

LINEA DE TRANSMISION

"MILAGRO-RECINTO"

TESIS PREVIA PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO

EN LA ESPECIALIZACION DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA

" ESCUELA POLITECNICA NACIONAL "

EDGAR ARELLANO C.

Julio, 1.957

Tesis dirigida por
Dr. E. Gopman
Dr. Ernesto Gopman

Consideraciones generales.— Es sabido que las líneas de transporte de energía tienen como objeto llevar la corriente eléctrica de los sitios de producción a las fuentes de consumo, especialmente cuando se trata de centrales Hidroeléctricas o instalaciones que utilizan gases naturales u otros combustibles, cuando su explotación es más ventajosa en los propios centros de producción. Otras veces sirven como enlace entre Centrales Hidroeléctricas o térmicas y en ese caso tienen como finalidad realizar intercambios de energía cuando en una de las instalaciones se suspende el servicio por cualquier circunstancia imprevista y se requiere un suministro constante de luz y fuerza a los consumidores.

Para el diseño de la línea de transmisión se debe tener en cuenta el aspecto técnico y económico, de tal manera que se obtenga un equilibrio entre estos conceptos que nos lleve a la solución más ventajosa.

El aspecto técnico supervisado por las normas internacionales y la producción standard de los elementos eléctricos, da lugar a que se produzcan conjuntos de máximo rendimiento.

El aspecto económico ligado íntimamente con el anterior, determina que el conjunto tenga las características necesarias para que su explotación sea la más ventajosa, tanto para el consumidor como para la Empresa que realiza la instalación.

De lo anterior se deduce que: "El aspecto técnico y económico deben considerarse simultáneamente en todos los puntos que trata el proyecto".

Los capítulos a tratarse en el desarrollo de ésta tesis son:

- 1* Diseño eléctrico
- 2* Diseño mecánico
- 3* Diseño estructural
- 4* Presupuesto y conclusión

DISEÑO ELECTRICO

Como diseño eléctrico se entenderá el cálculo de la parte conductora de la línea, su comportamiento para las condiciones que se prevé que va a funcionar durante el tiempo de servicio, de tal manera que se obtenga un conjunto de máximo rendimiento.

Dentro de éste capítulo el primer punto que corresponde tratar es: Selección de la Potencia.— Del valor de la Potencia depende todo el diseño posterior y para su determinación habrá que tener en cuenta el crecimiento de la carga en las poblaciones servidas y la duración del equipo, además en este caso particular se tendrá en cuenta el siguiente hecho:

De acuerdo a un proyecto de la Empresa Eléctrica de Milagro, la línea de transmisión Milagro-Recinto durante algún tiempo funcionaría como línea de suministro rural; pero luego ampliándola hasta Bucay serviría para traer energía desde ésa población a Milagro y las parroquias intermedias, utilizando para ello las reservas hidroeléctricas disponibles en ésa zona.

A continuación vamos a realizar un análisis de lo expuesto anteriormente, con miras a llegar a una solución en favor de una de las posibilidades que indicamos enseguida; Si es más favorable diseñar la línea de transmisión Milagro-Recinto simplemente como de suministro rural o diseñarla como parte de la que podría ser línea Bucay-Milagro.

Vamos a tratar primero la segunda posibilidad o sea el estudio de la línea Milagro-Recinto como parte de la futura línea Bucay-Milagro. Como ya se indicó ésta línea de alta tensión se instalaría como consecuencia de hacer un aprovechamiento hidroeléctrico en Bucay y por lo tanto suministraría energía a la mayor parte de las poblaciones del cantón. Por lo tanto se necesita conocer la potencia de la Instalación Hidroeléctrica y la potencia

a transmitirse por la línea.

La potencia de la Instalación Hidráulica vamos a deducirla de acuerdo a la potencia disponible en las poblaciones a servirse y el crecimiento de la carga. Tenemos así, que actualmente se disponen 2,674 KW, distribuidos en la siguiente forma:

Población	Empresa	# grupos	Potencia	Carga
Milagro	Municipal	3	792 KW	440 KW
"	Privada	4	1.488 "	600 "
"	"	1	150 "	80 "
Naranjito	Municipal	1	62 "	45 "
"	Privada	2	76 "	30 "
Venezia	"	1	20 "	20 "
Conducta	"	1	5 "	5 "
Racinto	"	2	15 "	15 "
Bucay	"	2	86 "	45 "
TOTAL			2,674 KW	1,280 KW

El crecimiento de la carga en éstas poblaciones tiene un ritmo acelerado y lo podemos valorar en un 20% anual durante los próximos 5 años (como ha sucedido en Milagro durante los dos últimos años que de una carga de 300 KW pasó a 420 KW) y luego un crecimiento normal del 14%.

De lo anterior se deduce que en un plazo de 5 años las instalaciones funcionarían a plena carga y para ese entonces debería entrar en funcionamiento la Planta Hidroeléctrica.

Para determinar la potencia de dicha instalación vamos a servirnos de tres diagramas que corresponden:

Diagrama # 1 : Curva de carga de Milagro en % de la carga máxima. Para las posteriores deducciones vamos a suponer que dicha curva se mantiene constante durante todo el tiempo al que limitamos el estudio. La otra curva corresponde a la carga media diaria que vale 0,424 de la carga máxima.

Diagrama # 2 : Vemos en ^{el} cinco curvas. La curva # 1 corresponde al crecimiento de la carga de acuerdo a los porcentajes indicados. La curva # 2 nos indica la ~~variación~~ de la potencia de la Central Hidroeléctrica si ésta estuviera suministrando el 42% de la carga máxima durante todo el tiempo (Se ha tomado el valor de 42% por cuanto en ese caso la instalación funcionaría durante las 24 horas casi a plena carga, los picos serían cubiertos por los grupos Diesel). Debido a que la potencia de pico que tienen que cubrir los grupos Diesel va aumentando cada año y llega un momento en que la potencia de éstos no sería suficiente para cubrir dicho pico, además por no ser conveniente que todos los grupos funcionen durante un tiempo pequeño trazamos la curva # 3 que nos indica otra vez la variación de la potencia de la Central Hidroeléctrica para que la potencia de pico a cubrir con los grupos Diesel se mantenga constante. Por cuanto los incrementos de potencia indicados solo los podemos obtener teóricamente, tenemos que hacer instalaciones escalonadas, cuyos valores se obtienen de la curva # 4 . En esa curva vemos que en el plazo fijado se instalarían cuatro grupos de 1.500 KW cada uno. Los dos primeros grupos se instalarían después de cinco años y los otros dos después de 10 y 15 años respectivamente. Hay que anotar que en este caso el tercer grupo sería de reserva. El funcionamiento de los grupos se indica en la curva # 5 y en palabras sería así: Los dos primeros grupos entrarían en funcionamiento enseguida de instalados, al cabo de cinco años se instalaría el primer grupo de reserva, por lo tanto solo seguirían

→ *Cuál es la reserva en los años anteriores?*

funcionando dos grupos hidroeléctricos y el último grupo entraría a funcionar luego de instalarse, con lo que se tendría 3 grupos funcionando y uno de reserva.

Diagrama # 5 : En el vemos dos curvas; la primera corresponde al crecimiento del consumo y que ha sido calculada a partir de la fórmula:

$$KWh = 0,424 \cdot 8.760 \cdot KW_{\text{máx}}$$

En la fórmula 0,424 es el factor de carga, que como ya indicamos suponemos que se mantiene constante. El valor de los $KW_{\text{máx}}$ para cada año se encuentran en la curva # 1, del segundo diagrama.

La otra curva nos indica los KWh que debe generar la instalación Hidroeléctrica para satisfacer las condiciones indicadas al tratar del diagrama anterior. La diferencia de ordenadas entre las dos curvas nos indican los KWh generados por los grupos Diesel.

En el proceso de construcción de éstos diagramas hemos obtenido que la Potencia total de la Instalación Hidroeléctrica en un plazo de 15 años es de 6.000 KW. divididos en cuatro grupos de 1.500 KW. cada uno.

Siguiendo el mismo proceso podemos determinar la potencia de la línea de transmisión, pero considerando que casi toda la energía sería utilizada en Milagro y las poblaciones que atraviesa dicha línea, esta debería ser calculada para poder transmitir toda la potencia de la Instalación Hidroeléctrica o sea 4.500 KW. valor en el que hemos descontado la potencia de la unidad de reserva.

Una obra de éste tipo tiene un costo elevado, así calculando aproximadamente a \$ 5.000,00 el costo del KW instalado y a \$ 100.000,00 el Km de línea de alta tensión, el costo total de la obra sería:

Instalación Hidroeléctrica	6.000 KW	\$ 30.000.000,00
----------------------------	----------	------------------

Línea de transmisión 50 Km.	\$ 5.000.000,00
COSTO TOTAL ...	\$ 35.000.000,00

Aunque el valor encontrado nos sirve solo de referencia, vemos que es una cifra respetable y para la realización de una obra de este tipo sería necesario una financiación prolijamente estudiada.

Para poder hacer la comparación entre las dos posibilidades propuestas vamos a realizar a continuación el estudio de la línea Milagro-Recinto en un periodo de 15 años.

Esta línea va a suministrar energía a las poblaciones de Venecia, Condueta, Naranjito y Recinto; cuya potencia instalada es en números redondos de 180 KW. con una carga de 120 KW.

Como ya indicamos, el crecimiento de la carga es del 20% anual durante los primeros 5 años y solo del 14% los siguientes; por lo tanto al cabo de 5 años se ha duplicado la carga y luego a los 15 años llega a 400 KW.

La potencia más conveniente de la instalación vamos a discernirla entre 240 y 400 KW.

El primer valor supone un menor costo de la línea, pero en cambio como ya indicamos arriba, dicho valor quedaría copado al cabo de 5 años y luego para satisfacer la demanda habría que aumentar la potencia de la línea, hecho que a su vez se traduce en un aumento de los gastos de operación.

Para 400 KW la línea tendría un mayor costo (aumento que debido a la pequeña potencia a transmitirse depende casi exclusivamente de la diferencia de costo de los transformadores), pero en cambio se garantiza un funcionamiento continuo dentro de los límites admisibles. Además se aprovecha al máximo la duración de los transformadores.

De los conceptos anteriores nos parece más conveniente adoptar 400 KW como la potencia de la línea.

Para finalizar vamos a realizar un análisis de las ventajas y desven-

tajas de la primera posibilidad estudiada o sea de la línea Milagro-Recinto como parte de la Bucay-Milagro, considerando que la otra posibilidad reúne de hecho todos los requisitos.

Ventajas: Durante el tiempo de servicio como línea de suministro rural las pérdidas de energía serían mínimas debido al sobredimensionamiento de los conductores. Por ser de primera categoría, la línea sería sólida y segura.

Desventajas: El costo de la instalación sería elevado produciendo un aumento de los gastos anuales debidos al costo del capital. Siendo la instalación Hidroeléctrica todavía un proyecto hay la inseguridad de su realización, ya sea por que su elevado costo exige una financiación a base de capitales extranjeros o por que no se han realizado estudios concretos sobre éste asunto.

Las razones anotadas nos llevan a la conclusión de que por el momento es mejor construir la línea de transmisión Milagro-Recinto como línea de suministro rural con una potencia de 400 KW. Por lo tanto de aquí en adelante nos limitaremos a estudiar las características de dicha línea para esas condiciones.

En los puntos siguientes de éste capítulo vamos a realizar la selección de los conductores de acuerdo al funcionamiento eléctrico y costo.

Selección del Voltaje.— Para calcular el voltaje económico de una instalación existen fórmulas originarias de Estados Unidos y Europa, son empíricas y por lo tanto se derivan del estudio del costo y de las características de un sinnúmero de líneas existentes en esos países en los que predomina la transmisión de grandes potencias a muy alta tensión y gran distancia.

Si consideramos que la potencia, distancia y la importancia de nuestra línea son muy diferentes a las estudiadas para la obtención de las fórmulas, se deduce que las respuestas que se deriven de dichas fórmulas van a estar alejadas de nuestra realidad, por otro lado la existencia de algunas fórmulas de este tipo de cada una de las cuales se obtienen valores diferentes, nos ponen en duda sobre la aplicación de cualquiera de ellas.

Lo más indicado y que nos lleva a una solución más ventajosa es realizar el cálculo por tanteos, se toman dos o más tensiones normalizadas, de acuerdo a las condiciones de la línea y se realizan con estos valores los demás cálculos correspondientes. Con éste objeto tomaremos las tensiones normalizadas de 13,2 y 22 KV.

Selección de los conductores.— Como ya se indicó en el punto anterior, nos vamos a sujetar a realizar el cálculo por tanteos, para lo cual tomamos un cierto número de calibres de conductores, en éste caso 6 que corresponden a los calibres americanos A.W.G. # 6, # 4, # 2, # 1, # 1/0, # 2/0., de cobre estirado en frío, todos los conductores cableados y de 97,3% de conductividad.

El cálculo en la forma indicada consiste en hacer presupuestos para los diferentes calibres y tensiones escogidas; para encontrar el costo de operación en cada caso tenemos que calcular el interés del capital invertido, el porcentaje correspondiente a la depreciación de la obra y el costo

de los kilowattios hora que se pierden anualmente por resistencia de la línea (En el presupuesto incluimos el precio de los conductores, aisladores y transformadores, consideramos para el cálculo que el costo de postes, accesorios, montaje, etc. no influyen en la selección de los conductores, por tener en la realidad casi las mismas características), el conductor cuyos gastos anuales sean los más bajos será el más económico.

