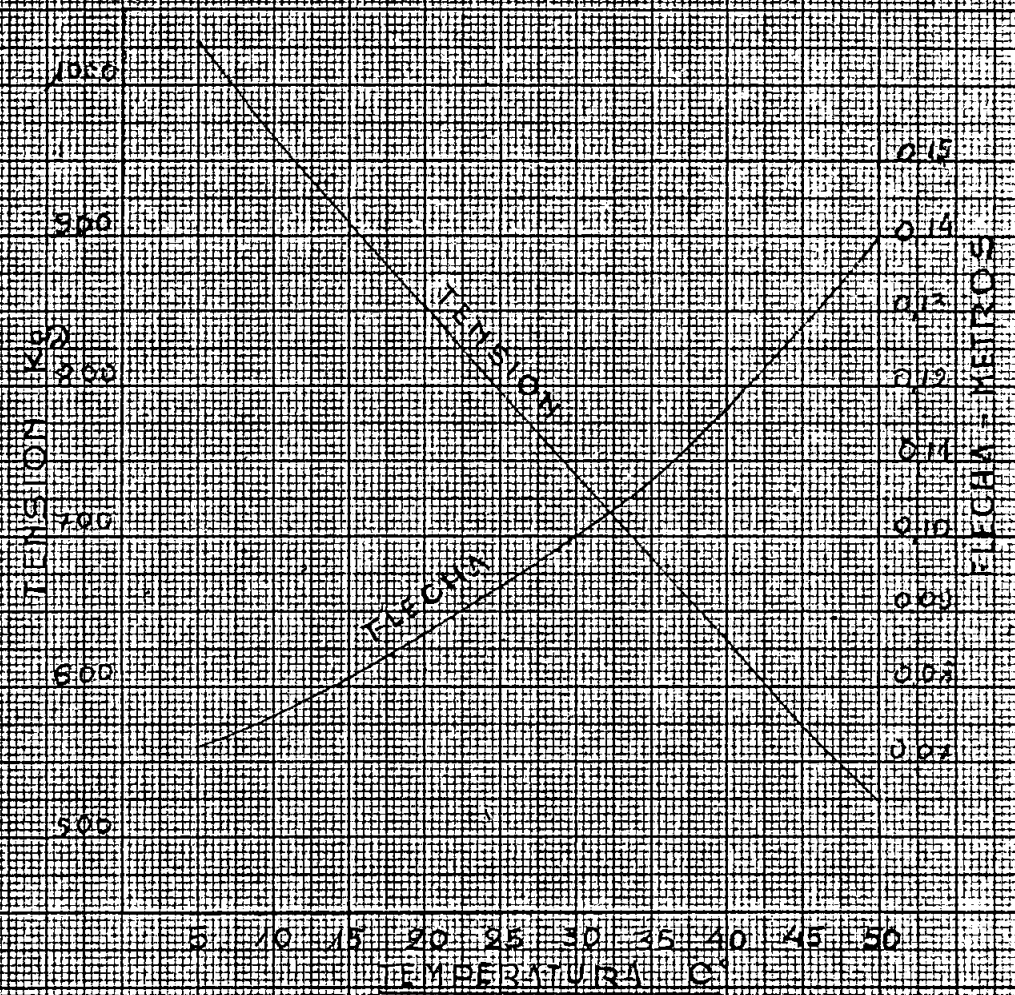


GRÁFICO PARA EL TENDIDO DE LA LÍNEA EN VANO HORIZONTAL DE 60 METROS

CURVA - 8



GRANCO PARA EL TENDIDO DE LA LINEA
PARA EL VASO IX DE 35 M. HORIZONTALES

Cambio de Condiciones para el Vano XIV..- Este vano es el menor de todos y sirve para el cruce del carretero a Quillás; tiene una luz inclinada de 21 m. y una proyección horizontal de 16 m. El cálculo realizamos como los anteriores y elaboramos de inmediato el cuadro resumido.

Resumen de Cálculos

<u>Temperatura Grados C.</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>Tensión Kg.</u>	<u>Flechas m.</u>
5	-1.016	$2,67 \times 10^6$	1.041	0,0148
10	-957	"	985	0,0156
15	-898	"	930	0,0166
20	-839	"	874	0,0176
25	-780	"	820	0,0188
30	-721	"	766	0,0201
35	-663	"	712	0,0216
40	-603	"	664	0,0232
45	-545	"	615	0,0250
50	-484	"	567	0,0273

Con estos datos elaboramos las curvas de tensión y flechas que se encuentran en la página siguiente.

