

E S C U E L A     D E     I N G E N I E R O S

DEPARTAMENTO DE MECANICA Y ELECTRICIDAD

LIMA - PERU

P R O Y E C T O     D E     G R A D O

PLANTA DE FUERZA

PARA LA FABRICA DE CEMENTO

DE PACA SMAY O

L. ROBERTO HEREDIA ZAVALA

Promoción 1947

oooooooooooooooo

## I N D I C E

Pags.

### CAPITULO I

<u>Determinación de la Capacidad de la Planta</u>	1
Curva de carga de la fábrica de Cemento	1
Determinación de la carga de Pacasmayo, San Pedro, Chepén y Guadalupe	3
Cálculo económico del Servicio de Alumbrado y fuer- za motriz a San Pedro y Pacasmayo	13
Cálculo económico del Servicio de Alumbrado y fuer- za motriz a Chepén y Guadalupe	31

### CAPITULO II

<u>Determinación del tipo más económico de generación de fuerza motriz</u>	47
a) Grupos Diesel-eléctricos	47
b) Grupos turbogeneradores a vapor	47
c) Grupos turbogeneradores a gas	48
A.- Central en Pacasmayo	49
División de la carga	50
B.- Central al lado de la Fábrica de Cemento	56
C.- Grupos Diesel-eléctricos al lado de la fábrica	57

### CAPITULO III

Proyecto de José Maraví M.

### CAPITULO IV

Proyecto de José Maraví M.

Pags.

CAPITULO V

Distribución eléctrica en San Pedro de Lloc y Pacas-  
mayo

61

CAPITULO VI

Proyecto de José Maraví M.

CAPITULO VII

Disposición del equipo en la Central

85

CAPITULO VIII

Presupuesto y Tarifas

112

CAPITULO IDETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA

La producción diaria de la planta de cemento será de 2,000 barriles y se ha especificado un consumo de 20 KWH por barril, luego, el consumo diario de energía sería:

$2,000 \times 20 = 40.000$  KWH, de donde podemos obtener la carga media diaria:

$$\frac{40.000}{24} = 1670 \text{ KW}$$

La Fábrica de Cemento se compone de las siguientes partes, según las especificaciones adjuntas:

1.- Planta de Trituración Secundaria	197.5	HP	instal.
2.- Departamento de Almacenaje	147.5	"	"
3.- Depto. de Molienda Cruda	750.0	"	"
4.- Depto. de Calcinación	262.5	"	"
5.- Depto. de Terminación de Cemento	1510.0	"	"
6.- Depto. de Almacenaje de Cemento	30.0	"	"
7.- Sección de Embalaje	99.5	"	"
	2997.0	HP	"

A cada una de estas secciones corresponde un grupo de motores cuya lista se da.

Curva de carga de la fábrica

Al trazar esta curva hemos tenido en cuenta una se

rie de factores, entre los que podemos citar el proceso de fabricación de cemento por el sistema de vía húmeda, factores de demanda y diversidad correspondientes a cada una de las secciones de la fábrica, así como también factores de diversidad entre las secciones mismas.

En el cuadro que se da a continuación se verá detalladamente los factores de demanda y diversidad tomados.

Nº	SECCION	Carga conec- tada KW	Factor de di- versi- dad	Factor de de- manda	Máxima deman- da. KW	Máxima deman- da to- tal. F.div. 1.1
1	Trit.Secund.	165	1.15	0.88	126	1880 KW
2	Almacenaje	123	1.5	0.85	80	
3	Molienda Cruda	615	1.2	0.88	510	
4	Calcinación	223	1.1	0.91	180	
5	Term. de Cemen.	1225	1.15	0.88	1063	
6	Almac. de Cem.	26	1.4	0.87	25	
7	Embalaje	86	1.1	0.92	86	
T O T A L		2463	Suma de máximas demandas {		2100	

La máxima demanda total obtenida es, pues, 1880 KW lo que nos da un factor de carga de:

$$\frac{1670}{1880} = 0.89$$

Determinación de la carga de Pacasmayo, San Pedro, Chepén y Guadalupe.

Según el censo de 1940, estas ciudades tenían las siguientes poblaciones:

Pacasmayo	6631 hab.
San Pedro	7457 "
Chepén y Guadalupe	12350 "

El servicio de estas poblaciones se ha fijado para un período de 12 años, por lo cual debemos hacer un cálculo aproximado de las poblaciones que tendrían en esa época, es decir, en 1960.

La fórmula:

$$H = h \left( 1 + \frac{f}{100} \right)^n$$
 nos da la población H que se tendría dentro de "n" años, siendo "h" la población actual y "f" un factor de crecimiento anual que, para este tipo de poblaciones, es  $f = 2.2$ .

Haciendo los cálculos tenemos:

Pacasmayo	9730 hab.
San Pedro	10800 "
Chepén y Guadalupe	17800 "

Según las estadísticas de los "Servicios Eléctricos del Perú", las capacidades instaladas en esas ciudades en 1940 eran:

Pacasmayo	234.4 KW
San Pedro	44.0 KW
Chepén y Guadalupe	160.0 KW

Basándonos en los datos anteriores, determinaremos en seguida, en forma estimada, las cargas de cada una de estas poblaciones:

CIUDAD	Alumbrado Particular W/h KW	Alumbrado Público 400 watts /cuadra.	Servicios Especiales.	Factor de diversidad.	TOTAL LES KW
Pacasmayo	10 100	40	20	1	160
San Pedro	3.5 35	20	15	1	70
Chepén y Guadalupe	6 100	55	25	1	180

De los resultados obtenidos puede observarse que la carga de Pacasmayo es menor que los 234.4 KW dados por los "Servicios Eléctricos del Perú", lo que puede explicarse fácilmente, ya que los 234.4 KW se refieren a una capacidad instalada, mientras que los 160 KW obtenidos por el cálculo corresponden a una máxima demanda a base de un consumo por habitante normal para las ciudades peruanas, del tipo de Pacasmayo.

En el caso de San Pedro se ha obtenido 70 KW, contra 44 dados por las estadísticas de los "Servicios Eléctricos del Perú", lo que era de esperarse, pese a haberse toma-

do un consumo por habitante algo bajo. Este consumo bajo en realidad se debe a haber referido el consumo de alumbrado particular a toda la población de San Pedro, la que en gran parte es rural y no usa alumbrado eléctrico.



Cálculo económico del Servicio de Alumbrado y fuerza motriz a San Pedro y Pacasmayo

El objeto de este cálculo es determinar si es conveniente o no el servicio de alumbrado y fuerza motriz a San Pedro y Pacasmayo, por medio de líneas de transmisión, comparadas con grupos generadores situados en las mismas ciudades

Para esta comparación consideremos el caso más favorable de transmisión de energía, o sea cuando la Central está al lado de la Fábrica.

Distancias de transmisión:

a Pacasmayo	2.6 Km.	160 KW
a San Pedro	7 Km.	70 KW

A.- Línea de transmisión a Pacasmayo

Determinemos en primer lugar el voltaje más económico de transmisión. Alfred Still da una fórmula que puede usarse como primer tanteo:

$$KV = 5.5 \sqrt{\left( L + \frac{KW}{100} \right)}$$

L = millas

$$KV = 5.5 \sqrt{1.62 + 1.6}$$

$$KV = 5.5 \times \sqrt{3.22}$$

$$KV = 5.5 \times 1.8 = 9.9$$

Ensayemos con las tensiones standard de 2300, 4600 y 6600 volts.

Transmisión con línea a 2300 volts:

Calculemos la densidad más económica, de la fórmula:

$$\frac{S}{I_m} = \frac{(B + CK)}{(1000) f'' b}$$

derivada de la regla de Lord Kelvin que dice "que la sección más económica del conductor se obtiene cuando el costo anual de las pérdidas de energía es igual al interés sobre la parte de la inversión que es proporcional al peso del cobre".

B = costo anual del KW

C = costo ~~anual~~ del KWH

$\rho$  = resistividad del cobre por circular mil, por milla

b = incremento de costo por circular mil por milla

f'' = % de cargas fijas

K = constante tomada del diagrama anual de pérdidas correspondiente a un factor de carga de 38%, tal como puede verse en el diagrama N° 2.

$$I_m = \frac{KW \times 1000}{\sqrt{3} E \cos \phi}$$

$$KW = 160$$

$$E = 2300 \text{ volts}$$

$$I_m = \frac{160.000}{1.73 \times 2300 \times 0.8}$$

$$\cos \phi = 0.8 \text{ (asumido)}$$

$$B = 18$$

$$I_m = 50 \text{ Amp.}$$

$$C = 0.0059$$

$$\frac{S}{I_m} = \frac{18 + 0.0059 \times 1750}{1000} \times \frac{57500}{1000} = 57.500$$

$$f'' = 0.15$$

$$k = 1750$$

$$b = \$0.0091$$

$$\frac{S}{I_m} = \left[ \frac{18 + 10.3}{10} \times \frac{575}{0.15 \times 0.0091} \right]^{1/2}$$

$$\frac{S}{I_m} = \left[ \frac{28.3 \times 575}{0.15 \times 0.091} \right]^{1/2} = 1.19 \cdot 0.0.00 = 1090 \frac{\text{cir-mil}}{\text{Amp.}}$$

$$S = 1090 \times I_m$$

$$S = 1090 \times 50 = 54.500 \text{ circular-mils.}$$

Esta sección corresponde al conductor N° 2 de la escala Awg, cuyas características son las siguientes:

Peso por 1000 pies                      200.9 lb

Resistencia 1000 pies                  0.1593

En un espaciado triangular, la separación de los conductores sería:

$$S = 1.28 \text{ KV} + 10'' \quad \text{y} \quad S = 0.84 \cdot \text{KV} + 42$$

$$S = 3 + 10'' = 13'' \quad \text{y} \quad S = 46''$$

Tomemos un valor intermedio entre estos, tal como 3 pies. El valor de la reactancia por milla sería: 0.8582 Ohms/milla para un pie de separación, como hemos tomado dos pies de separación, la corrección es: 0.0555 o sea que la reactancia por milla es: 0.9137 ohms.

Peso de los conductores:

$$\frac{2600 \times 3.28}{1000} \times 200.9 \times 3 = 5130 \text{ lb}$$

Pérdidas al año:  $RI^2 \times 8760 \times F_e$

$$R = \frac{0.1593 \times 2600 \times 3.28}{1000} \times 3 = 4.06 \text{ 5}$$

Pérdidas en KWH al año:

$$\frac{4.06 \times (50)^2 \times 8760 \times 0.1973}{1000} \quad 17500 \text{ KW}$$

$$F_e = 0.7(f_c)^2 + 0.3 f_c = 0.7 \times 0.119 + 0.3 \times 0.38 = 0.0833 + 0.114$$

$$F_e = 0.1973$$

Las pérdidas al año están dadas por la fórmula:

$$8.76 R I_m^2 \times F_e$$

donde R es la resistencia de los tres conductores en  $I_m$  la corriente máxima y  $F_e$  un factor de utilización, que nos da las horas equivalentes en que la línea trabajaría con la máxima corriente. Su valor es  $F_e = 0.7 (f_c)^2 + 0.3 (f_c)$ , según F.H. Buller y C.A. Woodrow, ingenieros de la General Electric Company. El valor  $f_c$  es el del factor de carga.

Caida de tensión a plena carga

El libro "Transmission Lines" de De Weese da la siguiente fórmula para el cálculo de la caída de tensión a 80% de factor de carga:

$$\frac{KW \times l \times K}{0.01 \times E_r}$$

KW = potencia transmitida

l = longitud en milla

k = caída de tensión por KW por milla a 100 volts, 60 cidos y

$$\cos \phi = 0.80$$

$E_r$  = Tensión de llegada entre fases

El valor de K se obtiene de la tabla N° 16, pag. 36 del libro citado, conociendo la sección del conductor y el espacio equivalente en pies.

$$\frac{160 \times 2.12 \times 13.73}{0.01 \times 2300} = 202$$

K = 13.73 para conductor N° 2 y 2 pies de espaciamiento equivalente.

$$\% \text{ Regulación: } \frac{202}{2300} = 8.8 \%$$

B.- Transmisión a 4600 volts

Asumimos un factor de potencia de 80 %

$$I_m = \frac{160.000}{1.73 \times 4600 \times 0.8} = 25$$

$$I_m = 25 \text{ Amp.}$$

La sección más económica ya determinada es 1090 cir-mil/amp., luego el conductor de este caso tiene: 27.000 circular mils, que corresponde al N° 5.

Las características de este conductor son las siguientes:

Peso por 1000 pies : 102.2 lb

Resistencia por 1000 pies : 0.3256

( a 20° C )

Para este caso tomamos 3 pies de espaciamiento equivalente.

Peso de los conductores:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 102.2 \times 3}{1000} = 2610 \text{ lb.}$$

Pérdidas al año:

$$\text{Resistencia total : } \frac{0.3256 \times 2600 \times 3.28 \times 3}{1000} = 8.33$$

$$RI^2 \times 8760 \times F_e = \frac{8.33 \times (25)^2 \times 8760 \times 0.1973}{1000} = 9020 \text{ KWH}$$

Caída de tensión a plena carga:

$$\frac{\text{KW} \times l \times K}{0.01 \times E_r} = \frac{160 \times 2.12 \times 23.63}{46} = 174 \text{ volts}$$

$$\text{Regulación} = \frac{174}{4600} = 3.8$$

C.- Transmisión a 6600 volts

$$I_m = \frac{160,000}{1.73 \times 6600 \times 0.8} = 17.5$$

$$I_m = 17.5 \text{ Amp.}$$

$$S = 17.5 \times 10.90 = 19.000 \text{ circular-mils}$$

Esta sección corresponde al conductor N° 7, cuyas características son:

Peso por 1000 pies          64.28 lb.

Resistencia por 1000 p.   0.5176

(20° C)

Tomamos un espaciamiento equivalente de 4 pies.

Peso de los conductores:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 64.28 \times 3}{1000} = 1650 \text{ lb}$$

Pérdidas al año:

$$\text{Resistencia total: } \frac{0.5176 \times 2600 \times 3.28 \times 3}{1000} = 13.2$$

$$RI^2 \times 8760 \times f_c = \frac{13.2 (17.5)^2 \times 8760 \times 0.1973}{1000} = 6960 \text{ KWH}$$

Caída de tensión a plena carga:

$$\frac{KW \times l \times K}{0.01 E_r} = \frac{160 \times 2.12 \times 33.15}{66} = 170$$

$$\text{Regulación: } \frac{170}{6600} = 2.6 \%$$

COMPARACION ECONOMICA DE LOS TRES SISTEMASGastos Iniciales

	2300 V	4600 V	6600 V
1.- Conductores (\$ 0.25 lb)	1205	653	413
2.- Transformadores 150 KVA	1750	3800	4200
3.- Interruptores	600	900	1400
4.- Aisladores	1000	1200	1300
T o t a l	4635	6553	\$ 7313

Costo Anual de Operación

1.- Intereses (6 %)	278	393	439
2.- Depreciación (10%)	464	655	731
3.- Pérdidas (\$0.01 KWH)	175	90	70
T o t a l	\$ 917	1138	\$ 1240

De esta comparación obtenemos que el conductor más económico es el N° 2 y el voltaje apropiado de transmisión: 2300.

Como podrá observarse en el cuadro de comparación económica, en la alternativa de 2300 volts se ha considerado un solo transformador, ya que la generación se hace a 2300 v. y no es necesario el transformador elevador, empleándose solo uno reductor.



Comparación económica de la línea de transmisión a Pascasma-  
yo, con grupos generadores situados en la misma ciudad.

La comparación la haremos suponiendo que en los dos casos tendremos un 100 % de reserva, es decir, la transmisión a Pacasmayo, la haremos con dos ternas de conductores. Esto significa que el gasto inicial en cobre, interruptores, aisladores y transformadores se duplica.

