

Escuela Superior Politécnica del Litoral

---

**T E S I S**

PREVIA AL GRADO DE INGENIERO ELECTRICISTA



BIBLIOTECA

**D E**

FRANKLIN GUEVARA RAMIREZ

---

Guayaquil - Ecuador

**1970**

PROYECTO DE EXPANSION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION Y ALUMBRADO  
PUBLICO DE LAS CIUDADES MACHALA Y PUERTO BOLIVAR DE LA PROVIN-  
CIA DE EL ORO.



BIBLIOTECA

AUTOR :

~~Franklin Guevara R.~~  
Franklin Guevara R.

CERTIFICADA POR :

~~Ing. Benigno Sotomayor K.~~  
Ing. Benigno Sotomayor K.

ACEPTADA POR :

~~Ing. Benigno Sotomayor K.~~  
Ing. Benigno Sotomayor K.

"EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE  
LA TESIS DE GRADO, CORRESPONDE  
A LA ESCUELA SUPERIOR POLITEC-  
NICA DEL LITORAL".



"LA RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS, IDEAS  
Y DOCTRINAS EXPUESTAS EN ESTA TESIS, CO-  
RRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE AL AUTOR".  
(Art. 6<sup>o</sup> del Reglamento de Exámenes y  
Títulos Profesionales de la Escuela Su-  
perior Politécnica del Litoral.)



BIBLIOTECA

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

A MI ABUELA

A MIS HERMANOS

A MIS SUEGROS



BIBLIOTECA

Mi agradecimiento a :

El "INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRI-  
FICACION", por su valiosa cooperación  
que hizo posible la realización del  
presente estudio.

Los Directores de esta Tesis, señores:

Ing. Benigno Sotomayor K.

Ing. Alfonso Delfini.

PROYECTO DE EXPANSION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION Y ALUMBRADO  
PUBLICO DE LAS CIUDADES MACHALA Y PUERTO BOLIVAR DE LA PROVIN-  
CIA DE EL ORO.

|   | Pág. |
|---|------|
| 1.- INTRODUCCION. . . . .   | 1    |
| a) Descripción General del Proyecto.  |      |
| b) El Sistema Presente.   |      |
| c) El Sistema Planeado.   |      |
| 2.- ESTUDIO DE LAS CARGAS. . . . .  | 4    |
| a) Anteriores y Actuales - Censos Demográficos.   |      |
| b) Futuras - Proyección de la Demanda - Curvas de Cargas.   |      |
| 3.- COMPARACION DE CONDICIONES TECNICAS Y ECONOMICAS PARA EL<br>DISEÑO DEL SISTEMA PRIMARIO Y SU CALCULO. . . . . | 9    |
| 4.- CALCULO DE LA LINEA PRIMARIA DE DISTRIBUCION. . . . .   | 15   |
| 5.- DESCRIPCION DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION. . . . .  | 20   |
| a) Red de Alta Tensión.   |      |
| b) Red de Baja Tensión.   |      |
| 6.- ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION - COORDINACION. . .   | 22   |
| 7.- SISTEMA DE ALUMBRADO PUBLICO. . . . .   | 29   |
| 8.- BIBLIOGRAFIA. . . . .   | 46   |

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



BIBLIOTECA

Descripción.-Las ciudades de Machala y Puerto Bolivar de la Provincia de El Oro, con poblaciones de 47.000 y 7.000 habitantes respectivamente, se encuentran servidas por Redes de Distribución con las cuales no es posible atender las necesidades de servicio, ni la demanda constante de energía por sus deficiencias eléctricas y mecánicas, ocasionando perjuicios a los sectores urbanos e industriales, especialmente al Agrícola - Pesquero, que se vé imposibilitado de efectuar ampliaciones e instalar nuevas Industrias que requieren un buen servicio eléctrico.

El presente estudio tiene por finalidad elaborar un proyecto para la electrificación integral de las poblaciones antes mencionadas, mediante la construcción de un Nuevo Sistema de Distribución y Alumbrado Público, previsto para cubrir las necesidades actuales y proyectado con una capacidad suficiente para 10 años.

La presente información muestra que aproximadamente 53.000 nuevos habitantes poblarán estas ciudades en los próximos 10 años. Aunque este dato es conservativo deberá ser asumido como verdadero cuando es utilizado apropiadamente para los cálculos tendientes a determinar la demanda y consumo de energía eléctrica.

Por lo tanto la necesidad de la evaluación presentada aquí no es solamente conveniente, sino urgente.

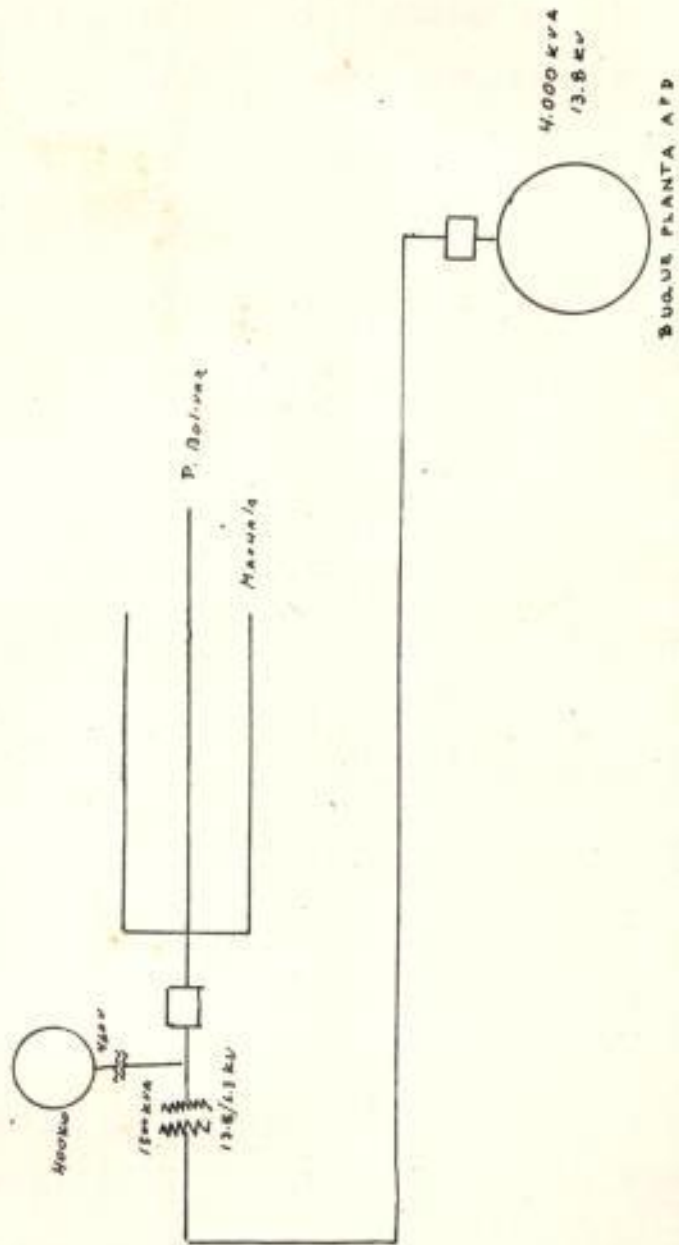
EL SISTEMA PRESENTE.-(Fig. # 1)

Actualmente estas ciudades se encuentran servidas por una Planta Termoeléctrica flotante tipo APD con una capacidad de 3.600 Kw a 13,8 Kv, ubicada en Puerto Bolívar, la misma que suministra energía por medio de una línea de aluminio # 4/0, hasta una subestación de reducción 13,8/6,3 Kv, con una capacidad de 1.500 KVA ubicada en Machala, desde donde se efectúa la distribución a las ciudades antes mencionadas.

Los conductores primarios son de cobre desnudo del calibre # 6 AWG en avanzado estado de deterioro, lo que ocasiona problemas de pérdidas de potencias y roturas de los mismos.

Los transformadores de distribución son trifásicos con un voltaje en el lado secundario igual a 220/127 v. (estrella) encontrándose instalados de una manera inadecuada, careciendo la mayor parte de dispositivos de desconexión o protección y con cargas totalmente desbalanceadas en sus tres fases, los distintos accesorios tales como crucetas, aisladores, brazos, etc; se encuentran en su mayoría en estado calamitoso, de manera general el voltaje es bajo debido a la deficiencia de las Redes, especialmente en las horas de máxima demanda.





EL SISTEMA PRESENTE - FIG 2

## EL SISTEMA PLANEADO.- (Fig. # 2)

Consiste en la construcción de nuevos circuitos de distribución, todos a 13,8 Kv y la instalación de una subestación, los mismos que se efectuarán en dos etapas.

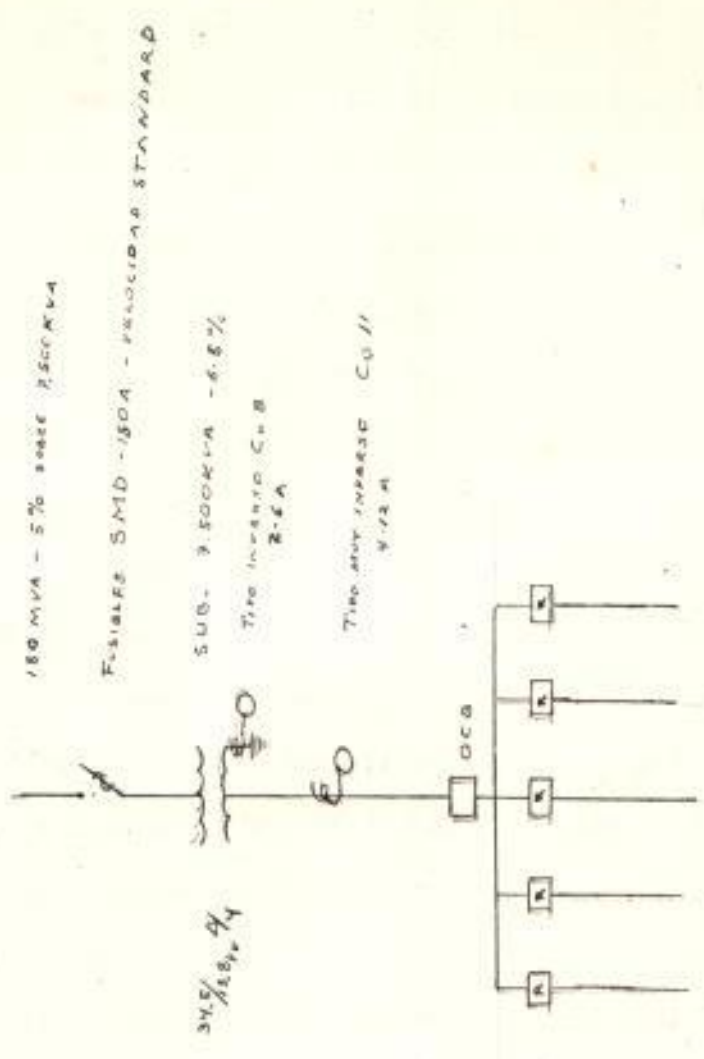
La primera.-Inmediata: La construcción de dos circuitos destinados a cubrir las necesidades actuales, operando a 13,8 Kv.