CURVA - 9

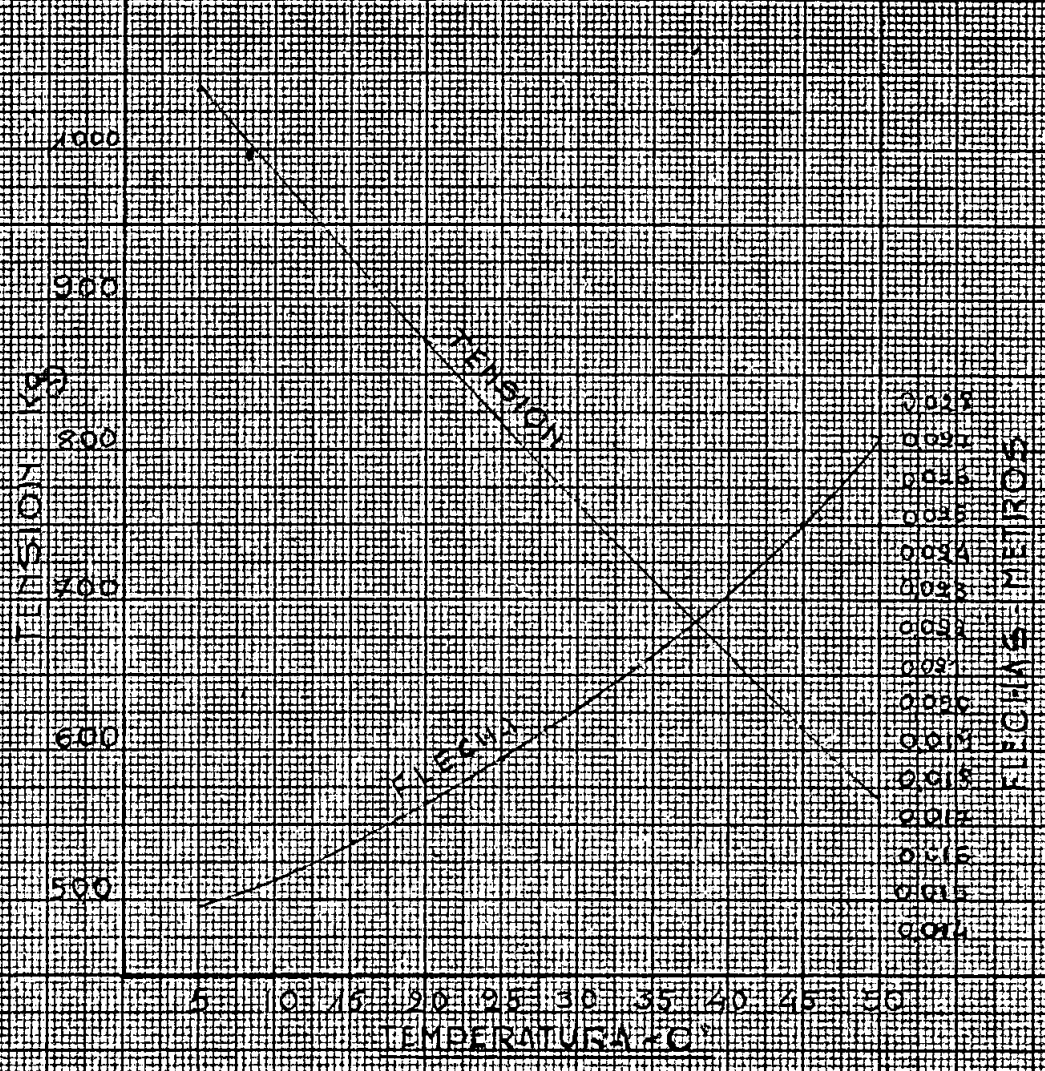


GRÁFICO PARA ENTENDIDO DE LA LINEA
PARA EL VANTO XIV DE 16 M. HORIZONTALES

Cambio de Condiciones para el Vano V.- Este vano tiene una longitud de 130 m. el cálculo lo hemos hecho en la forma consabida y el resumen ponemos a continuación.

Resumen de Cálculos

Temperatura Grados C.	A	B	Tensión Kg.	Flechas m.
5	-920	$17,63 \times 10^7$	940	1,083
10	-861	"	884	1,152
15	-802	"	828	1,229
20	-743	"	773	1,318
25	-684	"	718	1,418
30	-625	"	665	1,531
35	-566	"	613	1,661
40	-507	"	563	1,803
45	-448	"	510	1,996
50	-388	"	468	2,175

Con estos datos elaboramos las curvas de tensión y flechas de la página siguiente.

CURVA - 5

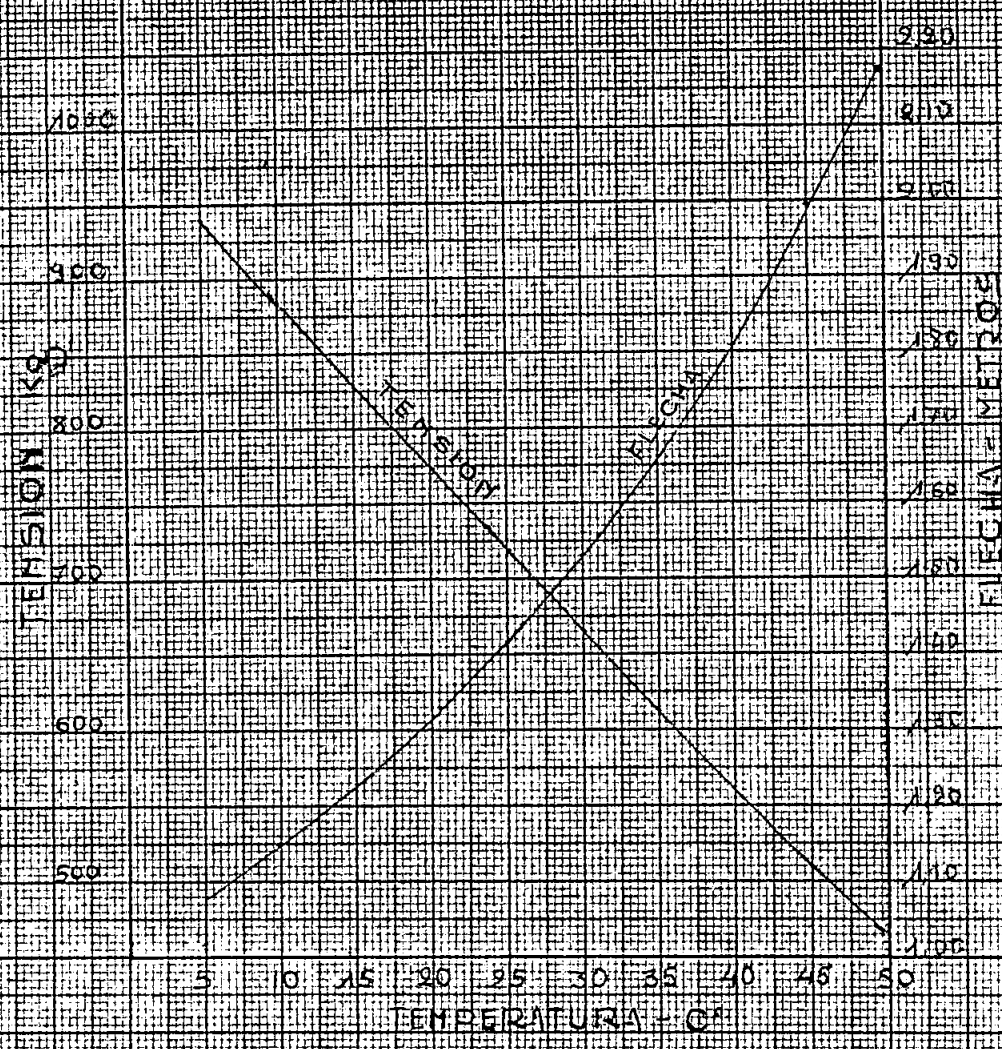


GRAFICO PARA EL TENDIDO DE LA WIRE PARA EL VANO V DE 130 METROS

Cambio de Condiciones para el Vano XV. - Tiene una longitud inclinada de 222 m. con una proyección horizontal de 208 m..El cálculo hemos hecho con el procedimiento común conocido.