*aisladores
transformadores
postes
etc.*

Para hacer el presupuesto en la forma que hemos indicado necesitamos conocer algunos valores, los mismos que vamos a detallar a continuación:

Interes: Siendo la línea de transmisión una obra que va a realizarse por medio de una financiación, los capitales que se inviertan ganarán un interes. Por ser una obra de pequeño volumen se hará a base de capitales nacionales cuyo interes acostumbrado llega al 12% anual.

Depreciación: Por las razones anotadas anteriormente referentes a las condiciones de servicio de la línea (Dada la posibilidad de la Instalación Hidroeléctrica en Bucay) el tiempo de depreciación lo vamos a limitar al más corto posible sin tomar en cuenta la duración misma de la línea, dicho tiempo lo fijamos en 15 años igual al período de crecimiento de la carga estudiado. La depreciación anual corresponde al 6,6%

Pérdidas de energía: Estas pérdidas vamos a calcularles en función de la corriente media de carga obtenida del diagrama de carga de Milagro. Para justificar éste cálculo hemos considerado que la situación económica y geográfica de las poblaciones a las cuales va a servir la línea son muy similares a las de dicho cantón.

La corriente media de carga la calculamos a partir de la carga media según la fórmula:

$$I_m = \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot E \cdot \cos \theta}$$

P_m - Carga media KW

E - tensión entre fases KV

Las pérdidas de energía valdrán:

$$P = I_m^2 \cdot R \cdot h$$

R - resistencia total de los conductores

h - horas de utilización anual = 5,3829 . 565

Costo de la energía perdida: Se obtiene multiplicando los KWh perdidos en la línea por el precio promedio del KWh. Como la energía va a ser vendida según tarifas que rigen en Milagro, podemos aceptar para el cálculo el valor promedio del KWh registrado ahí, que es de \$, 0,86 el KWh.

Costo de los conductores: depende del peso, éste se obtiene multiplicando el peso unitario (kg por Km) por la longitud de la línea y el número de conductores. Las cotizaciones de los conductores están dadas FOB, los precios son los siguientes:

A.W.G. # 6	\$ 1,050.00	por 1.000 kg		
" # 4	1,165.00	"	"	"
" # 2	1,140.00	"	"	"
" # 1	1,128.00	"	"	"
" # 1/0	1,123.00	"	"	"
" # 2/0	1,144.00	"	"	"

Desnudos:

De 2 a 10 toneladas	44.00	"	"	"
más de 10 "	74.00	"	"	"
" " 30 "	114.00	"	"	"

Al costo de los conductores que se obtenga hay que aumentar el 12% aproximadamente de gastos hasta Guayaquil, y en caso de no obtener libera-

ción de derechos habrá que aumentar el 9 $\frac{1}{2}$ % de derechos consulares, \$ 5,00 por kilo, 5 % adval, etc. en cuyo caso los gastos ascenderían a un 50% del valor FOB.

En la tabla de la página siguiente resumimos los valores obtenidos para las dos tensiones y los seis calibres de conductores.

TABLA DE VALORES PARA LA SELECCION DEL CONDUCTOR

	# 6	# 4	A.W.G. # # 2	# 1	# 1/0	# 2/0
*Sección	13,30	21,15	33,63	42,48	53,47	67,43
*Resist. total	96,70	60,60	38,20	30,30	24,00	15,14
*Peso kg/m	0,118	0,191	0,304	0,384	0,464	0,611
*Peso total	7,910	12,820	20,380	25,680	32,350	41,300
VALORES 15,2 KV						
I_m	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20
*Perdidas energía	38,700	24,000	15,140	12,000	9,520	6,020
*Costo cond. \$.	134,400**	236,100**	367,300**	457,000**	596,400**	719,000**
*Costo trans. \$.	270,080**	270,080**	270,080**	270,080**	270,080**	270,080**
*Costo aisl. \$.	13,226**	13,226**	13,226**	13,226**	13,226**	13,226**
TOTAL \$.	417,706**	519,406**	650,606**	740,306**	879,706**	1002,306**
*Interes deprec.	78,100**	96,800**	121,600**	138,500**	164,300**	187,300**
Energía	25,500**	15,840**	10,000**	7,920**	6,290**	3,970**
TOTAL	105,600**	112,640**	131,600**	146,220**	170,590**	191,270**
VALORES 22 KV						
I_m	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
*Perdidas energía	13,780	8,650	5,450	4,310	3,420	2,160
*Costo cond. \$.	134,400**	236,100**	367,300**	457,000**	596,400**	719,000**
*Costo trans. \$.	353,900**	353,900**	353,900**	353,900**	353,900**	353,900**
*Costo aisl. \$.	28,000**	28,000**	28,000**	28,000**	28,000**	28,000**
TOTAL \$.	516,300**	618,000**	749,200**	838,900**	978,300**	1,100,900**
*Interes deprec.	96,400**	115,300**	140,000**	156,500**	182,500**	205,500**
Energía	9,100**	5,710**	3,600**	2,840**	2,260**	1,424**
TOTAL	105,500**	121,010**	143,600**	159,340**	184,760**	206,924**

¿Cuál es la longitud de la línea

El proceso de cálculo para encontrar los valores de la tabla, lo vamos a indicar en un ejemplo:

Conductor # 6 A.W.G. 22,000 V.

Garga media:

$$P_m = \frac{P_i + P_f}{2} = \frac{120 + 400}{2} = 260 \text{ KW}$$

P_i - Carga actual de las poblaciones a servirse.

P_f - Carga al final del periodo de estudio.

Corriente media de carga:

$$I_m = \frac{260}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 0,8} = 8,52 \text{ A}$$

Pérdida de energía:

$$\begin{aligned} P &= 5,3829 \cdot R \cdot I_m^2 \cdot 365 \text{ Wh} \\ &= 5,3829 \cdot 96,7 \cdot 8,52^2 \cdot 365 \\ &= 13.780 \text{ KWh.} \end{aligned}$$

En la fórmula el valor 5,3829 corresponde al sumatorio de $I_i^2 \cdot t$ siendo I_i el valor de la corriente instantánea expresado en porcentaje (decimales) de la corriente máxima diaria, t corresponde al tiempo en este caso 1 hora. Los cálculos se han hecho a base del diagrama de carga de Milagro.

Peso conductores:

$$\begin{aligned} Q &= 0,118 \text{ kg/m} \cdot 21,250 \text{ m} \cdot 1,05 \cdot 3 \\ &= 7,910 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gasto conductores:

costo tonelada	\$ 1,050,00
descuento/ton	44,00
	<hr/>
	\$ 1,006,00

$$\text{costoFOB} = \$ 1,006,00 \cdot 7,91 = \$ 7.960,00 = \$ 120.000,00$$

gastos 12%	\$.	14.400,00
Costo conductores ...	\$.	134.400,00
Costo transformadores:		
2 transformadores a \$ 10,326,00	\$.	316.000,00
gastos 12%		37.900,00
Costo transformadores ...	\$.	353.900,00
Costo aisladores:		
660 aisladores a \$ 250,00/100	\$.	25.000,00
gastos 12%		3.000,00
Costo aisladores	\$.	28.000,00
COSTO TOTAL ...	\$.	516.300,00
Gastos anuales:		
Energía = \$ 0,66/KWh x 13.780 KWh	\$.	9.100,00
Interes 12%		61.956,00
Depreciación 6,67%		34.437,00
GASTOS TOTALES ...	\$.	105.493,00

Analizando los valores de la tabla encontremos que el conductor # 6 para la tensión de 13,2 KV, tiene el mínimo de gastos anuales, seguido muy de cerca por el conductor de igual calibre para la tensión de 22 KV.

Sin embargo de cumplir la condición de gastos anuales mínimos, no vamos a seleccionar la tensión de 13,2 KV, por las siguientes razones:

La caída de tensión para máxima carga llega al 9,07%, que es un valor que sobrepasa los límites para ésta caída.

El porcentaje de pérdidas de potencia para las mismas condiciones llega al 11,68%, que es también un valor excesivo.

Las dos razones anotadas son suficientes para seleccionar el conductor # 6 para la tensión de 22 KV, como el más conveniente para la instalación.

Una vez seleccionado el conductor a continuación vamos a estudiar los demás puntos correspondientes al diseño eléctrico.

Distancia entre conductores.— La distancia entre conductores debe ser calculada en tal forma que no permita la aproximación de los conductores a una distancia que salte el arco, del concepto anterior se desprende que esa distancia depende del voltaje y la flecha. Con el voltaje la relación es directa o sea que a mayor tensión mayor distancia, aunque con ello se aumente el efecto inductivo de la línea; la flecha que depende de la tensión de tendido de los conductores y la luz entre postes, produce aumentos en esa distancia por el peligro de acercamiento de los conductores debido al balanceo ocasionado por el viento, el mismo que es mayor cuando mayor es el vano entre postes.

En este estudio vamos a calcular la distancia entre conductores a partir de la fórmula práctica:

$$d = 15,2 \text{ cm} + 3,8 \text{ cm} \cdot \text{KV}$$

reemplazando valores para la tensión seleccionada tenemos que:

$$d = 100 \text{ cm.}$$

Caída de tensión. Según las normas aceptadas internacionalmente, la caída de tensión en la línea no debe sobrepasar del $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

El cálculo de la caída de tensión se realiza a partir de la ecuación fundamental de líneas, obtenida del diagrama de tensión. Dicha caída depende del voltaje de recepción, factor de potencia y de las caídas de tensión óhmica e inductiva, que se encuentran incluidas en la fórmula que nos da el voltaje de salida; la fórmula indicada es:

$$E_s = \sqrt{(E_r \cdot \cos \theta_r + I \cdot R)^2 + (E_r \cdot \sin \theta_r + I \cdot X)^2}$$

Los signos empleados en la fórmula corresponden a:

$E_r = 12.700 \text{ V.}$ Tensión nominal al extremo de la línea

$E_s = ?$ " " a la salida " " "

θ - ángulo de desfase

$I = 13,3 \text{ A}$ corriente por conductor

$R = 32,2 \Omega$

resistencia

$X = 10,6 \Omega$

reactancia

aquí calibre corresponde? #6 AWG.

reemplazando valores tenemos:

$$\begin{aligned} E_s &= \sqrt{(12.700 \cdot 0,8 + 13,3 \cdot 32,2)^2 + (12.700 \cdot 0,6 + 13,3 \cdot 10,6)^2} \\ &= \sqrt{172,2 \cdot 10^6} \\ &= 13.120 \text{ V.} \end{aligned}$$

Luego la caída de tensión vale:

$$e = E_s - E_r = 13.120 - 12.700 = 420 \text{ V.}$$

y el porcentaje de caída con relación a E_s

$$\% e = \frac{e}{E_s} \cdot 100 = \frac{420}{13.120} \cdot 100 = 3,2 \%$$

Pérdidas de potencia.— Las pérdidas de potencia se producen debido a la resistencia óhmica de los conductores, éstas pérdidas se calculan según la fórmula:

$$P_p = I^2 \cdot R$$

$I = 13,3$ A. corriente por conductor

$R = 96,7$ resistencia total

$$P_p = 13,3^2 \cdot 96,7 = 17,14 \text{ KW}$$

y el porcentaje de pérdidas:

$$\% P_p = \frac{17,14}{400} \cdot 100 = 4,28 \%$$

Aislamiento de la línea.— Del aislamiento de la línea depende en gran parte su funcionamiento, la tensión de arco de contorno en seco debe ser de 3 a 5 veces la tensión nominal de servicio, además el aislador debe tener las características mecánicas suficientes para que pueda resistir condiciones muy adversas provocadas por descargas atmosféricas o roturas de conductores.

Los aisladores son construídos de vidrio o porcelana de alta calidad y tienen gran resistencia mecánica y buena aislación.

Hay diferentes tipos de aisladores para las diferentes tensiones y condiciones de servicio, los mismos que son escogidos de acuerdo a las indicaciones de los fabricantes; sin embargo podemos indicar que para baja tensión se usan preferentemente aisladores de soporte y de retención en aquellos sitios donde se requiere gran resistencia mecánica a la tracción. Los dos tipos indicados los vamos a usar en nuestra línea y sus características las indicaremos en el capítulo correspondiente al diseño mecánico.

Sistemas de protección.— La protección de los sistemas de transporte de energía depende de la localización y la importancia de la obra. Los sistemas más usados son: Línea de protección o de tierra y sistema de tubos explosores.

La línea de protección consiste en un cable colocado encima de los conductores formando un apantallamiento con un ángulo que varía de 20 a 30°, se considera que la resistibilidad del material es de importancia secundaria pero la resistencia a tierra debe ser baja y el aislamiento con relación a los conductores elevada.

Esta línea de tierra sirve para interceptar el rayo y conducir la corriente al suelo, sin que se alcancen en la torre y el vano potenciales suficientes para alimentar el arco, por esto es necesario que en el centro del vano la separación entre la línea de protección y los conductores sea suficiente para que la descarga no de origen a una tensión superior a la del arco.

El sistema de tubos explosores consiste en una serie de tubos colocados en paralelo con el aislador que se desea proteger, la distancia para el arco que salte en el tubo es tal, que éste se produce a tensiones inferiores a las necesarias para producir el arco de contorno en el aislador.

El tubo explosor tiene dos conexiones, con el conductor y con tierra; la resistencia a tierra debe ser lo más pequeña posible.

Para escoger el sistema de protección adecuado hay que tener en cuenta su costo y la localización de la línea.

Con relación al costo de éstos dos sistemas, vamos a realizar un cálculo comparativo en forma muy rápida.