La segunda.-Futura: Considerando que el Sistema Hidroelectrificación del Jubones se haya realizado; se instalaría una subestación con una capacidad de 7.500 KVA 34,5/13,8 Kv asegurando en esta forma continuidad de servicio, construyéndose además dos circuitos adicionales.

Las líneas primarias serán trifásicas, y el neutro común con la Red de Baja Tensión, se ha preferido el uso de aluminio debido a que resulta más barato que el cobre y más fácil de manejar a pesar de que el costo de los accesorios es mayor y de que hay que ejercer mucho cuidado al instalarlo.

La Red de Baja Tensión estará construida de acuerdo a los standars de INECEL o sea monofásica de tres conductores, sistema radial, siendo el neutro común con la Red de Alta Tensión. La tensión del sistema secundario será de 120/240 V. por ser la apropiada para el uso en pequeños departamentos y edificaciones comerciales.

- [ ] INTERRUPTOR DE RESERVA
- [ R ] RELAY DE AUTOMATIZADO
- [ S ] SECCIONALIZADOR
- ~ FUSIBLE



EL SISTEMA PLANEADO FIG. 2

## 2.-ESTUDIO DE LAS CARGAS.-

- a) Cargas Anteriores y Actuales.
- b) Cargas Futuras - Curvas de Cargas.
- a) CARGAS ANTERIORES Y ACTUALES.-

La selección económica de los Sistemas de Distribución no puede ser realizada en base a la carga presente, pues se conoce por experiencia que el consumo de energía eléctrica se incrementa año tras año y es de esperarse que continúe sucediendo lo mismo, pero a medida que ésta crece los circuitos resultan cada vez, menos y menos económicos, siendo por lo tanto indispensable realizar un estudio de las cargas anteriores, y así en base al resultado obtenido, determinar su proyección para el futuro.

Por otra parte, la mayor parte de la información necesaria fue obtenida de los censos demográficos, y reportes diarios de la Central a Diesel de Machala y del Buque Planta anclado en Puerto Bolivar, en éste último el suscrito actuó como Jefe de Planta por el lapso de dos años.

La siguiente tabulación obtenida sirve para comparar el ritmo y crecimiento de la carga, adjuntándose como dato adicional, la curva característica para un día típico del año 1.967.-Fig. # 3 Pag. 5 a

### CRECIMIENTO DE LAS DEMANDAS DE LAS POBLACIONES EN KILOVATIOS

| <u>AÑO</u> | <u>FUERTO BOLIVAR</u> | <u>MACHALA</u> |
|------------|-----------------------|----------------|
| 1.962      | 90                    | 500            |
| 1.963      | 100                   | 620            |
| 1.964      | 110                   | 730            |
| 1.965      | 120                   | 850            |
| 1.966      | 132                   | 986            |
| 1.967      | 145                   | <u>1.320</u>   |

Dando como resultado un crecimiento del 10 %

CENSOS DEMOGRAFICOS.-Los censos realizados los años 1.950 y 1.962 revelan su crecimiento demográfico.

CENSOS DEMOGRAFICOS DE PUERTO BOLIVAR Y MACHALA EN HABITANTES

| <u>CENSO AÑO</u> | <u>PUERTO BOLIVAR</u> | <u>MACHALA</u>      |
|------------------|-----------------------|---------------------|
| 1.928            | 150                   |                     |
| 1.950            | 2.835                 | 18.977              |
| 1.962            | 4.800                 | 30.379              |
| 1.967            | 7.000 <sup>x</sup>    | 43.000 <sup>x</sup> |

---

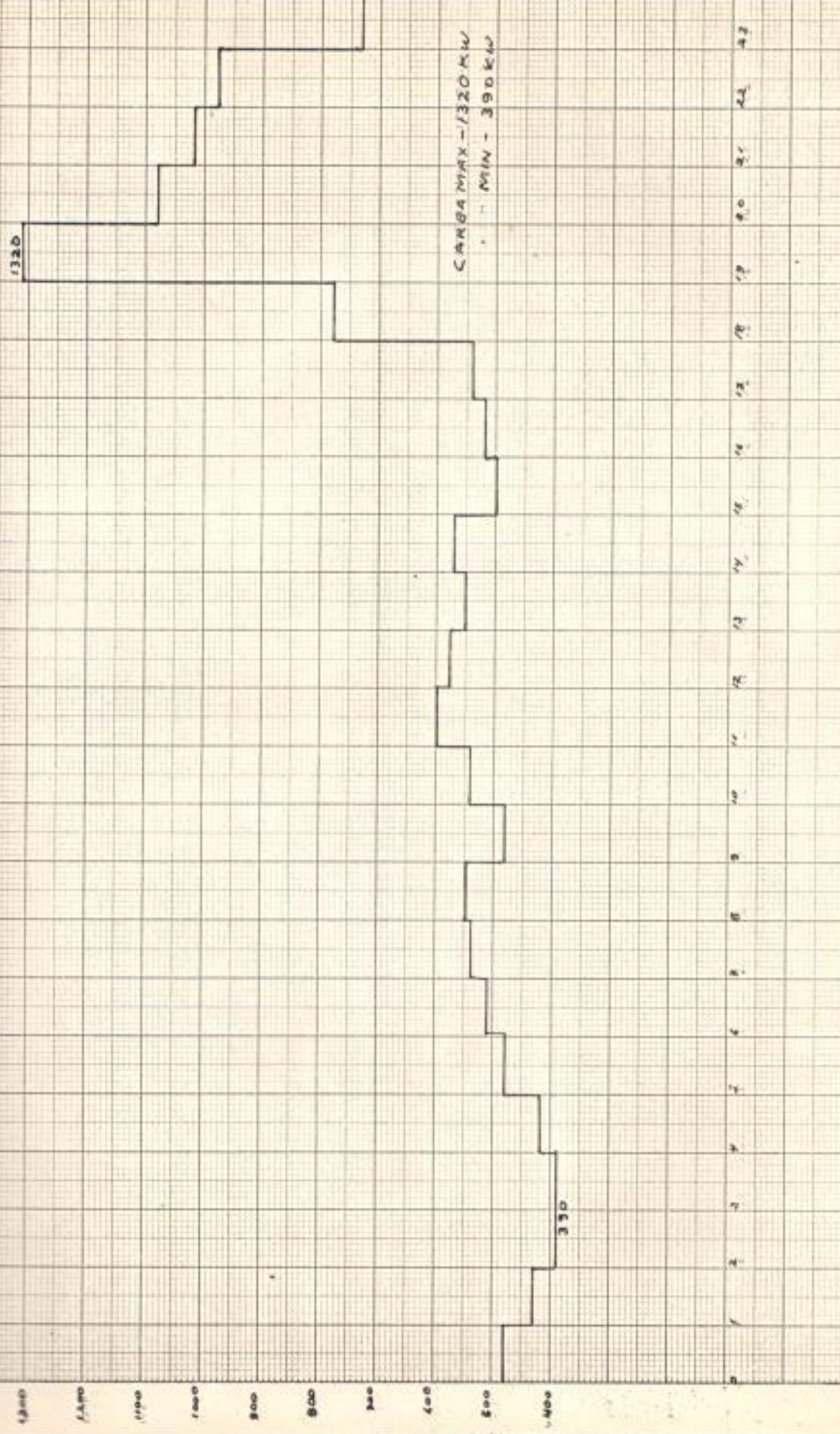
PORCENTAJE DE CRECIMIENTO 6 %

---

Observando los datos anteriores de población y demanda es posible establecer la demanda unitaria por persona, la misma que resulta ser de 31 y 21 vatios, para los habitantes de Machala y Puerto Bolivar respectivamente.

X : Dato Asumido.