Resumen de Cálculos

Temperatura Grados C.	A	B	Tensión Kg.	Flecha m.
5	-767	$45,7 \times 10^7$	830	3,133
10	-708	"	783	3,328
15	-649	"	734	3,551
20	-590	"	687	3,794
25	-531	"	642	4,06
30	-472	"	599	4,351
35	-413	"	559	4,662
40	-354	"	522	4,992
45	-295	"	487	5,352
50	-235	"	455	5,72

Con estos datos dibujamos las curvas de tensión y flechas que se encuentran en la página siguiente:

CURVA - 6

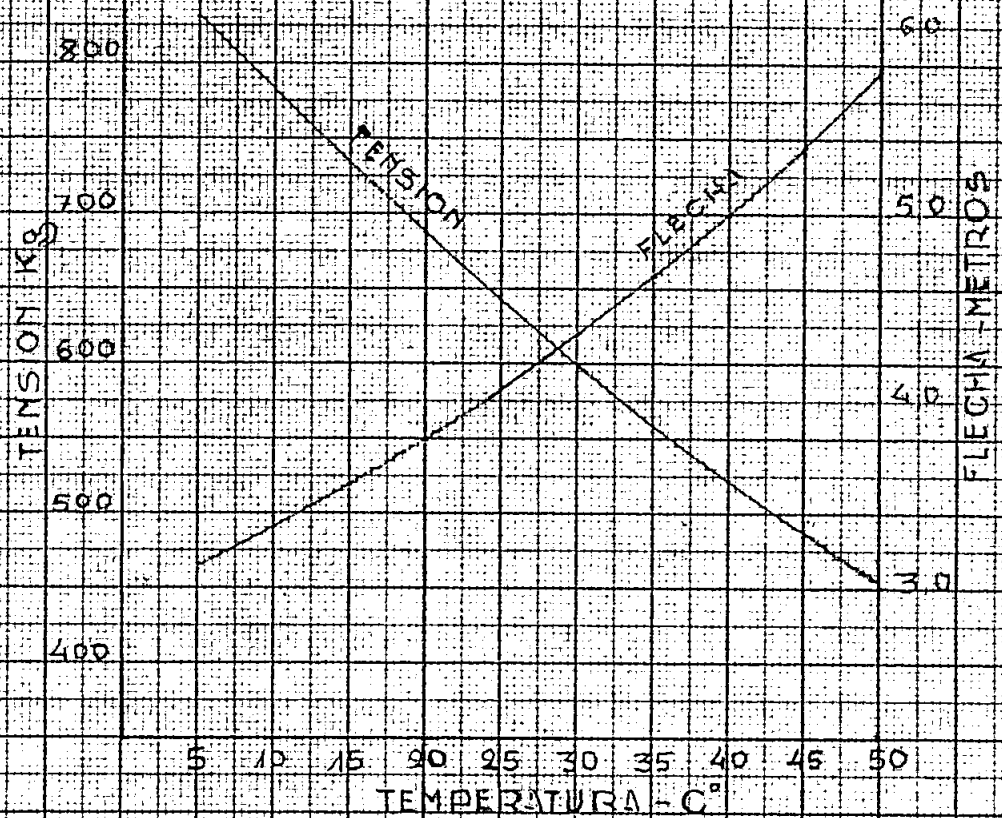


GRAFICO PARA EL TENDIDO DE LA LINEA
PARA EL VADO XV DE 208 M. HORT. ES.

Cambio de Condiciones para el Vano XVII.- Este es un vano de 184 m. inclinados con una proyección horizontal de 177 m.

Resumen de Cálculos

<u>Temperatura Grados C.</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>Tensión Kg.</u>	<u>Flecha m.</u>
5	-836	$32,68 \times 10^7$	878	2,149
10	-777	"	825	2,287
15	-718	"	773	2,441
20	-659	"	722	2,613
25	-600	"	672	2,805
30	-541	"	625	3,019
35	-482	"	580	3,256
40	-423	"	536	3,520
45	-364	"	498	3,792
50	-304	"	453	4,165

Con estos datos dibujamos las curvas de tensión y flechas que se ven en la página siguiente.

Curva 2

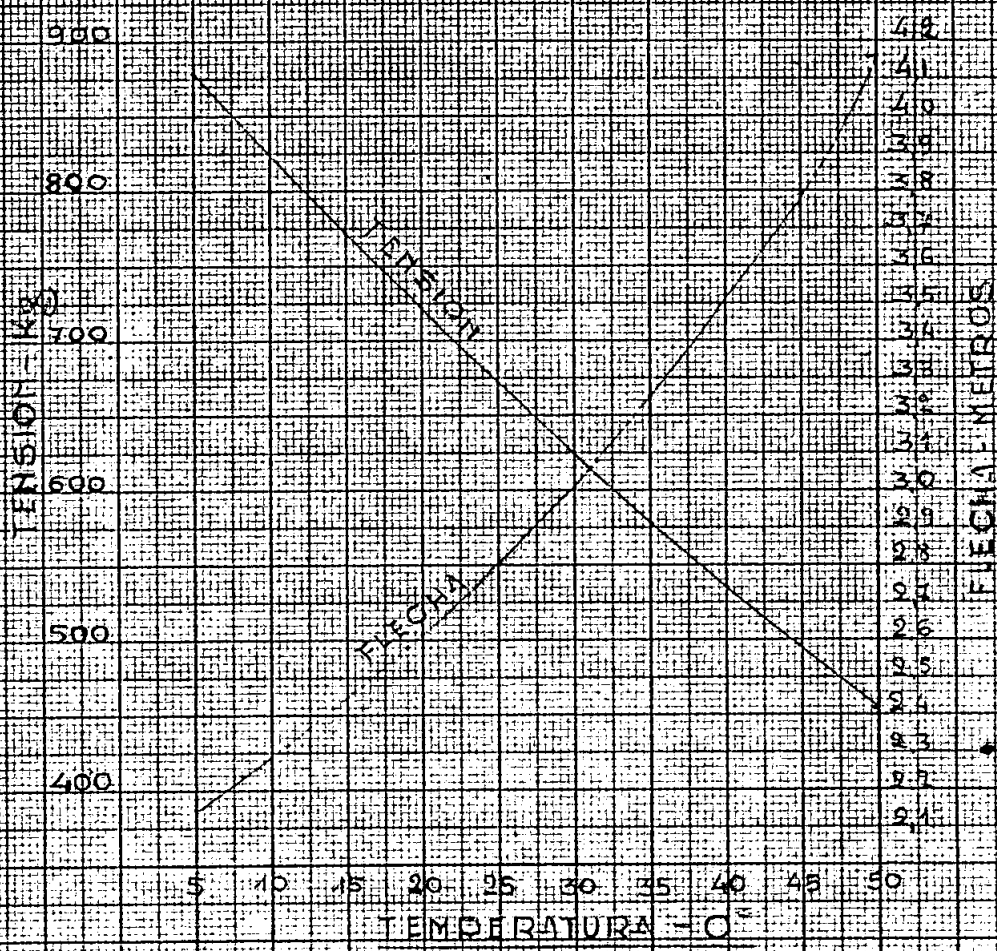


GRAFICO PARA EL TENDIDO DE LA LINEA PARA EL VANO XVI DE 137 M. HORIZTILES.