Línea de transmisión 2300 volts, dos ternas

Gastos Iniciales

1.- Conductores	\$ 2570
2.- Transformadores	3500
3.- Interruptores	1200
4.- Aisladores	2000
5.- Postes (costo estimado)	1200
6.- Instalación (10% del costo)	1000
7.- Imprevistos (15% costo)	1500
T o t a l	\$ 12970

Gastos Anuales

1.- Interés (6 % sobre la inversión)	780
2.- Depreciación (10% sobre la inv.)	1297
3.- Pérdidas	175
4.- Mantenimiento y reparaciones	400
T o t a l	\$ 2652

Costo de transmisión del KWH :  $\frac{2652}{508000} = 0.0052$

El costo aproximado de generación, en la Central al lado de la fábrica de Cemento, fué de \$ 0.0059, lo que daría un total de: \$ 0,0111 KWH.

Grupos Diesel-eléctricos situados en la misma ciudad de Pacasmayo

Una conveniente división de la carga se puede hacer entre dos grupos de 80 KW cada uno y uno de 40 KW, teniendo casi 100 % durante 18 <sup>horas</sup> de servicio.

Gastos Iniciales

1.- Dos grupos diesel-eléctricos de 80 KW c/u. con todos sus accesorios	\$ 18740
2.- Un grupo diesel-eléctrico de 40 KW con todos sus accesorios	6460
3.- Transporte y Aduana (25%)	6300
4.- Edificio	4000
	\$ 35500

Consumo de combustible y lubricante:

En las condiciones en que van a trabajar los grupos se tiene un consumo promedio de 360 gramos de combustible por KWH y 1.2 gramos de aceite lubricante por HP H. nominal.

Consumo anual de combustible:

$$508.000 \times 0.360 \times 10^3 = 183 \text{ ton/año.}$$

Consumo anual de lubricante:

$$508.000 \times 1.36 \times 1.2 \times 10^3 = 1040 \text{ Kg/año.}$$

0.8

Gastos Anuales

1.- Intereses y amortización (14%)	\$ 4970
2.- Combustible (S/. 55 ton)	1540
3.- Lubriante (S/o. 5 kgs.)	800
4.- Jornales	2500
5.- Mantenimiento y reparaciones	750
	10560

$$\text{Costo del KWH} = \frac{10560}{508.000} = \$ 0.0204$$

Como vemos, el KWH transmitido es más económico que el generado mediante una central Diesel-Eléctrica, por lo tanto elegimos la transmisión de energía eléctrica.

+

B.- Línea de transmisión a San Pedro

Distancia de transmisión	7 KW
Carga	70 KW

Para determinar el conductor más económico, seguiremos el mismo procedimiento que en el caso anterior, ensayando esta vez con los voltajes: 4600, 6600 y 11.000

Transmisión a 4600 volts

Determinemos primero la sección unitaria más económica:

$$\frac{S}{I_m} = \left[ \frac{(B + CK)}{1000} \times \frac{\rho}{f'' b} \right]^{1/2}$$

$$\frac{S}{I_m} = \left[ \frac{(18 + 0.0059 \times 2200)}{1000} \times \frac{575000}{0.15 \times 0.0091} \right]^{1/2}$$

$$\frac{S}{I_m} = \left[ \frac{(18 + 13)575}{0.15 \times 0.091} \right]^{1/2} = \left[ \frac{31 \times 575}{0.01365} \right]^{1/2} = (1'305.000)^{1/2}$$

$$\frac{S}{I_m} = 1145 \text{ Circular-mils/Amp.}$$

$$I_m = \frac{70.000}{1.73 \times 4600 \times 0.8} = 11 \text{ Amp.}$$

$$S = 1145 \times 11 = 12.600 \text{ circular-mils}$$

Esta sección corresponde a un conductor N° 9, pero por razones de esfuerzo mecánico no puede usarse menos que N° 8. Si ensayáramos con voltajes más elevados obtendríamos menores secciones, por lo que haremos la comparación con un sistema a 2300 volts.

La sección en este caso sería: 25200 circular-mils que corresponde al conductor N° 6.

Características de los conductores

Nº	Peso por 1000 pies	Resistencia por 1000 p.	Peso Total	Costo en \$	Resistencia Total
8	50.98 lb	0.6528	3510 lb	890	44.9
6	81.05 lb	0.4105	5595 lb	1400	27.4

Cálculo de las caídas de tensión:

$$\frac{KW \times l \times K}{0.01 E_r}$$

$$0.01 E_r$$

$$\frac{70 \times 4.35 \times 34.50}{46} = 228 \text{ volts}$$

$$\frac{70 \times 4.35 \times 27.58}{23} = 365 \text{ volts}$$

Regulación a 4600 : 5 %

Regulación a 2300 : 15.8 %

De los porcentajes de regulación obtenidos podemos apreciar que la transmisión a 2300 da un valor muy alto, lo que sería un motivo para desecharla, sin embargo haremos la comparación económica.

Pérdidas:

El factor de horas equivalentes es:

$$F_e = 0.7 (0.44)^2 + 0.3 \times 0.44 = 0.7 \times 0.1936 + 0.132$$

$$F_e = 0.136 + 0.132 = 0.268$$

Pérdidas a 4600 v :

$$8.76 \times 44.9 (11)^2 \times 0.268 = 12750 \text{ KWH}$$

Pérdidas a 2300 v :

$$8.76 \times 27.4 (22)^2 \times 0.268 = 31100 \text{ KWH}$$

+

COMPARACION ECONOMICA DE LOS DOS SISTEMAS

Gastos iniciales

	2300 V	4600 V
1.- Conductores (\$ 0,25 lb)	\$ 1400	890
2.- Transformadores 100 KVA	1500	3600
3.- Interruptores	600	900
4.- Aisladores	600	900
T o t a l	\$ 4100	6290

Costo Anual de Operación

1.- Interés (6 %)	\$ 246	378
2.- Depreciación (10 %)	410	629
3.- Pérdidas (\$ 0.01 KWH)	311	128
T o t a l	\$ 967	1135

El resultado nos dice que la línea a 2300 V sería más económica, pero debemos tener presente que la regulación a 2300 V es 15%, mientras que a 4600 es 5%.

Calculemos los reguladores para cada caso empleando la fórmula:

$$\text{KVA} = \frac{3 \times \text{Corriente de línea} \times \% \text{ de voltaje}}{1000}$$

Regulador para la línea a 2300 :

$$\text{KVA} = \frac{3 \times 22 \times 2300 / 3 \times 0.15}{1000} = 22$$

Regulador para la línea a 4600 :

$$\text{KVA} = \frac{3 \times 11 \times 4600 / 3 \times 0.05}{1000} = 4.22$$

Para la línea de 2300 V necesitamos un regulador de capacidad cinco veces mayor, por lo que elegimos la línea de 4600 volts.

Comparación económica de la línea de transmisión a San Pedro con grupos generadores situados en la misma ciudad.

La comparación la haremos en condiciones similares a la de Pacasmayo.

Línea de Transmisión 4600 volts, dos ternas

Gastos iniciales

1.- Conductores	1780
2.- Transformadores	7200
3.- Interruptores	1800
4.- Aisladores	1800
5.- Postes (estimado)	1800
6.- Instalación	1500
7.- Imprevistos	1700
T o t a l	17580

Gastos Anuales

1.- Interés (6 % sobre la inversión)	1050
2.- Depreciación (10 % de la " )	1758
3.- Pérdidas	128
4.- Mantenimiento y reparación	<u>500</u>
	3436

Costo de transmisión del KWH:  $\frac{3436}{270.000} = 0.0127$

El costo aproximado de generación, en la Central al lado de la fábrica de Cemento es de \$ 0.0059 por KWH, lo que daría un total de: \$ 0.0186 por KWH



Grupos Diesel-Eléctricos situados  
en la misma ciudad de San Pedro.

Una división conveniente de la carga puede hacerse entre dos grupos de 50 KW y uno de 20 KW, teniendo casi 100% de reserva.

Gastos Iniciales

1.- Dos grupos Diesel-eléctricos de 50 KW cada uno, con todos sus accesorios	16790
2.- Un grupo Diesel-eléctrico de 20 KW con todos sus accesorios	3710
3.- Transportes y Aduana (25%)	5120
4.- Edificio	2500
T o t a l	\$ 28120

Consumo de combustible y lubricante:

En las condiciones de trabajo, los grupos tendrán un consumo de combustible de 320 gramos por KWH y 1.2 gramos de aceite lubricante por HP H nominal.

Consumo anual de combustible:

$$270.000 \times 0.320 \times 10^{-3} = 86.5 \text{ Ton/año.}$$

Consumo anual de lubricante:

$$\frac{270.000 \times 1.36 \times 1.2 \times 10^{-3}}{0.8} = 550 \text{ Kgs/año}$$

Gastos Anuales

1.- Intereses y Amortización (14 %)	3930
2.- Combustible (S/o. 55 Ton)	728
3.- Lubricante (S/o. 5 kg)	420
4.- Jornales	1800
5.- Mantenimiento y reparaciones	500
T o t a l	7378

$$\text{Costo del KWH} = \frac{7378}{270.000} = \$ 0.0272$$

Costo del KWH transmitido:                   ¢ 0.0185

Costo del KWH generado en San Pedro   \$ 0.0272

Luego es más conveniente hacer el servicio a San Pedro, por medio de una línea de transmisión de 4600 volts.

Cálculo económico del servicio de alumbrado y fuerza motriz  
a Chepén y Guadalupe

Lo mismo que para Pacasmayo y San Pedro, en este caso discutiremos la posibilidad del Servicio con una línea de transmisión con dos ternas de conductores, comparándola con una Central Diesel-Eléctrica, situada en la ciudad de Guadalupe.

La máxima demanda de estas ciudades, hemos visto que es 180 KW. Para el objeto de la comparación consideraremos que toda la carga está concentrada en Guadalupe, cuya distancia a la Central sería de 18 Km., mientras que Chepén está a 24 Km, evidentemente esto significa una ventaja para la alternativa de línea de transmisión. Por otro lado, considerando la Central diesel-eléctrica situada también en la ciudad de Guadalupe, se da una ventaja similar a esta alternativa, ya que la ciudad de Chepén se encuentra a 6 Km. de Guadalupe y había que hacer su servicio mediante una línea de transmisión.

A.- Línea de Transmisión a Guadalupe

Distancia de Transmisión	18 Km
Carga	180 KW

Lo mismo que en los casos anteriores determinaremos el voltaje más económico comparando tres diferentes: 11.000, 13.200 y 22.000.

Sección unitaria más económica:

$$\frac{S}{I_m} = \frac{18 + 0.0059 \times 1500}{1000} \times \frac{57500}{0.15 \times 0.0091} \quad \begin{matrix} K=1500 \\ f_c=0.36 \end{matrix}$$

$$\frac{S}{I_m} = \frac{18 + 8.85}{10} \times \frac{575}{0.15 \times 0.0091} = \frac{15420}{0.01365} =$$

$$= 1.120.000$$

$$\frac{S}{I_m} = 1060 \text{ circular-mils/Amp.}$$

Transmisión a 11.000 volts

$$I_m = \frac{180.000}{1.73 \times 11.000 \times 0.8}$$

$$I_m = 12 \text{ Amp.}$$

$$S = 1060 \times 12$$

$$S = 12.500 \text{ circular-mils}$$

Esta sección corresponde al conductor N° 9, pero por razones mecánicas no es usual para líneas de transmisión por lo que tenemos que adoptar el N° 8. Este resultado nos indica que si usaremos voltaje más elevados tendríamos para la misma sección unitaria, alambre más delgado, por lo que nos queda dos posibilidades: usar el conductor N° 8 a diversos voltajes o usar diversos conductores a 11.000 volts.

Al usar un mismo conductor a diversos voltajes, haríamos la comparación desde el punto de vista de la regulación y la economía por aislamiento, mientras que usando 11.000 para diversos conductores haríamos la comparación desde el punto de vista de la economía de cobre y las pérdidas

de energía.

I.- Transmisión con conductor N° 8 a:

11000, 13200 y 22000 volts.

$$I_m = 12 \text{ Amp.}; \text{ Resistencia por 1000 pies} = 0.6528$$

Peso de los conductores: 50.98 lb/1000 pies

$$\frac{18.000 \times 3.28 \times 50.98 \times 6}{1000} = 18.000 \text{ lbs.}$$

Caida de tensión a plena carga:

$$\frac{KW \times l \times K}{0.01 E_r}$$

A 11000 volts:

$$I_m = 12 \text{ Amp.}$$

Espaciamiento equivalente 3 pies

Factor K 36.5

$$\text{Caida de tensión: } \frac{180 \times 11.2 \times 36.5}{110} = 670 \text{ volts.}$$

$$\text{Regulación: } \frac{670}{11000} = 6.1 \%$$

Pérdidas al año

$$F_e = 0.7 (f_c)^2 + 0.3 (f_c) \quad f_c = 0.36, \text{ conforme al}$$

$$F_e = 0.7 \times 0.1296 + 0.108 = 0.0906 + 0.108 \quad \text{diag. N° 7}$$

$$F_e = 0.1986$$

$$\text{Resistencia total } \frac{18000 \times 3.28 \times 0.6528 \times 3}{1000} = 105.5$$

$$\text{Pérdidas: } RI^2 \times 8760 \times F_e = \frac{105.5 \times 144 \times 8.760 \times 0.1986}{1000}$$

$$= 26500 \text{ KWH}$$

A 13200 volts

Espaciamiento equivalente 3 pies

Factor K 36.5

Caida de tensión:  $\frac{180 \times 11.2 \times 36.5}{132} = 560$  voltsRegulación:  $\frac{560}{132000} = 4.25\%$ Pérdidas al año

$$RI^2 \times 8760 \times F_e = \frac{105.5 \times 100 \times 8760 \times 0.1986}{1000} = 18350 \text{ KWH}$$

A 22000 volts

Espaciamiento equivalente 4 pies

Factor K 36.71

Caida de tensión:  $\frac{180 \times 11.2 \times 36.71}{22} = 335$  voltsRegulación:  $\frac{335}{13200} = 2.53\%$ Pérdidas al año

$$RI^2 \times 8760 \times F_e = \frac{105.5 \times 36 \times 8760 \times 0.1987}{1000} = 6600 \text{ KWH}$$

COMPARACION DE LOS TRES SISTEMASGastos Iniciales

	11.000 V	13200 V	22000 V
1.- Transformadores 250 KVA	5000	5600	6000
2.- Interruptores	1800	2100	2400
3.- Aisladores	800	1000	1600
4.- Postes	3000	3000	4200
T o t a l e s	\$ 10600	\$ 11700	\$ 14200

Costo Anual de Operación

1.- Intereses (6 %)	636	702	852
2.- Depreciación (10%)	1060	1170	1420
3.- Pérdidas (\$ 0.01 KWH)	265	184	66
T o t a l e s	1961	\$ 2056	\$ 2338

Como vemos, la transmisión a 11.000 volts con conductor N° 8 es la más económica. La segunda posibilidad era transmitir a 11.000 volts con conductores de mayor sección, conseguiríamos con esto disminuir las pérdidas de energía, pero aumentaría el costo del conductor en mucho mayor proporción, por lo que no haremos otras comparaciones eligiendo la alternativa de 11.000 voltios conductor N° 8.

Comparación económica de la línea de transmisión a Guadalupe con grupos generadores situados en la misma ciudad.

La comparación se hace en condiciones similares a las de San Pedro y Pacasmayo.