CURVA DE CARGA - DIA TIPICO AÑO 1969

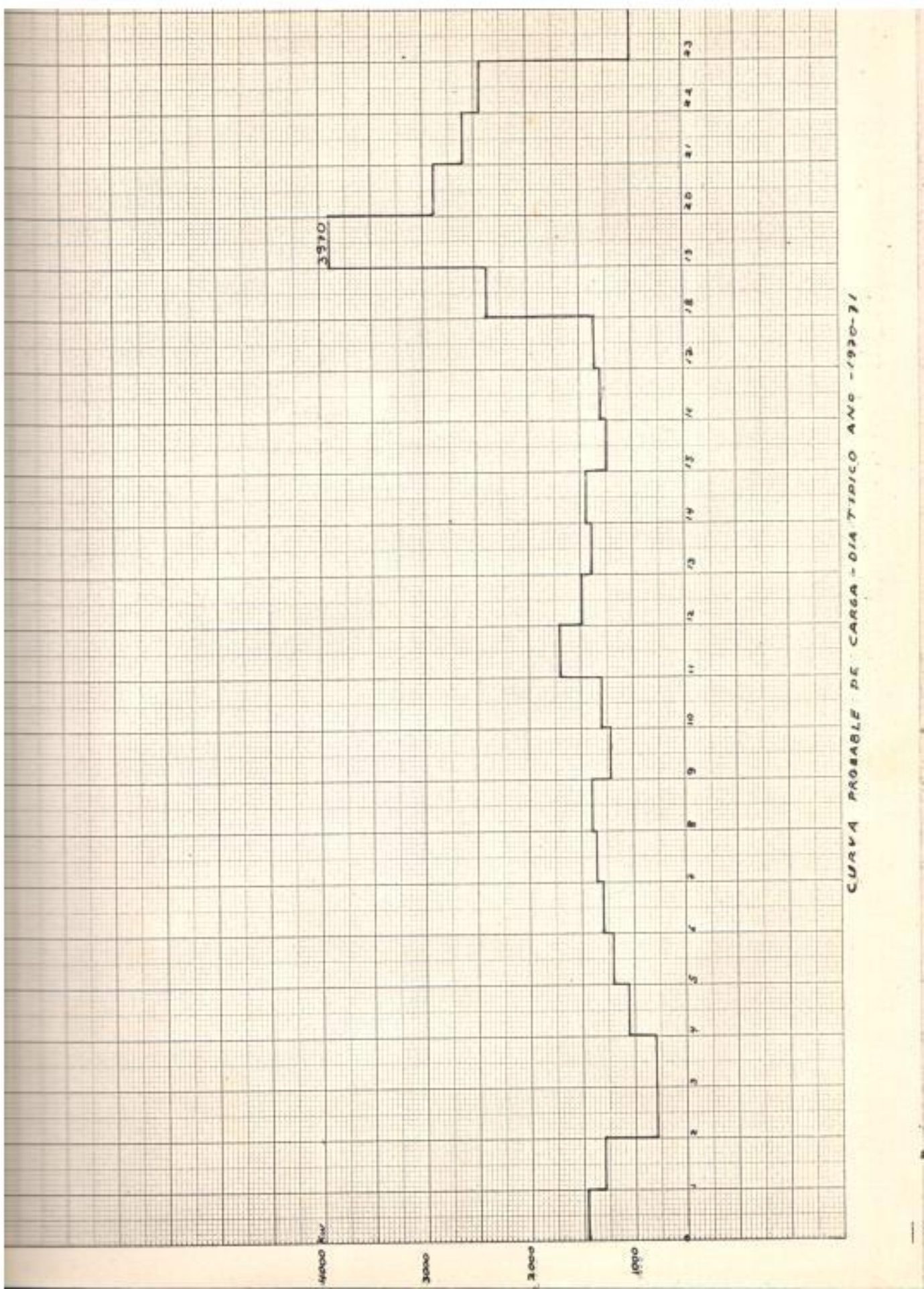


40000  
30000  
20000  
10000

3970

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

CURVA PROBABLE DE CARGA - DIA TIPICO AÑO - 1930-31



K I J O V A T I D S

4000  
3000  
2000  
1000  
0

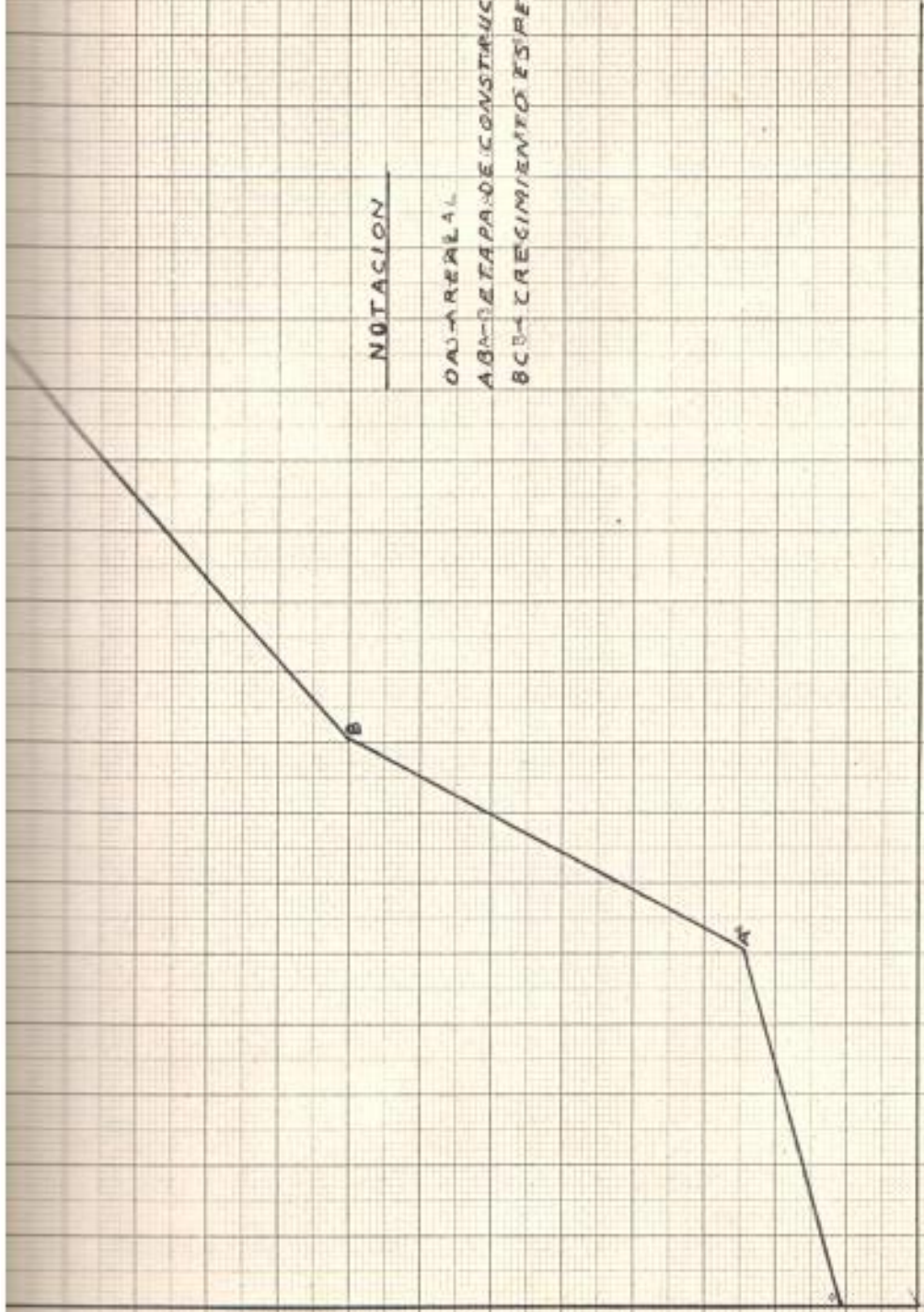
NOTACION

OA - AREAL  
AB - ETAPA DE CONSTRUCCION  
BC - CRECIMIENTO ESPERADO

AÑOS

43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60

CURVA PROBABLE DE CRECIMIENTO DE LA CARGA!





b) CARGAS FUTURAS. - Proyección de la Demanda - Curvas de Cargas.

En el presente estudio se ha establecido la demanda actual y su proyección en un periodo de 10 años, considerando que la misma está sujeta al crecimiento poblacional, mejoramiento del nivel de vida de sus habitantes y las posibilidades del desarrollo Industrial, así como un posible crecimiento de demanda esperado durante la etapa de construcción y terminación de las líneas de distribución.

La experiencia demuestra que una vez que las familias reciben servicio eléctrico de buena calidad, comienzan a adquirir casi de inmediato distintos artefactos eléctricos, aumentando rápidamente su consumo de electricidad, esperándose por lo tanto que su crecimiento normal aumente súbitamente del 10 % al 30 % durante la etapa de construcción y terminación de las redes; así mismo conocemos que el crecimiento Industrial no ha podido ser desarrollado y que éste va en paralelo con el crecimiento Urbano, es de esperarse entonces que la demanda duplique una vez terminada la construcción de las redes, para luego continuar con su crecimiento acostumbrado.

Además conocemos que la demanda es función del número de habitantes, por lo que debemos realizar un estudio demográfico para cada una de estas ciudades, tomando en consideración los Censos de los años 1.950 y 1.962 y utilizando el método de progresión geométrica en el que se asume un porcentaje constante de aumento para iguales periodos de tiempo, es posible conocer la población que tendría Machala y Puerto Bolívar por el año 1.977.

La fórmula para éste método es:

$$P_2 : P_1 ( 1+a )^n$$

en que:

n : Número de años

a : Porcentaje de aumento

$P_1$  : Número de habitantes inicial

$P_2$  : Número de habitantes después de n años

Determinación del porcentaje de aumento entre los años 1.962  
y 1.950:

$$P_{1.962} : P_{1.950} ( 1+a )^{12}$$

$$37.900 : 18.550 ( 1+a )^{12}$$

$$( 1+a )^{12} : \frac{37.900}{18.500}$$

$$( 1+a )^{12} : 2.04$$

de donde:

a : 0.061 que corresponde aproximadamente a 6 % de crecimiento anual.

Con a : 0.061 calculamos la población futura así:

$$P_{67} : P_{62} ( 1+0.061 )^5 : 37.900 \times 1.35 : 51.100 \text{ habitantes}$$

$$P_{72} : P_{62} ( 1+0.061 )^{10} : 37.900 \times 1.82 : 68.000 \text{ habitantes}$$

$$P_{77} : P_{62} ( 1+0.061 )^{15} : 37.900 \times 2.46 : 93.000 \text{ habitantes}$$

Una vez conocida la demanda actual, la esperada durante la etapa de construcción y el crecimiento demográfico es posible calcular la demanda a esperarse para el año 1.977

Podemos partir de la carga esperada para el año 1.968

~~Ver Fig. # 3 - Pag #~~

| <u>Carga Actual Urbana</u> | <u>Aumento Esperado</u><br>etapa de cons.:<br>(1968 - 70) 30 % | <u>Demanda Industrial</u><br>(paralelo urbano) | <u>Total</u> |
|----------------------------|--|--|--------------|
| Puerto Bolivar 145         | 40   | 185  | 370          |
| Machala 1.320              | 530  | 1.850  | <u>3.600</u> |
| Dando un total de:         |  |  | 3.970 Kv     |

Para luego continuar con su crecimiento ya establecido:

Lo que significa que para el año 1970 - 71 el Buque Planta estará cercano a su capacidad de placa, además que la línea de transmisión que es 4/0 está diseñada para transmitir una potencia de 3.300 Kw a un factor de potencia de 0.8 con una caída de tensión de 7,3 % y una pérdida de potencia de 5,5 %.

La segunda etapa comenzaría una vez concluido el proyecto hidroeléctrico. Machala y Puerto Bolivar podrían ser servidas por una subestación alimentada del proyecto Jubones y cuya capacidad deberá ser igual a la demanda esperada para el año 1.977 o sea 6.984 Kw para Machala y 718 para Puerto Bolivar, dándonos un gran total de 7.702 Kw, es decir un promedio de 55 vatios por persona, que puede ser servidas por una subestación con una capacidad de placa de 7.500 KVA, las bobinas de bajo voltaje según los standars deberán ser para un nivel básico de aislamiento de 110 Kv, el voltaje del secundario será de 7.960 v. en estrella para 13.800 v. y con el neutro conectado a tierra internamente y llevado afuera por medio de un terminal para su conexión externa. Las derivaciones en cada una de las bobinas de fase deberán proveer una regulación de voltaje entre 7.150 y 8.750 v; el transformador tendrá una impedancia de 6,5 % a 7.500 KVA.

### 3.-COMPARACION DE CONDICIONES TECNICAS Y ECONOMICAS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA PRIMARIO Y SU CALCULO.

El diseño de una línea de Distribución se encuentra limitado por dos consideraciones principales: a) Entre las Técnicas: capacidad de conductores - caída de voltaje; y b) Entre las Económicas: la potencia perdida de los conductores.

a) Técnicas: Capacidad de conductores - Caída de voltaje.- Con el propósito de determinar el calibre de conductor realizaré un estudio paralelo entre el Sistema de Distribución actual y el proyectado al voltaje de 13,8 (estandarizado por INECEL) usando la siguiente fórmula:

$$KVA : \frac{10 KV^2 \times \%}{R \cos \phi + X \text{ sen } \phi} \quad (1)$$

Donde:

R : Resistencia por conductor por milla.