M I S C E L A N E A S

En el presente capítulo trataremos de todas las partes pequeñas e insignificantes al parecer, que toman parte en el tendido de la línea..

a) Grampa de retención o empalmadura envolvente de tensión.-

Para sujetar el cable con el aislador de retención se usan estas empalmaduras, cuyo escogitamiento se hace de acuerdo a la tensión y al calibre del cable y teniendo en cuenta la forma de sujeción entre el aislador y la empalmadura: La función principal de esta pieza además de la antes mencionada, es impedir que el cable se fatigue y destruya en el sitio mismo de sujeción, por las vibraciones que se producen debidas al viento. Esto se consigue dando al alojamiento del conductor una curvatura de un ángulo bastante amplio.

Nos hemos decidido por la empalmadura de tensión de hierro maleable, galvanizado en baño caliente, # JD-5035 cuyo dibujo está en el plano # 7 y cuyas características principales son:

Tracción máxima permisible = 14.000 lbs. = 6.360 Kg.

Peso de 100 unidades = 400 lbs. = 183 Kg.

Dimensiones (están dadas en el dibujo)

La tracción máxima permisible en la grampa debe ser cuando menos el doble de la carga de rotura del conductor; para el cable # 1/0 AWG la carga de rotura es 2155 Kg. que comparados con los 6.360 Kg. es casi una tercera parte.

b) Horquillas de sujeción del aislador o fijadores de suspensión.-

La unión entre la cruceta y el aislador hacemos con horquillas o fijadores de suspensión: las dimensiones y el dibujo de esta pieza tenemos en el plano # 8, que pertenece al # # JD-1461 del catálogo de la "Line Material"

Tracción máxima permisible \pm R6.000 lbs. = 7.270 Kg.
Peso por 100 unidades = 146 lbs. = 66,4 Kg.

Comparando las tracciones de esta pieza con el conductor tenemos una relación mayor de tres.

c) Pernos rectos de acero forjado.- Los aisladores de soporte se unen a la cruceta con pernos rectos cuyas dimensiones están dadas en el plano # 5 y cuyo uso en la práctica ha sido ya comprobado.

d) Alambre de amarre.- Para asegurar el conductor de cobre # 1/0 AWG al aislador, usamos alambre de cobre # 10 AWG; aproximadamente dos metros para cada aislador.

e) Abrazaderas para las crucetas en los postes ordinarios de alineación.-

Existen varias formas de sujeción de las crucetas a estos postes; una de las más seguras es, usando abrazaderas, cuyas dimensiones están dadas de acuerdo al diámetro del poste y cuyo dibujo y dimensiones están en el plano # 9. Estas piezas las podemos construir de acuerdo a las necesidades.

f) Pernos de sujeción de las crucetas en postes especiales.-

Para unir solidamente las crucetas formadas por dos hierros U a los postes, usamos pernos largos de 7" de largo por una pulgada de diámetro, fabricados a propósito; hemos usado este diámetro porque así estamos seguros que el esfuerzo de cortadura resistirán con un factor de seguridad amplio.

g) Tensoros y aditamentos.- Usamos cable de alta resistencia mecánica de 5/8" de diámetro de 19 hilos, sujeto al poste a una altura de 6,35 m. del suelo y anclado en un bloque de hormigón, que dista 5 m. de la base del poste, dando una longitud libre de 8,68 m. que con amarres llegará a 9 m.

Es necesario aislar el tensor del poste, para lo cual usamos aislador nuez estandar (plano # 13) de alta resistencia mecánica a la tracción, con sus correspondientes piezas de sujeción.

h) Abrazaderas de sujeción del tensor.- Para amarrar el tensor al poste usamos abrazaderas especiales cuyo dibujo está en el plano # 11.

SUBESTACION DE DISTRIBUCION

Generalidades.- Sin ser motivo de tesis y para completar lo que en capítulos anteriores se habló y trató sobre localización y características de las subestación, hoy hablaremos ligeramente de la forma como entregan la energía las diferentes estaciones generadoras a la subestación.

Entrada de la Península.- La energía que viene de la Península a 6.900 V, para entrar a las barras colectoras, tiene que reducirse a 4.160 V. y en conexión triángulo será 2.400 V. Usaremos tres transformadores monofásicos, ^{de 1375 KVA} que con carga nominal continua funcionarán a 2.400 m. sobre el nivel del mar con elevación de 40°C. de temperatura sobre la del medio ambiente, para ser instalados a la intemperie, con enfriamiento normal de aceite; visible pero protegido; tanque de expansión, respiradero con deshidratador; termómetro visible pero protegido, alarma de luz y pito en caso de elevación excesiva de temperatura, llave para vaciado de aceite y extracción de muestras, garruchas para fácil movilización. El aceite vendrá en recipiente aparte con el objeto de disminuir el peso y facilitar el transporte.

Entrada de Miraflores.- Tenemos que recordar, que Miraflores tiene su subestación propia y en caso de falla (del ~~del~~ ~~del~~) con un circuito de enlace alimentamos a la subestación # 1 con 4.160 V sin necesidad de transformadores.

Entrada del Diesel.- Tenemos que hablar antes ligeramente sobre la estación generadora Diesel.

La urgente necesidad de energía eléctrica se pensó solucionar trayendo motores Diesel de una capaci-

dad total de 3.000 KW, que satisfagan las exigencias actuales. La Junta de Reconstrucción tomó a su cargo esta instalación y luego de estudios realizados por los Ings. de la "Rader and Associates" han resuelto instalar 1.500 KW en la primera etapa, previendo en las construcciones y otras instalaciones un aumento a 3.000 KW en un futuro no muy lejano, pues se pensó, que el proyecto "La Península" estaría funcionando con toda su capacidad, en corto plazo, pero ésto no sucederá debido a la penuria económica del I Municipio. Creemos la Junta de Reconstrucción será la llamada a solucionar esta deficiencia, instalando los nuevos grupos de 1.500 KW restantes.

En la primera etapa se instalarán 1.500 KW con dos motores Diesel para accionar a dos generadores idénticos en todos sus aspectos y serán seleccionados para operar con igual número de revoluciones e idénticos caballos de fuerza.

Los motores serán: De inyección sólida, de trabajo pesado, tipo fijo, todo Diesel, 4 cilindros y cuyo diseño haya sido comprobado en servicio comercial durante por lo menos dos años.

Los motores se ajustarán a los requisitos que se establecen en las "Prácticas estandar para máquinas Diesel estacionarias de baja y media velocidad" de los Estados Unidos. La potencia en freno de las máquinas será suficiente para operar el generador en forma continua a 100 % de su capacidad nominal; además las máquinas serán capaces de rendir un 10 % en exceso de la carga total indicada en la placa a temperaturas de operación seguras, durante dos horas continuas. Las condiciones de funcionamiento se presumirán que sean de 32°C. (90°F) a 2.400 m. sobre el nivel del mar; presión barométrica de 55,9 mm. de mercurio; agua cruda para enfriamiento

a diez y seis grados centígrados. La velocidad de régimen no excederá de 600 r.p.m.. La máxima presión promedio efectiva al freno no debe exceder de $5,8 \text{ Kg/cm}^2$ para motores - de toma normal de aire; $8,4 \text{ Kg/cm}^2$ para máquinas alimentadas con turbinas; y $11,2 \text{ Kg./cm}^2$ para máquinas alimentadas con turbinas de enfriamiento.