Línea de tierra:

21.250 m de cable de acero galvanizado	\$ 2,30/m	\$ 48.875,00
2.840 m de cinta de hierro galvanizado	\$ 18,50/m ^{3,00}	52.330,00 ^{8.520}
TOTAL	\$ 57.395,00

Tubos explosores:

39 tubos explosores a \$ 69,00		\$ 40.738,00
gastos 12%		4.892,24
		4.700

TOTAL ... \$ 45.660,89

NOTA: Las conexiones a tierra de la línea de protección, las hemos calculado como que irían colocadas cada 3 postes de alineación y éstos cada 100 m la longitud de la cinta sería de 40 m.

En cuanto a los tubos explosores se colocarían en los cambios de dirección, al principio y fin de la línea y a la entrada de los transformadores.

De la comparación anterior se desprende que resulta mucho más económico el uso de tubos explosores.

Además si consideramos que la línea en estudio atraviesa una zona en la que la frecuencia de descargas atmosféricas es pequeña y su importancia es secundaria, podemos excluir el uso de la línea de tierra, ya que además de aumentar el costo de la instalación, su uso no satisface esa inversión.

Los tubos explosores se usan cada dos o 3 postes en líneas de baja tensión que atraviesan zonas tormentosas, en ese caso su protección es tan eficaz como la línea de tierra. Pero como ya indicamos en el cálculo del costo de éstos sistemas, podemos colocar los tubos a distancias mucho mayores, ya que las condiciones atmosféricas nos permiten.

Obtenemos así, puntos de descarga del rayo en todo el trayecto de la línea y si se produce el arco entre conductores o entre éstos y el poste, tendrá que ser despejado por la acción del interruptor automático de la estación de transformación, que preferiblemente deberá ser del tipo reconectador.

Con este último punto finalizamos el capítulo correspondiente al diseño eléctrico, habiendo llegado a las siguientes conclusiones:

Potencia de la línea: 500 KVA ($\cos \theta = 0,8$)

*La compañía
Cian no se
adecuada
Sería de com
Si dvan sro
vuelto / Ka
de línea a
protección
a cada
puntos*

Tensión entre fases: 22,000 V.

Calibre de los conductores: # 6 A.W.G.

tiempo de servicio sin sobrecarga: 15 años.

DISEÑO MECÁNICO

En el presente capítulo vamos a realizar el estudio de las condiciones físicas a que van estar sometidos los conductores, de tal manera que para las condiciones extremas de presión de viento y temperatura, no se sobrepasen los límites estipulados de resistencia.

Flecha y esfuerzos en los conductores.— La flecha depende de la tensión de tendido de los conductores, aunque luego sufre modificaciones por acción del viento y la temperatura.

La tensión de los conductores debe ser tal, que luego por el cambio de condiciones climáticas, los esfuerzos que soporten nunca sean superiores a la mitad de la tensión de rotura. De acuerdo a lo anterior, para el conductor # 6 A.W.G. que hemos escogido, esa tensión máxima es de 290 kg.

La presión del viento varía con el cuadrado de su velocidad y para cuerpos cilíndricos se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_v = 0,00471 \cdot V^2 \text{ kg/m}^2$$

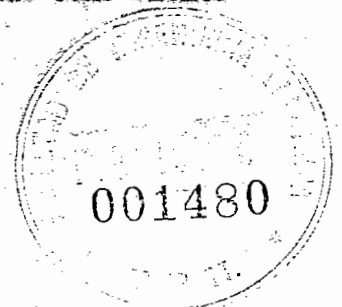
V — velocidad del viento en km/hora.

Para el cálculo de los esfuerzos se considera la velocidad máxima del viento registrada por los aparatos. Como en la zona donde se va a localizar la línea de alta tensión, los puestos de observación no tienen anemómetros, no podemos precisar dicha velocidad; pero si consideramos que las variaciones de temperatura registradas durante el año son relativamente pequeñas y que no hay noticias de desastres ocasionados por el viento, se puede decir que éste no sobrepasa una velocidad de 70 km/hora, clasificado como viento fuerte.

La presión del viento para esa velocidad vale:

$$P_v = 0,00471 \cdot 70^2 = 23,1 \text{ kg/m}^2$$

y la carga unitaria sobre el conductor escogido será:



$$W_v = 23,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,00467 \text{ m} = 0,11 \text{ kg/m.}$$

Esta carga debida al viento se considera que actúa en sentido horizontal y se compone vectorialmente con el peso propio.

El peso propio es una carga que actúa verticalmente, para el conductor seleccionado vale:

$$W_c = 0,118 \text{ kg/m.}$$

La carga resultante es por lo tanto:

$$W_r = \sqrt{W_v^2 + W_c^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,118^2}$$

$$W_r = 0,161 \text{ kg/m.}$$

Esta carga actúa en un ángulo:

$$= \text{arc tg } \frac{W_v}{W_c} = \text{arc tg } \frac{0,110}{0,118}$$

$$= 43^\circ$$

Hay que tener muy en cuenta las variaciones de temperatura, ya que los alargamientos y contracciones que sufren los conductores, producen, en el primer caso aumento de la longitud de la flecha y en el otro, esfuerzos de tracción que en ningún caso deben sobrepasar los valores admisibles.

En los cálculos posteriores vamos a considerar una variación de temperatura de 40° C. siendo 10° la mínima y 50° la máxima.

Con los datos anteriores podemos calcular la flecha máxima que pueden adoptar los conductores y que puede ocurrir en dos casos:

1* a mínima temperatura con máxima presión de viento

2* a máxima temperatura sin sobrecarga

La flecha de los conductores si se considera que éstos adoptan la posición de la parábola se calcula con la fórmula:

$$f = \frac{W \cdot L^2}{8 \cdot T}$$

En la fórmula los signos equivalen:

W - carga por metro para las condiciones existentes

L - longitud del vano

T - tensión del conductor a la temperatura considerada

La tensión del conductor se calcula aplicando la ecuación de cambio de condiciones, que ha sido deducida de acuerdo al cambio de longitud del conductor por efecto de las sobrecargas y los cambios de temperatura.

La ecuación de cambio de condiciones es:

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

en la fórmula A y B valen:

$$A = d \cdot (t - t_c) \frac{s}{e} + \frac{L^2}{24} \cdot \frac{W_T^2}{T_m^2} \cdot \frac{s}{e} - T_m$$

$$B = W_c^2 \cdot \frac{L^2}{24} \cdot \frac{s}{e}$$

Los signos representan en este caso:

T - tensión del conductor a la temperatura t

T_m - tensión máxima admisible que debe soportar el conductor en las peores condiciones de sobrecarga y temperatura.

d - coeficiente de dilatación por $0^\circ C$.

t - temperatura al cambiar condiciones, máxima temperatura.

t_c - temperatura más desfavorable, mínima temperatura.

s - sección de los conductores

e - módulo de elasticidad del material

W_c - carga lineal a la temperatura t

W_T - carga lineal en las condiciones más severas.

Aplicando estas ecuaciones para calcular la flecha en los dos casos indicados tenemos:

1* a mínima temperatura y máxima presión de viento. En este caso no necesitamos aplicar la ecuación de cambio de condiciones, ya que reemplazando valores y calculando se obtiene que $T = T_m$ y $W = W_T$; por lo tanto, solo tenemos que reemplazar valores en la ecuación de la flecha.

Los valores a reemplazarse son los siguientes:

$$W = 0,161 \text{ kg/m}$$

$$T = 290 \text{ kg}$$

$$L = 100 \text{ m.}$$

$$F = \frac{0,161 \cdot 100^2}{8 \cdot 290}$$

$$f = 0,695 \text{ m.}$$

2* a máxima temperatura sin sobrecarga. Tenemos que calcular primero la tensión del conductor T a la temperatura de 50° utilizando la ecuación de cambio de condiciones. Los valores que vamos a utilizar para dicho cálculo son:

$$T_m = 290 \text{ kg}$$

$$t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$d = 17 \cdot 10^{-6}$$

$$t_c = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$e = 100 \cdot 10^{-6}$$

$$s = 13,50 \text{ mm}^2$$

$$W_T = 0,161 \text{ kg/m}$$

$$W_c = 0,118 \text{ kg/m}$$

reemplazando valores tenemos:

$$A = 17 \cdot 10^{-6} (50 - 10) \frac{13,50}{100} \cdot 10^6 + \frac{100^2 \cdot 0,161^2 \cdot 13,50}{24 \cdot 290 \cdot 100} \cdot 10^6 - 290$$

$$= 182,4$$

$$B = 0,118^2 \frac{100^2 \cdot 13,50}{24 \cdot 100} \cdot 10^6$$

$$B = 770.000$$

La ecuación de cambio de condiciones queda:

$$T^2 \cdot (T - 182,4) = 770.000$$

$$T = 201,4 \text{ kg.}$$

reemplazando este último valor en la fórmula de la flecha tenemos:

$$f = \frac{0,118 \cdot 100^2}{6 \cdot 201,4}$$

$$f = 0,754 \text{ m.}$$

Comparando los valores obtenidos en los dos casos se concluye que la flecha máxima que adquieren los conductores se produce a máxima temperatura, razón por la cual se usará dicho valor para el dimensionamiento de los postes.

Clase y tipo de aisladores.— En el diseño eléctrico se indicó algunos requisitos que deben reunir los aisladores, aquí vamos a indicar las principales características de los aisladores escogidos.

Aisladores de soporte.— Número de catálogo NP2TI (LINE MATERIAL)

Resistencia a la tracción: 2.500 lb — 1.135 kg

diámetro de la rosca: 1 5/8" — 3,5 cm

altura mínima del pin: 6" — 15,24 cm

Descarga de contorno en seco: 95 KV

Descarga de contorno bajo lluvia: 60 KV

Peso neto por 100 unidades: 700 lb — 318 kg

Aisladores de retención.— Número de catálogo NS5A1

Número de aisladores de la cadena: ~~3~~ 2

Resistencia a la tracción: 10.000 lb — 4.550 kg

Descarga de contorno en seco: 60 KV

Descarga de contorno bajo lluvia: 30 KV

Peso neto por 100 unidades: 513 lb — 233 kg

NOTA: Los aisladores se han seleccionado de acuerdo a la tabla de guía para selección de aisladores del catálogo "Line Material". Los dos tipos de aisladores de porcelana tipo standard. Se escogió 3 aisladores de retención para formar la cadena, por cuanto en caso de falla de un aislador puede continuar el servicio.

Accesorios.— Los accesorios para aisladores han sido escogidos considerando los esfuerzos a que van estar sometidos. En los planos correspondientes al diseño estructural se indican los accesorios a utilizarse.

DISEÑO ESTRUCTURAL

En éste capítulo se hará el diseño de las estructuras, su altura sobre el terreno, distancia entre postes, etc., de tal manera que los esfuerzos que se presenten en la línea no produzcan fatigas que sobrepasen los límites de trabajo del material.

Antes de entrar en el diseño de las estructuras debemos hacer las siguientes indicaciones generales:

a* La altura de las estructuras debe ser tal que en ningún momento el punto de máxima flecha de los conductores rebase una cierta altura sobre el terreno, tal altura varía en los diferentes países de acuerdo a sus reglamentos para instalaciones de alta tensión, según el voltaje y el tipo de tránsito que pueda existir bajo la línea. Vamos a tomar una altura de 6 metros como mínima considerando que la línea corre paralela al ferrocarril y a través de zonas cultivadas a base de maquinaria agrícola, para así evitar cualquier posible contacto con los conductores.

b* La distancia entre conductores será igual a 1 m de acuerdo al cálculo hecho en el diseño eléctrico, para vanos hasta de 120 m. Para vanos mayores la distancia horizontal de los conductores se calculará con la siguiente fórmula:

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

f - flecha en metros

U - tensión entre fases en KV

c* Las estructuras que se escojan deben estar de acuerdo a la importancia de la obra, tomando en cuenta que de su costo dependen los gastos anuales y de éstos el rendimiento económico de la instalación.

Rigiéndonos en las consideraciones anteriores a continuación vamos a

realizar el diseño de las estructuras con postes de madera, hierro y hormigón, para finalmente adoptar el sistema más conveniente a partir de los criterios técnico - económicos adoptados.

Entrando en el diseño, tenemos en primer el estudio de:

Postes de madera. - Los postes de madera además de ser de fácil adquisición deben satisfacer las condiciones de rectitud y resistencia.

En el trayecto de la línea necesitamos tres tipos de estructuras: postes de alineación, postes de ángulo y postes de anclaje.

Postes de alineación. - Soportan solamente los esfuerzos producidos por el peso de los conductores y la presión del viento.

Para el diseño de los postes de alineación hay dos posibilidades: la primera consiste en determinar la luz entre postes de acuerdo a la flecha máxima, distancia mínima al suelo y disposición de los conductores, para luego dimensionar la altura y sección de empotramiento del poste a partir de los esfuerzos producidos por el viento. La otra posibilidad es a la inversa, conociendo las dimensiones de la sección de empotramiento del poste se determina su altura y el vano, de tal manera que los esfuerzos debidos a la presión del viento no sobrepasen las fatigas admisibles del material.

Procedemos según la primera posibilidad y adoptamos un vano promedio de 140 metros haciendo un equilibrio entre la disminución del número de estructuras que se obtiene al aumentar la luz y el aumento de altura y sección de los postes que dicho aumento trae consigo.