X : Reactancia por conductor por milla.

KV : Voltaje entre fases : 6,3 Kv y 13,8 Kv

$\phi$  : Factor de potencia, asumido a ser .8 Inductivo

% : Tanto por ciento de pérdida de voltaje, asumido 7 %

Los cálculos se efectuaron para las medidas de conductor de aluminio # 1/0 - 2 y 4 AWG, instalados al aire libre, y se asumió un espaciamiento equivalente de 3' y 3.6' respectivamente.

Un estudio de los gráficos siguientes nos dá una idea de cómo la habilidad para conducir potencia de una alimentadora es afectada por la variación de la medida del conductor y voltaje.

El gráfico # 1 muestra que el conductor de aluminio # 1/0 con una regulación limitada al 7 % a un voltaje de 6,3 Kv, podrá conducir 1.200 KVA a una distancia de 3 millas, sin embargo, si el voltaje es aumentado a 13,8 Kv el mismo conductor podrá conducir 4.200 KVA.

Esos resultados traducidos a nuestro problema de expansión significan que incrementando el voltaje de distribución, es posible obtener una reducción del número de alimentadoras necesarias para considerar el área bajo estudio. Por otro lado el incremento de costo del equipo eléctrico al cambiar de 6.3 Kv a 13.8 Kv para todos los propósitos prácticos es despreciable.

De la tabla # 2 "Características de conductores de aluminio", Manual de Distribución Whestinghouse pag. 533 obtenemos la capacidad aproximada de corriente para conductor de aluminio # 1/0 - 2 - y 4 AWG para conductor a 75° C con viento de 1,4 millas por hora.

| <u>Medida del conductor</u> | <u>Capacidad en Amperios</u> |
|-----------------------------|------------------------------|
| 4 AWG                       | 134 A                        |
| 2 AWG                       | 180 A                        |
| 1/0 AWG                     | 242 A                        |

Si se conoce que la corriente permisible para el conductor # 4 AWG es 134 A, entonces su capacidad para llevar potencia quedará reducida a 2.450 KVA, pudiendo utilizárselo para cargas menores.

Determinada la capacidad técnica de los conductores, la pérdida de voltaje y conocido el gran rango de cargas a esperarse para los próximos 10 años pondremos fácilmente el conductor más apropiado.

DE  
ALUMINIO

112 4 AWE  
2 "  
1/6 "



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

KVA x 10<sup>3</sup>  
GRAFICO #1

b) Económicas.—Otro aspecto importante en el análisis de las varias alternativas para la selección de los conductores, es la energía perdida en las mismas, debido a la resistencia.

Existen varios métodos básicos para seleccionar los diseños de las líneas de distribución en base a la economía. Habiéndose seguido el método de los "límites de cargas" por ser el más apropiado para el estudio de nuevas líneas; siendo necesario examinar detenidamente cada calibre de conductor para obtener el rango de carga para el cual una es más económico que otro.

Una vez realizado el estudio, se hace una tabulación, de los varios rangos obtenidos y un estudio del diagrama nos mostrará la línea que es más económica para una carga dada. Es posible encontrar la carga para la cual dos líneas tienen iguales costos anuales, el valor obtenido en kilovatios es por definición la demanda máxima anual.

$$(KW)^2 : \frac{A (C_a - C_b) (\cos \theta)^2}{J (R_b; (KV_b)^2 P_b - R_a / (KV_a)^2 P_a)}$$

donde:

KW : carga para el cual dos líneas tienen igual costo anual.

Nomenclatura:

A : Promedio de cargas fijas anuales!

C : Costo de la línea expresada en sucres por kilovatio.

cos θ : Factor de potencia anual de la línea.

J : Constante de pérdidas del Sistema.

R : Resistencia de la línea expresada en ohmios por kilovatio.

KV : Voltaje de la línea de fase a tierra: 7,62 Kv

A : Promedio de Cargas Fijas Anuales.-

Asumido a ser : 8 %

C : Costo de la línea expresada en sucres por kilovatio.-

Es el total de todos los costos que varían como función del voltaje, medida del conductor y número de fases, habiéndose tomado para el estudio tres líneas.

Ca : # 4 AWG de Aluminio : s/. 47.000 por kilómetro.

Cb : # 2 AWG de Aluminio : s/. 51.000 por kilómetro.

Cc : # 1/0 AWG de Aluminio : s/. 58.000 por kilómetro.

Cos  $\theta$  : Factor de potencia anual de la línea.

Se ha asumido un factor de potencia igual a .8 pues es el que resultaría como consecuencia de las cargas residenciales e industriales ha instalarse.

J : Constante de pérdidas del Sistema.

Si se asume que es igual para todas las medidas de conductores usados y es igual a J :  $(0,12 MW + 8,76 LH)$

$$J : (0,12)(27)(.9) + 8.26(.60)(.3641)$$

$$J : .7856$$

Siendo : M : precio de la demanda

Asumido a ser s/. 27 por KW/mes

N : Factor de ajuste de la demanda

Calculado en base a la relación del cuadrado de la demanda de los

12 últimos meses : .9

L : Precio de la energía expresada en sucres por kilovatio.



Es el precio más bajo de la energía por KWH, siendo s/. 0,60 por  
kwh hora.

H : Factor de pérdida anual expresado  
como un decimal.

El factor de pérdida obtenido de una fórmula empírica es igual:

$$H : .84 (\text{Factor de carga anual})^2$$

$$.16 (\text{Factor de carga anual})$$

$$H : .84 (.57)^2 + .16 (.57)$$

$$H : .3641$$

R : Resistencia de la línea expresada en ohmios por kilómetro.

Ra : # 4 AWG Aluminio : 1,5

Rb : # 2 AWG Aluminio : 1,05

Rc : # 1/0 AWG Aluminio: .69

V : Voltaje de la línea de fase a tierra: 7,96 Kv.

P : Número de fases : La línea será trifásica, luego P : 3

El cuadro adjunto muestra que la línea de aluminio trifásica es  
la más económica entre los límites.

# 4 AWG hasta los 615 KW

# 2 AWG mínimo 615 - máximo 905 KW

# 1/0 AWG mínimo 905 - máximo 1.445 KW

| Constantes para el Sistema |          | Cálculos de las constantes pérdidas   |        |         |      |                 |      |                 |                                 | Cálculos de las ecuaci   |                                   |     |
|----------------------------|----------|---|--------|---------|------|-----------------|------|-----------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|-----|
| A : .08 I :                | .60 IP : | $H : (.84) (IP)^2 + (.16) (IP)$ $H : .84 (.57)^2 + (.16) (.57)$ $H : .3641$ $J : (.012) (H) + 8.76 (L) (H)$ $J : .7856$ |        |         |      |                 |      |                 |                                 | $(KW)^2 : \frac{A(Ca - Cb)(Cos \theta)}{J} \left[ \frac{R_b}{(KV_b)^2 P_a} - \frac{R_a}{(KV_a)^2} \right]$ $: 3.77 \sqrt{\frac{(Ca - Cb)}{(Kb/Pb - Ra/Pa)}}$ |                                   |     |
| Línea a                    | Línea b  | Ca  | Cb     | Ca - Cb | Ra   | $\frac{Ra}{Pa}$ | Rb   | $\frac{Rb}{Pb}$ | $\frac{Rb}{Pb} - \frac{Ra}{Pa}$ | $\frac{Ca - Cb}{Rb - Pb}$  | $\frac{Ca - Cb}{(Kb/Pb - Ra/Pa)}$ | K   |
| 3 Ø 4                      | 3 Ø 2    | 47.000  | 51.000 | 4.000   | 1.5  | .5              | 1.05 | .35             | .15                             | 26.600   | 163                               | 6   |
| 3 Ø 2                      | 3 Ø 1/0  | 51.000  | 59.000 | 7.000   | 1.05 | .35             | .69  | .23             | .12                             | 58.000   | 240                               | 9   |
| 3 Ø 1/0                    | 3 Ø 2/0  | 58.000  | 65.000 | 7.000   | .69  | .23             | .55  | .16             | .047                            | 143.000  | 304                               | 1.4 |

#### 4.- CALCULO DE LA LINEA PRIMARIA DE DISTRIBUCION.-

La potencia total ha distribuirse será de 7.702 Kw; de los cuales 718 Kw necesitará Puerto Bolivar y 6.984 Machala, considerando que la actual línea de transmisión que une a Puerto Bolivar y Machala tiene una capacidad de 3.300 Kw, es posible disminuir el número de alimentadoras que deberán construirse para servir a la ciudad de Machala, ya que ésta línea servirá para abastecer hasta 3.300 Kw - 718 (Puerto Bolivar): 2.682 Kw para Machala; y si consideramos que la potencia instalada a necesitarse en Machala será de 7.800 Kw y si a esto le restamos 2.682 Kw; nos quedará que tendremos que construir circuitos trifásicos con el neutro conectado sólidamente a tierra, (con una capacidad total de  $7.702 - 2.682 \text{ Kw} : 5.020$ ), en los mismos que se ha considerado: caída de voltaje, seguridad de servicio y potencia perdida de los conductores, y estimando que la selección económica de una línea no debe ser realizada en base a la carga presente, la línea empezará a ser menos y menos económica, a medida que la carga incrementa. Por otro lado, si su diseño se lo realiza basado en el gran rango de cargas esperado para el futuro es probable que la línea sea en gran parte de su vida, mayor que la necesaria; se ha utilizado una carga intermedia la cual podría causar sobre el período de años entre la carga actual y la esperada en el futuro, pérdidas acumulativas en la línea igual a las causadas por la carga actual a medida que incrementa desde el presente hasta el futuro.

Esta carga intermedia es llamada "carga equivalente" y es igual a la demanda máxima anual presente, multiplicada por un factor de crecimiento "g" y por un factor de distribución "d"

$$KW_e : (KW_p) (g) (d)$$

Si se sabe que:

La carga futura : 7.702 KW - 2.682 KW (carga que llevaría la línea de transmisión) : 5.020

Carga presente : 3.600 - 985 (proporcional a llevar la línea de transmisión año 1.970) : 2.615

y considerando la forma cómo está creciendo la ciudad, lo mejor es construir cuatro circuitos, o sea:

Carga futura :  $5.020 \div 4 : 1.250$  Kw

Carga presente :  $2.615 \div 4 : 655$  KW

Ahora el factor de crecimiento es:

$$g : \frac{a^2 - 1}{1g_e a^2}$$

$$a : \frac{\text{carga futura}}{\text{carga presente}} : \frac{1.250}{655} : 1,91$$

$$g : \frac{a^2 - 1}{1g_e a^2} : 1,55$$

El factor de distribución es:

$$d : 1/3 (b^2 + b + 1)^{1/2}$$

Ahora: Carga equivalente :  $(KW_p) (g) (d)$

$KW_f$  : Carga máxima esperada en el futuro : 1.250 KW

$KW_p$  : Carga máxima presente : 655 KW

$$a : \frac{1.250}{655} : 1,91$$

$$g : \text{Factor de crecimiento} : \frac{g^2 - 1}{100 a^2} : 1,44$$

d : Factor de distribución.

$$d : \frac{1}{3} (b^2 + b + 1)^{1/2}$$

Si se considera la carga uniformemente repartida.

$$b : .5$$

$$\text{Luego : } d : .764$$

Luego la carga equivalente para la línea de distribución

sería:

$$KW_e : (655) (1,44) (764)$$

$$: 720$$

Y refiriéndonos al cuadro "Límites de carga" (confecionado)

mostramos que para ésta carga la línea más económica es la 2 AWG de aluminio trifásica con la cual se obtendría una mayor garantía de continuidad de servicio con un mínimo de pérdidas.