Línea de Transmisión 11.000 volts dos ternas

Gastos Iniciales

1.- Conductores	\$	4500
2.- Transformadores		10000
3.- Interruptores		3600
4.- Aisladores		1600
5.- Postes		3000
6.- Instalación		2800
7.- Imprevisto		<u>3500</u>
	\$	39000

Gastos Anuales

1.- Intereses (6 % sobre la inversión)	\$	2340
2.- Depreciación (10% sobre la inv.)		3900
3.- Pérdidas		265
4.- Mantenimiento y reparaciones		1000
	\$	7505

Costo de transmisión del KWH  $\frac{7505}{570.000} = \$ 0.0132$

El costo de generación hemos visto que es \$ 0.0059

El total sería:  $0.0132 + 0.0059 = \$ 0.0191/\text{KWH}$



Grupos Diesel-Eléctricos situados en la  
misma ciudad de Guadalupe

Del diagrama de duración podemos observar que una buena división de la carga puede hacerse entre dos grupos de 90 KW c/u. y uno de 45 KW. Los grupos de 90 KW trabajarán uno 8 horas y el otro 14 y el de 45 KW trabajaría solo durante 10 horas.

Consumo de combustible y lubricante:

En las condiciones de trabajo propuestas se tendría un consumo promedio de 350 gramos de combustible por KWH y 1.2 gramos de aceite lubricante por HP H nominal. Se tendría pues:

$$570.000 \times 0.350 \times 10^{-3} = 200 \text{ ton/año de combustib.}$$

$$\frac{570.000 \times 1.36 \times 1.2 \times 10^{-3}}{1000} = 1160 \text{ Kg/año}$$

Gastos Iniciales

1.- Dos grupos Diesel-eléctricos de 90 KW c/u con todos sus accesorios	18500
2.- Un grupo Diesel-eléctrico de 45 KW con todos sus accesorios	6600
3.- Transporte y Aduana (25% del importe)	6275
4.- Edificio	4000
T o t a l	35375

Gastos Anuales

1.- Intereses y Depreciación (14%)	\$ 4950
2.- Combustible (\$55 Ton)	1690
3.- Lubricante (\$ 5 Kg)	895
4.- Jornales	2500
5.- Mantenimiento y Reparaciones	800
T o t a l	\$ 10835

$$\text{Costo del KWH generado} = \frac{10835}{570.000} = \$ 0.019$$

Los resultados obtenidos nos dicen que en las dos alternativas el costo del KWH es el mismo, lo que haría indiferente la elección de cualquiera de ellas, pero es evidente que la Central generadora ofrece mayores condiciones de seguridad en el servicio, que si bien no es un factor indispensable en este caso, por lo menos da una razón para elegir la alternativa de la Central generadora ubicada en la misma ciudad de Guadalupe.

+

De las comparaciones anteriores, cuyo fin ha sido determinar la capacidad de la Central generadora, concluimos que las cargas que esta serviría son:

1.- Fábrica de Cemento	1880 KW
2.- Alumbrado y Fuerza Motriz Pacasmayo	160 "
3.- Alumbrado y Fuerza Motriz San Pedro	70 "

T o t a l                    2110 KW

suma de las máximas demandas.

Al determinar la capacidad de la Central, tenemos que considerar también los consumos de los servicios auxiliares y las pérdidas en las líneas de transmisión, según se trata que la central esté al lado de la fábrica de cemento o en Pacasmayo. Esto último se decidirá después de una comparación económica.

La comparación económica la haremos entre las siguientes alternativas:

1.- Central a vapor situada en Pacasmayo.- Turbo-grupos con condensación empleando agua de mar.

2.- Central a vapor situada al lado de la Fábrica de Cemento.

Turbogrupos con condensación, circuito cerrado empleando torre de refrigeración.

3.- Central Diesel-Eléctrica, situada al lado de la Fábrica de Cemento.

+

En la primera alternativa se haría el servicio a la Fábrica mediante una línea de transmisión, lo mismo que a San Pedro. Determinaremos como en casos anteriores, las condiciones más económicas de esta línea y calcularemos las pérdidas, para determinar los KWH generados al año para esta alternativa. En cuanto a las 2ª y 3ª alternativas, ya los cálculos de consumos y pérdida están hechos y no tenemos sino que sumarlos.

Capacidad de la Central y KWH consumidos al año en cada alternativa

Primera alternativa.— Cálculo de la línea de Transmisión a la Fábrica de Cemento y San Pedro.

La carga a transmitir en esta alternativa sería la correspondiente a la Fábrica y la de la ciudad de San Pedro, que corresponde muy aproximadamente a la suma de las máximas demandas de las cargas antes citadas, es decir:

$$1880 + 70 = 1950 \text{ KW}$$

Cálculo del conductor unitario más económico:

$$\frac{S}{I_m} = \left( \frac{(B + CK)}{(1000) f^2 b} \right)^{1/2} \quad K = 7100, \text{ correspondiente al factor de carga de la fábrica } f_c = 0.89, \text{ conforme al diag. N}^\circ 8$$

$$\frac{S}{I_m} = \frac{(18 + 0.0059 \times 7100) \quad 57500}{(1000) \quad 0.15 \times 0.0091}$$

$$\frac{S}{I_m} = \frac{(18 + 41.9) \quad 57500}{(1000) \quad 0.15 \times 0.091}$$

$$\frac{S}{I_m} = \frac{59.9 \times 575}{0.15 \times 0.091} = (2'523.000)^{1/2}$$

$$\frac{S}{I_m} = 1585 \text{ circular-mils/amp.}$$

Con la fórmula de Alfred Still ubiquemos los voltajes convenientes:

$$KV = 5.5 \quad \sqrt{L + \frac{KW}{100}} \quad L = 1.62 \text{ millas}$$

$$KV = 5.5 \quad \sqrt{1.62 + 19.5} \quad KW = 1950$$

$$KV = 5.5 \quad \sqrt{21.12}$$

$$KV = 5.5 \times 4.6$$

$$KV = 25.3$$

Ensayemos los voltajes: 11.000, 13.200 y 22.000 v.

Transmisión a 11.000 volts:

Calculemos en primer lugar la corriente para transmitir 1950 KW, asumiendo un factor de potencia de 80 %

$$I_m = \frac{KW \times 1000}{3 E \cos} \quad \begin{array}{l} KW = 1950 \\ E = 11.000 \\ = 0.8 \end{array}$$

$$I_m = \frac{1950 \times 1000}{1.73 \times 11.000 \times 0.8}$$

$$I_m = 128 \text{ Amperes}$$

$$\text{Hemos visto que : } \frac{S}{I_m} = 1585$$

$$S = 1585 \times 128$$

$$S = 203.000 \text{ circulares-mils; esta sección}$$

corresponde al conductor 4/0 cuyas características son:

$$\text{Peso por 1000 pies} \quad 653.3 \text{ lbs.}$$

$$\text{Resistencia por 1000 pies} \quad 0.0509$$

La transmisión la consideramos a base de dos terna de conductores, por lo que el peso de los conductores sería:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 653.3 \times 6}{1000} = 34.400 \text{ lbs.}$$

Resistencia:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 0.0509 \times 3}{1000} = 1.3$$

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

La magnitud del tema, objeto de este Proyecto de grado, quita toda posibilidad de un detallado desarrollo y análisis del problema en todos sus aspectos.

Pese a haberse dividido el trabajo entre dos tesis de grado, estamos seguros de no haber abordado en toda su amplitud, sin embargo, creemos haber planteado el problema en una forma bastante objetiva y práctica, gracias a la colaboración y enseñanzas de nuestros profesores, especialmente de los Ing<sup>os</sup>. Gerard E. Unger, Jorge Grieve, Giulio Donizetti y Jorge Cánepa, así como también de diversas organismos y fabricantes de maquinaria como: Dirección de Industrias y Electricidad Alli-Chalmers Ufg. Co C.T.C., Electro Peruana, Vulcan Yom Works y Dirección de Meteorología.

Callao, 3 de mayo de 1949.

Transmisión a 13200 volts

$$I_m = \frac{1950 \times 1000}{1.73 \times 13200 \times 0.8} = 107 \text{ Amp.}$$

$$S = 107 \times 1585$$

S = 169.500 circular-mils, que, con ligera diferencia, corresponde al conductor 3/0 cuyas características son:

$$\text{Peso por 1000 pies: } 518.1 \text{ lbs.}$$

$$\text{Resistencia por 1000 p. } 0.06422$$

Peso de los conductores:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 518.1 \times 6}{1000} = 26.500 \text{ lbs.}$$

Resistencia:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 0.0642 \times 3}{1000} = 1.64$$

Transmisión a 22.000 volts

$$I_m = \frac{1950 \times 1000}{1.73 \times 22.000 \times 0.8} = 64 \text{ Amp.}$$

$$S = 1585 \times 64$$

S = 101400 circular-mils, que corresponde al conductor 1/0 cuyas características son:

$$\text{Peso por 1000 pies } 325.7 \text{ lb.}$$

$$\text{Resistencia por 1000 pies } 0.1021$$

Peso de los conductores:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 325.7 \times 6}{1000} = 16.650 \text{ lbs.}$$

Resistencia:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 0.1021 \times 3}{1000} = 2.61$$

Cálculo de las regulaciones y las pérdidas en cada caso

A 11.000 volts:

Caida de tensión:  $\frac{KW \times l \times K}{0.01 E_r}$        $l = 1.615$  millas  
 $k = 7.25$  que corresponde al conductor 4/0 y un espacio equivalente de 2 pies.

$$= \frac{1950 \times 1.615 \times 7.25}{110} = 208 \text{ volts.}$$

Regulación:  $\frac{208}{11000} = 1.9 \%$

§ 13.200 volts:

Caida de tensión:  $\frac{1950 \times 1.615 \times 8.446}{132}$        $k = 8.446$  que corresponde al conductor 3/0 y un espacio equivalente de 3 pies.

$$= 201 \text{ volts.}$$

Regulación:  $\frac{201}{13200} = 1.52 \%$

A 22.000 volts:

Caida de tensión:  $\frac{1950 \times 1.615 \times 10.94}{220}$        $k = 10.94$  que corresponde al conductor 1/0 y un espacio equivalente de 4 pies.

$$= 157 \text{ volts.}$$

Regulación:  $\frac{157}{22000} = 0.7 \%$

Para determinar las pérdidas tenemos que calcular la corriente media cuadrática anual a partir de la curva de carga de la fábrica, que si bien no es una curva de consumo



anual es un promedio de curvas diarias.

Solo un diagrama polar (diagrama N° 9) llevamos la curva de carga y la curva de duración de puntos que evidentemente tienen que dar áreas iguales. Al área promedio obtenida es 227 cm<sup>2</sup> que corresponde a un círculo de 8.85 cm de diámetro. A la escala del diagrama polar esto corresponde a 1670 KW.

La relación de esta carga y la carga máxima que es 1880 KW, es la misma que la de la corriente media cuadrática anual y la corriente máxima, puesto que la tensión y el factor de potencia son los mismos en ambos casos.

$$\frac{I_{ms}}{I_m} = \frac{1670}{1880} = 0.887$$

El cuadrado de la corriente media anual será:

$$I_{ms}^2 = 0.786 I_m^2$$

Pérdidas anuales a 11.000 volts

$$\begin{aligned} 8.76 R I_{ms}^2 &= 8.76 \times 1.3 \times (105)^2 \\ &= 8.76 \times 1.3 \times 11000 = \underline{125.000 \text{ KWH}} \end{aligned}$$

Pérdidas anuales a 13.200 volts

$$\begin{aligned} 8.76 \times R I_{ms}^2 &= 8.76 \times 1.64 \times (84)^2 \\ &= 14.35 \times 7050 = \underline{101.000 \text{ KWH}} \end{aligned}$$

Pérdidas anuales a 22000 volts

$$\begin{aligned} 8.76 R I_{ms}^2 &= 8.76 \times 2.61 \times (50.3)^2 \\ &= 22.83 \times 2530 = \underline{57900 \text{ KWH}} \end{aligned}$$

COMPARACION ECONOMICA DE LOS TRES SISTEMASGastos Iniciales

	11000	13200	22000
		\$	
1.- Conductores (\$ 0.25 lb)	8600	6625	4160
2.- Transformadores	24000	26000	30000
3.- Interruptores	2000	2200	2400
4.- Aisladores	2500	3000	4000
T O T A L \$	37100	37825	40560

Costo Anual de Operación

		\$	
1.- Intereses (6 %)	2226	2270	2430
2.- Depreciación (10%)	3710	3783	4056
3.- Pérdidas (\$ 0.01 KWH)	1250	1010	579
T O T A L \$	7186	7063	7065

De esta comparación deducimos que el conductor más económico es el 3/0 y el voltaje más apropiado es 13.200 volts. Se ha visto que con los voltajes comparados los gastos anuales han ido subiendo con los voltajes, lo que lógicamente hace pensar que voltajes menores serían tal vez más e-

conómicos. Esto nos obliga a ensayar con el voltaje inmediato inferior a 11.000 o sea 6600 volts.

$$\text{La corriente sería: } \frac{1950 \times 1000}{1.73 \times 6600 \times 0.8} = 214 \text{ Amp.}$$

El conductor sería de:  $1585 \times 214 = 342$ . MCM, cuyas características son:

Peso por 1000 pies                      1081 lbs.

Resistencia por 1000 p.            0.03127

Peso de conductores:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 1081 \times 6}{1000} = \underline{55300 \text{ lbs.}}$$

Resistencia:

$$\frac{2600 \times 3.28 \times 0.03127 \times 3}{1000} = 0.805$$

Pérdidas:

$$8.76 \times 0.805 \times (168)^2 = 198.000$$

1.- Conductores	13825
2.- Transformadores	20000
3.- Interruptores	2000
4.- Aisladores	2000
Total	37825

1.- Intereses y Depreciación (16%)	6050
2.- Pérdidas (\$0.01 KWH)	1980
	8030

Como vemos, la transmisión a 6600 es más cara que las anteriores, luego elegimos la alternativa de 13.200 v.

CAPITULO IIDETERMINACION DEL TIPO MAS ECONOMICO DE GENERACION DE FUERZA  
MOTRIZ

En la determinación del tipo más económico de generación de fuerza motriz, podemos considerar los tres tipos actualmente empleados o sea:

Grupos diesel-eléctricos

Grupos turbogeneradores a vapor, y

Grupos turbogeneradores a gas.

Antes de hacer la comparación para elegir uno de estos tres sistemas podemos hacer un análisis sencillo de las posibilidades y ventajas de cada sistema en cada una de las dos alternativas principales o sea:

A) Ubicar la central en Pacasmayo.

B) Ubicar la central 1 al lado de la fábrica

Grupos diesel-eléctricos: La ubicación de éstos sería definitivamente al lado de la fábrica ya que para su operación no requieren abundancia de agua, además, si se les instalara en Pacasmayo, sería necesaria una línea de transmisión para servir a la fábrica y a la ciudad de San Pedro. Se tendría sí que transportar el combustible, pero este problema va a existir de todos modos ya que la fábrica de cemento también requiere combustible para sus hornos, etc.

Grupos turbogeneradores a vapor: En este caso ten

dríamos dos sub-alternativas, ya que los turbogeneradores podrían instalarse en Pacasmayo, empleando agua de mar para la condensación pero tendría que transmitirse la energía hasta la fábrica por medio de una línea de dos ternas de conductores, que, como ya se calculó, sería a 13.200 volts.

La otra sub-alternativa sería instalar la los turbogrupos de lado de la fábrica, empleando una torre de enfriamiento para hacer la condensación en circuito cerrado, salvando de este modo el problema de la escasez de agua. En este caso, comparado con el otro, no se requiere sino una pequeña línea de transmisión a San Pedro.

Como puede observarse, la comparación de estas dos sub-alternativas sería:

Torre de enfriamiento, más línea de transmisión a San Pedro contra línea de transmisión a la fábrica y a San Pedro. Siendo problema común a los dos casos la transmisión a San Pedro quedaría simplemente:

Torre de enfriamiento contra Línea de transmisión a la fábrica.