Conociendo la distancia entre postes calculamos la flecha máxima que adquieren los conductores en las condiciones más desfavorables, para lo cual reemplazamos en la ecuación de cambio de condiciones los valores correspondientes y luego con el valor de la tensión obtenida calculamos dicha

flecha, del cálculo realizado se obtiene que:

$$T = 1202,7 \text{ kg}$$

$$f = 1,428 \text{ m.}$$

y la distancia horizontal entre los conductores vale:

$$d = 1,10 \text{ m. (aproximando de 1,05 m)}$$

Con el valor de la flecha, la altura mínima de los conductores sobre el suelo y su disposición en el poste, procedemos a dimensionarlo gráficamente, obteniendo los siguientes valores (Plano # 1)

$$L = 9,70 \text{ m. Longitud total del poste}$$

$$H = 8,10 \text{ " altura del poste sobre el suelo}$$

$$L_1 = 8,33 \text{ " altura del conductor superior sobre el suelo}$$

$$L_2 = 7,43 \text{ " altura de los conductores inferiores}$$

$$h = 1,60 \text{ " profundidad del poste en el terreno}$$

Calculamos a continuación el Momento flector en la sección de empotramiento del poste, originado por la presión del viento sobre los conductores.

Tenemos que:

F_c - Fuerza por la presión del viento sobre cada conductor

$$F_c = 0,11 \text{ kg/m} \cdot 140 \text{ m} = 15,4 \text{ kg}$$

M_c - Momento debido a los conductores

$$M_{c_1} = 15,4 \text{ kg} \cdot 8,33 \text{ m} = 128 \text{ kgm}$$

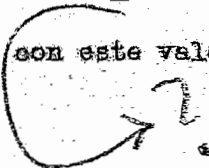
$$M_{c_2} = 15,4 \text{ kg} \cdot 7,43 \text{ m} \cdot 2 = 237 \text{ kgm}$$

$M_t = 365 \text{ kgm. Momento total,}$

Buscamos el momento de resistencia de la sección de empotramiento, para una fatiga admisible de 60 kg/cm^2

$$R = \frac{M}{k} = \frac{365,500 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{60 \text{ kg/cm}^2} = 608 \text{ cm}^3$$

con este valor calculamos el diámetro de la sección de empotramiento,



No tiene en cuenta la presión sobre el poste

a partir de la fórmula:

$$D_e^3 = \frac{32}{\pi} \cdot H = 10,2 \cdot 608 \text{ cm}^3 = 6.200 \text{ cm}^3$$

$D_e = 20 \text{ cm}$, diámetro de la sección de empotramiento (aproximando de 18,4)

Indicando que el diámetro de la cogolla no debe ser menor a 15 cm, calculamos la fuerza debida al viento sobre el poste (que actúa en el centro de gravedad de la sección del poste expuesta al viento) y el momento flector con relación a la sección de empotramiento, los cálculos son como siguen:

F_p - fuerza por la presión del viento sobre el poste

$$F_p = 25,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,42 \text{ m}^2 = 35,6 \text{ kg}$$

M_p - momento flector

$$M_p = F_p \cdot Z$$

$$Z = \frac{H (D_o + 2 \cdot D_e)}{3 (D_o + D_e)}$$

Z - altura desde la sección de empotramiento al centro de gravedad

$D_o = 0,20 \text{ m}$, Diámetro de la sección de empotramiento

$D_e = 0,15 \text{ m}$ diámetro de la cogolla

$$Z = \frac{6,10 (0,20 + 2 \cdot 0,15)}{3 (0,20 + 0,15)} = 3,65 \text{ m}$$

$$M_p = 35,6 \text{ kg} \cdot 3,65 \text{ m} = 129 \text{ kgm}$$

$$M_t = 365 \text{ kgm} + 129 \text{ kgm} = 494 \text{ kgm}$$

Con este momento recalculamos el diámetro de la sección de empotramiento, tenemos así:

$$R = \frac{49.400 \text{ kg.cm}}{60 \text{ kg/cm}^2} = 818 \text{ cm}^3$$

$$D_e^3 = 10,2 \cdot 818 = 8.350 \text{ cm}^3$$

$$D_e = 20,3 \text{ cm}$$

Dejamos el diámetro de la sección de empotramiento en 20 cm con lo cual el material trabaja a 62,7 kg/cm².

Crucetas.— Para postes de madera se emplean crucetas del mismo material y de una resistencia suficiente para soportar solo el peso de los conductores y accesorios, dicho peso vale:

$$Q_t = Q_c + Q_a = 16,5 \text{ kg} + 4,48 \text{ kg} = 20,98 \text{ kg}$$

$$Q_c = 0,118 \text{ kg/m} \cdot 140 \text{ m} \text{ peso del conductor}$$

$$Q_a = 3,18 \text{ kg} \text{ (peso del aislador)} - 1,50 \text{ kg} \text{ (peso del perno del aisl.)}$$

El momento flector vale:

$$M = 20,98 \text{ kg} \cdot 0,55 \text{ m} = 11,52 \text{ kgm}$$

y el momento de resistencia

$$R = \frac{1 \cdot 11,52 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{60 \text{ kg/cm}^2} = 19,25 \text{ cm}^3$$

adoptamos una cruceta de sección rectangular con un ancho b de 8 cm, para que se adapte bien el perno del aislador, calculando el alto h tenemos

$$h^2 = \frac{6 \cdot R}{b} = \frac{6 \cdot 19,25}{8} = 14,4 \text{ cm}$$

$$h = 3,8 \text{ cm.}$$

Debido a que las características del perno son tales que la mínima altura de la cruceta debe ser 8 cm, obligadamente tenemos que aumentar la altura a esa dimensión, obteniendo una cruceta de sección cuadrangular de 8 x 8 cm, con un momento de resistencia de 85,6 cm³.

Accesorios.— El resto de materiales utilizado en los postes de alineación se indican en el plano correspondiente y cuyas características se detallan en el capítulo correspondiente al presupuesto.

Postes de ángulo.— En el plano correspondiente a la localización de la línea de transmisión (Plano # 0), encontramos 8 cambios de dirección cuyos ángulos de deflexión tienen los siguientes valores:

poste A_1	$\theta = 11^\circ 48'$	$R = 179$ kg
" A_2	$= 5^\circ 48'$	$= 27,4$ "
" A_3	$= 22^\circ 50'$	$= 343$ "
" A_4	$= 18^\circ 26'$	$= 279$ "
" A_5	$= 34^\circ 20'$	$= 512$ "
" A_6	$= 10^\circ 16'$	$= 155$ "
" A_7	$= 6^\circ 43'$	$= 135$ "
" A_8	$= 11^\circ 12'$	$= 170$ "

El valor de R , que es la fuerza debida a la tensión de los conductores por el cambio de dirección, ha sido calculado con la fórmula:

$$R = 2 \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2} \cdot T$$

$T = 870$ kg. suma de la tensión de los conductores

En el trayecto de la línea encontramos 5 postes de ángulo (ya que los otros cambios de dirección coinciden con postes de anclaje), de los cuales uno de ellos, el poste A_2 es un poste de alineación provisto de tensor.

Para los 4 postes de ángulo restantes, usamos el tipo indicado en el Plano # 2 de las siguientes características:

$$L = 11,30 \text{ m.}$$

$$H = 9,70 \text{ "}$$

$$h = 1,50 \text{ "}$$

En este tipo de postes se usa aisladores de retención, los postes van provistos de un tensor amarrado debajo del conductor intermedio a una altura sobre el suelo de 8,50 m. La sección del tensor vamos a calcularla considerando el ángulo más desfavorable, que corresponde a $34^\circ 20'$.

La fuerza que tira al tensor vale:

Debe usar el tensor para la línea

$$F_t = \frac{R}{\text{sen} \alpha} = \frac{512}{\text{sen } 45} = 725 \text{ kg}$$

Seleccionamos un tensor de 0,625 cm de diámetro (1/4") con una carga de rotura de 1,570 kg. del tipo Siemens Martin.

Accesorios. - Al igual que para todos los tipos de postes, se detallan en el plano correspondiente y en el presupuesto.

Postes de anclaje. - Son estructuras encargadas de soportar los esfuerzos de tendido de los conductores y se les diseña considerando que dichos esfuerzos actúan a un solo lado del poste.

Los postes de anclaje se colocarán cada 980 m. o sea después de 6 postes de alineación.

En el plano # 5 se indican las características de la estructura, se utilizan postes provistos de vientos encargados de contrarrestar los esfuerzos de tendido de los conductores.

Los postes de madera tienen las siguientes características:

$$L = 9,50 \text{ m.}$$

$$h = 1,60 \text{ "}$$

$$H = 7,70 \text{ "}$$

$$L_1 = 7,40 \text{ " Altura de los conductores sobre el suelo.}$$

Si los postes de madera solo resisten los esfuerzos normales a la dirección de la línea, los tensores resistirán las fuerzas debidas a la tensión de los conductores, luego cada tensor soporta una fuerza:

$$F_t = \frac{T_0}{2 \cdot \text{sen } 45} = \frac{370}{2 \cdot \text{sen } 45} = 615 \text{ kg}$$

$$T_0 = 3 \cdot 290 \text{ kg. Fuerza de tendido de los conductores.}$$

Para el esfuerzo de 615 kg se necesita un tensor de 0,635 cm de diámetro de acero Siemens Martin.

*2 Tensores
por cada
alineación*

Crucetas.— Para éste tipo de estructuras se usan crucetas de hierro, que al igual que la estructura deben soportar los esfuerzos debidos a la tensión de los conductores supuesto que actúan a un solo lado de la línea.

El momento máximo que soporta la cruceta vale:

$$M = 290 \text{ kg} \cdot 0,55 = 161 \text{ kgm}$$

y el momento de resistencia para una fatiga admisible de 1.200 kg es:

$$R = \frac{16.100 \text{ kg.cm}}{1.200 \text{ kg/cm}^2} = 13,4 \text{ cm}^3$$

Escogemos un perfil de hierro U, de las siguientes características, con relación al eje Y - Y.

$$R = 15 \text{ cm}^3 \text{ momento resistente}$$

$$I = 64 \text{ cm}^4 \text{ " de inercia}$$

$$S_a = 20,4 \text{ cm sección del perfil}$$

$$q = 16 \text{ kg/m peso líneal}$$

Accesorios.— Véase el plano correspondiente y el presupuesto.

Tensores.— Los tensores se fijaran en el terreno por medio de una vigueta doble T.

De acuerdo al plano # 6, tenemos que el tiro producido por el tensor sobre la vigueta produce una presión sobre el terreno que se distribuye en la forma indicada en dicho plano.

La presión resultante sobre el terreno vale:

$$P = \frac{1}{4} \cdot K_c \cdot h \cdot d$$

en la fórmula:

$$K_c = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ Fatiga de compresión del terreno}$$

$$h = ? \text{ profundidad del empotramiento}$$

$$d = 20 \text{ cm. ancho de la vigueta.}$$

Tomando los momentos de las fuerzas con relación al punto O se tiene:

$$F \cdot H + F \cdot \frac{h}{2} = \frac{2}{3} \cdot P \cdot h$$

reemplazando el valor de F , e igualando a cero, obtenemos la siguiente ecuación de segundo grado:

$$K_t \cdot d \cdot h^2 - 3 \cdot F \cdot h - 6 \cdot F \cdot H = 0$$

F = componente de la tensión del tensor normal a la vigueta 600 kg.

H = 10 cm. Distancia sobre el suelo del punto de aplicación de F .

reemplazando valores tenemos:

$$1 \cdot 20 \cdot h^2 - 3 \cdot 600 \cdot h - 6 \cdot 600 \cdot 10 = 0$$

de donde:

$$h^2 - 90 \cdot h - 1.800 = 0$$

resolviendo la ecuación tenemos que:

$$h = 110 \text{ cm.}$$

Para mayor seguridad tomamos $h = 120$ cm. de donde la longitud total de la vigueta será de 140 cm.

Los demás elementos del tensor se indican en el plano correspondiente la vigueta así calculada servirá para los postes de ángulo y anclaje.

Por que?

Postes de hierro.— Para el cálculo de este tipo de postes hay que tener en cuenta que en caso de rotura de un conductor, el poste debe tener la resistencia suficiente capaz de que resista los esfuerzos producidos por la tensión de la línea; en ese caso la deflexión que sufre el poste debe ser tal, que la tensión de los conductores vaya decreciendo en postes sucesivos y luego de cuatro o cinco postes las condiciones vuelvan a la normalidad. El factor de seguridad que se aplica en el cálculo depende de ciertas condiciones eventuales que en algunos casos puede estar somatido el poste, es normal tomar éste factor como 2,5 por lo que se le usará en los cálculos posteriores.

Lo primero que tenemos que tratar en el diseño de postes de hierro es la selección de la luz entre postes, decimos selección por cuanto del valor que se le asigne van a depender otros factores como son: la altura, el costo, etc, etc. En definitiva se puede decir que la selección del vano es un problema netamente económico y como tal lo vamos a estudiar a continuación.

Vamos a seguir un proceso por tanteo, nos imponemos luces variables de 80 a 200 metros con aumentos de 20 m. Calculamos la flecha, la altura del poste fabricado e indicamos el peso. Como el peso es proporcional al precio calculamos éste multiplicando el peso por el número de postes por km. y por \$ 0,546 que es el precio aproximado por kg. Buscamos luego el costo de los aisladores multiplicando el número de postes por 3 y por \$ 2,875.

En la tabla de la página siguiente se indican los valores obtenidos.

De dicha tabla se desprende la conveniencia de adoptar vanos de 180 metros, que se acentúa más si al costo total de la tabla añadimos el costo de la mano de obra y accesorios.

El precio de los postes de hierro es de \$ 2,875 por poste y \$ 0,546 por kg.