Con el propósito de comprobar si la línea # 2 AWG de Al. es la más aconsejada Técnicamente también vamos a realizar los cálculos pertinentes a hallar potencias perdidas, caídas de voltaje y calibre de conductor.

$$\text{Cálculos : Potencia : } 1.250 \text{ KW}$$

$$\text{Longitud : } 4,0 \text{ Km.}$$

$$FP : .8$$

Economical Design of Primary Lines for Rural - Distribution

Systems - Rea Bulletin - 60 - 9 - May 1.960 Pag. 47

1.- Potencia por fase :  $\frac{1.250}{3}$  : 416 KW

2.- Tensión entre fase y neutro :  $\frac{13.800}{3}$  : 7.970 Voltios

3.- Corriente por conductor :  $\frac{416 \times 10^3}{7.970 \times .8}$  : 65 A

4.- Pérdidas de potencia admisible por conductor : 5 %

$$P : 41,6 \times 0,5 : 20,8 \text{ KW}$$

Del Manual Standard de Knowlton Sección 13 - 47 pag. 1.491 para 60 ciclos y 50°C el conductor # 2 AWG de Aluminio tiene las siguientes características:

5.- Resistencia total por conductor

$$R : 4 \times 1,0501 : 4,2004 \text{ ohmios}$$

6.- Reactancia por conductor.-Para un espacamiento equivalente de 4,3 pies.

$$X : X_a \quad X_d$$

$$X_a : 0,4132$$

$$X_d : 0,1099$$

$$X : 0,5231 \text{ ohmios por kilómetro}$$

Reactancia total por conductor

$$X : 0,5231 \times 4 : 2,0924 \text{ ohmios.}$$

7.- Impedancia total

$$z : (4,2 + 2,09)^{1/2}$$

$$z : (17,64 + 4,4)^{1/2}$$

$$z : (22,04)^{1/2}$$

$$z : 4,7 \text{ Ohmios}$$

8.- Caída de voltaje

$$\frac{65 \times 4,7 \times 100}{13.800} : 2,22 \%$$

9.- Pérdida de potencia en la linea

$$P : \frac{3 \times 65^2 \times 1,05}{1.000} : 13,3 \text{ KW}$$

10.- Porcentaje de potencia perdida

$$\frac{13,3}{1.250} : 1,06 \%$$

Lo que significa que estamos dentro de las condiciones técnicas exigidas por los Códigos de Ingeniería Eléctrica.

## 5.-DESCRIPCION DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION.

Red de Distribución Primaria.-La Red de Distribución primaria será trifásica de cuatro conductores para 13.8 Kv con el neutro común con la red de baja tensión, los conductores de fase serán totalmente de aluminio AAC # 2, con capacidad suficiente para el crecimiento esperado en 10 años y se instalarán sobre aisladores de porcelana del tipo espiga y en crucetas de madera, las mismas que irán fijadas en las estructuras correspondientes.

El conductor neutro será de cobre desnudo e irá instalado en aisladores del tipo garrucha.

En las derivaciones monofásicas se utilizarán aisladores con pines de extensión directamente fijados al poste.

Transformadores.-Para distribuir la energía a la red de baja tensión se ha previsto 4.000 KVA en transformadores de distribución, tanto monofásicos como trifásicos, habiéndose proyectado estos últimos en aquellos lugares donde actualmente existe esta clase de servicio y en otros sectores donde la magnitud de la carga así lo exige.

Todos los transformadores llevarán en el lado primario cajas portafusibles desconectables.

Red de Distribución Secundaria.-La Red de Distribución secundaria será monofásica de tres conductores 240/120 V. del tipo radial, con el neutro común con la Red de Alta y sólidamente conectado a tierra. Los sectores donde se requiera servicio trifásico, consistirán de cuatro conductores a 120/208 V. en estrella; el calibre mínimo a usarse será el # 6 de cobre desnudo.



El Sistema se lo ha dividido en circuitos, con los transformadores convenientemente colocados para permitir que en el futuro se pueda atender el incremento de la demanda con un mínimo de modificaciones. Los conductores se fijarán en postes de hormigón mediante aisladores del tipo garrucha colocados en portaisladores.

El tipo de poste a utilizarse en el Sistema de Distribución secundario será el tubular de hormigón centrifugado de 9 mtrs. de longitud.

#### RED DE ALUMBRADO PUBLICO.-

La Red de Alumbrado público estará controlada por un interruptor horario que accionará los diversos relés del Sistema, los cuales de acuerdo a la construcción se conectarán en cascada.

#### **Se usarán:**

Lámparas de vapor de Mercurio de 175 W. con Globo difusor.  
y Lámparas de vapor de Mercurio de 100 W. con refractario  
abierto.

## 6.-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION.-ESTACION DE RECONECTADORES.-

Con el propósito de aumentar la continuidad del Sistema de Distribución, protegerlo contra daños de grandes proporciones de todo el Sistema debido a fallas en ramales, se ha realizado el estudio de protección contra sobrecorrientes y descargas atmosféricas.

a) Protección contra sobrecorrientes. - Para realizar el estudio de protección se ha dibujado el diagrama monofilar del Sistema (fig. 2 ) en el que se puede observar el proyecto de expansión, el mismo que está compuesto por: fusibles del tipo "E" en el lado primario de la subestación, un interruptor automático y una subestación de cinco reconectores que protegen cada alimentadora. Los ramales y los transformadores de distribución se han protegido con fusibles tomándose su valor de acuerdo a la capacidad normal y con sobrecarga de los mismos, habiéndose utilizado fusibles del tipo "T" de acción lenta o velocidad standard.

De igual forma se han calculado las corrientes de cortocircuito habiéndose asumido que el Sistema opera a 60 cps, que tiene neutro común conectado sólidamente a tierra, que el transformador de la subestación está conectado en Delta del lado de la fuente y en Estrella lado de carga, siendo el Sistema de Distribución del tipo Radial simple.

Mecanismos de protección de la Subestación. - Con el propósito de proteger la subestación contra sobrecargas que pueden ocurrir en el Sistema de Distribución se han estudiado los equipos relacionados a cumplir este fin, dando como resultado que bastará con fusibles en el lado primario y un desconectador de aceite operado por relevadores en el lado secundario los mismos que estarán coordinados convenientemente entre sí para ofrecer una protección eficaz a la misma.

Los fusibles en el lado primario protegerán a la subestación contra cualquier tipo de falla y el desconectador de aceite protegerá a la subestación contra sobrecargas o corrientes de fallas.

Relevadores de la Subestación.-La subestación llevará tres relevadores de fase del tipo sobrecorriente que abrirán el desconector para fallas trifásicas o de fase a fase. Un relevador de tierra físicamente igual al de fase pero ajustado para operar a una corriente menor, siendo su propósito abrir el desconector para fallas de fase a tierra. Un relevador del tipo reconector que cerrará el disyuntor después que haya sido abierto por cualquiera de los relevadores del tipo sobrecorriente, el mismo que controla el número y frecuencia de operaciones subsiguientes cuando ocurren fallas persistentes. Un relevador para abrir el disyuntor en el caso que un fusible del lado primario de la subestación se encuentre en mal estado, línea abierta de los conductores de 34.5 Kv o pérdida completa de voltaje en la línea de transmisión.

Cálculo de los fusibles del lado primario de la subestación.-Cada uno de los fusibles situados en el lado primario de la subestación deberán actuar cuando hayan fallas en el lado secundario, serán del tipo "E" para un voltaje de 34,5 KV y capaz de llevar al menos doce veces la corriente de la subestación por 1/10 de segundo de acuerdo a la curva del "tiempo mínimo de fusión".

$$\text{así: } I_p : \frac{7.500}{3 \times 34,5} : 125 \text{ A}$$

12 veces la corriente a plena carga del lado primario es

$$12 \times 125 : 1.550 \text{ A}$$

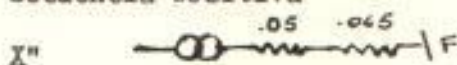
Y el fusible de 125 A o mayor puede llevar en 1/10 de segundo 2.000 A por lo tanto se ha escogido un fusible de 150 A, para poder coordinar con el interruptor principal y los reconectores.

Cálculo del Interruptor en el lado secundario de la Subestación.-

Este interruptor es usado para las fallas en las barras; y la corriente base será:

$$I_b : \frac{7.500}{3 \times 13,8} : 315 \text{ A}$$

Secuencia positiva



Falla trifásica momentánea

$$I_{\text{momentánea}} : \frac{E}{X''} I_b \times 1.5$$

$$\frac{I}{.115} \times 315 \times 1,0 : 2.720 \text{ A. Simétricos}$$

Secuencia negativa

$X_2$  - la misma que  $X''$  sin E



Falla Línea a tierra.-Momentánea

$$I_{\text{Momentánea}} : \frac{3 E}{X'' + X_2 + X_0} I_b \times 1,6$$

$$: \frac{3}{.115 + .115 + .065} \times 315 \times 1,6$$

$$: 6.450 \text{ A. Asimétricos}$$

Para la interrupción

$$I : \frac{3}{.115 + .115 + .065} \times 315 \times 1,0 : 4.000 \text{ A. Simétricos}$$

De acuerdo a la tabla # 20) no es posible usar el interruptor de aceite de 7.2 KV pues no tiene suficiente capacidad de interrupción sinó hasta 100 MVA.

Por lo tanto un interruptor de 14,4 KV. deberá ser usado; el interruptor de la línea # 3 es el apropiado pues no tiene un rango continuo de corriente de 600 A. y un rango de interrupción de 150 MVA.

La corriente a ser interrumpida a 13,8 KV. (4.00 A.) está bajo el rango de interrupción (10.000 A.) tabla # 2 (1), y no excede la corriente máxima de interrupción de 25.000 A. pues de los cálculos obtenidos que será de 6.000 A. está bajo el rango momentáneo de corriente (40.000 A.) del interruptor.