Grupos turbogeneradores a gas: Esta clase de grupos puede competir económicamente con los otros más allá de los 4000 KW, siendo la carga en este caso, aproximadamente 2000 KW, no es necesario entrar en mayores detalles para desechar sus posibilidades. Si bien en el futuro la carga sería aproximadamente 4000 KW, los otros sistemas seguirían en

ventaja ya que el servicio se haría con dos o tres unidades, garantizando así una reserva, mientras que con turbogrupos a gas, habría solo la posibilidad de uno solo, sin ninguna reserva o dos de 4000 KW cada uno, teniendo así 100 % de reserva.

Después de estas aclaraciones, podemos fijar las siguientes posibilidades de servicio:

A) Turbogenerador a vapor en Pacasmayo, haciendo la circulación en el condensador en <sup>circuito</sup> abierto empleando agua de mar. Transmisión de la energía a la fábrica de cemento por medio de una línea de dos ternas de conductores a 13.200 volts.

B) Turbogenerador al lado de la fábrica de cemento, agua de circulación en circuito cerrado, usando una torre de enfriamiento para la refrigeración del agua de circulación.

C) Grupos diesel-eléctricos al lado de la fábrica empleando torre de refrigeración para el agua de enfriamiento de los cilindros.

+

#### A.- Central en Pacasmayo

Turbogrupos a vapor, línea de transmisión a la fábrica y a San Pedro.

De acuerdo a lo visto anteriormente y suponiendo un 4 % de consumo, para los servicios auxiliares, de la Cen-

tral tendríamos:

Fábrica de cemento	1880	KW
Servicios auxiliares de la central	80	"
Alumbrado y fuerza motriz de Pacasmayo	160	"
Alumbrado y fuerza motriz de San Pedro	70	"
Pérdidas en la línea de transmisión desde Pacasmayo a la fábrica	12	"
	2202	KW

División de la carga en el caso de turbogrupos a vapor: De la curva de carga (diagrama N° 10) y debido a un factor de diversidad que hay entre las máximas demandas parciales, tenemos una máxima demanda total de 2142 KW, que sería la capacidad de la central en esta alternativa.

Como la fábrica de cemento ha sido proyectada para duplicar su producción dentro de corto período (2 años aproximadamente), la capacidad de la central tendría prácticamente que duplicarse o sea que para hacer la división de la carga actualmente hay que considerar que la capacidad de la fábrica va a duplicarse en un futuro inmediato y que, además, la carga es prácticamente constante y casi igual en más o en menos a 2000 KW que podría muy bien cubrirse con un turbogrupo de 2000 KW, con  $\cos\phi = 0.8$  lo que daría 2500 KVA y como la existencia de motores sincrónicos en la fábrica de cemento aseguran un alto factor de potencia, digamos 90 % se tendría  $2500 \times 0.9 = 2250$  KW que pueden cubrir ampliamente la carga

máxima de 2142 KW. Al ampliar la fábrica se instalaría otro grupo de 2000 KW teniendo así la ventaja de dos unidades iguales y aun podía instalarse un tercero que aseguraría un 50 % de reserva.

Si se empleara unidades de 1000 KW, se necesitaría inicialmente dos unidades y luego otras dos para cubrir la demanda total y si se pensara en reserva con una quinta unidad se tendría 25 %. Como vemos, esta división de la carga es inconveniente por el gran número de grupos necesarios y más aún si se tiene en cuenta que el rendimiento de los turbogrupos de 2000 es superior al de los de 1000. La compañía Allis-Chalmers da las siguientes eficiencias básicas para 400 p.s.i a la entrada 750° F y 2" de vacío en el condensador:

Turbogrupos de 2000 KW : 0.698

Turbogrupos de 1000 KW : 0.650

Podría añadirse todavía que dos turbogrupos de 1000 KW cuestan más que uno de 2000 KW. Consideramos ahora la posibilidad de usar grupos de 1500 L KW. Inicialmente necesitaríamos 2 unidades y luego con una tercera se cubriría la demanda total y si se quisiera tener reserva habría que pensar en otra unidad bien de 1000 KW ó de 1500 KW. Como se ve en este caso se requería por lo menos cuatro turbogrupos. Con lo expuesto anteriormente hemos justificado ampliamente la elección de turbogrupos de 2000 KW.



División de la carga en el caso de grupos diesel-eléctricos.- En el caso de grupos diesel-eléctricos tenemos que asegurar por lo menos un 50 % de reserva inmediata, por lo que podemos considerar sin mayor comentario, la división de la carga entre dos unidades de 1000 KW cada una y una tercera también de 1000 KW que aseguraría un 50 % de reserva. Además, se tendría la ventaja de tres motores diesel iguales que asegurarían un gasto mínimo de repuesto.

Habiendo determinado la división de la carga, vamos ahora a hacer el cálculo del costo del KWH generado en la central situada en Pacasmayo y transmitido a la fábrica de cemento.

Turbogruppo de 2000 KW con condensación

Cálculo del consumo de vapor y combustible

Para las siguientes condiciones:

Admisión: 400 p.s.i. 750° F

Vacío: 28" Hg

Entalpía inicial de vapor: 1390 BTU/lb

" final " 928

Caida adiabática teórica 462 BTU/lb.

Consumo unitario teórico de vapor:  $\frac{3413}{462} = 7.37 \text{ lbs.vap/KWH}$

Eficiencia básica corregida por

sobrecalentamiento (300° F) 0.71

Consumo unitario real de vapor: 10.38 lbs. vap/KWH

Consumo de energía

Demanda de	Demandas máximas	Factor de carga	Consumo anual de energía	
Fábrica	1880	0.89	14'600.000	KWH
Servicios Auxiliares	80	0.50	346.000	"
Pacasmayo	160	0.36	505.000	
San Pedro	70	0.44	270.000	"
Pérdida en la línea	-	-	101.000	"
T O T A L			15'822.000	KWH

Flujo de vapor a la admisión a máxima carga:

$2000 \times 10.38 = 20760$  lbs/hora. Considerando un 7 % de aumento para precalentamiento y servicios auxiliares:

$$1.07 \times 20760 = 22.200 \text{ lbs/hora}$$

Consumo de calor con agua de alimentación a 212° F  
1210 BTU/lb.

$$\text{Eficiencia del ciclo: } \frac{22200 \times 1210}{2000} = 13050 \text{ BTU/KWH}$$

Asumiendo un rendimiento de caldero de 84% y una relación de operación de 97%, tenemos:

$$\text{Eficiencia de la planta: } \frac{13050}{.84 \times .97} = 16.000 \text{ BTU/KWH}$$

Costo del combustible: El "bunker oil" que se emplearía en este caso costaría U.S. \$ 5.85 la tonelada puesta en Pacasma

yo, que con un poder calorífico de 18000 BTU/lb corresponde a un precio de U.S. \$ 0.148 por millón de BTU.

El costo anual de combustible sería, pues:

$$\frac{15'822.000 \times 16.000 \times 0.148}{106} = \$ 37500$$

+

Cálculo del costo del KWH generado en Pacasmayo y transmitido a la Fábrica

A.- Gastos Iniciales

1.- Un turbogrupo de 2000 KW con condensación y equipo de bombeo, 400 p.s.i., 750°F, 28" Hg de vacío	U.S. \$ 70.000
2.- Un generador de vapor con quemadores de petróleo, 24.000 lbs. vapor/hora a 420 p.s.i.	77.000
3.- Equipo eléctrico	20.000
4.- Tuberías y conexiones eléctricas	15.000
5.- Transporte, seguros, etc. hasta Pacasmayo (30% de 1, 2, 3, y 4)	54.600
6.- Edificio y grúa	10.000
7.- Montaje de los items, 1, 2, 3 y 4	9.100
8.- Imprevistos	10.000
	U.S. \$ 265.700

**B.- Gastos anuales**

Depreciación (12 años, 6%)	5.93	
Intereses 6 %	6.00	"
Seguros 0.5 %	0.50	"
	<b>Total</b>	<b>12.43</b>
Gastos fijos (12.43%)	U.S. \$	31.800
<b>Gastos de operación:</b>		
Combustible	"	37.500
Jornales	"	10.600
Mantenimiento y reparac.	"	6.400
	<b>Gasto total al año</b>	<b>\$ 86.300</b>

Costo del KW instalado:

$$\frac{265700}{2000} = \$ 128$$

Costo del KWH: Para calcular el costo del KWH, tenemos que incluir el costo anual de la línea de transmisión que, como lo determinamos anteriormente, era de 13.200 volts y dos ternas de conductores.

El costo inicial de línea a 13.200 volts sería:

1.- Conductores N <sup>o</sup> 3/0 (2 ternas a \$ 0.25 la libra)	U.S.\$	6625
2.- Transformadores trifásicos 13200/2300		26000
3.- Interruptores		2200
4.- Postes		2000
5.- Aisladores		3000

6.- Instalación (10 % del costo)	U.S.\$	4000
7.- Imprevistos		<u>2000</u>
	Total U.S.\$	45825

Costo anual de la línea:

1.- Intereses (6 %)	U.S.\$	2750
2.- Amortización (10 años-6%)-7.59%		3480
3.- Pérdidas (\$ 0.006 KWH) (101.000 <u>KWH</u> )		<u>600</u>
	Total U.S.\$	6830

Costo total anual: Costo de generación + Costo de transmisión

$$: 86300 + 6830 = \$ 93130$$

$$\text{Costo del KWH} : \frac{93130}{15'822.000} = \text{U.S. } \$ 0.006$$

$$: 6 \text{ mills (milésimos de U.S.\$)}$$

+

B) CENTRAL AL LADO DE LA FABRICA DE CEMENTO

En este caso se tendría que transmitir la energía tanto a San Pedro como a Pacasmayo. El agua de enfriamiento del condensador circularía en circuito cerrado, empleando una torre de refrigeración.

El costo del turbogruppo sería prácticamente el mismo que en el caso anterior, limitándose el cálculo a agregar a dicho costo, el de una torre de refrigeración y el de la línea de transmisión a Pacasmayo.

La torre de refrigeración puede ser de tipo atmos-

férica, de maderas de fabricación nacional a un costo de U.S \$ 10.000 cuya costo anual sería:

Intereses 6 %	U.S.\$	600
Amortización (en 12 años)		<u>593</u>
	Total U.S.\$	1193

El costo anual de una línea de transmisión de 2300 volts con dos ternas de conductores para el servicio de Pascamayo, como ya se calculó, es: U.S. \$ 2652. Luego el costo anual adicional sería:

$$1193 + 2652 = \text{U.S.} \$ 3845$$

y el costo del KWH:

$$\begin{aligned} \frac{86300 + 3845}{15'721.000} &= \frac{90145}{15'721.000} \\ &= \text{U.S.} \$ 0.00573 \\ &= 5.73 \text{ mills.} \end{aligned}$$

### C) GRUPOS DIESEL-ELECTRICOS AL LADO DE LA FABRICA

Como dijimos anteriormente, para esta alternativa vamos a considerar 3 grupos de 1000 KW cada uno, asegurando así un 50% de reserva. Los fabricantes garantizan un consumo unitario de combustible a plena carga de 0.543 lbs/KWH, de donde se obtendría un consumo anual de:

$$15'721.000 \times 0.543 = 8'530.000 \text{ lbs.}$$

El consumo aproximado de lubricante es de 1.5 gramos por KWH o sea que tendríamos un consumo anual de:

$$\frac{15'721.000 \times 1.5}{454} = 52000 \text{ lbs}$$

El costo del diesel-oil" es de U.S. \$ 8 por tonelada y el de combustible U.S. \$ 0.30 la libra de donde se tendría:

$$\text{Costo de combustible: } \frac{8'530.000}{2200} \times 8 = \text{U.S. \$ } 31.000$$

$$\text{Costo de lubricante: } 52.000 \times 0.30 = \text{U.S. \$ } 15600$$

**S u e l d o s:**

1 Jefe	S/o. 2.000.00	mensuales
3 Maquinistas	" 1.500.00	"
6 Ayudantes	" 1.500.000	"
1 Mecánico	" 700.00	"

S/o. 5.700.00 mensuales

$$\text{S/o. } 5700 \times 12 = \text{S/o. } 68400/\text{año} = \text{U.S. \$ } 10500$$

+

**A.- Gastos Iniciales:**

1.- Tres grupos diesel-eléctricos de 1000 KW	U.S. \$	240.000
2.- Tableros de mando y conexiones		15.000
3.- Tuberías y conexiones		3.000
4.- Transporte, aduana (30%)		80.000
5.- Montaje (5%)		15.000
6.- Edificio y grúa		31.800
7.- Imprevistos (10%)		38.480

Total U.S.\$ 423.280

B.- Gastos fijos anuales:

1.- Amortización (6%-10 años)- 7.6%	}	14.1% U.S.\$ 59750
2.- Intereses (6%)		
3.- Seguros (0.5%)		

C.- Operación y mantenimiento:

1.- Combustible (diesel-oil)	U.S.\$ 31.000
2.- Lubricante	15.600
3.- Sueldos	10.600
4.- Mantenimiento y reparaciones (2.5%)	10.600
T o t a l	U.S. \$ 127.550

Costo de KW instalados:

$$\frac{423.280}{3000} = \$ 141$$

Costo del KWH:

$$\frac{127.550}{15'721.000} = \text{U.S. \$ } 0.0081 \text{ o sea}$$

$$= 8.1 \text{ mills.}$$

Como podrá observarse en este caso, no hemos tomado en cuenta la torre de enfriamiento y aun así el costo del KWH generado es 40% más que en el caso de emplear un turbo-



grupo a vapor de 2000 KW ó sea que el sistema más económico de generación es el de un turbogruppo de 2000 KW, instalado al lado de la Fábrica de Cemento, empleando para el enfriamiento del agua de circulación del condensador una torre de refrigeración y haciendo el servicio de San Pedro y Pacasma-  
yo por medio de dos líneas de transmisión.

## CAPITULO V

DISTRIBUCION ELECTRICA EN SAN PEDRO DE LLOC Y PACASMAYO

Cálculos y especificaciones.- Cálculo de las líneas de transmisión y transformadores de distribución.

Las líneas de transmisión tanto para Pacasmayo como para San Pedro ya han sido calculadas, encontrándose en el primer caso una de 2300 volts y en el segundo una de 4600 volts.

A) Distribución eléctrica en la ciudad de San Pedro.

En los primeros capítulos se hizo la determinación de la carga de la ciudad de San Pedro, resultando ser de 70 KW.

La red de distribución será del tipo "árbol" por ser la más conveniente a este caso, siendo los servicios de alumbrado público, particular y especiales hechos por una sola red de distribución aérea. Por ser el ancho medio de las calles 12 metros, se colocará una sola fila de postes de alumbrado público, separados a una distancia promedio de 50 m. El número total de postes que se obtiene, siguiendo el procedimiento indicado es de 220. La generalidad de estos postes de alumbrado llevará un foco de 100 watts.

Determinemos las intensidades de iluminación requeridas en las diversas zonas de la ciudad.

Hacemos uso de las tablas dadas en el Manual de Hütte, tomo I, pág. 1239, para calcular las lámparas por el método del rendimiento. En este método se parte de la superficie a iluminar  $F$  y de la iluminación media exigida  $E_m$  a las cuales (con un rendimiento  $n$ ) corresponde el flujo luminoso necesario:

$$\phi = E_m F / n$$

TABLA (1)

Rendimiento  $n'$  para alumbrado de calles

Relación del ancho de la calle a la altura de dispersión.	Repartición de la luz	
	Radiación hacia abajo	Radiación en ancho
Inferior a 2	25-30 %	15-20
Entre 2 y 4	30-40 %	20-30
Superior a 4	40-50 %	30-40

TABLA (2)

Intensidad de alumbrado de calles, plazas y patios

Sitio de instalación	Iluminación media		En el punto más desfavorable	
	mínima l/m <sup>2</sup>	recomen. l/m <sup>2</sup>	mínima l/m <sup>2</sup>	recomen. l/m <sup>2</sup>
<u>Calles y plazas:</u>				
Circulación escasa	1		0.2	0.5
Circulación mediana		8	0.5	2
Circulación intensa	8	15	2	4
Circulación muy intensa	15	30	4	8

TABLA (3)

Eficiencias de lámparas incandescentes

Capacidad de la lámpara en watts	Total de lumens	Lumens por w.
25	260	10.4
40	464	11.6
60	834	13.9
75	1,103	14.7
100	1,580	15.8
150	2,610	17.4
200	3,640	18.2
300	5,910	19.7
500	10,500	20.1

Como el ancho medio de las calles es 12 m. tomemos de la tabla (1), una relación entre el ancho de calle y altura de suspensión de 2 a 4. De acuerdo al espaciado de los postes, la superficie alumbrada por cada foco sería de

$$50 \times 12 = 600 \text{ m}^2$$

La iluminación media  $E_m$  la tomamos de la tabla (2)

Considerando una circulación mediana, la tabla da una intensidad mínima de 3 lumens/m<sup>2</sup>, una intensidad recomendable de 8 lumens/m<sup>2</sup> y para el caso más desfavorable 0.2 a 0.5 lumens/m<sup>2</sup>.