TABLA DE VALORES PARA SELECCIONAR EL VANO

vano m.	flecha m.	altura m.	postes por km	peso kg	costo por km	costo aisladores	costo total
80	0,47	8,85	12,5	77,5	336,00	107,00	443,00
100	0,74	9,16	10	81	280,00	86,00	366,00
120	1,05	9,45	8,33	111	319,00	77,00	396,00
140	1,43	9,76	7,14	114	282,00	62,00	344,00
160	1,86	10,67	6,25	125	272,00	54,00	326,00
180	2,34	10,98	5,55	144	276,00	48,00	324,00
200	2,88	11,90	5	192,5	335,00	45,00	376,00

Postes de alineación.— El proceso seguido para determinar las características del poste es el siguiente:

Se encuentra graficamente la altura del poste conociendo la altura mínima, flecha y disposición de los conductores, después de lo cual se tienen los siguientes valores de acuerdo a la nomenclatura indicada en el dibujo # 1.

$L = 10,97$ m.	Longitud total del poste
$H = 9,15$ "	altura del poste sobre el suelo
$A = 5,49$ "	longitud del primer tramo del poste
$B = 2,745$ "	longitud de las dos secciones restantes
$z = 0,457$ "	distancia desde A-A línea de aplicación de las fuerzas al extremo superior del poste.
$L_a = 8,693$ "	brazo de palanca de las fuerzas hasta la sección <u>a</u>
$L_b = 5,350$ "	" " " " " " " " <u>b</u>
$L_c = 2,585$ "	" " " " " " " " <u>c</u>

Se procede luego a calcular la fuerza que actúa en el poste debida a la presión del viento sobre los conductores y que se considera aplicada en la sección A-A, dicha fuerza vale:

$$F_c = 23,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,00467 \text{ m} \cdot 180 \text{ m} \cdot 3 = 58,4 \text{ kg}$$

Con este valor buscamos en el catálogo el tipo de poste de las dimensiones indicadas y que resista una fuerza de trabajo aplicada en A-A (como indica el catálogo) mayor a F_c . Escogeremos en segundo cálculo el tipo correspondiente al número de referencia 298 que además de las dimensiones indicadas tiene las siguientes características:

$$D_a = 13,95 \text{ cm, Diámetro de la sección } \underline{a}$$

$$D_b = 11,42 \text{ " " " " " } \underline{b}$$

$$D_c = 8,89 \text{ " " " " " } \underline{c}$$

$$e_a = 0,447 \text{ " } = e_b = e_c \text{ espesor de las secciones (7 A.W.G.)}$$

$$F_t = 169,5 \text{ kg fuerza de trabajo que se puede aplicar en A-A}$$

$$Q_p = 144 \text{ " peso del poste}$$

sección	Z	I	q
a	82,3 cm ³	434 cm ⁴	14,9 kg/m
b	40,8 "	238 "	12,1 "
c	23,8 "	260 "	9,5 "

Z - Momento de resistencia

I - " " inercia

q - peso unitario de la sección.

A continuación se busca el momento resistente necesario en la sección de empotramiento del poste para que debido a la fuerza F_c calculada, no se sobrepasen las fatigas de trabajo del material. El momento en cuestión vale:

$$R_a = \frac{F_c \cdot L_a}{K_d} = \frac{58,4 \cdot 8,695}{1,280} = 39,7 \text{ cm}^3$$

Este valor debe ser menor que el momento resistente del poste, para que con la carga del viento sobre el propio poste no se llegue a sobrepasar ésa cifra.

La fuerza por la presión del viento sobre el poste (que se considera que actúa también en la sección A-A) se calcula con la fórmula:

$$\begin{aligned} F_p &= P_v \cdot D_p \cdot H \\ &= 23,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,1142 \text{ m} \cdot 9,15 \text{ m} = 24,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Luego la fuerza total que actúa en el poste por efecto del viento vale:

$$F_t = 58,4 + 24,1 = 82,5 \text{ kg}$$

y el momento resistente necesario en la sección de empotramiento:

$$R_a = \frac{82,5 \cdot 8,695}{1,280} = 56 \text{ cm}^3$$

Este valor nos indica que la resistencia del poste es la necesaria para contrarrestar los esfuerzos producidos por el viento.

Sin embargo se comprueba los momentos resistentes requeridos en las otras dos secciones y que en éste caso valen:

$$R_b = \frac{R_a \cdot L_b}{L_a} = \frac{56 \cdot 5,53}{8,695} = 34,3 \text{ cm}^3$$

$$R_c = \frac{R_a \cdot L_c}{L_a} = \frac{56 \cdot 2,385}{8,695} = 15,4 \text{ cm}^3$$

Estos valores son menores a los momentos resistentes de las secciones correspondientes, razón por la cual queda seleccionado definitivamente éste tipo de poste.

Cruceatas.— Para los postes de hierro se usan cruceatas de hierro, dimensionadas de acuerdo al peso de los conductores, aislador y perno de sujeción,

que hacen un total de 25,70 kg.

Por cuanto la distancia entre los conductores aumenta como ya indicamos al principio de éste capítulo, al aplicar la fórmula correspondiente tenemos que:

$$d = 1,30 \text{ m.}$$

Luego el momento flector en la sección media de la cruceta vale:

$$M = 25,7 \text{ kg} \cdot 0,65 \text{ m} = 16,7 \text{ kgm}$$

Para escoger un perfil de hierro U calculamos el momento resistente necesario.

$$R = \frac{1.670 \text{ kg.cm}}{1.200 \text{ kg/cm}^2} = 1,40 \text{ cm}^3$$

Por cuanto no se construyen perfiles U con un momento de resistencia tan pequeño y por la necesidad de tener un perfil que aloje fácilmente al perno del aislador, escogemos un perfil de las siguientes características.

$$\begin{aligned} R &= 27 \text{ cm}^3 & S_a &= 11 \text{ cm}^2 \\ I &= 108 \text{ cm}^4 & q &= 8,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

NOTA: Al aumentar la distancia entre conductores se produce un aumento de la reactancia de la línea en el orden de 0,018 ohmios por km. éste valor no afecta en el cálculo de la caída de tensión.

Accesorios.— Fuera de los accesorios usados también en los postes de madera encontramos las crucetas de hierro y sus abrazaderas. Los detalles se ven en el plano # 4 y en el presupuesto.

Postes de anclaje.— Los postes de anclaje se calculan en la misma forma que para la madera, es decir para que resistan el esfuerzo producido por el templado de la línea, se localizarán cada siete postes de alineación o sea a una distancia de 1.440 metros. Las características de las estructuras se indican en el plano # 4.

Las dimensiones de los postes han sido calculadas considerando solamente la tensión de los conductores de un solo lado de la línea, el proceso de cálculo es el siguiente:

Se determina graficamente las dimensiones del poste, hecho lo cual se tiene:

$$L = 10,36 \text{ m.}$$

$$H = 8,53 \text{ " } \quad L_a = 8,54 \text{ m.}$$

$$A = 5,18 \text{ " } \quad L_b = 5,99 \text{ "}$$

$$B = 2,59 \text{ " } \quad L_c = 2,40 \text{ "}$$

$$z = 0,19 \text{ "}$$

La fuerza que actúa sobre cada poste por la tensión de los conductores vale:

$$F_o = \frac{290 \text{ kg} \cdot 3}{2} = 435 \text{ kg}$$

y el momento resistente necesario en la sección de empotramiento:

$$R_a = \frac{435 \text{ kg} \cdot 854 \text{ cm}}{1.280 \text{ kg/cm}^2} = 283 \text{ cm}^3$$

Con éste valor buscamos el diámetro de la sección de empotramiento en la tabla de características mecánicas de los postes, tomando una sección cu yo momento de resistencia sea igual o algo mayor al R_a calculado, las otras dimensiones se encuentran en el catálogo general.

Las restantes dimensiones y características mecánicas del poste son:

$$D_a = 24,45 \text{ cm}$$

$$D_b = 21,92 \text{ " } \quad e_a = e_b = e_c = 0,718 \text{ cm}$$

$$D_c = 19,37 \text{ "}$$

sección	Z	I	q
a	307 cm ³	3.730 cm ⁴	41,8 kg/m
b	244 "	2.660 "	37,3 "

e 190 cm³ 1.812 cm⁴ 32,8 kg/m

El poste es del tipo correspondiente al número de referencia 258 y tiene un peso de 410 kg.

Cruceetas.- Calculamos en la forma ya indicada, tenemos así:

$$M = 290 \text{ kg} \cdot 0,65 = 188,5 \text{ kgm}$$

$$R = \frac{18.850 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{1.200 \text{ kg/cm}^2} = 15,7 \text{ cm}^3$$

Corresponde a un perfil U de las siguientes características:

$$R = 18 \text{ cm}^3 \qquad S_a = 24 \text{ cm}^2$$

$$I = 85 \text{ cm}^4 \qquad q = 18,8 \text{ kg/m}$$

Bloque de fundación.- Debido a que la resistencia del terreno no es suficiente para contrarrestar la presión del poste debida a la tensión de los conductores, vamos a colocar un bloque de hormigón de sección cuadrangular y cuyo dimensionamiento ha seguido el siguiente proceso :

En el plano # 4 se indica como se distribuye la presión del poste sobre el terreno, dicha presión es contrarrestada por la fuerza P. Además de la resistencia incluida en la fuerza P, el peso propio del poste y del bloque de fundación, evitan su caída. Para que exista equilibrio debe realizarse la igualdad:

$$F \left(H + \frac{h}{2} \right) = \frac{2}{3} \cdot P \cdot h + \frac{d}{2} \cdot Q$$

$$P = \frac{1}{4} \cdot K_t \cdot h \cdot d$$

En las fórmulas los signos significan:

F - Fuerza debida a la tensión de los conductores

H - Altura sobre el terreno a la que se encuentra colocada F.

h - profundidad del bloque

d - ancho del bloque

Q - Peso total: Bloque poste

K_t - Fatiga de compresión del terreno.

Reemplazando el valor de P en la primera fórmula tenemos:

$$6 \cdot F \cdot H + 3 \cdot F \cdot h = K_t \cdot h^2 \cdot d + 3 \cdot Q \cdot d$$

despejando Q .

$$Q = \frac{6 \cdot F \cdot H + 3 \cdot F \cdot h - K_t \cdot h^2 \cdot d}{3 \cdot d}$$

Hemos obtenido en esta forma una ecuación con dos incógnitas: Q y d , para resolver el problema procedemos por tanteos, damos diferentes valores a d y calculamos Q , hasta encontrar un valor Q que sea igual a la suma del peso del poste y del bloque para ése valor particular de d .

En el caso presente tenemos los siguientes valores para los diferentes términos de la ecuación:

$$F = 435 \text{ kg}$$

$$H = 834 \text{ cm}$$

$$h = 180 \text{ cm}$$

$$K_t = 1 \text{ kg/cm}^2$$

reemplazando estos valores en la ecuación tenemos:

$$Q = \frac{6 \cdot 435 \cdot 834 + 3 \cdot 435 \cdot 180 - 1 \cdot 180^2 \cdot d}{3 \cdot d}$$

$$Q = \frac{2.409.400 - 52.400 \cdot d}{3 \cdot d}$$

Después de algunos tanteos hemos encontrado que para un valor de d igual a 65 cm. se encuentra un valor de Q :

$$Q = \frac{2.409.400 - 2.106.000}{195}$$

$$= \frac{305.400}{195} = 1.555 \text{ kg}$$

El peso del poste y del bloque para la indicada dimensión de d es:

$$Q_p = 410 \text{ kg. Peso del poste}$$

$$Q_b = (d^2 \cdot h - \frac{\pi \cdot D_a^2}{4} \cdot h) \cdot 1.600$$

reemplazando valores tenemos:

$$\begin{aligned} Q_b &= (0,65^2 \cdot 1,8 - \frac{\pi \cdot 0,245^2}{4} \cdot 1,8) \cdot 1.600 \\ &= (0,761 - 0,0845) \cdot 1.600 \\ &= 0,6765 \cdot 1.600 = 1.080 \text{ kg} \end{aligned}$$

$Q = 1.490 \text{ kg.}$ (Valor aproximado por no calcularse d con decimales)

Accesorios.— Los demás materiales son los mismos usados en los postes de madera, más detalles en el plano correspondiente y en el presupuesto.

Postes de ángulo.— Localizando las estructuras en el terreno encontramos 7 postes de ángulo, de los cuales el poste A_2 tiene la disposición de un poste normal de alineación, variando solamente su sección y resistencia.

Poste A_2 : ha sido calculado así:

$$F_v = 58,4 \text{ kg}$$

$$F_p = 23,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,1168 \text{ m} \cdot 9,15 \text{ m} =$$

$$F_p = 25,8 \text{ kg}$$

$$F_g = 27,4 \text{ kg (Fuerza por cambio de dirección)}$$

$$F_c = 27,4 \text{ kg}$$

luego la fuerza total que actúa en la sección A-A vale:

$$F_t = 112,6 \text{ kg.}$$

el momento resistente necesario será:

$$R = \frac{112,6 \cdot 8,695}{1,280} = 76,5 \text{ cm}^3$$

Las otras dimensiones del poste son:

sección	diámetro	Z	I	q
a	15,24 cm	88,4 cm ³	689 cm ⁴	19,60 kg/m
b	12,68 "	60,2 "	379 "	16,15 "
c	10,14 "	37,2 "	189 "	12,75 "

El poste es del tipo correspondiente al número de referencia 502 y tiene un peso de 192 kg.