Estación de Reconectores. - Estarán conectados a una barra de distribución alimentada desde el interruptor principal calculado anteriormente.

Los reconectores de aceite de acuerdo a los circuitos obtenidos serán cinco: uno para llevar una carga de 3.300 KW. y cuatro para llevar una carga de 1.250 KW. cada uno.

#### Cálculos:

a) Reconector para 3.300 KW

Corriente Unitaria

$$\frac{3,30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,800} : 138 \text{ A. debiendo utilizarse de } 200 \text{ A.}$$

b) Reconectores para 1.250 KW.

$$\frac{1,250 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,800} : 52,5 \text{ A. debiendo utilizarse de } 100 \text{ A.}$$

c) Corrientes de fallas.

(1) Preferred Ratings for Power Circuit Breakers.

Debido a que los reconectores estarían junto al interruptor de la subestación, las corrientes de fallas serían las mismas determinadas para el interruptor de la subestación

Corriente a ser interrumpida:

4.000 A - o - 112 MVA.

Corriente momentánea:

6.450 A.

Cajas Porta fusibles.-Las cajas porta fusibles deben ser del tipo 15 KV con una capacidad de interrupción igual a la obtenida para el desconectador de aceite, mínimo 6.450 A. o sea 8.000 A. que es un valor estandard.

## Coordinación.-

Se ha ajustado el relevador de fase para operar con un mínimo de corriente igual al 200 % de la carga de fase de la subestación.

$$315 \times 200 \% : 630 \text{ A.}$$

y tiene una unidad instantánea.

Se ha ajustado el relevador de tierra para operar con un mínimo de corriente igual al 15 % de la carga de Fase de la subestación.

$$3125 \times 15 \% : 47 \text{ A.}$$

y tiene la misma unidad instantánea.

El relevador recerrador, está ajustado para llevar el 200 % de la carga y debe bloquear la unidad instantánea de los relevadores de fase y tierra.

$$315 \times 200 \% : 630 \text{ A.}$$

AJUSTE DE TIEMPO DEL RELEVADOR DE FASE.-Este relevador ha sido ajustado para que opere en la siguiente forma, para corrientes máximas de falla:

El tiempo total para abrir el disyuntor es menor que el tiempo mínimo de fusión del fusible del lado primario de la subestación, pero mayor que el tiempo total de los fusibles de la alimentadora y mayor al tiempo de la tercera operación del recerrador Instantáneo para fallas 3 Ø. Así:

a) Tiempo mínimo de fusión del fusible en el lado primario de la subestación.

Relación de voltajes.

$$\frac{E_s (L - L)}{2 E_L} : \frac{34,5}{2 \times 7,96} : 2,7$$

para una corriente de 2.720 en la barra secundaria

$$\frac{2.720}{2,7} : 1.000 \text{ A.}$$

que viene a ser 52 segundos para 150 A.

b)Tiempo total de los fusibles de la alimentadora : .010"

c)Tiempo de la tercera operación del Recerrador : .32"

d)Falla trifásica - Instantáneo : .36"

AJUSTE DEL TIEMPO DEL RELEVADOR DE TIERRA.-Este relevador ha sido ajustado para que opere en la siguiente forma:

El tiempo total para abrir el disyuntor es menor que el tiempo mínimo de fusión en el lado primario de la subestación para la corriente de falla de fase a tierra, pero mayor que el tiempo total del fusible del ramal más remoto para corrientes de falla de fase a tierra y mayor que el tiempo de la tercera operación del recerrador para falla de fase a tierra.

Así:

a)Tiempo mínimo de fusión en el lado primario de la subestación para la corriente de falla de fase a tierra en la barra del secundario.

$$\frac{Es (L - L)}{EL} : \frac{34,5}{7,96} : 4,32$$

Para una corriente de falla secundaria.

$$\frac{4.400}{4.32} : 1.040 \text{ A.}$$

que viene a ser .52 segundos para un fusible de 150 A.

b)Protección contra descargas atmosféricas.-En el caso particular de este diseño, el Sistema está conectado sólidamente a tierra y las relaciones

$$\frac{X_0}{X_1} < 3$$

Por lo tanto la selección de un pararrayos de alrededor del 84 % del voltaje entre líneas es suficiente para la protección de la misma.

$$.84 \times 13.8 \text{ KV} : 11,5$$

Un pararrayos de 12 KV se puede utilizar.



## 7.-SISTEMA DE ALUMBRADO PUBLICO.-

El Sistema de Alumbrado Público entre Puerto Bolívar y Machala se encuentra servido por líneas aéreas en mal estado, luminarias de filamento y fluorescentes en sus principales calles. La operación se efectúa por medio de interruptores ubicados a lo largo de las calles operados manualmente, las calles de segundo orden no tienen luminarias, sino únicamente lámparas conectadas las 24 horas al Sistema de Distribución, significando un desperdicio de energía, los barrios suburbanos no tienen ningún servicio de alumbrado público.

De manera general la iluminación es deficiente, siendo la solución a este problema la construcción de "Un nuevo Sistema de Alumbrado Público", luego de un estudio de Iluminación Moderna presentado a continuación.

Básicamente existen dos tipos de Sistemas de alumbrado de calles; el tipo Serie y el tipo Múltiple, siendo los factores decisivos para escoger uno u otro, la localización del proyecto, la distribución existente y el Sistema de alumbrado de calles.

La existencia de la red de Baja Tensión 120/240 V. en todas las áreas de la ciudad, así como los respectivos postes donde se encuentra instalado dicho Sistema, hace más factible utilizar el Sistema Múltiple suministrando la energía para alumbrado desde los conductores de Baja Tensión.

Además el Sistema Múltiple tiene muchas ventajas a su favor de las cuales las principales son:

a) Bajo Voltaje de Operación. - Debido a que las lámparas funcionarían con el voltaje del Sistema de Distribución de Baja Tensión, no es necesario te-

ner personal calificado para realizar reemplazos de las lámparas, no sucediendo lo mismo con el Sistema Serie que opera a altos voltajes.

b) Equipo común con la Red de Baja.—El equipo usado en el Sistema Múltiple es esencialmente el mismo que se usa en los Sistemas de Distribución, así tenemos: Transformador común con la Red de Baja Tensión evitando la instalación de otro, solamente para el servicio de alumbrado público, además la capacidad térmica de estos transformadores es tal, que las altas corrientes producidas al momento de funcionar las lámparas de mercurio no hacen necesario el uso de un equipo mayor en capacidad para la operación normal. No sucediendo lo propio con el Sistema Serie que requiere de un transformador de corriente constante que deberá ser calculado sobre la base de iniciación de encendido de dichas lámparas y no en base de su normal operación; resultando en dos grandes desventajas debido a su gran capacidad: un factor de potencia bajo por operar a bajas cargas y a una mayor inversión.

c) Facilidad para localizar las fallas.—El hecho de que los alambres corran paralelos al Sistema de Baja Tensión facilita el localizar las fallas, no sucediendo lo propio con el Sistema Serie que ofrece grandes dificultades para hallar los circuitos abiertos, aparte de las interferencias telefónicas que ocurrirían al no llevar un alambre de retorno para equilibrar el flujo magnético.

Control del Sistema de Alumbrado de Calles.-Las luminarias para alumbrado de calles pueden ser puestas en servicio por dos métodos:Manuales y Automáticos.

Manuales.-Los métodos manuales requieren que una persona cierre o abra los interruptores a horas determinadas o cuando las condiciones del tiempo hacen necesario el uso de la luz artificial.Estos sistemas manuales no son aconsejados debido a lo indispensable que se hace esta persona para el funcionamiento de las lámparas.

Automáticos.-Dentro de los sistemas automáticos tenemos básicamente dos tipos:a)Reloj horario y b)Control fotoeléctrico.

a)Reloj Horario.-Operan generalmente por medio de un motor sincrónico y unos contactos que al cerrarse o abrirse ponen en funcionamiento el Sistema de Alumbrado.

Una de las mayores desventajas de este tipo de control es que la operación de los contactos está sujeta a las variaciones de las fuentes de poder,causando muchos problemas cuando no se las pone en hora,pasada la falla así mismo requiere un mayor gasto de mantenimiento debido a que hay que regularlos frecuentemente.

b)Control fotoeléctrico.-Los controles fotoeléctricos operan debido a su sensibilidad a los cambios de iluminación;existen varios tipos de ellos, siendo el más usado el de Celda de Sulfuro de Cadmio.Los controles fotoeléctricos tienen la ventaja de no estar sujetos a las interrupciones de las fuentes de poder,aparte de que operan siempre a un nivel de iluminación predeterminado,siendo estas las razones primordiales que han primado para su uso en este diseño.

El control fotoeléctrico deberá ser del tipo Celda de Sulfuro de Cadmio, con un rango de operación entre los 105 a 130 v. a 60 c.p.s. con una operación óptima entre los 115 a 125 v. para una carga máxima de 1.000 vatios, tendrá así mismo un circuito de retardo de tiempo para prevenir falsas operaciones y un ajuste de nivel de iluminación de 1 a 2 Fc.

De acuerdo a la tabla # 1 de controles fotoeléctricos, la más conveniente es la que opera a 120 V. pues puede controlar también cargas en circuitos de 240 V.

Controles Múltiples.-Son aquellos que llevarán la carga del Sistema, serán de las siguientes características: 120/240 V. - 60 CPS - 1 polo la bobina de operación será para 120 V. con sus contactos normalmente abiertos con la bobina desenergizada los contactos serán para 30 A. llevando fusibles en el lado de la línea. Será controlado por una célula fotoeléctrica o por una línea de control alimentada desde la célula.

EQUIPO A USARSE.-

a) Postes y transformadores comunes con la Red de Baja Tensión.-

b) Luminarias.- Las luminarias para alumbrado público son clasificadas de acuerdo a su forma de distribución lateral, en cinco tipos generales que se diferencian por la "anchura" del ángulo que forma la línea de referencia paralela al bordillo, con la línea radial que pasa por el punto de máxima emisión luminosa de la linterna de bujías.

El ancho de los pavimentos de las calles en Puerto Bolívar se encuentra entre los 8 - 10 - 12 mts. existiendo calles en las cuales el pavimento es mayor, para este caso se ha realizado la iluminación desde ambas aceras.

Conocidas las anchuras de los pavimentos de las calles de estas ciudades podemos realizar los cálculos necesarios para hallar el tipo de luminaria más adecuado.