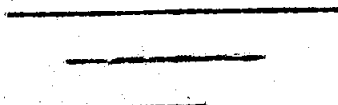
La velocidad del pistón no debe exceder de 8 M/sg.. Estos motores estarán acoplados a generadores de 937 KVA.

Será el tipo conectado en delta, clasificado para 2.400 V. de tres fases de 60 ciclos, calculados para rendir su potencia máxima a 2.400 m. sobre el nivel del mar. Será de - doble cojinete con armadura clasificada para un aumento de 50°C por termómetro y con campo clasificado para un aumento de 60°C por resistencia.

El campo del generador será bobinado para una corriente directa de 125 V.; el rotor tendrá el mismo número de revoluciones que el motor.

La excitación se hará con corriente directa cuyos generadores estarán movidos o por bandas o correas en V, o acopladas directamente al eje del alternador.

La energía producida por la estación generadora Diesel estará controlada por un tablero y se conectará a las barras colectoras de la Subestación.



TEMARIO

"PROYECTO DE LINEA DE TRANSMISION DE LA PLANTA HIDROELECTRICA "LA PENINSULA" A LA CIUDAD DE AMBATO.-ESTUDIO PRELIMINAR DE LA SUBESTACION DE DISTRIBUCION"

- I.-La demanda en la ciudad de Ambato.
 - a.-Cálculo de la demanda.Varios procedimientos.
 - b.-Recopilación de varios estudios.
 - c.-Demanda actual.
- II.-Subestación de Distribución:
 - a.-Estudio de la capacidad.
 - b.-Elección del lugar.
- III.-Capacidad económica de la ciudad.
- IV.-Tensión de distribución:
 - a.-Tensión existente.
 - b.-Tensión escogida entre varias posibilidades.
- V.-LINEA DE TRANSMISION:
 - a.-Plano topográfico
 - b.-Perfil longitudinal
- VI.-Diseños y cálculos eléctricos:
 - a.-Consideraciones generales para la selección del voltaje.
 - b.-Consideraciones generales para la selección del conductor.
 - c.-Cálculo económico para la selección del voltaje y conductor adecuados.
 - d.-Distancia entre conductores.
 - e.-Caída de tensión.
 - f.-Pérdidas de potencia.
 - g.-Aislamiento de la línea.
 - h.-Sistema de protección de la línea.

VII.-DISEÑO MECANICO:

- a.-Esfuerzos en los conductores.
- b.-Estudio del cambio de condiciones y plantilla parabólica.
- c.-Selección de los postes y cálculo mecánico.
- d.-Selección del vano adecuado.
- e.-Cálculo mecánico y diseño de soportes especiales.
- f.-Cambio de condiciones, gráficos de tensión y flechas para el tendido de los conductores en los diferentes vanos utilizados.
- g.-Misceláneas.

VIII.-SUBESTACION DE DISTRIBUCION:

- a.-Entrada de la línea de la Península. Transformadores de bajada.
 - b.-Entrada de Miraflores.
 - c.-Entrada de la Estación Diesel. Estación generadora.
-

INDICE DE PLANOS

- 1.-Aislador Rígido de porcelana tipo PIN.
- 2.-Aislador de suspensión de porcelana.
- 3.-Aislador de soporte # JD-13.
- 4.-Aislador de suspensión # JD-2680
- 5.-Esquema de poste tubular de hierro
- 6.-Perno de acero forjado # 30026
- 7.-Empalmadura envolvente o grampa de tensión
JD-5035.
- 8.-Fijadores de suspensión # JD-1461
- 9.-Abrazadera de hierro galvanizada
- 10.-Anillo de unión entre el poste y tensor
211693Y10.
- 11.-Anillo de unión entre el poste y los aisladores de tensión # 211692Y11
- 12.-Sujeta tensor.
- 13.-Aislador de tensión o nuez # JD-2566.
- 14.-Plano de la ciudad de Ambato.
- 15.-Plano topográfico de la faja de la línea de transmisión.
- 16.-perfil longitudinal.
- 17.-Plantilla parabólica
- 18.-Poste de hierro de alineación.

19.- Poste de hierro, terminal de línea.

20.- Poste de hierro especial para cruzá del río.