Los 8 postes restantes cuyas características se indican en el plano # 4, han sido calculados en tal forma que el poste resista los esfuerzos producidos por el viento más la fuerza producida por el cambio de dirección en el ángulo más desfavorable.

Tenemos así:

$$L = 12,80 \text{ m.}$$

$$H = 11,04 \text{ " } \quad L_a = 10,595 \text{ m.}$$

$$A = 5,80 \text{ " } \quad L_b = 6,555 \text{ "}$$

$$B = 3,50 \text{ " } \quad L_c = 3,055 \text{ "}$$

$$z = 0,445 \text{ "}$$

Las fuerzas que actúan sobre el poste son:

$$F_v = 58,4 \text{ kg}$$

$$F_d = 512 \text{ "}$$

$$F_p = 23,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,299 \text{ m} \cdot 11,04 \text{ m}$$

$$F_p = 76,5 \text{ kg}$$

La fuerza total vale:

$$F_t = 646,9 \text{ kg.}$$

y el momento resistente necesario:

$$R = \frac{646,9 \cdot 10,595}{1,280} = 538 \text{ cm}^3$$

Las restantes dimensiones del poste escogido son:

$$D_a = 32,58 \text{ cm}$$

$$D_b = 29,84 \text{ " } \quad e = 0,714 \text{ cm (igual en las 3 secciones)}$$

$$D_c = 27,30 \text{ "}$$

sección	Z	I	q
a	551 cm ³	8.860 cm ⁴	55,8 kg/m
b	435 "	6.900 "	51,3 "
c	387 "	5.250 "	46,8 "

El poste es del tipo correspondiente al número de referencia 444 y tiene un peso de 689 kg.

Estos postes deben tener un bloque de fundación, ya que la resistencia del terreno no es suficiente para contrarrestar la presión del poste.

Siguiendo el mismo proceso indicado tenemos:

$$F = 647 \text{ kg}$$

$$H = 964 \text{ cm (admitiendo que todas las fuerzas actúan a esa altura)}$$

$$h = 176 \text{ cm}$$

$$K_t = 1 \text{ kg/cm}^2$$

reemplazando valores en la ecuación correspondiente y calculando tenemos:

$$Q = \frac{4.092.000 - 30.875 \cdot d}{3 \cdot d}$$

Después de algunos tanteos hemos encontrado que para d igual a 102 cm

$$Q = 3.080 \text{ kg}$$

así mismo para esa dimensión de d el peso del poste y del bloque vale:

$$Q_p = 689 \text{ kg.}$$

$$Q_b = \left(1,02^2 \cdot 1,76 - \frac{\pi \cdot 32,38^2}{4 \cdot 100} \cdot 1,76 \right) 1.600$$

$$Q_b = 2.700 \text{ kg}$$

siendo el peso total:

$$Q_t = 3.589 \text{ kg.}$$

Accesorios. Los accesorios usados se indican en el plano correspondiente y en el presupuesto.

Postes de hormigón armado.— Los postes de hormigón armado que vamos a diseñar serán macizos, de tal manera que se puedan fabricar cerca del sitio de montaje.

Postes de alineación.— Los vamos a diseñar para un vano normal de 140 metros, con los conductores dispuestos como se ve en el plano # 5, los postes son de sección cuadrangular.

Para el cálculo de éste tipo de postes tenemos que imponernos aproximadamente la sección inferior y superior del poste, en segundo tanteo tomamos los lados de dichas secciones de 25 y 10 cm. respectivamente.

Para facilitar los cálculos posteriores establecemos la siguiente nomenclatura:

$L = 9,70$ m. Longitud total del poste

$H = 8,10$ " altura del poste sobre el suelo

$L_v = 8,10$ " altura sobre el suelo a la cual se supone que actúa la fuerza debida a la presión del viento sobre los conductores.

$D_i = 25$ cm lado del extremo inferior del poste

$D_s = 10$ " " " " " superior " "

$D_e = 22,15$ " " de la sección de empotramiento

$D_m = 16,08$ " " " " " media de la parte exterior del poste.

$S_p = 1,30$ m² superficie expuesta al viento

$Z = 4,05$ " altura sobre el suelo a la cual se considera aplicada la fuerza producida por el viento sobre el poste.

$A =$ sección transversal del hormigón.

$S =$ " " " " " hierro

$P_v = 37,2$ kg/m² presión del viento sobre superficies planas, calculado según la fórmula:

$$P_v = 0,00754 \cdot V^2 \text{ kg/m}^2$$

Las fuerzas debidas a la presión del viento valen:

$$F_c = 45,4 \text{ kg (ya calculada)}$$

$$F_p = P_v \cdot S_p = 37,2 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,30 \text{ m}^2$$

$$F_p = 48,3 \text{ kg}$$

Los momentos producidos por éstas fuerzas en la sección de empotramiento son:

$$M_c = F_c \cdot L_v = 45,4 \text{ kg} \cdot 8,10 \text{ m} = 368 \text{ kgm}$$

$$M_p = F_p \cdot Z = 48,3 \text{ kg} \cdot 4,05 \text{ m} = 195 \text{ "}$$

El momento total será:

$$M_t = 563 \text{ kgm}$$

Determinamos a continuación el valor de la sección del hormigón en la línea de empotramiento.

$$A_e = D_e^2 = 22,15^2 = 491 \text{ cm}^2$$

Armamos la estructura al 2% de la sección del hormigón:

$$S_e = 0,02 \cdot A_e = 0,02 \cdot 491 = 9,82 \text{ cm}^2$$

tomamos 8 barras de hierro de ϕ 1,27 cm (1/2") con una sección de 10,13 cm² o sea 2,07 % de A_e .

Determinamos analíticamente la posición del eje neutro, estableciendo la ecuación de los momentos estáticos con respecto a dicho eje, para lo cual consideramos que en la parte sometida a tensión solo trabaja el hierro para el cálculo nos servimos de la nomenclatura indicada en el Dáb. # 2 y cuyos símbolos tienen los siguientes valores.

$$h = 22,15 \text{ cm} = b = D_e$$

$$e = 2,5 \text{ "}$$

$$h_1 = 19,65 \text{ "} = h - e$$

$$S_{e1} = 3,8 \text{ cm}^2 = S_{e3}$$

$$S_{e2} = 2,53 \text{ " } =$$

Al resolver la ecuación de momentos planteada en función de la distancia del extremo de la sección al eje neutro, encontramos que esta vale:

$$x = \frac{-n \cdot S_e + \sqrt{(n \cdot S_e)^2 + n \cdot b \cdot B}}{b}$$

en la fórmula tenemos que:

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3}$$

$$B = 2 \cdot S_{e1} \cdot e + S_{e2} \cdot h + 2 \cdot S_{e3} \cdot h_1$$

reemplazando valores y calculando tenemos:

$$S_e = 10,13 \text{ cm}^2 \text{ (valor ya calculado)}$$

$$B = 2 \cdot 3,8 \cdot 2,5 + 2,53 \cdot 22,15 + 2 \cdot 3,8 \cdot 19,63$$

$$= 19 + 56,1 + 149,2$$

$$B = 224,30$$

y la distancia al eje neutro:

$$x = \frac{-15 \cdot 10,13 + \sqrt{(15 \cdot 10,13)^2 + 15 \cdot 22,15 \cdot 224,30}}{22,15}$$

$$= \frac{-152 + \sqrt{23.100 + 74.500}}{22,15}$$

$$\frac{-152 + 512}{22,15}$$

$$x = 7,22 \text{ cm.}$$

Hacemos también la comprobación grafostática del eje neutro, para lo cual construimos el polígono de fuerzas y funicular correspondiente a las armaduras tendidas y lo mismo hacemos para las armaduras y hormigón comprimidos, el punto de corte de los dos funiculares nos indica la situación del eje neutro, que como se ve en el dibujo # 2 tiene el mismo valor que el en-

contrado analíticamente.

Continuando el cálculo del poste buscamos los momentos de inercia correspondientes a la zona comprimida (momento de inercia del hormigón y las armaduras) y de la zona tendida (se considera solamente el momento debido a las armaduras) y con esos valores calculamos las fatigas del material en cada caso, realizando el cálculo obtenemos los valores que se detallan a continuación:

Sección comprimida:

$$I_h = \frac{b \cdot x^3}{3} = \frac{22,15 \cdot 7,22^3}{3}$$

$I_h = 2,780 \text{ cm}^4$ momento de inercia del hormigón

$$I_{a_1} = S_{e_1} \cdot (x - e)^2 \cdot 15 = 3,8 \cdot 4,72^2 \cdot 15$$

$I_{a_1} = 1,270 \text{ cm}^4$ momento de inercia del hierro

sección tendida:

$$I_{a_2} = S_{e_2} \cdot \left(\frac{h}{2} - x\right)^2 \cdot 15 = 2,53 \cdot 3,855^2 \cdot 15$$

$I_{a_2} = 564 \text{ cm}^4$

$$I_{a_3} = S_{e_3} \cdot (h_1 - x)^2 \cdot 15 = 5,8 \cdot 12,41^2 \cdot 15$$

$I_{a_3} = 8,730 \text{ cm}^4$

el momento de inercia total vale:

$$I_t = I_h + I_{a_1} + I_{a_2} + I_{a_3}$$

$I_t = 13,394 \text{ cm}^4$

Con los valores anteriores calculamos las fatigas de trabajo del material en las dos zonas:

$$K_h = \frac{M_t}{I_t} \cdot x = \frac{56,500 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{13,394 \text{ cm}^4} \cdot 7,22$$

$K_h = 30,3 \text{ kg/cm}^2$ fatiga del hormigón comprimido

$$K_{a_1} = \frac{M_t}{I_t} \cdot (x - e) \cdot 15 = \frac{56,300}{13,394} \cdot 4,72 \cdot 15$$

$$K_{a_1} = 298 \text{ kg/cm}^2 \text{ fatiga de las armaduras comprimidas}$$

$$K_{a_2} = \frac{M_t}{I_t} \cdot \left(\frac{h}{2} - x\right) \cdot 15 = \frac{56,300}{13,394} \cdot 3,855 \cdot 15$$

$$K_{a_2} = 244 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{a_3} = \frac{M_t}{I_t} \cdot (h_1 - x) \cdot 15 = \frac{56,300}{13,394} \cdot 12,41 \cdot 15$$

$$K_{a_3} = 784 \text{ kg/cm}^2$$

Una vez que se comprueba que los materiales trabajan con valores admisibles, pasamos a calcular la sección situada en la mitad de la parte exterior del poste.

En este caso la sección del hormigón vale:

$$A_m = D_m^2 = 16,08^2 = 258,3 \text{ cm}^2$$

y la sección de las armaduras:

$$S_m = 0,02 \cdot 258,3 = 5,17 \text{ cm}^2$$

tomamos 4 varillas de $\phi 1,27$ cm. con una sección total de 5,06 cm² que corresponde a un armado del 1,96%.

De la misma manera que para la sección de empotramiento se realizan los demás cálculos de comprobación de la resistencia de la sección media, los cálculos que siguen se han hecho a partir de los siguientes valores:

$$h = 16,08 \text{ cm}$$

$$e = 2,50 \text{ ''}$$

$$S_{e_1} = 2,53 \text{ cm}^2 = S_{e_3}$$

$$h_1 = 15,58 \text{ ''}$$

$$S_{e_2} = 0$$

$$S_e = 5,06 \text{ cm}^2$$

$$F_v = 45,4 \text{ kg}$$

$$F_p = F_v \cdot S_{p_m} = 37,2 \cdot 0,527$$

$$F_p = 19,6 \text{ kg}$$

En la fórmula S_{p_m} es la superficie expuesta al viento de la parte superior del poste.

$$F_t = 85 \text{ kg.}$$

Consideramos en este caso que las fuerzas actúan en el extremo del poste.

reemplazando valores en las fórmulas ya indicadas obtenemos:

$$x = 4,94 \text{ cm}$$

$$I_D = 648 \text{ cm}^4$$

$$I_{a_1} = 226 \text{ "}$$

$$I_{a_2} = 2.735 \text{ "}$$

$$I_t = 3.669 \text{ " Momento de inercia total.}$$

Las fatigas de los materiales serán:

$$K_D = 31,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{a_1} = 361 \text{ "}$$

$$K_{a_2} = 923 \text{ "}$$

El poste calculado tiene un volumen de:

$$V_P = \left(\frac{0,25 + 0,10}{2} \right)^2 \cdot 9,70 = 0,297 \text{ m}^3$$

En la armada del poste se usarán 4 varillas que atraviesan toda la longitud del poste, dispuestas junto a los vértices; las otras cuatro solo llegan hasta una altura de 5,65 m. medidos desde el extremo inferior del poste. Los estribos se colocarán cada 20 cm. y tendrán un diámetro de 0,635 cm (1/4"), más detalles se indican en el plano # 6 y en el presupuesto.

Cruceñas.— Las cruceñas son de hierro U de igual sección y características mecánicas a las empleadas en los postes de hierro.

Postes de ángulo.— Habiendo calculado los postes de borbegón para un vano promedio igual que para los postes de madera, la distribución de los

postes es la misma. Por lo tanto tendremos 5 postes de ángulo, ya que en los tres cambios de dirección restantes van postes de anclaje cuya resistencia es suficiente para soportar los esfuerzos por cambio de dirección.