ANCHO DEL PAVIMENTO

| 8 mts.                               | 10 mts.                               | 12 mts.                               |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $\text{tg. } \varphi : \frac{8}{22}$ | $\text{tg. } \varphi : \frac{10}{22}$ | $\text{tg. } \varphi : \frac{12}{22}$ |
| $\varphi : 20^\circ$                 | $\varphi : 24^\circ 30'$              | $\varphi : 28^\circ 30'$              |

Estos ángulos están comprendidos entre las características básicas de las luminarias del tipo II que tiene una "anchura" lateral de  $25^{\circ}$  con una variación aceptable de  $20^{\circ}$  hasta menos de  $30^{\circ}$  por lo tanto las luminarias a usarse en este proyecto serán del tipo II lateral.(1)

Cálculos.-Se han realizado los cálculos de alumbrado público de acuerdo a las normas prácticas americanas para alumbrado de calles y carreteras, tomando en consideración los siguientes puntos:

Con el objeto de clasificar las calles se realizó un censo de los vehículos circulando por las calles de primer orden durante las horas de mayor tráfico en la noche:7:30 a 8:30 PM., sí se obtuvo:

|                         | <u>Puerto Bolivar</u> |
|-------------------------|-----------------------|
| buses:                  | 12                    |
| colectivos:             | 9                     |
| vehículos particulares: | 15                    |
| TOTAL:                  | <hr/> 36              |

De acuerdo a "Classification of Vehicular Traffic" y "Classification of Pedestrian Traffic" (2), corresponderia:

- a) tráfico de vehículos - muy ligero
- b) tráfico de peatones medio

De la misma manera según (1) el nivel luminoso recomendado será el de 6 Lúmenes/metro<sup>2</sup> pero considerando que el tráfico de vehículos como de peatones está sujeto al crecimiento de las poblaciones y al mejoramiento de las mismas como sería el caso de realizarse el Nuevo Sistema de Alumbrado; se ha preferido usar un nivel luminoso de 7 Lúmenes/metro<sup>2</sup>.

(1) Manual de Alumbrado Westinghouse. Pag. 13 - 3

(2) Nuevo Alumbrado Público - A.F.F.

Calles de segundo órden son aquellas cuyo movimiento de vehículos es muy ligero o nulo y el de peatones ligero, de acuerdo al Manual Westinghouse el nivel luminoso recomendado para calles con estas características es de 3 Lúmenes/metro<sup>2</sup> el mismo que ha sido adoptado para los cálculos.

CALCULOS PARA DETERMINAR EL FLUJO LUMINOSO PROMEDIO DE CADA TIPO DE

LAMPARA PARA CADA CLASE DE CALLE.-

Calles de primer orden.-Datos.

Tráfico de vehículos:medio.

Tráfico de peatones:muy ligero.

Espaceamiento entre luminarias:44 mts.

Ancho del pavimento:12 mts.

Factor de mantenimiento:a)Lámpara de filamento - (1) : 0.73

b)Lámpara de mercurio - (1) : 0.78

Coefficiente de utilización : Filamento : 0.70

: Mercurio : 0.90

Nivel luminoso escogido : 7 Lúmenes/mt.<sup>2</sup>

| (2) Flujo luminoso promedio por lámpara | Espaceamiento entre luminarias                   | x | Ancho del pavimento | x | Nivel recomendado            |
|---|--|---|---------------------|---|------------------------------|
|   | Factor de mantenimiento.                         |   | x                   |   | Coefficiente de Utilización. |
| Lámparas de filamento:                  | $\frac{44 \times 12 \times 7}{0.73 \times 0.70}$ | : | 7.200               |   | Lúmenes.                     |
| Lámparas de mercurio :                  | $\frac{44 \times 12 \times 7}{0.78 \times 0.90}$ | : | 5.250               |   | Lúmenes.                     |

De acuerdo a (1) las lámparas que rinden el flujo luminoso son:

Filamento : 405 PS 40/54 : 5.950 Lúmenes.

Mercurio : H 39 - 22 KB : 6.200 Lúmenes.

(1) Manual de Alumbrado Westinghouse.

(2) Nuevo Alumbrado Público - AFF.



Calles de segundo orden.-Datos.-

Tráfico de vehículos:casi nulo.

Tráfico de peatones:ligero.

Espaceamiento entre luminarias:44 mts.

Ancho del pavimento:12 mts.

Factor de mantenimiento:a)Lámpara de filamento - (1) : 0.74

b)Lámpara de mercurio - (1) : 0.69

Coefficiente de utilización : Filamento : 0.70

: Mercurio : 0.90

Nivel luminoso escogido : 3 Lúmenes/mt.<sup>2</sup>

| Flujo luminoso promedio por lámpara | entre luminarias         | x | pavimento | x | recomendado                  |
|-------------------------------------|--------------------------|---|-----------|---|------------------------------|
|                                     | Factor de mantenimiento. | x |           |   | Coefficiente de Utilización. |

Lámpara de filamento :  $\frac{44 \times 12 \times 3}{0.74 \times 0.70}$  : 3.080 Lúmenes.

Lámpara de mercurio :  $\frac{44 \times 12 \times 3}{0.69 \times 0.90}$  : 2.560 Lúmenes

Según (1) las lámparas más indicadas son las siguientes:

Filamento : 189 PS 25/64 : 2.540 Lúmenes.

Mercurio : H 38 - 4 HT : 2.620 Lúmenes.

Una vez que se han logrado determinar las lámparas de filamento y mercurio para los rendimientos requeridos,vamos a realizar un estudio económico con el objeto de determinar con exactitud cuáles son las lámparas más aprovechadas para el Sistema de Alumbrado Público.

(1) Manual de Alumbrado Whestinghouse.

## TIPO Y CAPACIDAD DE LAS LUMINARIAS

De acuerdo a los niveles de iluminación requeridos se hacen necesarios los tipos de lámparas cuyos rendimientos se hallen alrededor de los 7.000 y 3.000 lúmenes, para las calles de primer y segundo orden respectivamente.

Del apéndice "Manual de Alumbrado Whestinghouse" obtenemos cuatro lámparas que cumplen con los rendimientos solicitados.

### Lámparas de Mercurio

| <u>LUMENES</u> | <u>DENOMINACION ASA</u> | <u>VATIOS</u> |
|----------------|-------------------------|---------------|
| 3.000          | H 39 - 22 KB            | 175           |
| 7.000          | H 38 - 4 H              | 100           |

### Lámparas de Filamento

| <u>LUMENES</u> | <u>DENOMINACION ASA</u> | <u>VATIOS</u> |
|----------------|-------------------------|---------------|
| 3.900          | 405 PS 40/54            | 405           |
| 7.920          | 189 PS 25/64            | 189           |

De acuerdo con las diversas características de una u otra lámpara vamos a efectuar el estudio de:

### LOS COSTOS TOTALES ANUALES

#### A. INVERSION.-

1.-Costo de la luminaria.-La luminaria a usarse es del tipo reflector refractor - abierto, forma H código ASA, siendo el reflector aluminizado y el refractor de plástico acrílico de una sola pieza. El valor es de s/.240.00

NOMBRAMIENTOPROMEDIO DIARIO

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1 Asistente Técnico  | s/. 90.00             |
| 1 Capatás            | 66.66                 |
| 1 Liniero de primera | 50.00                 |
| 1 Liniero de segunda | 40.00                 |
| 1 Ayudante           | 25.00                 |
| Carro y conductor    | 150.00                |
| Total Diario         | <u>s/. 421.00 (1)</u> |

Si se instalan un promedio de 16 lámparas en el día, el valor de instalación de cada una será:

$$421,66 \div 16 = 26,35$$

3.-Inversión total.-La inversión total es la suma de:el costo de la luminaria más el costo de instalación.

$$s/.240 + s/.26,70 = s/.266,70$$

$$540 + 26,70 = 566,70$$

B. COSTOS DE MANTENIMIENTO POR AÑO.-

1.-Tipo de lámpara.-Las lámparas de filamento y mercurio se las ha especificado de acuerdo a los standars de ASA (American Standars Associaton), así tenemos:

LAMPARAS DE MERCURIO

| <u>LUMENES</u> | <u>DENOMINACION ASA</u> |
|----------------|-------------------------|
| 7.300          | H 39 - 22 KB            |
| 3.650          | H 38 - 4 HT             |

(1) incluido Beneficios Sociales.

LAMPARAS DE FILAMENTO

LUMENES

DENOMINACION ASA

6.900 405 PS 40/54

2.920 189 PS 25/64

b) Vida de la lámpara.-Según las tablas # y 5 el número de horas de vida promedio de las lámparas basados en reemplazos en grupos, son los siguientes:

| <u>TIPO DE LAMPARA</u> | <u>HORAS DE VIDA</u> |
|------------------------|----------------------|
| 189 PS 25/64           | 3.000                |
| 405 PS 40/54           | 3.000                |
| H 39 - 22 KB           | 16.000 Hrs.          |
| H 38 - 4 HT            | 16.000 Hrs.          |

c) NUMERO DE LAMPARAS REPUESTAS POR AÑO

Si asumimos que las lámparas están encendidas 4.000 horas al año, entonces el número de lámparas requeridas anualmente será el cociente de la división del número de horas de funcionamiento para el número de horas de vida.

Para las lámparas de Mercurio:

$$\frac{4.000 \text{ horas}}{16.000} : .25$$

Para las lámparas de Filamento:

$$\frac{4.000 \text{ horas}}{3.000} : 1,33$$

d) COSTO NETO DE LA LAMPARA

| <u>MERCURIO</u> | <u>COSTO</u> |
|-----------------|--------------|
| 175 Vatios      | s/. 140.00   |
| 100 "           | s/. 170.00   |

| <u>FILAMENTO</u> | <u>COSTO</u> |
|------------------|--------------|
| 189 Vatios       | s/.16,00     |
| 405 "            | s/.10,00     |

e) COSTO ANUAL DE LA LAMPARA.-

Es el costo neto de cada una de ellas para el número de lámparas requeridas por año.

| <u>MERCURIO</u> | <u>COSTO</u> | <u>AÑOS</u> |
|-----------------|--------------|-------------|
| 100 Vatios      | : s/.170.00  | : 4 : 42,50 |
| 175 "           | : s/.140.00  | : 4 : 35,00 |

FILAMENTO

|            |            |      |         |
|------------|------------|------|---------|
| 405 Vatios | : s/. 1,33 | x 16 | : 21,30 |
| 189 "      | : s/. 1,33 | x 10 | : 13,30 |

2 a.-Costo de Reposición.-Los costos de reposición de las lámparas están basados en cambios en grupos, tomándose como tiempo promedio para reponer cada una: 8 minutos.

En ocho horas diarias de trabajo serían 8 x 60 : 480 minutos, de tal forma 480 : 8 : 60 lámparas se cambiarían por día.

Si para esta labor se ocupa la misma cuadrilla con el carro, que tiene un valor diario de s/.421,66 entonces el valor de reposición de cada lámpara sería:

$$s/.421 : 60 : s/.7,00$$

b) Costo anual de reposición.-En vista de que las lámparas de vapor de mercurio no serán removidas hasta después de 4 años, los costos anuales se reducirán a s/.7 : 4 : s/.1,75 por lámpara por año.