B I B L I O G R A F I A

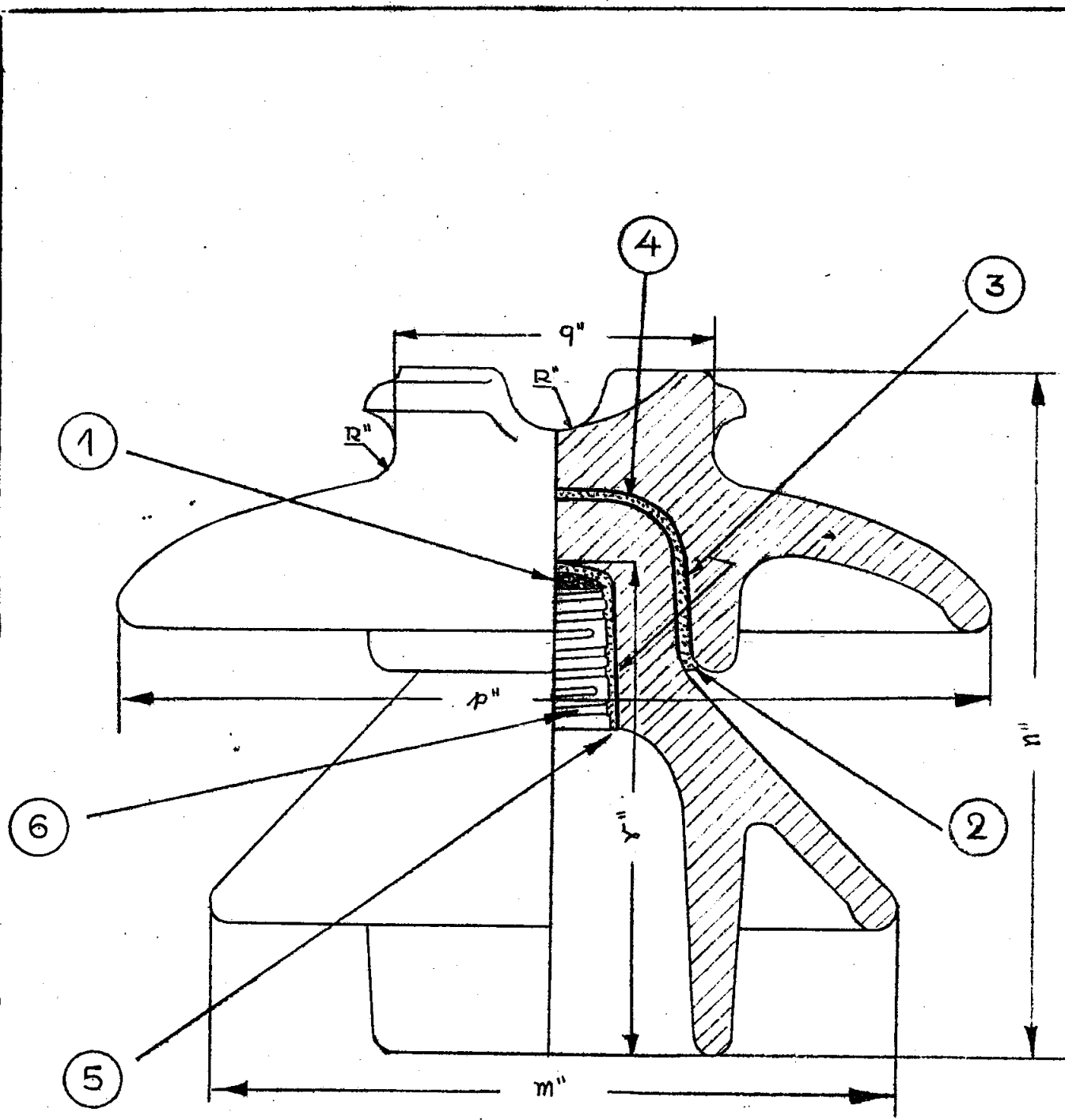
- 1.- Manual Standard del Ingeniero Electricista - Tomo I y II..... A.E. Knowlton
- 2.- Redes Eléctricas..... Zoppetti
- 3.- Transmission and Distribution Westinghouse
- 4.- Líneas aéreas de transporte de energía eléctrica..... D.M. Checa
- 5.- Manual del A.E.G.
- 6.- Escuela del Técnico Electricista Tomo X..... Ing. Paul Hering
- 7.- poligrafiados de Electrotécnia..... Ing. Vicente Jácome
- 8.- Poligrafiados de Resistencia de materiales..... " Walter Seligman
- 9.- Catálogos de la "Line Material"...

oooooooooooooooooooo

oooooooooo

ooo

o



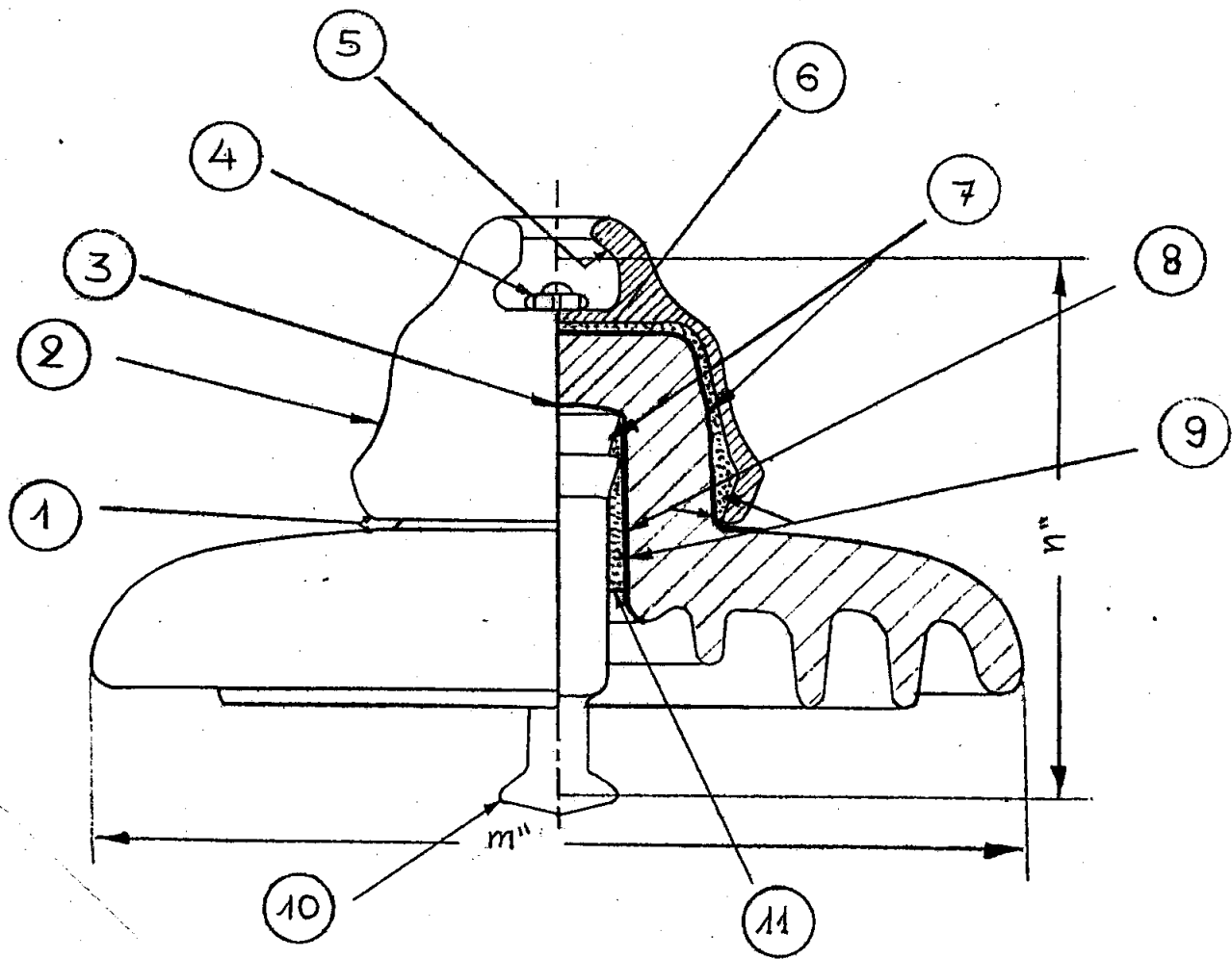
AISLADOR RIGIDO DE PORCELANA TIPO DIN

Plano 1

A I S L A D O R E S R I G I D O S T I P O P I N

DETALLES DE CONSTRUCCION

- 1.- ARANDELA DE CORCHO, QUE PROVEE UN COLCHON DE UNION ENTRE LA PARTE INFERIOR DEL MANGUITO DE ZINC Y EL EXTREMO DEL PIN.
 - 2.- SELLO DE CAUCHO IMPERMEABLE.
 - 3.- SUPERFICIA RUGOSA CUBIERTA CON UNA PLACA DE COMPUESTO PLASTICO.
 - 4.- COMPUESTO PLASTICO APLICADO A LA CABEZA DE LA PORCELANA EN UN PROCESO DE INMERSION CALIENTE, SIRVE DE CAPA DE ABSORCION DE ESFUERZOS ENTRE LOS DISCOS DE PORCELANA.
 - 5.- CEMENTO DE UNION ENTRE LOS DISCOS DE PORCELANA Y ENTRE EL MANGUITO DE ZINC CON LA PORCELANA.
 - 6.- MANGO DE ZINC CON ROSCA.
-
-
-