El poste A_2 es de iguales características a los de alineación, ya que su resistencia es suficiente para soportar los esfuerzos combinados producidos por la presión del viento y el cambio de dirección, tenemos que:

$$F_v = 45,4 \text{ kg}$$

$$F_p = 18,3 \text{ "}$$

$$F_d = 27,4 \text{ "}$$

de donde la fuerza total es de:

$$F_t = 121,1 \text{ kg.}$$

y los momentos producidos por estas fuerzas en la sección de empotramiento valen:

$$M_v = 45,4 \text{ kg} \cdot 8,10 \text{ m} = 368 \text{ kgm}$$

$$M_p = 18,3 \text{ kg} \cdot 4,05 \text{ m} = 196 \text{ "}$$

$$M_d = 27,4 \text{ kg} \cdot 8,10 \text{ m} = 222 \text{ "}$$

$$M_t = \underline{785 \text{ kgm}}$$

Con éste valor calculamos nuevamente las fatigas del material aplicando de las ecuaciones conocidas, tenemos así:

$$K_n = \frac{78.500}{18.894} \cdot 7,22 = 42,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{a3} = \frac{78.500}{18.894} \cdot 12,41 \cdot 15 = 1.092 \text{ kg/cm}^2$$

Los valores obtenidos nos indican que el poste trabaja satisfactoriamente en las condiciones señaladas.

Para los cuatro postes restantes vamos a utilizar la disposición indicada en el plano # 5 y para el cálculo vamos a suponer que cada

poste soporta la mitad de los esfuerzos debidos a la presión de viento sobre los conductores y postes y los debidos al cambio de dirección, que para el cálculo consideraremos el ángulo más desfavorable.

Como por otro lado los postes de anclaje además de tener la misma disposición que los postes de ángulo, tienen que resistir un esfuerzo que en números es solo algo mayor al que soportan dichos postes para el caso indicado, los vamos a calcular conjuntamente, teniendo en cuenta que en el caso de los postes de ángulo los esfuerzos son normales a la dirección de la línea, siguiendo la dirección de ésta en el otro caso.

Por lo tanto a continuación al tratar de los postes de anclaje vamos a indicar las características de éstos postes, añadiendo solamente que se colocarán siguiendo la dirección de la bisectriz de las dos direcciones.

Postes de anclaje.— De acuerdo al plano # 5, las dimensiones de los postes de anclaje son las siguientes:

$L = 9,50$ m.	$D_1 = 40$ cm.
$H = 7,60$ "	$D_2 = 20$ "
$L_g = 7,55$ "	$D_3 = 26,24$ "
$h = 1,70$ "	$D_4 = 26,18$ "

Los esfuerzos debidos a la tensión de los conductores valen:

$$F_t = 8 . 290 \text{ kg} = 8,70 \text{ kg}$$

como esta fuerza se reparte proporcionalmente en cada poste tenemos:

$$F_p = 435 \text{ kg.}$$

el momento en la sección de empotramiento:

$$M = 435 \text{ kg} . 7,55 \text{ m} = 3,265 \text{ kgm}$$

siguiendo el proceso de cálculo indicado, hemos obtenido los siguientes valores:

$$A_e = 1,520 \text{ cm}^2$$

$$S_e = 26,82 \text{ cm}^2 \text{ (armada al } 2,015\% \text{)}$$

Hechos tomados 4 varillas de 1,935 cm de diámetro (3/4") y 4 varillas de 2,22 cm (7/8").

Para el cálculo de la distancia al eje neutro tenemos los siguientes valores:

$$b = 38,54 \text{ cm} = b$$

$$e = 5 \text{ "}$$

$$h_1 = 53,54 \text{ "}$$

$$S_{e_1} = 10,57 \text{ cm}^2 = S_{e_3}$$

$$S_{e_2} = 5,58 \text{ "}$$

reemplazando estos valores y calculando tenemos:

$$B = 971,4$$

$$S_e = 26,82$$

$$x = \underline{11,61 \text{ cm}}$$

Calculando en la misma forma los momentos de inercia tenemos:

$$I_h = 19,960 \text{ cm}^4 \quad I_{a_1} = 12,500 \text{ cm}^4 \quad \dots \text{ sección comprimida}$$

$$I_{a_2} = 8,895 \text{ "} \quad I_{a_3} = 60,400 \text{ "} \quad \dots \text{ " tendida}$$

Luego el momento total vale:

$$I_t = 118,055 \text{ cm}^4$$

Las fatigas respectivas de los materiales valen:

$$K_h = 83,6 \text{ kg/cm}^2 \quad K_{a_1} = 375 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{a_2} = 271 \text{ "} \quad K_{a_3} = 358 \text{ "}$$

Para la sección media tenemos:

$$A_m = 734 \text{ cm}^2$$

$$S_m = 15,45 \text{ " (armada al 19,54\% - 4 varillas de } \phi \text{ 2,22 cm)}$$

$$b = 28,16 \text{ cm}$$

$$e = 5 \text{ "}$$

$$h_1 = 23,16 \text{ "}$$

$$x = \underline{9,10 \text{ cm}}$$

$$S_{e_1} = S_{e_3} = 7,74 \text{ cm}^2$$

$$S_{e_2} = 0$$

$$I_h = 7.080 \text{ cm}^4$$

$$I_{a_1} = 4.320 \text{ "}$$

$$I_{a_2} = 30.000 \text{ "}$$

$$I_t = 41.380 \text{ cm}^4$$

El momento flector que soporta esta sección vale:

$$M = 435 \text{ kg} \cdot 3,77 \text{ m} = 164.000 \text{ kg.cm}$$

para este momento las fatigas valen:

$$K_h = 36,70 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{a_1} = 365 \text{ "}$$

$$K_{a_2} = 958 \text{ "}$$

Las cuatro barras de $7/8''$ atraviesan todo el poste junto a los vértices, mientras que las restantes solo lo hacen hasta la sección media o sea 3,52 m. medidos desde la base inferior del poste.

El volumen del poste es:

$$V_p = \left(\frac{0,40 + 0,20}{2} \right)^2 \cdot 9,50 = 0,657 \text{ m}^3$$

Bloque de fundación.— Por las razones anotadas en el cálculo de postes de hierro, es necesario aquí también usar un bloque de fundación.

Reemplazando los valores que indicamos a continuación, en la ecuación conocida tenemos:

$$F = 435 \text{ kg}$$

$$H = 755 \text{ cm}$$

$$h = 170 \text{ "}$$

$$K_t = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = \frac{6 \cdot 435 \cdot 755 + 6 \cdot 435 \cdot 170 - 1 \cdot 170^2 \cdot d}{3 \cdot d}$$

$$Q = \frac{2.192.000 - 28.900 \cdot d}{3 \cdot d}$$

Para $d = 65$ cm hemos encontrado que:

Q = 1,600 kg.

Mientras que el peso total del poste y bloque llega a 2,100 kg. por lo cual escogemos esta dimensión para el bloque.

Accesorios.— Las cruzetas tienen las mismas dimensiones que las usadas en los postes de madera, los demás accesorios son iguales a excepción de las abrazaderas.

P R E S U P U E S T O

En este capítulo vamos a calcular el costo de la línea de transmisión independientemente para los postes de madera, hierro y hormigón.

Estructuras de madera:

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO \$.
121	*Postes de alineación de 970 cm de largo y 20 cm de diámetro en la sección de empotramiento. \$ 200,00 c/u	24.200,00
121	crucetas de madera de 130 x 6 x 5 cm. \$ 9,75 c/u	1.179,00
121	abrazaderas tipo U para las crucetas, de 1,27 cm de diámetro (1/2") con sus respectivas tuercas y arandelas. (Fig. 5) \$ 7,40 c/u	896,00
365	aisladores de soporte para 22 KV. L.M. (Line Material) # de catálogo NPRT1 - Boletín DLS - página 7 Fig. 1 \$ 257,50	15.710,00
242	pernos para aislador (Forged Steel Pins) diámetro de la rosca en la cabeza 1 3/8", diámetro del asta 5/8" (Fig. 2) \$ 96,82	3.547,42
121	soportes terminales para aisladores (Pole Top Pin Bracket) con perno fijo. L.M. # de catálogo BA121Y2 Boletín DL2 - página 15. (Fig. 5) \$ 155,10	2.845,22
121	adaptadores de soporte terminal (Pole Malleable Adapter Head) diámetro de la rosca 1 3/8". L.M. # de catálogo 3452 - Boletín DL2 - página 10 (Fig. 4) \$ 109,47	2.005,75
4	*Postes de ángulo (el A ₂ se incluyó entre los de a-	

121
4
23
128

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO \$.
	lineación) de 1.130 cm. de largo y 25 cm. de diámetro en la sección de empotramiento. $\%$ 220,00	550,00
26	aisladores de retención, en cadenas de S. L.M. # de catálogo NSSA1 - Boletín DL5 - página 10. (Fig. 6) \$ 297,50	1.568,05
12	pernos con ojo (Eye Bolts) de 1/2" de diámetro, L.M. # de catálogo 9422-N Boletín DL3 - página 18 (Fig. 8) \$ 92,41	113,45
12	grapas de suspensión (suspension Clamps) L.M. # de catálogo WBT5250AT - Boletín DLTA - página 4. (Fig. 7) \$ 322,00	565,40
4	tensores de acero galvanizado Siemens Martin de 0,835 de diámetro y 12,60 m. $\%$ 40,32 u/u	161,25
1	tensor de 12 m.	35,40
5	pernos con guarda cabo en ángulo (Single Strand Eye Bolts) L.M. # de catálogo 205235B514 - Boletín DL5 - página 19. (Fig. 11) \$ 73,67	57,80
40	grapas de acero (Crosby Rope Clips) L.M. # de catá- logo 9601 - Boletín DL5 - página 23. (Fig. 12) \$ 61,50	247,69
5	aisladores de tracción de porcelana (Guy Strain Insu- lator) para una descarga de contorno en seco de 25 KV y bajo lluvia de 12 KV para cables hasta de 3/8" de diámetro. L.M. # de catálogo W32A1 - Boletín DL5 - pá- gina 13. (Fig. 13) \$ 54,50	25,15

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO - \$ -
5	viguetas doble T de 140 cm. Perfiles normales alema- nes de 200 mm. Peso por m. 20 kg (Fig. 14) \$ 180 por metro.	910,00
5	tuerca guarda cabe y perno (Strand Eye Nut) L.M. # de catálogo 28008541 - Boletín DLB - página 4. (Fig. 15) perno de 5/8". \$ 55,97	42,40
25	*Postes de anclaje. Cada poste de 950 cm. de largo y 20 cm de diámetro en la sección de empotramiento. \$ 200,00 cada poste	9,200,00
414	aisladores de retención. En cada poste 6 cadenas de 3 aisladores cada una. Características anotadas.	18,032,29
23	crucetas de hierro U de 2,40 m. Perfiles normales alemanes de 14 cm y una sección de 20,4 cm ² . \$ 252	5,796,00
46	abrazaderas tipo U para la cruceta, de 1,27 cm. de diámetro con sus respectivos accesorios, \$ 7,40	340,40
69	pernos de doble rosca de 24 cm. de largo, la rosca tiene 6 cm. en cada extremo. (Fig. 8) diámetro del perno 5/8". \$ 2,75	189,75
158	tuerca con ojo (Eye Nuts) L.M. # de catálogo 1739 Boletín DLB página 4. (Fig. 10) \$ 48,64	975,18
158	grapas de tracción (Strain Clamps) Límite máximo del diámetro de los conductores 14 mm. mínimo 4,06 L.M. # de catálogo WB7511 - Boletín DLBA - página 20. Carga de rotura 5.000 kg. (Fig. 7) \$ 510,50	8,491,62

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO \$.
92	tensores de acero galvanizado de 10,70 m ϕ . 5,20/m	5.150,00
92	pernos con guarda cabo.	1.063,60
184	grapas de acero.	1.714,37
92	aisladores de tracción.	480,86
92	tuerca guarda cabo con perno	780,12
92	viguetas doble T	18.744,00
86,957 m	cable de cobre A.W.G. # 6	184.400,00
1	transformador de 500 KVA 22.000/4180/2400 V.	40.908,00
1	transformador de 520 " 22.000/220/127 V	27.270,00
3	transformadores de 60 KVA " " " "	27.270,00
39	tubos explosores. \$ 69,00 c/u	40.683,65
Costo del montaje de las estructuras:		
121	postes de alineación. \$ 100,00 c/u	12.100,00
4	postes de ángulo. \$ 140,00 c/u	560,00
1	tensor para el poste A_2 . \$ 40,00	40,00
28	postes de anclaje. \$ 340,00	7.820,00
COSTO TOTAL ...		\$ 411.625,62

Estructuras de hierro:

96	postes de acero de 1,097 cm. (Stepped Pole) Stewarts & Lloyds, Ltd (S. & L, Ld) # de referencia 298 - código MILKY - página 47. peso 144 kg. \$ 49,94	78.835,91
96	brucetas de hierro U de 1,50 m. Perfiles normales a lambres de 8 cm y una sección de 11 cm ² . \$ 61,00	7.776,00