Determinemos el flujo  $\phi$  necesario para los casos de tránsito muy escaso, escaso y mediano, tomando un rendimiento de radiación hacia abajo de 30%.

$$\phi = E_m F/n$$

$$\text{Muy escaso: } \phi = 0.3 \times 600/0.3 = 600 \text{ lumens}$$

$$\text{Escaso: } \phi = 0.8 \times 600/0.3 = 1600 \text{ "}$$

$$\text{Mediano: } \phi = \frac{3 \times 600}{0.3} = 6000 \text{ "}$$

De acuerdo a la tabla N<sup>o</sup> 3, las capacidades de las lámparas sería:

600 lumens	----	60 watts
1600 "	----	100 "
1800 "	----	300 "

Teniendo en cuenta la iluminación de los lugares públicos y de las zonas suburbanas, podemos hacer la siguiente

te distribución:

Lugares públicos	10 %	22	focos de 300 watts
Lugares urbanos	60 %	132	focos de 100 watts
Lugares suburbanos	30 %	66	focos de 60 watts
T o t a l		220	focos

que representan:

$$\begin{array}{r}
 22 \times 300 \quad 6600 \\
 132 \times 100 = 13200 \\
 66 \times 60 = \underline{3960} \\
 \hline
 23760 \text{ watts o sea aproximada-} \\
 \text{mente } 24 \text{ KW.}
 \end{array}$$

La carga de alumbrado particular la podemos considerar como amperes consumidos por vereda, lo que nos facilita grandemente el cálculo de los conductores.

La ciudad podemos considerarla como constituida por 36 manzanas que nos representarían 144 veredas.

Como en el caso de alumbrado público, consideraremos tres tipos de demandas: mediana, escasa y muy escasa.

Sean X" las manzanas de demanda mediana, "y" las de escasa y "z" las de muy escasa que corresponderían a la zona suburbana.

El consumo promedio por manzana sería de:

$$35 + 36 = 0.97 \text{ KW.}$$

Asignémosle a la demanda mediana un valor de 2 KW, a la escasa 1 KW y a la muy escasa 0.5 KW.

De acuerdo a lo anterior, podemos plantear las siguientes ecuaciones:

$$2x + y + 0.5 z = 35$$

$$x + y + z = 36$$

Las manzanas correspondientes a la zona suburbana son aproximadamente 10 ó sea  $z = 10$ , lo que da para  $x = 4$  e  $y = 22$ .

Como a cada manzana corresponden 4 veredas, el consumo por vereda en cada caso sería:

a) Demanda mediana:

$$\frac{2000}{4 \times 1.73 \times 220} = 1.3 \text{ amperes por vereda}$$

b) Demanda escasa: 0.65 amperes por vereda.

✓ c) Demanda muy escasa: 0.325 amperes por vereda.

Indudablemente, las zonas de mayor demanda van a ser las cercanas a la Plaza de Armas, por ser el centro más activo de la población. De acuerdo a estas consideraciones haremos la determinación de la sección de los conductores.

En resumen tenemos:

40 veredas que requieren cada una	0.325	Amp.
88 " " " " "	0.65	"
16 " " " " "	1.3	"

Como se dijo anteriormente, la distribución es de tipo "árbol", corriendo un conductor principal que alimenta

todos los circuitos a lo largo del Jirón Dos de Mayo en la dirección N-S, entrando por la estación del ferrocarril y siguiendo en la dirección indicada hasta la Plaza de Armas y el Jirón Unión.

La longitud total de este conductor sería aproximadamente 1500 m., pero lo vamos a llevar solo hasta la esquina de los jirones Constitución y Dos de Mayo, lo que le daría una longitud aproximada de 1200 m.

El voltaje de este conductor principal será 2300 volts y la corriente máxima que llevaría sería de:

$$I = \frac{KW}{3 \cdot E \cos \phi} \text{ Amperes}$$

$$KW = 70$$

$$E = 2300 \text{ volts}$$

$$\cos \phi = 0.8 \text{ (asumido)}$$

$$I = 23 \text{ Amperes. El conductor correspondien-}$$

te es el N° 8, pero para disminuir la caída de tensión usamos N° 6, cuyas características son:

$$R = 0.395 \text{ /1000 pies}$$

$$x = 0.120 \text{ /1000 pies}$$

$$z = R^2 + x^2 = 0.4 \text{ /1000 pies}$$

$$z_r = \frac{0.4 \times 1200 \times 3.20}{1000} = \underline{1.525}$$

Caída de tensión:

$$z_r \times I = 1.575 \times 23 = 36.2 \text{ volts.}$$



$$\text{Regulación: } \frac{36.2}{2300} = 1.50 \% \text{ aceptable}$$

En la esquina de los jirones Constitución y Dos de Mayo, instalamos un transformador reductor de 2300/230 para alimentar al primer distribuidor secundario que corre hasta el final del jirón Dos de Mayo, desde el transformador mencionado hacia la Plaza de Armas.

Este alimentador debe servir, según el plano de la red de distribución a:

Alumbrado Público

75 focos con 10.000 watts                      26 Amperes

Alumbrado Particular

22 demandas de 0.325 Amp.                      7.15 "

21        "        "    0.65        "                      13.65 "

16        "        "    1.3        "                      20.4 "

Servicios especiales 5 KW                      13.0 "

Total                      80.20 Amp.

El código americano recomienda para esta corriente el conductor N° 2, cuyas características son:

$$R = 0.156 \quad /1000 \text{ pies}$$

$$x = 0.1097 \quad /1000 \text{ pies (12" separación de conduct)}$$

Como el alimentador tiene 1000 pies de longitud, los valores dados corresponde a su resistencia y reactancia total por conductor.

Cálculo de la caída de tensión:  $Iz$

$$z = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$z = \sqrt{0.0243 + 0.0119}$$

$$z = 0.19$$

$$Iz = 80.20 \times 0.19 = 15.2 \text{ volts.}$$

$$\text{Regulación} = \frac{15.2}{220} = 6.8$$

Para compensar esta caída de tensión usemos un regulador de voltaje, cuya capacidad calculamos por la fórmula

$$\text{KVA} = \frac{3 \times \text{corriente de línea} \times \text{caída de tensión por conduc}}{1000}$$

Caída de tensión por conductor:

Tomemos un regulador de 7 1/2 % de regulación (standard).

$$\frac{0.075 \times 220}{3} = 9.55 \text{ volts.}$$

$$\text{KVA} = \frac{3 \times 80.20 \times 9.55}{1000} = 2.3$$

Capacidad del Regulador: 2.5 KVA

Capacidad del transformador reductor:

$$\text{KVA} = \frac{\sqrt{3}E \times I}{1000}$$

$$\text{KVA} = \frac{1.73 \times 220 \times 80.20}{1000} = 30.50$$

Elegimos uno standard de 37 1/2 KVA.

En la esquina de los jirones Callao y Dos de Mayo colocamos otro transformador reductor para alimentar al segundo circuito de distribución secundaria.

El alimentador secundario debe servir a:

Alumbrado Público

60 focos con 5200 watts            13.5 Amp.

Alumbrado Particular

13 demandas de 0.325 Amp.        4.24 Amp.

34        "        " 0.65                    22.00 "

Servicios Especiales (5 KW)    13.00 "

Total                    39.24 "

El conductor N° 8 puede elevar 40 amperes, pero para disminuir la caída de tensión usaremos N° 6, cuyas características son:

$R = 0.395$         /1000 pies

$x = 0.120$         /1000 pies (12" separación de conductores)

Estos valores son también totales ya que el alimentador tiene 300 m. de longitud.

Caída de tensión  $Iz$

$$z = R^2 + x^2$$

$$z = 0.0156 + 0.0144$$

$$z = 0.4 \quad I z = 40 \times 0.4 = 16 \text{ volts.}$$

Regulación: 7.3 %

Cálculo del regulador de tensión

Caída de tensión por conductor considerando una regulación de 7.5%:

$$\frac{0.075 \times 220}{3} = 9.55 \text{ volts}$$

$$\text{KVA} = \frac{3 \times 40 \times 9.55}{1000} = 1.15, \text{ elegimos uno de .}$$

1 1/2 KVA de capacidad.

Capacidad del transformador reductor:

$$\text{KVA} = \frac{1.73 \times 220 \times 40}{1000} = 15.3 \text{ KVA}$$

Como entre 15 y 25 KVA no hay un valor intermedio standard y además no hemos tomado en consideración el rendimiento del transformador, elegimos el de 25 KVA

Los ramales transversales, en los casos más desfavorables, van a tener una carga de 10 Amperes y una longitud de 1000 pies.

Como para este tipo de distribución aérea, el conductor mínimo recomendable es el N° 8, elegimos este conductor a pesar que su capacidad es de 40 amperes.

Comprobación de la caída de tensión:

$$R = 0.628$$

$$x = 0.052 \quad (\text{para } 12'' \text{ de separación de conductores})$$

$$z = 0.63$$

Caida de tensión:

$$I_z = 10 \times 0.63 = 6.3 \text{ volts.}$$

$$\text{Regulación} = \frac{6.3}{220} = 2.85\% \quad \underline{\text{aceptable}}$$

Luego todos los ramales transversales secundarios serán de alambre N° 8.

El tercer circuito de distribución secundaria va a tener su transformador en la Avenida Norte a la altura del Ingenio Calderón y longitud será aproximadamente de 2 350 m. Además, este transformador va a alimentar tres circuitos auxiliares del alumbrado Público, Estación del ferrocarril e Ingenio Calderón, que como en los casos anteriores serán de conductor N° 8.

Cálculo del conductor principal del tercer circuito.

Este conductor va a alimentar, según puede verse en los planos de la red a:

Alumbrado Público:

85 focos con 4800 watts      13.00 Amp.

Alumbrado Particular:

5 demandas de 0.325 Amp.      1.65

"      " 0.65      "      21.40

Servicios especiales (5 KW)      13.00

49.05

Según el Código Americano, el conductor correspon-

diente es el N° 6, cuyas características son:

$$R = 0.395 \quad /1000 \text{ pies}; \quad x = 0.12 \quad /1000 \text{ pies}$$

$$R_T = \frac{0.395 \times 3.28 \times 350}{1000} = 0.455$$

$$x_T = \frac{0.120 \times 3.28 \times 350}{1000} = 0.138$$

$$z = 0.206 + 0.0189 = 0.474$$

Caida de tensión Iz:

$$49.05 \times 0.474 = 23.2 \text{ volts.}$$

Regulación: 10.5%

Como la caída de tensión es muy alta ensayamos con el conductor N° 4, cuyas características son:

$$R = 0.248 \quad /1000 \text{ pies}$$

$$x = 0.115 \quad /1000 \text{ pies} \quad (12" \text{ separación de conductor})$$

$$z = 0.273 \quad /1000 \text{ pies}$$

$$z_T = \frac{0.273 \times 3.28 \times 350}{1000} = 0.313$$

Caida de tensión:

$$Iz = 49.05 \times 0.313 = 15.3 \text{ volts.}$$

Regulación: 7 %

Cálculo del regulador de tensión:

Usaremos una regulación de 7 1/2 %

$$\text{Caida de tensión por conductor: } \frac{0.075 \times 220}{1.73} = 9.55 \text{ volts}$$

$$KVA = \frac{3 \times 49.05 \times 9.55}{1000} = 1.4, \text{ elegimos uno de}$$

1 1/2 KVA de capacidad

Capacidad del transformador reductor:

$$\text{KVA} = \frac{1.73 \times 220 \times 49}{1000} = 18.7$$

como en el caso anterior elegimos uno de 25 KVA 2300/230 v

Como podrá observarse el actual servicio a la ciudad de San Pedro es casi exclusivamente para servicio de alumbrado, como ocurre en la generalidad de los pueblos pequeños del Perú.

La conveniencia de un suministro de energía para servicio industrial tendría que determinarla algún proyecto inmediato de industrialización de la región o por lo menos de establecimiento de pequeñas industrias que estén dispuestas a comprar la energía eléctrica, ya que en su mayoría estas pequeñas industrias de provincias cuentan con su propia fuente de energía.

En cualquier caso queda en pie la posibilidad de un suministro de energía industrial debido a que la capacidad de la Central Eléctrica de la Fábrica de Cemento se ampliará en un futuro cercano.

Cálculos mecánicos de la línea de transmisión desde la Central en la Fábrica de Cemento hasta la ciudad de San Pedro de Lloc.

En el Capítulo I se determinó el voltaje de transmisión para esta línea y resultó ser de 4600 volts, siendo el conductor apropiado el N° 6, cuyas características son:

Peso por 1000 pies	81.05 pies
Resistencia id.	0.4105 ohms.

Vamos ahora a calcular la distancia a que deben estar colocados los postes y a la vez determinar la flecha y el esfuerzo del conductor.

El esfuerzo de rotura del cobre es de 35 Kgs/mm<sup>2</sup>. Con el Abaco de Blondel podemos calcular la tensión en el conductor conociendo la flecha y la luz (distancia entre postes).

La sección del conductor N° 6 es de 13.2 mm<sup>2</sup>.

En el trayecto fuera de las ciudades el factor de seguridad debe ser por lo menos igual a 3, tomemos nosotros 4 y la carga de trabajo admisible por el conductor sería de  $35 \div 4 = 8.75$  Kgs/mm<sup>2</sup> o sea una carga total de  $8.75 \times 13.2 = 116$  kgs.

En el Abaco de Blondel tenemos en abscisas la distancia entre postes en metros, en ordenadas temperaturas en ° C, de 5 en 5° y aparecen dos sistemas de curvas, uno correspondiente a las flechas de los conductores y el otro a



los esfuerzos soportados en  $\text{kgs/mm}^2$ .

Supongamos que vamos a colocar los postes a 100 m. de distancia uno de otro y teniendo presente que el esfuerzo admitido es de  $8.75 \text{ kg/mm}^2$ , en el abaco el punto de intersección de la línea de 100 m. de luz en la de  $T = 8 \text{ kgs/mm}^2$  corresponde a una flecha de 1.40 m. fig. N<sup>o</sup> 1. V. Como el punto más bajo de la línea debe estar en este caso a unos 6 m. del suelo, los aisladores deben ser colocados a 7.14 m. del suelo.

Efecto del viento sobre la sección del conductor.-

El cálculo hecho con el abaco de Blondel ha sido solo considerando el peso propio del conductor, pero debemos tener la acción del viento pues es un factor importante para la comprobación de la sección del conductor.

El efecto del viento puede considerarse como un aumento de peso del conductor, sea  $p'$  el esfuerzo resultante

del peso propio y de la acción del viento y  $p$  el esfuerzo para el peso propio del conductor. De una tabla de presiones normales del viento para el conductor de 3 mm de diámetro y una presión normal de 150 kgs. (asumida) tenemos la relación  $\frac{p'}{p} = 3.214$ .