AISLADOR DE SUSPENSION TIPO PIN

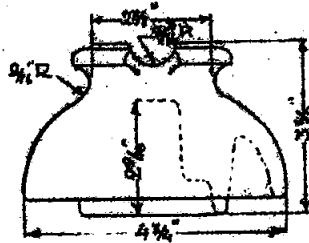
A I S L A D O R E S D E T E N S I O N T I P O P I N

DETALLES DE CONSTRUCCION

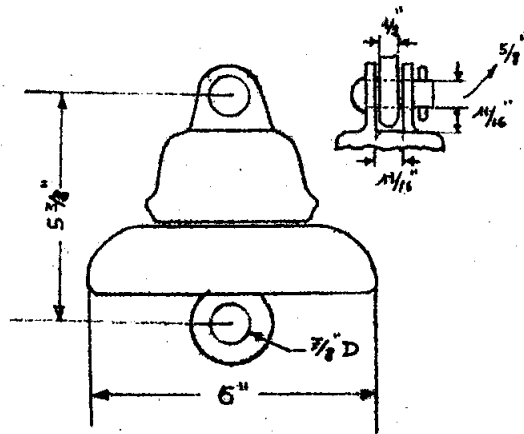
- 1.- ESPACIO ADECUADO LIBRE, ENTRE EL FILO DE LA CARERUZA Y LA PARTE SUPERIOR DEL DISCO DE PORCELANA.
- 2.- CAPERUZA DE HIERRO MALLEABLE DE ALTA CALIDAD.
- 3.- ARANDELA DE FIBRA TRATADA, PROVEE UN COLCHON DE AMORTIGUAMIENTO ENTRE EL TOPE DEL PIN Y LA PORCELANA.
- 4.- LLAVE CHAVETA CON RESORTE PIN.
- 5.- ALBEOLO LIZO DE DIMENSIONES STANDARD Y CUIDADOSAMENTE CONSTRUIDO.
- 6.- COMPUESTO ELASTICO APLICADO A LA CABEZA DE LA PORCELANA POR PROCESO DE INMERSION EN CALIENTE.
- 7.- COMPUESTO ELASTICO APLICADO EN LA PARTE INTERIOR DE LA CAPERUZA Y EN LA EXTERIOR DEL SOPORTE.
- 8.- SUPERFICIES ASPERAS.
- 9.- CEMENTO DE JUNTURA ENTRE EL HERRAJE Y LA PORCELANA.
- 10.- SOPORTE DE ACERO CUIDADOSAMENTE CALIBRADO PARA DIMENSIONES STANDARD.
- 11.- COMPUESTO DE SELLAMIENTO.

AISLADOR RIGIDO TIPO PIN

JD-13



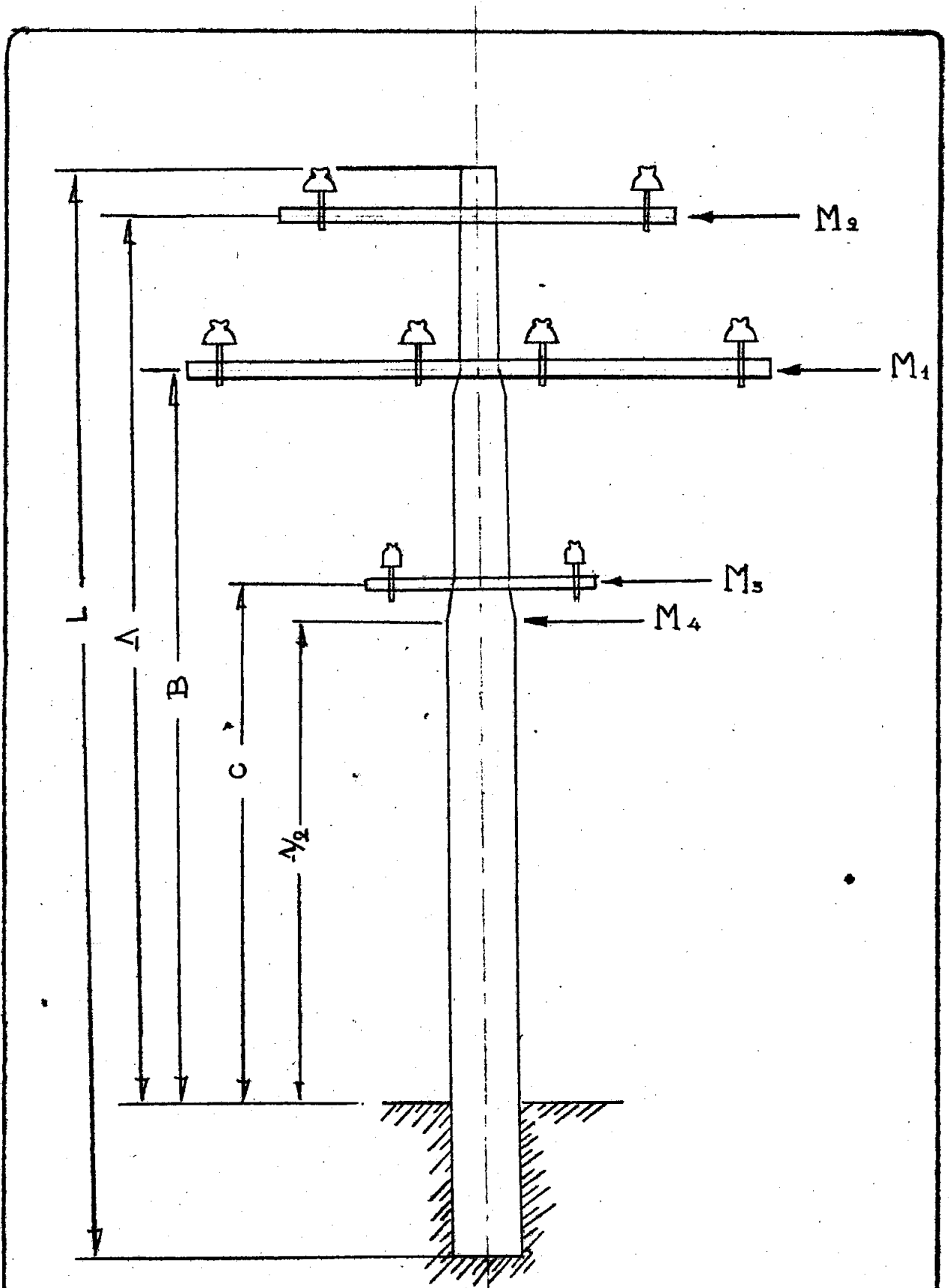
Plano 3.