Las lámparas de filamento serán repuestas 1.33 veces al año, luego los costos anuales serán  $s/.7 \times 1,33 = s/.9,31$  por lámpara por año.

3.-Costos de mantenimiento por año.-En estos costos se incluyen los deemplazo de los componentes dañados, refractores rotos.

La experiencia en ciudades similares señalan que sólo el 1/2 % de las luminarias sufren daños de este tipo y si el valor unitario de cada lámpara es de  $s/.240,00$  el 1/2 % anual es 1,20 por lámpara.

4.-Costos totales de mantenimiento por año.-Estos costos son la suma de:(costo anual de cada lámpara costo anual de reposición costos diversos de mantenimiento).

#### LAMPARAS DE MERCURIO

175 Vatios    35 + 1.75 + 1.20    :    37.95

100    "        42.5 + 1.75 + 1.20    :    44.95

#### LAMPARAS DE FILAMENTO

405 Vatios    :    21,30 + 9.31 + 1.20    :    31.61

189    "        :    13.30 + 9.31 + 1.20    :    23.61

#### C. COSTOS ANUALES DE LA ENERGIA.-

1.-Potencia absorbida, incluido del equipo auxiliar, por luminarias (kilovatios).

#### Lámparas de mercurio tipo regulador.-

175 Vatios    :    0.205 Kw.

100    "        :    0.126 Kw.

#### Lámparas de filamento.-

405 Vatios    :    0.405 Kw.

189    "        :    0.189 Kw.

2.-Energía.-La energía en kwh. por luminaria ha sido calculada tomando en cuenta que las luminarias se encienden 4.000 horas por año, luego:

LAMPARAS DE MERCURIO

175 Vatios : 0.205 x 4.000 horas : 820 Kwh.

100 " : 0.189 x 4.000 horas : 756 Kwh.

LAMPARAS DE FILAMENTO

405 Vatios : 0.405 x 4.000 horas : 1.620 Kwh.

189 " : 0.189 x 4.000 horas : 756 Kwh.

3.-Costo de la Energía.-El costo de la energía es el precio por Kwh. vendido por INECEL a la Empresa Eléctrica de EL ORO, es decir: s/.0,60 Kwh.

4.-Costo total de la Energía por año.-Es el resultado del producto del valor unitario del kwh. por el total de Energía consumida por lámpara en un año.

LAMPARAS DE MERCURIO

175 Vatios 820 x 0.60 : s/.490

100 Vatios 756 x 0.60 : s/.454

LAMPARAS DE FILAMENTO

405 Vatios 1.620 x 0.60 : s/.970

189 Vatios 756 x 0.60 : s/.454

D. COSTOS TOTALES DE OPERACION POR AÑO.-

1.-Los costos totales de operación por año son la suma de los costos de Mantenimiento + energía).

### LAMPARAS DE MERCURIO

|                                     |   |            |
|-------------------------------------|---|------------|
| 175 Vatios - Costo de Mantenimiento | : | s/. 38,75  |
| - Costo de Energía                  | : | s/. 490,00 |
| TOTAL                               | : | s/. 528,75 |
| 100 Vatios - Costo de Mantenimiento | : | s/. 46,00  |
| Costo de Energía                    | : | s/. 300,00 |
| TOTAL                               | : | s/. 346,00 |

### LAMPARAS DE FILAMENTO

|                                     |   |             |
|-------------------------------------|---|-------------|
| 405 Vatios - Costo de Mantenimiento | : | s/. 38,00   |
| - Costo de Energía                  | : | s/. 970,00  |
| TOTAL                               | : | s/. 1008,00 |
| 189 Vatios - Costo de Mantenimiento | : | s/. 36,00   |
| - Costo de Energía                  | : | s/. 454,00  |
| TOTAL                               | : | s/. 490,00  |

2. Costo por 1.000 Lúmenes.-Es el costo anual de la energía para el número de lúmenes que rinden cada una de ellas.

### LAMPARAS DE MERCURIO

|                     |       |   |                            |
|---------------------|-------|---|----------------------------|
| 175 Vatios - 528.75 | 7.300 | : | s/.72,5 por 1.000 Lúmenes  |
| 100 Vatios - 346.00 | 3.650 | : | s/.95,00 por 1.000 Lúmenes |

### LAMPARAS DE FILAMENTO

|                   |       |   |                             |
|-------------------|-------|---|-----------------------------|
| 405 Vatios - 1008 | 5.900 | : | s/.146,00 por 1.000 Lúmenes |
| 189 Vatios - 490  | 2.960 | : | s/.168,00 por 1.000 Lúmenes |

### E. COSTOS ANUALES DE INVERSION.

1.-Porcentajes de cargas fijas, incluidas depreciación, impuestos

: 8%



2.-Costos anuales de inversión.-Es igual al % del valor de la inversión  $8\% \times 266.70 : 21,20$

P. COSTOS TOTALES POR AÑO.

1.-Costos totales al año de (mantenimiento energía inversión).

LAMPARAS DE MERCURIO

175 Vatios -  $37.95 + 490 + 21.20 : 549.15$

100 Vatios -  $44.95 + 300 + 21.20 : 366.15$

LAMPARAS DE FILAMENTO

405 Vatios -  $31.61 + 970 + 21.20 : 1022.81$

189 Vatios -  $23.61 + 454 + 21.20 : 498.81$

2.-Costo total por cada 1.000 Lúmenes.-Es el cociente de los costos al año para el número de Lúmenes de la Lámpara.

LAMPARAS DE MERCURIO

175 Vatios  $\frac{549.15}{7.300} : s/. 75,00$

100 Vatios  $\frac{366.15}{3.650} : s/. 100,00$

LAMPARAS DE FILAMENTO

405 Vatios  $\frac{1022.81}{6.900} : s/. 148,00$

189 Vatios  $\frac{498.81}{2.920} : s/. 171,00$

COMPARACION ECONOMICA ENTRE LAMPARAS DE MERCURIO Y FILAMENTO

| DESCRIPCION                     | Luminaria de vapor de mercurio 175 W. 7.300 lúmenes. | Luminaria de filamento 405 W. 6.900 lúmenes | Luminaria de vapor de mercurio 100 W. 3.650 lúmenes. | Luminaria de filamento 189 W. 2.940 lúmenes. |
|---------------------------------|--|---|--|--|
| <b>A. INVERSION</b>             |  |   |  |  |
| 1. Costo de la luminaria.       | 240,00   | 240,00                                      | 240,00   | 240,00                                       |
| 2. Labor de Instalación.        | 26,70  | 26,70                                       | 26,70  | 26,70  |
| 3. Inversión total.             | 266,70   | 266,70                                      | 266,70   | 266,70                                       |
| <b>B. COSTO ANUAL DEL</b>       |  |   |  |  |
| <b>MANTENIMIENTO.</b>           |  |   |  |  |
| 1.a. Tipo de lámpara ASA        | H39 - 22 KB  | 405 PS 40/54                                | H 38 - 4 HT  | 189 PS 25/64                                 |
| b. Vida de la lámpara.          | 16.000   | 3.000                                       | 16.000   | 3.000  |
| c. Lámparas requeridas por año. | 0.25   | 1.33  | 0.25   | 1.33   |
| d. Costo de la lámpara          | 140,00   | 16,00                                       | 170,00   | 10,00  |
| e. Costo anual por lámpara.     | 35,00  | 21,30                                       | 42,50  | 13,30  |

|  |          |           |          |          |
|--|----------|-----------|----------|----------|
| 2.a. Costo de reposición                     | 7,00     | 7,00      | 7,00     | 7,00     |
| b. Costo anual de reposición.                | 1,75     | 9,31      | 1,75     | 9,31     |
| 3. Costos diversos de mantenimiento por año. | 1,20     | 1,20      | 1,20     | 1,20     |
| 4. Costos totales de mantenimiento anuales.  | 39,95    | 31,61     | 44,95    | 23,61    |
| <b>C. COSTOS ANUALES DE LA</b>               |          |           |          |          |
| <b><u>ENERGIA.</u></b>                       |          |           |          |          |
| 1. Demanda.                                  | 0,205    | 0,405     | 0,126    | 0,189    |
| 2. Energía.                                  | 820 Kwh. | 1620 Kwh. | 504 Kwh. | 756 Kwh. |
| 3. Costo de la energía.                      | 0,60     | 0,60      | 0,60     | 0,60     |
| <b>D. COSTOS TOTALES DE</b>                  |          |           |          |          |
| <b><u>OPERACION POR AÑO</u></b>              |          |           |          |          |
| 1. Mantenimiento y energía                   | 528,75   | 1008,00   | 346,00   | 490,00   |
| 2. Costo por 1.000 lúmenes.                  | 72,50    | 146,00    | 95,00    | 168,00   |

E. COSTOS ANUALES DE

INVERSION.

- 1. Porcentaje.
- 2. Costos anuales de inversión.

8 %  
21,20

8 %  
21,20

8 %  
21,20

8 %  
21,20

498,81  
121,00

366,15  
100,00

1022,81  
148,00

549,15  
75,00

F. TOTAL DE COSTOS

ANUALES.

- 1. Mantenimiento + energía + inversión
- 2. Costo por 1.000 lómenes.



8.- BIBLIOGRAFIA

| <u>NOMBRE</u>  | <u>AUTOR</u>                             | <u>EDICION</u>       |
|--|--|----------------------|
| Electric Utility Engineering<br>Reference BOOK Volumen 3<br>Distribution Systems | Whestinghouse                            | First Edition 1.965  |
| Electrical Transmission and<br>Distriution Reference BOOK                        | Robert D. Evans<br>Whestinghouse         | Fourth Edition 1.950 |
| Electrical Transmission and<br>Distribution                                      | Bernhardt G.A                            | 1.964                |
| Economical Desinf of Primary<br>Lines for Rural Distribution<br>Systems          | REA Bulletin 60-9                        | May. 1969            |
| Manual "Standars" del Ingenie-<br>ro Electricista Tomo 1                         | Archer E. Knowltn                        | 1.962                |
| Redes Eléctricas de Alta y Ba-<br>ja Tensión.                                    | Gaudenci Zoppety                         | 1.952                |
| Distribution Line Construc-<br>ción Standars                                     | Puerto Rico Water<br>Resources Authority | 1.962                |
| Rural Electrificación Standars   | PRWRA                                    | 1.964                |
| Procedimiento para coordinación<br>de Subestaciones Radiales                     | Autoridad de las Fu-<br>entes Fluviales. | 1.960                |
| Report of the Expansión of the<br>Metropolitan Area Distribution<br>Systems.     | PRWRA                                    | 1.963                |