En seguida multiplicamos la luz primitiva por el factor  $\frac{p'}{p} = 3.214$  y esta nueva luz la llevamos al diagrama (fig. N° 2-V) trazando una paralela al eje  $y$ , y otra a la misma altura del punto A primitivo, al eje  $x$  donde se cortan estas dos líneas, tenemos el punto A' que nos da la nueva flecha ficticia, que dividida por la relación  $\frac{p'}{p}$  nos da la flecha real.

En nuestro caso tendrían una luz ficticia de  $3.214 \times 100 = 321.4$  m. pero como el diagrama solo tiene hasta 300 tomamos este valor, el punto A primitivo estaba a la altura del valor 60 en la escala en temperatura, por este punto trazamos una paralela al eje  $x$  y donde corta al anterior tenemos una flecha ficticia de 6.25 m. La flecha real sería  $6.25 \div 3.214 = 1.94$  m.; por lo tanto la altura de los aisladores deberá ser 7.94 m. sobre el suelo.

El efecto de la variación de temperatura es notable en las líneas de transmisión por lo que debe tenerse cuidado de relacionar las condiciones de temperatura en el momento de hacer la instalación con las temperaturas superiores e inferior a dicha temperatura para de este modo conocer

como variaría la tensión sobre el conductor durante las variaciones de temperatura ambiente.

Si esta línea se instalara en época calurosa es muy posible que la variación de temperatura llegue de 10° a 15° C, lo que significaría de acuerdo con el abaco de Blondel una disminución de la flecha de 1.40 m. a 1.20 es decir en 0.20 m. y un consiguiente aumento de la tensión de 8.75 kgs. a 10 kgs. por mm<sup>2</sup> con lo que disminuiría el factor de seguridad previsto.

Al contrario si la línea se instalara en época de "invierno" sería un aumento de 10 a 15° C en el "verano" con la consiguiente dilatación de la línea y un aumento de la flecha de 1.94 a 2.05 m.

Cálculo de las dimensiones principales de los postes:

Ver figura N° 3 - V

Las dimensiones principales son:

$h$  = altura del poste

$h_1$  = altura del conductor más alto al suelo

$h_2$  = altura de los conductores más bajos al suelo

$d$  = diámetro en la parte superior del poste

$D$  = diámetro del poste en la base

Las cargas a considerarse son: la presión del viento y la tensión de los conductores que producen sus respectivos momentos.

Momento del viento:

$$M_p = \frac{W_p \times h^2 (D + 2d)}{72}$$

Momento de los conductores:

$$M_{c_1} = W_c \times h_1 \times \text{luz horizontal (en pie)}$$

$$M_{c_2} = W_c \times 2h_2 \times \text{luz horizontal}$$

De la tabla 28 de TRANSMISSION LINES de DEWEESE tenemos que la altura mínima de los postes de pino creosotado es de 30' con 6' bajo tierra, nosotros hemos encontrado que los aisladores más próximos al terreno deberían estar a 7.94 m. de altura, o sea 26' por lo tanto elegimos los de 30' clase 5 que tienen un diámetro en la base de 8.9" y la parte superior de 6".

$$h = 30' \quad W_p = 4 \text{ lbs/pie}^2$$

$$h_2 = 26' \quad W_c = 0.4933$$

$$h_1 = 31' \quad (\text{de la tabla 24 de DEWEESE})$$

Reemplazando tenemos:

$$M_p = \frac{4 \times (30)^2 (8.9 + 12)}{72} =$$

$$M_p = 1300 \text{ pie-libras}$$

$$M_{c_1} = 0.4973 \times 31 \times 100 \times 3.28 = 5000 \text{ pie-libras}$$

$$M_{c_2} = 2 \times 0.4973 \times 26 \times 100 \times 3.28 = 8500$$

$$\text{Total: } M_p + M_{c_1} + M_{c_2} = 13800 \text{ pie-libras}$$

$$\text{o sea } 13800 \times 12 = 158.000 \text{ pulg-lib.}$$

El módulo de la sección del poste a la altura de

la base es  $\frac{D^3}{32}$  o sea

$$\frac{3.14 (8.9)^3}{32} = 69.0 \text{ pulg}^3$$

$$\text{Esfuerzo unitario: } \frac{158000}{69} = 2400 \text{ lbs/pulg}^2$$

Como el esfuerzo de ruptura es 7400 lb/pulg<sup>2</sup>. tendríamos un factor de seguridad de

7400 : 2400 = 3 que es suficiente para líneas de transmisión.

Tendríamos finalmente que la línea requería:

5000 + 100 = 50 postes de 30' de altura normal y 6' para enterrarlos en su base, los postes son de pino creosotado.

+

### Cálculos mecánicos de la red de distribución en la ciudad de San Pedro de Lloc.

Los postes a usarse serán relativamente pequeños, de una altura de 16' excepto en los casos en que los postes llevan 6 conductores, 3 de 2300 volts y 3 de 220 V, en que pueden llevar postes similares a los usados en la línea de transmisión a San Pedro.

Calculemos los postes para los circuitos con conductor N<sup>o</sup> 8. Estos postes están separados por una distancia de 50 m.

La sección de los conductores N<sup>o</sup> 8 es 16510 cm. o

$s_{e_2}$ : 8.5 mm<sup>2</sup>, el esfuerzo de ruptura es de 35 Kg/mm<sup>2</sup>, usaremos como en el caso anterior un factor de seguridad de 4 y la carga de trabajo será: 8.75 kg/mm<sup>2</sup>.

Del abaco de Blondel tenemos que la flecha correspondiente es 0.40 m.

Carga adicional por el viento:

Para la sección del conductor N<sup>o</sup> 8 que es 8.75 mm<sup>2</sup> y con un viento de 125 kg. se tiene la relación  $\frac{p'}{p} = 3.538$

La luz ficticia será: 50 x 3.528 = 158 m.

La flecha ficticia obtenida, como en el caso de antes, será : 2.40 m.

La flecha real corregida: 2.40 + 3.538 = 0.68

Para los conductores N<sup>o</sup> 6

Sección: 13.2 mm<sup>2</sup>

Flecha teórica: 0.40 m.

Corrección por viento:

$$\frac{p'}{p} = 4.5$$

Luz ficticia: 4.5 x 50 = 225 m.

Flecha ficticia: 3.75 m.

Flecha real corregida: 3.75 + 4.5 = 0.83 m.

Para conductores N<sup>o</sup> 4

Sección: 21 mm<sup>2</sup>

Flecha teórica 0.40 cm.

Corrección por viento:

$$P' = 5.25$$

Luz ficticia:  $50 \times 5.25 = 263 \text{ m.}$

Flecha ficticia:  $4.75 \text{ m.}$

Flecha real corregida  $4.75 + 5.25 = 0.91 \text{ m.}$

Partes que llevan solo conductor N° 8

Altura del conductor más bajo:  $5 \text{ m.}$ , tratándose de una distribución a baja tensión. Los aisladores estarían entonces a  $5.68 \text{ m.}$  sobre el suelo. Los conductores irán sobre una misma cruceta y separados  $12''$  entre sí.

Cálculo del poste: Elegimos el poste standard de  $20'$  de altura cm.  $3 \frac{1}{2}$  bajo tierra, diámetro en la base  $8''$ , diámetro en el extremo superior:  $7''$

$$\text{Momento del viento: } M_p = \frac{W_p b^2 (D + 2d)}{72} \quad \begin{array}{l} W_p = 2 \\ W_c = 0.1215 \end{array}$$

Momento de los conductores:  $3 W_c \times L \times h$

$$M_p = \frac{2 (20)^2 (8 + 14)}{72} = 24.5 \text{ pie-lib.}$$

$$M_c = 3 \times 0.1215 \times 157 \times 18.6 = \underline{1000}$$

Total  $1245 \text{ pie lib.}$

Módulo de la sección de la base del poste  $\frac{\pi D^3}{32}$

$$= \frac{3.14 \times 512}{32} = 50 \text{ pulg.}^3$$

$$\text{Carga de trabajo: } \frac{1245 \times 12}{50} = 300 \text{ lbs/pulg}^2$$

Como la carga de ruptura es  $7400 \text{ lbs/pie}^2$  tene-

mos un factor de seguridad cercano a 25.

Disminuimos la sección de la base a 6" y tenemos:

$$\frac{D^3}{32} = \frac{3.14 \times 216}{32} = 21 \text{ pulg.}^3$$

Carga de trabajo: 720 lbs/pulg<sup>2</sup>.

Elegimos los postes de 6" en la base y 5" en el extremo superior.

Momentos adicionales para los conductores

Nº 6 = 2300 volts.

En este caso la distancia mínima al nivel del suelo deberá ser de unos 8 m. Como la flecha es de 0.83 m. los conductores más cercanos al suelo deberán estar a 8.83 m. de altura y el conductor más alto a 9.83 m.

$W_p = 2 \text{ lbs/pie cuadrado}$

$W_c = 0.1215$

$$M_p = \frac{2 \times (30)^2 (8 + 10)}{72} = 450$$

Elegimos el poste standard de pino de 30' de longitud clase 7 de 8 de diámetro en la base 5" en el extremo superior.

$M_p = 800 \text{ pie libra}$

$$M_{c_1} = 2 \times 0.1215 \times 157 \times 29 = 1116$$

$$M_{c_2} = 0.1215 \times 157 \times 30 = 558$$

Total 1714 pies lib.

$$\text{Módulo de la sección: } \frac{D^3}{32} = \frac{3.14 \times 512}{32} = 50 \text{ pulg}^3$$

Carga de trabajo:  $\frac{1714 \times 12}{50} = 415 \text{ lbs/pulg}^2$ , luego estos

postes pueden llevar no solo a los conductores Nº 6 sino



también a los N° 8, ya que en conjunto sería 1135 lbs/pulg<sup>2</sup> habiendo considerado dos veces la acción del viento sobre el poste mismo aun tenemos un factor de seguridad de  $7400 \div 1135 = 6.5$  que es bastante bueno.

Postes del mismo tipo pueden servir para la línea combinada de conductores N° 8 y N° 4.

## CAPITULO VII

## DISPOSICION DEL EQUIPO EN LA CENTRAL

La disposición del equipo en la Central ha sido hecho tomando en consideración la disposición de la fábrica de cemento, sugerida por la Vulcan Iron Works y además se ha seguido la tendencia moderna en lo que respecta al montaje del turbogruppo que va sobre una plataforma apoyada en seis columnas, sin necesidad de construir un segundo piso, colocando el tablero de control de la central en el piso principal. Se ha eliminado de este modo la pared de división que se usó en centrales antiguas para separar el cuarto de la turbina, del cuarto de calderas.

El espacio ocupado por la central es de 24 x 35 m. Los turbogrupos tienen su eje orientado en el sentido de la menor dimensión y están colocados hacia el lado de la fábrica, el tablero de control de la central está situado frente a los dos generadores permitiendo una disposición muy cómoda para la salida de los alimentadores principales, especialmente el que va a servir al motor sincrónico del molino. Al otro extremo del edificio se ha dispuesto los dos calderos de tal manera que los precalentados de aire queden fuera de la central, como podrá observarse en el plano general de la fábrica y la Central, quedado al lado de campo abierto.

La torre de enfriamiento ha sido ubicada a un lado

del edificio de la Central y dentro de la fábrica de Cemento a una distancia de 25 m. del paramento del edificio para dejarla mejor expuesta a la acción del viento. En el plano N<sup>o</sup> 1 de la disposición del equipo dentro de la central se presenta una vista de planta del extremo del edificio donde se encuentran los turbogrupos y el tablero de control.

La disposición de los condensadores en sentido transversal al de los turbogrupos, permite usar el mismo espacio para retirar los tubos cuando se necesite hacer alguna reparación.

En el mismo plano se muestra la tubería de entrada de vapor a la turbina así como una vista esquemática del separador de vapor. La curva de la tubería de entrada a la turbina ha sido calculada como una unión de expansión y de acuerdo a la dimensión de la tubería (4"  $\varnothing$  ) le corresponde a la curva un radio de 20".

La conexión del generador en el tablero de control se hace por medio de un ducto que va desde una de las columnas hasta el panel respectivo, pasando por el interruptor en aceite como se ve en forma esquemática en el plano N<sup>o</sup> 1.

El enfriador del aire de ventilación del generador ha sido instalado entre las cuatro columnas que sostienen la plataforma hacia el lado del generador, formando las columnas parte del enfriador mismo. El enfriamiento se hace por transferencia al agua que circula por los tubos del enfría-

dor. La superficie necesaria para este enfriador ha sido calculada como se verá más adelante.

Dos puertas de 5 m., cada una permiten el acceso al edificio desde el interior de la fábrica.

El plano N<sup>o</sup> 2 muestra una vista en corte del edificio de tal manera que puede verse la vista en elevación del turbogruppo, así como una representación esquemática del separador de vapor, el calentador cerrado, el recipiente de agua condensada, la bomba de condensado que ha sido colocada convenientemente para que tenga una succión positiva de 4', se observa asimismo la conexión del eyector de aire con el condensador. La vista en corte muestra una guía

de corredera, cuya viga principal ha sido calculada como se mostrará más tarde, la alimentación de los motores de la grúa se hace por medio de conductores de contacto trifásicos

El acceso a la plataforma del turbogruppo que se encuentra a 4.70 m. de nivel del suelo, se consigue por medio de dos escaleras laterales como puede apreciarse en los planos Nos. 1 y 2 de este capítulo.

Al lado del tablero de control de la central se muestra el grupo electrógeno de 4 KW que sirve en caso de emergencia para el servicio interno de la central.

La ubicación de los calderos puede notarse levemente en el plano N<sup>o</sup> 2.

Los tijerales del techo no han sido calculadas por

corresponder a un fin diferente al de este proyecto.

El plano N<sup>o</sup> 3 muestra dos vistas del caldero una en corte y otra en elevación. Se trata de un caldero Spring field para generar 25000 lbs.vapor/hora a 450 lbs/pulg<sup>2</sup> y a 750<sup>o</sup> F. Lleva como equipos adicionales el sobrecalentador de vapor, un precalentador de aire, ventilador de tiro fuerza doe inducido. Más adelante se dará detalles de los cálculos de la superficie de calentamiento del caldero, del precalentador de aire, del enfriador del generador y de la viga de la guía.

Cada caldero tiene tres quemadores de petróleo que son alimentados por bombas a pistón cm Bruker Oil c precalentado.

El plano N<sup>o</sup> 4 muestra en elevación al turbogruppo mirado desde el lado de la turbina, pudiendo apreciarse al condensador en toda su longitud, así como también las conexiones entre el calentador cerrado, la turbina y el condensador. Es asimismo visible el recipiente de agua caliente, el evaporador, la bomba de condensado y la bomba de circulación.

El plano N<sup>o</sup> 5 muestra una vista de frente de uno de los calderos, pudiendo notarse los 3 quemadores a petróleo, los conductos de aire caliente por debajo de la cámara de combustión, la conexión de los quemadores con el circuito de alimentación de Bruker Oil C, los solidos de vapor con

su válvula y by-pass, la conexión de alimentación del caldero, del calentador cerrado que se encuentra a la altura del recipiente de vapor saturado.

La alimentación del caldero se hace por medio de dos bombas centrífugas cada una con 200% de la capacidad normalmente requerida por el caldero.

Una de estas bombas es movida por motor eléctrico en tanto que la otra es movida por una turbina a que trabaja entre 60 y 15 lbs. por pulgada cuadrada. La capacidad y fuerza requerida por estas bombas ha sido calculada como se verá más adelante.

El plano N° 6 muestra una vista en elevación de la torre de enfriamiento con sus respectivas dimensiones que han sido calculadas como se verá luego, notándose también las conexiones al circuito de la planta.

### CALCULO DE LA SUPERFICIE DE VAPORIZACION DEL CALDERO

El standard de los fabricantes fija una superficie de 10 pies cuadrados por HP de caldero, correspondiendo a 1 HP de caldero una vaporización de 34.5 lbs/hora desde y a 212° F y a 14.7 lbs. por pulgada de presión.