Plano 4.

JD-2680.

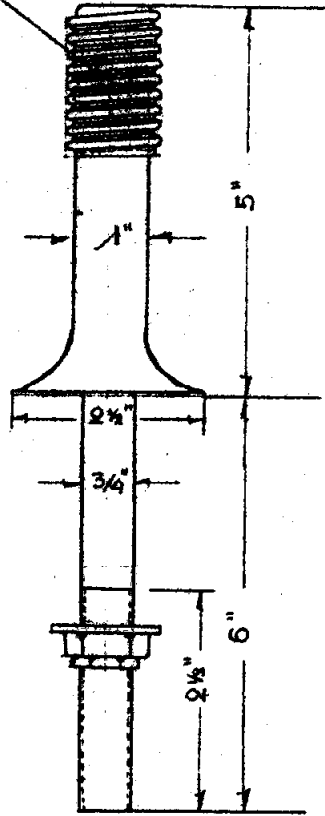
AISLADOR DE SUSPENSION TIPO STANDARD



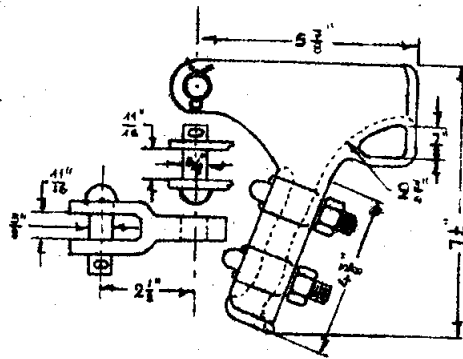
ESQUEMA DE POSTE TUBULAR DE HIERRO

Plano 5

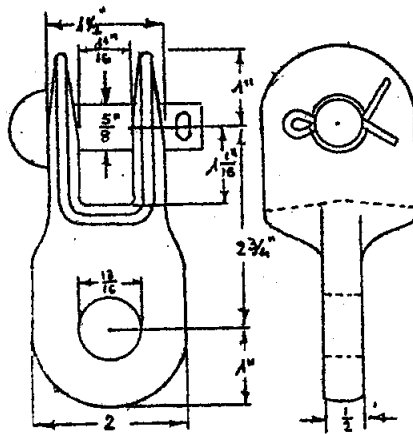
DIMENSIONES
ESTANDAR.



30026
PERNOS (PINS)
DE ACERO FORTADO
Plano 6

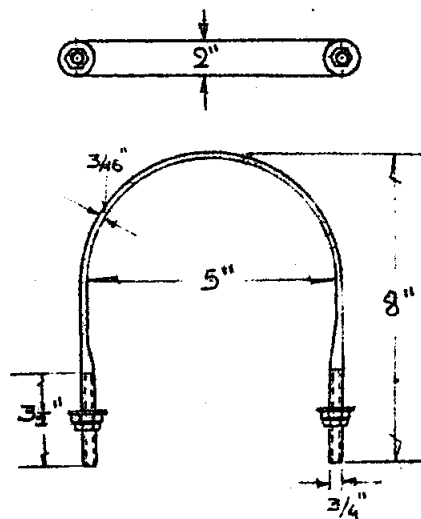


JD- 5035
EMPALMADURA ENVOLVENTE DE
TENSION - HIERRO MALEABLE
Plano 7



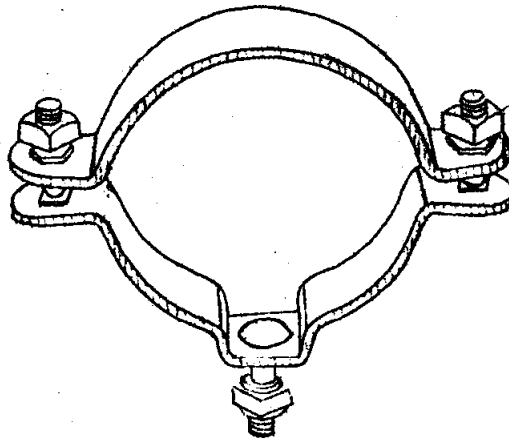
FIJADORES DE SUSPENSION
CON ANGULO RECTO DE GIRO
JD-1461

Plano 8



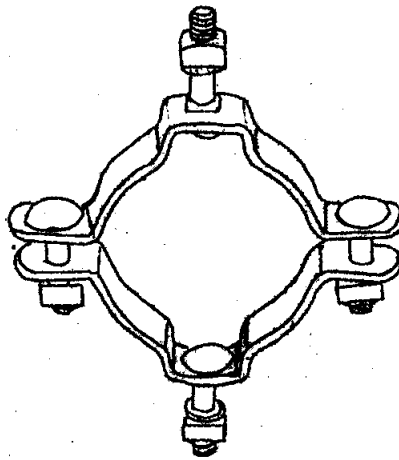
ABRAZADERA DE FE. GALVANIZADO

Plano - 9



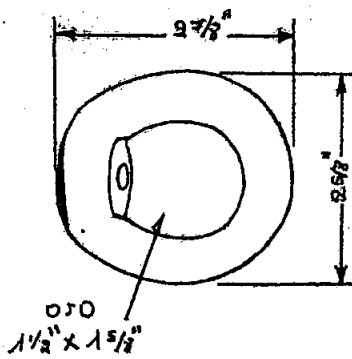
DIAMETRO INTERIOR
5"

ANILLO DE UNION ENTRE EL TUBO Y TUBER. # 21169Y10
Plano 10



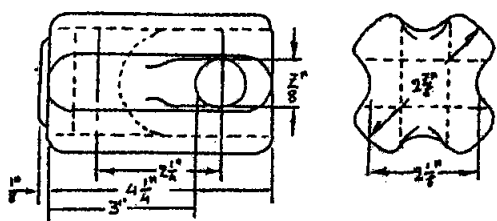
DIAMETRO INTERIOR
5"

ANILLO DE UNION ENTRE EL POSTE Y LOS AJUSTADORES
DE TENSION. # 21169Y11
Plano 11



SUJETA TENSOR O NUECOS

Plano # 12



ALABADOR DE TENSION O NUEZ # JD-2566.

Plano 13