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO \$.
96	abrazaderas tipo U para la cruceta, hierro de 1,27 cm de diámetro, con accesorios. (Fig. 16) \$ 7,20	691,20
288	aisladores de soporte	12,544,20
192	pernos para aislador del tipo indicado,	2,816,26
96	pernos para aislador para el terminal del poste. L.M. # de catálogo 235316 - Boletín DL2 - página 6. \$91,98	1,357,76
6	*Postes de ángulo, de acero de 1,280 cm. (Stepped Pole) S. & L, Ld. # de referencia 444 - código NIPYV página 51. \$ 238,15	21,647,52
54	aisladores de retención.	2,352,02
18	grapas de suspensión.	918,09
18	abrazaderas de presión (Pole Bandy Single Offset Type) provista de 2 tornillos de 1/2" x 3 1/2" y uno de 5/8" L.M. # de catálogo 221692YL4 - Boletín DL5 - página 15. (Fig. 17) \$ 151,45	358,48
18	tuercas con ojo.	127,21
6	bloques de fundación de 1,687 m ³ . Para un hormigón en la proporción 1 - 3 - 6, se necesitan:	
	0,755 m ³ de arena a \$ 20,00/m ³	15,20
	riple 1,51 m ³ a \$ 95,00/m ³	143,50
	cemento 742 lb a \$ 21,50/100 lb	159,40
	mano de obra y transporte \$ 50,00/m ³	84,50
	TOTAL ... \$ 402,20	2,418,20
18	*Estructuras de anclaje. Con postes de acero de 1,038	

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO -	\$.	-
	ca. (Stepped Pole) S. & L, Ld. # de referencia 258 código NIJUC - página 45. Peso 410 kg. \$ 141.78		77,816,44	
18	arcuetas de hierro U de 3,80 m. ² erfiles normales a- luminas de 18 cm y 24 cm ² de sección. \$ 341,60 c/u		6,148,80	
36	abrazaderas tipo U. (Fig. 18) \$ 7,40		266,40	
54	pernos doble rosca.		146,50	
108	tuercas con ojo.		785,19	
324	aisladores de retención		14.112,22	
108	grapas de tracción		5,080,40	
36	bloques de fundación de 0,77 m ³ . Para un hormigón en la proporción 1 - 3 - 6, se necesitan:			
	arena: 0,545 m ³ . \$ 20,00/m ³		6,90	
	ripió: 0,890 " . \$ 95,00/m ³		65,50	
	cemento: 338 lb. \$ 21.50/100 lb		72,90	
	mano de obra y transporte \$ 50,00/m ³		38,50	
	TOTAL ... \$ 188,80		6.618,60	
66,987 m	cable de cobre # 6 A.V.G.		154,400,00	
1	transformador de 500 KVA (ABG)		40,905,00	
1	" " 520 " "		27,270,00	
3	" " 60 " "		27,270,00	
39	explosores.		40,668,65	
98	postes de alineación. \$ 120,00 (montaje)		11,840,00	
6	postes de ángulo. \$ 150,00		960,00	
18	postes de anclaje. \$ 360,00		6,480,00	
	COSTO TOTAL DE LAS ESTRUCTURAS DE HIERRO		\$ 525,068,94	

Estructuras de hormigón:

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO \$ -
121	postes de alineación de 970 cm., armado con varillas de 1/2" y estribos de 1/4" cada 20 cm. En su construcción entran los siguientes materiales, proporción: 1 - 1 1/2 - 3	
	hierro:	
	9,70 m . 2,2 lb/m . 4 = 85,5 lb	
	5,65 m . 2,2 " . 4 = 49,7 "	
	0,74 m . 0,55 " . 40 = 20,0 "	
	185 lb	
	8% por desperdicio 12,4 "	
	187,4 lb . \$ 1,58/lb	277,00
	arena: 0,121 m ³ . \$ 20,00/m ³	2,42
	ripio: 0,242 m ³ . \$ 95,00/m ³	23,00
	cemento: 248 lb. \$ 21,50/100 lb	53,20
	telas: 27. \$ 4,00 (- 50%)	54,00
	alambre y clavos	15,00
	mano de obra	130,00
	Costo del poste \$ 529,62	
		65.294,02
121	crucetas de hierro U de 20 cm. Perfiles normales alemanes de 8 cm., y una sección de 11 cm ² . \$ 10,80	1.582,40
121	crucetas de 150 cm. \$ 70,20	7.494,20

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO \$.
242	abrazaderas tipo U de líneas rectas, de hierro de 1,27 cm. de diámetro, (Fig. 19) \$.	8,60
		1.597,20
363	aisladores de soporte	15.710,92
366	pernos para aislador	5.324,46
4	*Postes de ángulo (que incluimos en los postes de anclaje).	
27	*Postes de anclaje de 930 cm. armado con varillas de 7/8" y 5/4" estribos de 1/4" cada 20 cm. (mescla 1 1 1/2 - 3)	
	hierro:	
	9,30 m . 8,70 lb/m . 4 = 249 lb	
	5,52 m . 4,92 " . 4 = 108,5 "	
	1,20 m . 0,55 " . 47 = 31 "	
		<u>388,5 "</u>
	8% por desperdicio	31,1 "
		<u>419,6 "</u> . \$ 1,56/lb
		654,58
	arena: 0,643 m ³ . \$.	20,00/m ³
		8,86
	ripio: 0,684 m ³ . \$.	95,00/m ³
		64,80
	cemento: 788 lb . \$.	21,50/100 lb
		157,50
	duelas: 45 . \$.	4,00 (- 50%)
		90,00
	alambre y clavos	20,00
	mano de obra	150,00
		<u>654,58</u>
	Costo del poste, \$.	1.175,74
		63.881,96
27	crusetas de hierro U de 2,40 m. Perfiles normales alema- nes de 14 cm. y sección 20,4 cm ² . \$.	252,40
		6.814,80

CANTIDAD -	DESCRIPCION	COSTO - \$ -
54	abrazaderas tipo U de líneas rectas (Fig. 20) \$6,60	358,40
162	tuerca con ojo	1.144,60
486	aisladores de retención	21.168,20
162	grapas de tracción	7.620,64
54	bloques de fundación de 0,47 m ³ . Para un hormigón en la proporción 1 - 3 - 6, se necesitan:	
	arena: 0,215 m ³ . \$ 20,00/m ³	4,30
	ripio: 0,450 m ³ . \$ 95,00/m ³	40,70
	cemento: 207 lb . \$ 21,50/100 lb	44,60
	mano de obra y transporte \$ 50,00/m ³	28,50
		<u>\$ 115,10</u>
		6.107,40
66.917 m	cable de cobre # 6 A.W.G.	134.400,00
1	transformador de 500 KVA	40.905,00
1	" " 320 "	27.270,00
3	" " 60 "	27.270,00
30	explosores.	40.888,65
	Costo del montaje de las estructuras:	
121	postes de alineación. \$ 120,00	14.520,00
27	postes de anclaje. \$ 380,00	10.260,00
		<u>498.647,86</u>
	COSTO TOTAL DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ... \$	498.647,86

CONCLUSIONES

Para seleccionar el tipo de línea más conveniente para la instalación vamos a realizar un estudio comparativo entre los 3 tipos de estructuras estudiados, en los siguientes aspectos:

Costo total de la instalación incluyendo recambio de estructuras (caso de los postes de madera) y un 20% más sobre el costo obtenido en el presupuesto, por concepto de Dirección técnica, estudios, transporte, gastos imprevistos, etc, etc,

Gastos anuales: Depreciación, Interes, mantenimiento y reparaciones.

Estructuras de madera.--

Costo total según presupuesto	\$.	411,625,62
20% gastos adicionales		62,825,12
		<hr/> 498,950,74
recambio de las estructuras cada 5 años:		
2 veces 121 postes de alineación a \$.	200,00	48,400,00
montaje por poste \$.	100,00	24,200,00
2 veces 4 postes de ángulo a \$.	220,00	1,760,00
montaje por poste \$.	140,00	1,120,00
2 veces 23 postes de anclaje a \$.	400,00	18,400,00
montaje por poste \$.	340,00	15,840,00
	COSTO TOTAL ... \$.	<hr/> 603,470,74

Gastos anuales:

depreciación en 15 años, calculado sobre el costo total		
6,67% anual		40,251,50
Interes del 12% sobre \$.	498,950,74	59,274,09
Mantenimiento: Se necesita 2 hombres para que recorran		

siguen ... \$ 99,525,59

constantemente la línea haciendo limpias quincenales de la base de los postes y dando una capa de pintura protectora de alquitrán hasta un metro sobre el suelo cada 6 meses,

2 peones a \$ 500,00 mensuales 12,000,00

alquitran 1 galón cada 4 postes 2 veces al año son

272 postes, o sea 68 x 2 galones a \$ 20,00 2,720,00

reparaciones 1/2% 2,489,75

Gastos anuales ... \$ 116,715,54

Estructuras de hierro.--

Costo total según presupuesto \$ 525,066,94

20% gastos adicionales 105,015,59

COSTO TOTAL .. \$ 630,082,53

Gastos anuales:

depreciación en 15 años, 6,67% anual \$ 42,026,56

Interes del 12% 75,609,64

Mantenimiento y reparaciones 1% (Pintura, etc.) 5,500,80

Gastos anuales ... \$ 123,137,00

Estructuras de hormigón.--

Costo total según presupuesto \$ 495,647,86

20% gastos adicionales 99,729,57

COSTO TOTAL .. \$ 595,377,43

Gastos anuales:

depreciación en 15 años, 6,67% anual \$ 52,920,74

Interes del 12% 71,505,29

	siguen ...	\$. 111,726,03
reparaciones 1/2 %		2,991,88
	Gastos anuales ...	<u>114,717,91</u>

Analizando los valores obtenidos se concluye que las estructuras de hormigón producen el mínimo de gastos anuales. Ese mínimo se acentúa cuando después de haber pagado todas las cuotas anuales (pago de la línea más o menos en un plazo de 5 años) los gastos se reducen a la depreciación, mantenimiento y reparaciones, en cuyo caso se tienen los siguientes valores:

Estructuras de madera	\$. 57,441,25
" " hierro	48,327,16
" " hormigón	42,912,62

Esta última apreciación nos conduce a recomendar el uso de estructuras de hormigón armado en la línea Milagro-Recinto, por ser la más conveniente desde los puntos de vista analizados.

Costo promedio del kWh transportado.— Este cálculo lo vamos hacer a partir de los gastos totales que ocasiona la línea en 15 años de servicio y los kWh transportados en ese tiempo.

Costo de la línea	\$. 598,377,43
Depreciación	598,377,43
Intereses: 12% anual, pago en 5 años en cuotas proporcionales.	

$$I = \frac{n+1}{2} \cdot C \cdot r \cdot l$$

n = 5 años

C = 598,377,43

r = 0,12

215,415,87

Pérdidas de energía: Según los cálculos realizados en el

Diseño Eléctrico. \$ 9.100,00 . 15 \$ 136.500,00

Mantenimiento y reparaciones:

\$ 2.991,55 . 15 59.876,20

GASTO TOTAL ... \$ 1.587.546,95

*Energía producida: Según el diagrama de carga de Milagro.

$$E = 0,424 \cdot 280 \cdot 8.760 \cdot 15 = 14.320.000 \text{ KWh}$$

En la fórmula 280 KW es la carga máxima promedio.

Luego el costo del KWh transportado es de \$ 0,111.

Comparación con la línea Buzay-Milagro.— Como ya indicamos dicha línea podría costar alrededor de \$ 100.000,00 por km. Por lo tanto en el tramo estudiado costaría:

\$ 100.000,00/km , 21,5 km \$ 2.150.000,00

En este caso los gastos totales que ocasiona la línea durante los mismos 15 años de servicio son:

Costo de la línea \$ 2.150.000,00

Depreciación 2.150.000,00

Interes: 8% anual, pago en 5 años en cuotas proporcionales. 516.000,00

Mantenimiento: 1% \$ 21.500 . 15 322.500,00

Gastos totales \$ 5.138.500,00

El costo del KWh transportado es de \$ 0,358.

Del último cálculo se desprende la ventaja de la primera instalación, tanto por su pequeño costo inicial como por los menores gastos que ocasiona durante el tiempo de servicio.

INDICE

	Página
Consideraciones generales	5
DISEÑO ELECTRICO	6
Selección de la Potencia	6
Selección del Voltaje	12
Selección de los Conductores	12
Distancia entre conductores	19
Caída de tensión	20
Pérdidas de Potencia	21
Aislamiento de la línea	21
Sistemas de protección	21
DISEÑO MECANICO	25
Flecha y esfuerzos en los conductores ...	25
Clase y tipo de aisladores	29
DISEÑO ESTRUCTURAL	31
Postes de madera	32
Postes de hierro	40
Postes de hormigón	51
PRESUPUESTO	62
Costo postes de madera	62
Costo postes de hierro	65
Costo postes de hormigón	68
CONCLUSIONES	71

T A B L A S

De valores para la selección del conductor ...	16
De valores para la selección del vano	41

INDICE DE PLANOS

	Plano Nº
Localización de la Línea	0
Poste de alineación (Madera)	1
Poste de ángulo (Madera)	2
Poste de anclaje (Madera)	3
Poste de hierro	4
Postes de hormigón	5
Detalle del tensor	6
Postes de hormigón (Detalle estructural) ...	7
	Diagrama
Curva de carga de Hilagro en % de la Carga Máxima	1
Crecimiento de la carga y Potencia de las Instalaciones ...	2
Crecimiento del consumo, kWh generados	3
	Dibujo
Nomenclatura Postes de hierro	1
Diagrama Grafoestático Postes de hormigón	2

BIBLIOGRAFIA

Manual Standard del Ingeniero Electricista	
Tomos I - II. Editorial Labor	A. E. Knowton
La escuela del técnico Electricista	
Tomo I. Editorial Labor	Paul Hering
Compendio de resistencia de Materiales	
Tomo I - II. Editorial Labor	Rubio Sanjuán
Redes Eléctricas - Editorial Gustavo Gili	Zorretti
Tubular Steel Poles	Stewarts & Lloyds, Ltd.
Curso de Electrotecnia ..	Ing. V. Jácome