Vaporización equivalente.— Es la relación entre el calor necesario para vaporizar una libra de agua en determinadas condiciones de presión y temperatura y el calor necesario para vaporizar una libra de agua a 212° F y a la presión atmosférica que, como sabemos, es 970.3 BTU.

Calor necesario para vaporizar 1 lb. de agua a 212° F y a 420 lbs por pulgada cuadrada hasta convertirla en vapor a 750° F y 420 lbs por pulgada cuadrada:

$$h_2 - h_1 ; \quad h_2 = \text{entalpía del vapor}$$

$$h_1 = \text{entalpía del agua}$$

$$h_2 = 1204 \text{ BTU/lb (saturado)}$$

$$h_1 = 180 \text{ BTU/lb (saturada)}$$

$$\text{Vaporización equivalente: } \frac{1204 - 180}{970} = \frac{1024}{970} = 1.06$$

esto significa que si 10 pies cuadrados de superficie calentada nos producían 34.5 lbs/hora desde y a 212° F y a 14.7 lbs por pulgada cuadrada, los mismos 10 pies cuadrados nos producirán:

$34.5 + 1.06 = \underline{32.5}$  lbs/hora de vapor a 420 lbs por pulgada cuadrada y a 448.1 ° F de temperatura de satura-

91.

ción. Como necesitamos una producción máxima continua de 25000 lbs/hora la superficie calentada del caldero debe ser:

$$\frac{25000 \times 10}{32.5} = 7700 \text{ pies cuadrados}$$



CALCULO DE LA SUPERFICIE DEL SOBRECALENTADOR DE VAPOR

Tipo de sobrecalentador: "Over deck" (sobre los tubos de generación de vapor.

Temperatura del vapor saturado: 448.1 ° F

Temperatura del vapor sobrecalentado: 750° F

Flujo de vapor: 25000 lbs/hora

Flujo de gases: 36.000 lbs/hora.

Calor específico de los gases: 0.24

Conforme a las recomendaciones de un manufacturero y con una velocidad de los gases de 30 pies por segundo, la temperatura de salida de los gases debe ser por lo menos 300° F más alta que la del vapor de salida. En este supuesto la temperatura de salida de los gases sería por lo menos 1050 ° F.

Calor cedido por los gases:

$$Q = \text{AUT} = W \times c (t_1 - t_2) \quad (1) \quad \checkmark$$

Calor recibido por el vapor:  $\times$

$$Q = \text{AUT} = W_1 \times c_1 (T_1 - T_2) \quad (2)$$

De (1) y (2) tenemos:

Para calcular la diferencia media logarítmica de la temperatura, tomaremos como temperatura de salida de los gases 1050° F.

$$T = \frac{T_1 - T_2}{\log_e \frac{t_2 - T_2}{t_2 - T_1}}$$

$$T = \frac{301.9}{\log_e \frac{1050-448}{1050-750}} = \frac{301.9}{\log_e \frac{602}{300}} = \frac{301.9}{0.693}$$

$$T = \underline{434}$$

Un valor práctico de U para sobrecalentadores del tipo usado en este caso es de 9 BTU/f<sup>2</sup>/h/

Reemplazando en (2) y despejando:

$$A = \frac{W_1 c_1 (T_1 - T_2)}{UT}$$

$$A = \frac{25000 \times 0.6 \times 301.9}{9 \times 434}$$

$$A = \underline{1150 \text{ pies cuadrados}}$$

## CALCULO DEL PRECALENTADOR DE AIRE

Consumo de combustible a la capacidad máxima continua y con un rendimiento del caldero de 84 %.

Condición:

Presión: 420 p.s.i.

Temperatura: 750° F

Entalpía inicial: 1390 BTU/lb

Entalpía del agua  
de alimentación            180

Total            1210 BTU/lb de agua.

Combustible:

Bunker Oil "C".- Poder calorífico inferior:

18 000 BTU/lb.

$$W_c = \frac{25000 \times 1210}{18000 \times 0.84} = 2000 \text{ lbs/hora}$$

Cantidad de aire requerido para la combustión, con un exceso de 25%:

Según "Steam Power Station" de Gaffert, página 182 se necesita 19.00 lbs de aire por cada libra de combustible, la temperatura de los gases de combustión es 600° F y el volumen 470 pies cúbicos por libra de combustible.

La cantidad de gases quemados por hora es:

$$(17 + 1) \times 2000 = 36000$$

Superficie del precalentador de aire:

$$AUT = Wc (t_1 - t_2)$$

A = Superficie del precalentador en pies cuadrados.

U = Coeficiente de transferencia BTU/pies<sup>2</sup>/hora/°F

T = Diferencia media logarítmica de temperatura.

W = Peso de los gases por hora

c = Calor específico de los gases.

t<sub>1</sub> = Temperatura de los gases al entrar al precalentador de aire.

t<sub>2</sub> = Temperatura de los gases al salir del precalentador de aire.

De esta ecuación conocemos:

W = 36000 lbs/hora

c = 0.24 por aproximación tomamos el calor específico del aire.

t<sub>1</sub> = 600° F valor tomado de la experiencia

t<sub>2</sub> = 410° F valor tomado de la experiencia

U = 4 BTU/lb/h/°F valor recomendado por el manual de Kent

$$T = \frac{t_1' - t_2'}{\log_e \frac{t_2 - t_2'}{t_2 - t_1'}}$$

t<sub>1</sub>' = 385 ° F, valor experimental

t<sub>2</sub>' = 80° F, temperatura del aire ambiente

Luego:

$$T = \frac{385 - 80}{\log e \frac{410-80}{410-385}}$$

$$T = \frac{305}{2.596}$$

$$T = 118^{\circ} F$$

Despejando el valor de A, tenemos:

$$A = \frac{Wc(t_1 - t_2)}{UT}$$

$$A = \frac{36000 \times 0.24 \times (600 - 410)}{4 \times 118}$$

$$A = \frac{36000 \times 0.24 \times 140}{4 \times 118} = 3480 \text{ pies cuadrados}$$

$$A = \underline{3480 \text{ pies cuadrados}}$$

#### Selección de los tubos del precalentador.-

En la página 5-39 del tomo "Power" de Kent encontramos la tabla N° 26 que nos da las dimensiones de los tubos a usar.

Los tubos de los precalentadores de aire son de acero y ya se ha generalizado el uso de tubos N° 10 a 14 B.w.g. de 2 1/2" a 2" de diámetro y de 9' a 30' de longitud. Nosotros vamos a elegir tubos N° 10 B.w.g. de 3". Estos tu-

97...

bos dan una longitud de 1.373 pies lineales por pie cuadrado de superficie interna. Luego necesitaríamos:

$$3480 \times 1.373 = 4760 \text{ pies lineales}$$

Tomando tubos de 19 9" de longitud obtenemos 241 tubos dispuestos en zig-zag 37 a lo ancho y 13 en profundidad.

CALCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE VENTILACION  
DEL GENERADOR

En la instalación moderna se ha generalizado el uso de circuito cerrado para el aire de ventilación de los generadores de los turbogrupos. El enfriamiento del aire de ventilación se hace mediante un intercambiador de calor por cuyos tubos circula agua que puede ser la de circulación del condensador o bien el agua condensada recuperándose en este caso parte del calor por calentamiento del generador.

El uso del agua de condensado permite una elevación de temperatura de 3 a 5° F, mientras que con el agua de circulación se puede llegar hasta 12° F con lo que evidentemente se requiere menos agua para el enfriamiento es decir un enfriador más pequeño que el que se usaría con agua condensada.

De acuerdo a las consideraciones anteriores y teniendo presente que el calor recuperado no es muy apreciable usaremos en este caso el agua de circulación para el enfriamiento del aire de ventilación del generador.

Consideraremos un sistema radial para la circulación del aire, el que impulsado por los ventiladores, montados en el mismo eje del rotor del generador, penetra su forma axial a través de las bobinas, pasa por el entrehierro y penetra a los canales que hay en las laminaciones del estator siendo descargado en forma radial hacia la periferia,

hasta el de salida para llegar al intercambiador de calor.

La cantidad de aire requerido podemos calcularla por la fórmula:

$$\text{Pie cúbico por minuto} = \frac{1880 \times \text{Pérdidas en KW}}{\text{Elevación de temperatura del aire}}$$

siendo la elevación ordinaria de 20° C.

Como el rendimiento del generador es aproximadamente 95% y la potencia 2000 KW, las pérdidas serían 100 KW y el aire de ventilación:

$$\frac{1808 \times 100}{20} = 9400 \text{ pies cúbicos por minuto}$$

y por hora:  $9400 \times 0.0809 \times 60 = 46500 \text{ lbs.}$

Calado de la superficie del intercambiador de calor:

La superficie del intercambiador podemos calcularla por la fórmula:

$$A = \frac{W}{U} \ln \left( \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_2} \right) \quad (1)$$

siendo A la superficie, en pies cuadrados.

U = Coeficiente de transferencia en BTU/pie<sup>2</sup>/h/°F

T = Diferencia media logarítmica de temperatura.

W = Peso del aire que circula por hora; t<sub>1</sub>, la temperatura de salida del aire, t<sub>2</sub> la temperatura de entrada. Nosotros tomaremos una elevación de temperatura del aire de 30° F.



Cálculo de la diferencia media logarítmica de tem-

peratura:

*Enfriador*  
*Agua*  
68° F

*Enfriador*  
*Aire*  
95° F

*Agua*  
80° F

*Aire*  
125° F

*S. L. L.*

$$T_m = \frac{t_A - t_B}{\log e \frac{t_A}{t_B}}$$

$$T_m = \frac{27 - 45}{\log e \frac{27}{45}} = \frac{-18}{3.295 - 3.806} = \frac{18}{0.511}$$

$$T_m = \underline{35^\circ \text{ F}}$$

El coeficiente de transferencia para esta clase de enfriadores de aire es de 10 BTU/pie<sup>2</sup>/°F/hora.

Calculemos la cantidad de agua necesaria:

Calor a disipar :  $Wc(t_1 - t_2)$

W = peso del aire por hora 46 500 lbs.

c = calor específico del aire: 0.24

$t_1 - t_2$  = elevación de temperatura del aire: 30° F

Reemplazando:

$$46500 \times 0.24 \times 30 = 335.000 \text{ BTU/hora}$$

Este calor debe ser absorbido por el agua, cuya elevación de

temperatura es de  $80 - 68 = 12^\circ \text{ F}$

$$W_1 \times c_1 (t_1' - t_2') = 335.000$$

$W_1$  = peso del agua

$c_1$  = calor específico del agua: 1

$$t_1' - t_2' = 12^\circ \text{ F}$$

Reemplazando y despejando tenemos:

$$W_1 = \frac{335.000}{1 \times 12} = \underline{27.800 \text{ lbs/hora}}$$

Cálculo de la superficie del enfriador:

$$\text{AUT} = W_1 c_1 (t_1' - t_2') \quad (2)$$

A = Superficie del enfriador en pies cuadrados

U = Coeficiente de transferencia  $\text{BTU/pie}^2/^\circ\text{F/hora}$

T = Diferencia media logarítmica de temperatura

El coeficiente de transferencia que recomienda Mc Adams en "Heat Transmission" es de  $10 \text{ BTU/pie}^2/^\circ\text{F/hora}$ .

La diferencia media logarítmica que hemos calculado es de  $35^\circ \text{ F}$ .

Despejando y reemplazando tenemos:

$$A = \frac{W_1 c_1 (t_1' - t_2')}{UT}$$

$$A = \frac{27800 \times 1 \times 12}{10 \times 35} = 1100 \text{ pies cuadrados}$$

## CALCULO DE LA TUBERIA DE CONEXION DEL CALDERO CON LA TURBINA

Flujo máximo de vapor 25000 lbs/hora

Temperatura 750° F

Volumen específico: 1.5 f<sup>3</sup>/lb

Del diagrama de caída de presión basado en la fórmula de Babcock tenemos:

Punto (1) volumen específico 1.5 f<sup>3</sup>/lb lo unimos al punto (2) de flujo de vapor de 25000 lbs/hora y tenemos el punto 3 sobre el eje X<sub>1</sub>. Elegimos como primer ensayo tubería de acero sin costura, de 4" de diámetro y entonces unimos el punto correspondiente a esta tubería (4) con el punto (3) sobre X<sub>1</sub>, y tenemos una línea que corta al eje de velocidades de flujo en el punto correspondiente a 8000 pies por minuto, o sea tenemos el punto (5) sobre el eje de velocidades. En seguida unimos el punto (5) al (6) que está al lado derecho del diagrama y que corresponde a la tubería elegida. La línea de unión corta al eje X<sub>2</sub> en el punto (7). Unimos ahora el punto (3) con el punto (1) de partida y donde esta línea de unión corta al eje D.D tenemos una caída de presión de lbs/pulg.<sup>2</sup> por cada 100 pies.

Como la pérdida admisible de presión ha sido de 20 lbs/pulg.<sup>2</sup> y nuestra tubería probablemente no va a tener más de 100 pies de longitud, elegimos la tubería de 4" de acero sin costura y para 600 lbs/pulg.<sup>2</sup> de presión, para conectar el caldero y la turbina.

103....

El cálculo del aislamiento correspondiente a esta tubería, se hace más bien basándose en datos obtenidos experimentalmente antes que ir a un cálculo teórico ue sería inadecuado para el propósito de este trabajo. Por lo tanto haciendo uso de una tabla de aislamiento recomendable para tuberías de vapor que trabajan hasta temperaturas de 950° F, tenemos que, para la tubería de 4" elegida y para la temperatura de 750° F, se requiere un aislamiento de 1 1/2" compuesto de 85 % de magnesio.

### Cálculo de las tuberías secundarias

#### A).- Calentador cerrado a la turbina

Vapor a 6.3 lbs/pulg<sup>2</sup> - 32.64 pie<sup>3</sup>/libra de volumen específico y 1113 lbs/hora de flujo.

Con el diagrama de Bobcock procedemos como anteriormente el punto (1) comprende al volumen 32.64 pies cúbicos por libra lo unimos al (2) (990 lbs/hora) y tenemos sobre el eje X, un punto, elegimos tubería de 3" de 250 lbs. standard. Unimos este punto elegido (4) con el (3) del eje X, y tenemos el (5) sobre el eje de velocidades correspondiendo a 15000 pies por minuto. Unimos (5) con (6) que está al lado derecho y corresponde al diámetro de tubería elegida 3"-250 lbs. y corta al eje X<sub>2</sub> tenemos el punto (7) unimos (9) con el punto inicial (1) y esta línea corta al eje de caídas de presión en el punto 2.5 lbs/pulg<sup>2</sup> por cada 100 pies. Ahora bien la presión es de 6.3 lbs/pulg<sup>2</sup> y la caída admisible 5% o sea 0.31 lb/pulg<sup>2</sup> o sea que la longitud máxima de esta tubería debería ser  $0.31 \div 0.025 = 12.4$  pies, en nuestro caso es aproximadamente 10 pies por lo que consideramos que la tubería es apropiada.

+

### Cálculo de la torre de enfriamiento

La cantidad de agua de circulación requerida para la condensación es de 2330 O.P.M. por cada condensador, como la central va a tener dos turbogrupos, es preferible te-

ner una sola torre de refrigeración para el servicio de ambos.

En un principio resultará sobredimensionada pero seguramente es más económica que tener dos torres de enfriamiento.

La cantidad de agua requerida sería de 4660 G.P.M. ó sea:

$$\frac{4660 \times 60 \times 3.78}{1000} = 1030 \text{ m}^3/\text{hora}$$

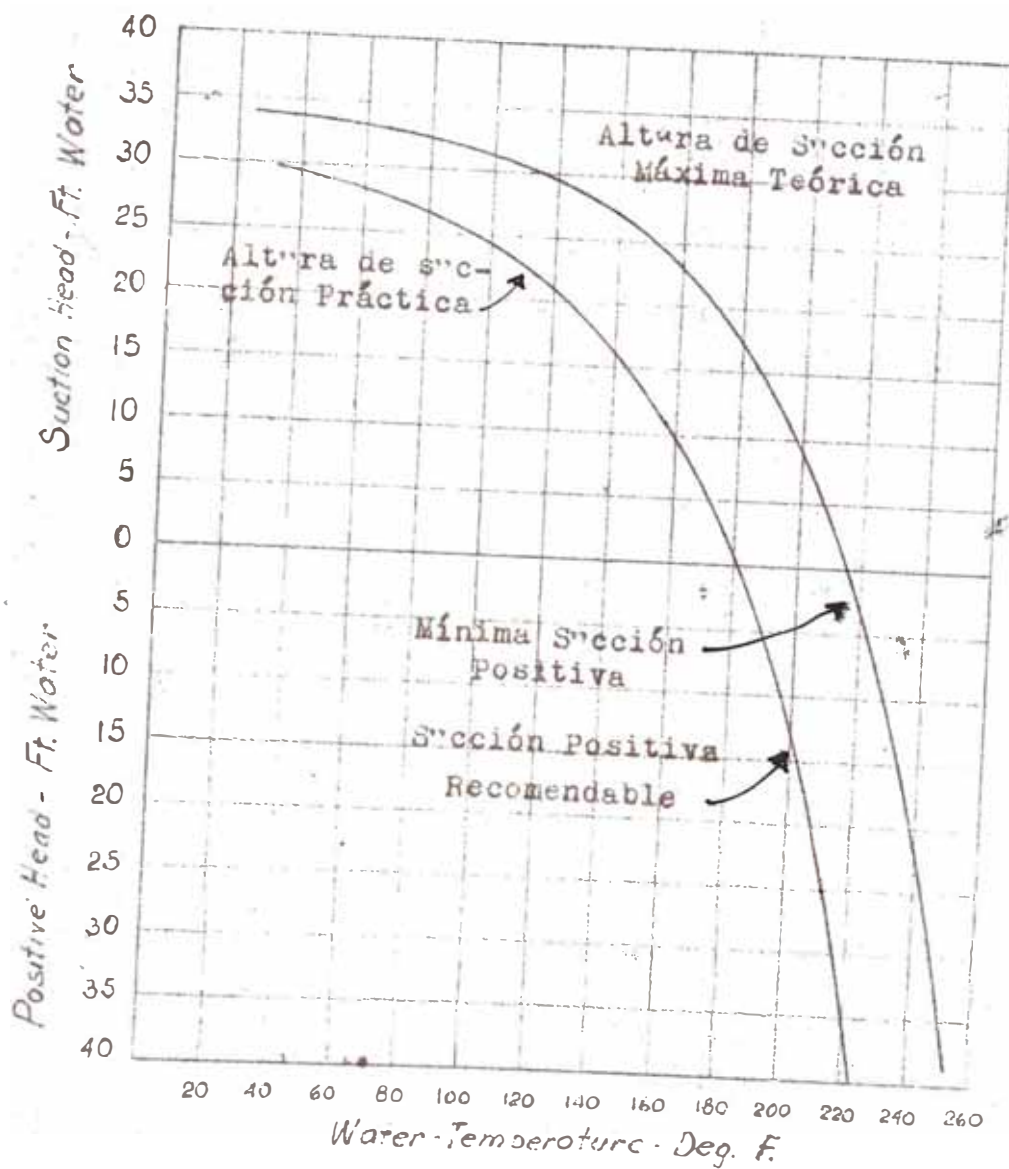
En el libro "Centrales Generadoras de Energía Eléctrica" de Kyser, pag. 125 hay una tabla que da las dimensiones normales de las torres en función de su capacidad en metros cúbicos por hora.

En el tomo II del Manual de Hütte para las mismas torres mencionadas y para una diferencia de temperatura de 102 C (162 F) se les asigna una superficie de planta de 5 a 5.5 m<sup>3</sup> por metro cuadrado de superficie rociada.

Tomando el valor 5 m<sup>3</sup> por metro cuadrado de superficie de planta rociada, la torre deberá tener 206 m<sup>2</sup> en la base, pero si suponemos que es cuadrada como en la tabla de Kyser tendría en la base: 14.3 de lado.

En la tabla de Kyser tomamos la de 15 x 15 metros de base, para una carga de 4.5 a 5.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de superficie, la altura de caída dada en la tabla es 6 m., la altura total 23 metros y la salida superior de 10 x 10 metros.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA ALTURA DE SUCCION



Cálculo de las bombas de alimentación:

Para garantizar un funcionamiento regular, se usa en todas las centrales que trabajan con turbina a vapor, dos bombas de alimentación del caldero, siendo una de ellas movida generalmente por una turbina a vapor chica de contrapresión y la otra por motor eléctrico.

Normalmente las bombas de alimentación se eligen para una presión de 5% a 25% mayor que la de trabajo del caldero y una capacidad mínima de 200% de la capacidad del calor.

La potencia requerida por cada bomba puede calcularse por la fórmula:

$$HP = \frac{\quad}{3300 \times y}$$

= Capacidad en lbs/mm<sup>2</sup>

= pies equivalente a la presión en libras

= rendimiento

= peso específico del agua caliente

= 835 lbs/min (200% de la capacidad del caldero)

= 560 lbs/pulg<sup>2</sup> = 1460 pies de agua (25% mayor que la del caldero)

= 0.72 (asumido)

= 0.9584

$$HP = \frac{835 \times 1460}{33000 \times 0.72 \times 0.9584}$$

$$HP = \underline{54 \text{ HP}}$$



Las bombas de alimentación de caldero rara vez trabajan con agua fría, por lo que se hace necesario, casi siempre una succión positiva.

En nuestro caso la bomba de alimentación va conectada a un calentador abierto que eleva la temperatura del agua de alimentación 212° F. De acuerdo al diagrama que la succión positiva en función de la temperatura, vemos que para agua a 212° F, se requiere una altura mínima de succión positiva de 25 pies, como puede observarse en la curva adjunta tomada de Steam Power Stations de Gaffert.

### Cálculo de la viga de las grúas

Según especificaciones de la tabla XLI, pág. 502 del libro Steam Power Station de Gaffert, en una central de 2000 KW, la parte más pesada, después que se termina la erección es de 4800 lbs o sea 2.1 toneladas.

El ancho de la Central es 24 m. la plataforma del turbogruppo está aproximadamente a 4.70 m. sobre el nivel del suelo.

La altura de levantamiento de la carroza de la turbina sería aproximadamente 2 m. para poder retirarla libremente sin tocar al generador.

El sistema de levantamiento y transporte de los órganos pesados dentro de la central va a estar constituido por una grúa eléctrica de corredera, con una sola viga, como puede apreciarse en los planos, la luz de la viga sería aproximadamente 80'.

Para hacer el cálculo de la sección de la viga, consideramos primero el peso de ésta despreciable, tomando en cuenta solamente la carga que para mayor seguridad la suponemos de 3 toneladas.

La sección que soporta el máximo momento de flexión está ubicada en el punto medio de la longitud de la viga y este momento es  $PL$  siendo P la carga y L la luz (longitud de la viga)

4

Como la viga es de acero su esfuerzo de trabajo a

la flexión es 18000 lbs/pulg<sup>2</sup>

Cálculo del momento máximo:

P = 6600 lbs.

L = 80 pies

$$M = \frac{6600 \times 80 \times 12}{4} = 1'740.000 \text{ libras-pulgada}$$

$$\text{Módulo de la sección : } \frac{I}{c} = \frac{M}{s}$$

I = Momento de inercia de la sección

c = Distancia de la fila neutra a la fila más delgada.

s = Esfuerzo de trabajo.

$$\frac{I}{c} = \frac{1'240.000}{18000} = 97 \text{ pulg}^3$$

Sería el módulo para soportar solo la carga, pero como la viga tiene peso, etc. se considera como carga uniformemente distribuida, por lo cual elegimos un módulo mayor digamos 146 pulg<sup>3</sup> que corresponde a una viga doble T de 20" x 7" con un peso unitario de 81.4 lbs. por pie líneal.

Calculemos ahora el momento del peso de la viga.

Este momento es:

$$\frac{\omega L^2}{8} \quad \text{siendo } \omega = \text{lbs/pie}$$

$$\frac{814 \times (80)^2 \times 12}{8} = 780.000 \text{ lbs-pulg.}$$

Este momento si lo sumamos al momento de la carga y verificamos el módulo:

$$M_r = 174.000 + 700.000 = 2'520.000 \text{ lbs-pulg.}$$

$$\frac{I}{c} = \frac{2'520.00}{18.000} = 140 \text{ pulg}^3, \text{ como la viga elegida tiene un m\u00f3dulo de } 146 \text{ pulg}^3, \text{ ha sido correcta la elecci\u00f3n.}$$

Seg\u00fan el Manual de H\u00fatte la flecha m\u00e1xima permisible debe ser igual o menor a  $\frac{1}{1000}$  de la luz, vale decir a 0.08 pies.

Calculemos la flecha total que ser\u00eda igual a la suma de las flechas parciales:

$$\text{Flecha de la carga } \frac{PL^2}{4 EI}$$

donde E es el m\u00f3dulo de elasticidad del natural que, en este caso, es  $3 \times 10^7$

Reemplazando tenemos:

$$= \frac{6600 \times 6400 \times 12}{48 \times 10 \times 3 \times 1466} \quad I = 1466 \text{ pulg.}^4$$

$$= 0.000241''$$

$$= \frac{L^4}{384 EI}$$

$$= \frac{5 \times 81.4 (80)^4 \times 12}{384 \times 3 \times 10^7 \times 1466}$$

$$= 0.012''$$

$$= 0.000341 + 0.012 = 0.012241''$$

$$\frac{L}{1000} \text{ luego satisface.}$$

Para aligerar la viga se le ha hecho unos cortes

romboidales de 14" de diagonal quedando la sección como se

indica en la figura.

La sección de esta viga era 23.74 pulg<sup>2</sup> y queda reducida a  $23.74 - 14 \times 0.6 = 15.34"$ .

La comprobación al corte se hace usualmente arribando el alma prolongada

hasta las caras exteriores de las alas. S En la viga completa sería esa sección:  $20 \times 0.6 = 12$  pulg<sup>2</sup> en la viga cortada sería solamente:

$$12 - 14 \times 0.6 = 3.6 \text{ pulg}^2 .$$

✓ El esfuerzo cortante máximo se produce en los extremos y es igual a la suma de las reacciones tanto de la carga como del peso propio, vale decir:

$$\frac{P + WL}{2} = \frac{6600 + 6400}{2} = 6500 \text{ lbs.}$$

La resistencia al corte de esta vigas es 12000 lbs/pulg<sup>2</sup> en nuestro caso sería:  $6500 + 3.6 = 1800$  que está muy por debajo del valor permisible.

Por todo lo anterior se demuestra que la elección de la viga es correcta.

## CAPITULO VIII

PRESUPUESTO Y TARIFAS

En realidad lo que nosotros podríamos hacer es solo una estimación del costo de la Central y no un presupuesto en el sentido completo de la palabra, por cuanto nos sería necesario entrar con información muy detallada del equipo empleado y tener conocimiento amplio del costo de mano de obra, transportes, los cual nuestra experiencia todavía no lo permite.

Sin embargo, con los datos suministrados por los diversos fabricantes mencionados al comienzo, nos será posible establecer un costo aproximado de la obra, así como también el costo de la energía eléctrica.

Costo aproximado del equipo, montaje y dirección para la Central Termoeléctrica al lado de la Fábrica

- 1.- Un turbogrupo de 2000 KW, trifásico 2300 volts -60 ciclos para trabajar a 400 p.s.
  - i. 750<sup>o</sup> F y 28" Hg de vacío U.S.\$ 70.000
- 2.- Un condensador para trabajar con 25000 lb de vapor por hora a 28" Hg. de vacío. Equipado con su bomba de circulación y accesorios U.S.\$ 16.210
- 3.- Equipo generador de vapor, para 25000 lbs./hora completo con sus gemadores de

petróleo, bombas, sobrecalentador de vapor, precalentador de aire y chimenes	U.S.\$ 77.000
4.- Equipo eléctrico de control y protec- ción. Equipo auxiliar	U.S.\$ 20.000
5.- Tuberías y conexiones eléctricas	10.000
6.- Transporte, seguros, etc. para los items. anteriores (30%)	U.S.\$ 58.000
7.- Edificio y grúa	U.S.\$ 10.000
8.- Torre de enfriamiento	U.S. 6.000
9.- Montaje y dirección	U.S. 10.000
10.-Imprevistos (5%)	U.S. 10.000
Total \$ Dls.	287.210 ' "

Costo del KW instalado: U.S. ^ 144.00

+

Costo anual para determinar el costo del KWH generado:

A) Gastos fijos:

Depreciación (12 años, 6%)	5.93 %
Intereses 6%	6.00
Seguros 0.5%	<u>0.5</u>
Total	12.43 %

Gastos fijos U.S. \$ 34.600.00

B) Gastos de operación:

Combustible	U.S.\$ 42.000
Jornales	U.S. 12.000
Mantenimiento y Repar.	U.S. 7.000

GASTO TOTAL AL AÑO	U.S.\$	96.800
KWH generados al año		15.822.000
Costo del KWH generado	96.800 = \$	0.0061

o sea 6.1 milésimos de dólar.

+

Costo del KWH en San Pedro de Lloc

Para hallar el costo del KWH en San Pedro de Lloc tenemos que agregarle al costo de generación, el costo de transmisión y distribución. El costo de transmisión ya fué determinado en el capítulo I y es: \$ 0.0127.

El costo de distribución correspondería al de amortización del sistema.

El costo de la red eléctrica de San Pedro puede estimarse fácilmente.

La ciudad se compone prácticamente de 36 manzanas o sea 144 veredas, cada una con 100 m. en promedio, lo que totaliza 14.400 m. de vereda como cada calle tiene 2 veredas hay 7200 metros de calle en cada una de las cuales hay prácticamente 3 conductores N° 8 o sea en total 21.600 m. de conductor N° 8. Además, tenemos 3 conductores N° 2 de 500 m., 3 N° 6 de 500 m. y 3, N° 6 de 300 vale decir;

1500 m. de N° 2; 1500 de N° 6 más 900 de N° 6.



Halleemos el peso de estos conductores:

$$\text{N}^{\circ} 8 \quad 21600 \times 3.28 \times 49.98 \times 10^3 = 3'540.00 \text{ lbs.}$$

$$\text{N}^{\circ} 6 \quad 2400 \times 3.28 \times 79.46 \times 10^3 = 628.00$$

$$\text{N}^{\circ} 2 \quad 1500 \times 3.28 \times 200.6 \times 10^3 = 985.00$$

$$\text{Total} = 5'153.00 \text{ lbs.}$$

El costo del cobre es aproximadamente U.S. \$ 0.18 la libra o sea que por conductores sería: 930.00

Costo de los 250 postes a razón de \$ 10.00 cada uno \$ 2500

Costo de los tres transformadores \$ 2400.

Costo de los reguladores \$ 1000

Aisladores y montaje \$ 1000

T O T A L :

Conductores	U.S. \$	930.00
Postes		2500.00
Transformadores		2400.00
Reguladores		1000.00
Montaje		1000.00
	Total	7670.00

Gastos fijos anuales:

Depreciación (12 años 6%)	5.93
Intereses 6%	6.00
	11.93

Gastos fijos U.S. \$ 925.00

Mantenimiento 200.00

Total U.S. \$ 1125.00

KWH generados al año 270.000

Costo promedio del KWH 1125 = 0.0041

El costo total del KWH en San Pedro sería, pues:

$6.1 + 12.7 + 4.1 = \text{U.S. } 22.1 \text{ mils (milésimo de dólar)}$

Puede ser más conveniente establecer una tarifa por focos en casa, basándose, desde luego, en las necesidades de los diversos sectores de la población.

F I N