

INVENTARIADO

19/11/2015  
POR: -----

12L3192  
L 335

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

INVENTARIO FISICO

03 SEP 2018  
Figueroa H.

"PROGRAMA PARA DETERMINAR EL CONDUCTOR Y VANO ECONOMICO  
EN LINEAS DE TRANSMISION CON POSTES DE HORMIGON"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO

DE

INGENIERO ELECTRICO

POR:

HUGO LUCERO FIGUEROA

JUNIO, 1978



GUAYAQUIL - ECUADOR



"PROGRAMA PARA DETERMINAR EL CONDUCTOR Y VANO ECONOMICO  
EN LINEAS DE TRANSMISION CON POSTES DE HORMIGON"

DIRECTOR DE TESIS

A U T O R

  
ING. JUAN SAAVEDRA

HUGO LUCERO F.

## DECLARACION EXPRESA :

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral)

## DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y  
a mi maestro de siempre.

A mis buenos compañeros,  
amigos y profesores.

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| 1. INTRODUCCION.                                    | 1    |
| 2. CRITERIOS GENERALES.                             | 2    |
| 3. CALCULOS DE PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA.      | 6    |
| 4. CALCULO MECANICO DEL CONDUCTOR.                  | 9    |
| 4.1. INTRODUCCION                                   | 9    |
| 4.2. EL PROBLEMA                                    | 9    |
| 4.3. PLANTEAMIENTOS Y DESARROLLO DE LA SOLUCION     | 11   |
| 4.4. SOLUCION DE LA ECUACION DE ESTADO              | 13   |
| 5. DISEÑO DE SOPORTES                               | 15   |
| 6. CIMENTACIONES                                    | 20   |
| 6.1. GENERALIDADES                                  | 20   |
| 6.2. SUELO DE MAYOR RESISTENCIA EN SU CAPA SUPERIOR | 22   |
| 6.3. FUNDACION TIPO ZAPATA INVERTIDA                | 23   |
| 6.4. FUNDACION PRISMATICA                           | 36   |
| 7. COSTOS DE CONSTRUCCION.                          | 40   |
| 7.1. GENERALIDADES                                  | 40   |
| 7.2. COSTOS DIRECTOS DE JORNALES                    | 40   |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.    | METODO DE EVALUACION ECONOMICA          | 49  |
| 8.1.  | GENERALIDADES                           | 49  |
| 8.2.  | TASA DE ACTUALIZACION Y TASA DE INTERES | 50  |
| 8.3.  | TIPOS DE INSTALACIONES                  | 52  |
| 9.    | PROGRAMA DE COMPUTACION                 | 53  |
| 9.1.  | GENERALIDADES                           | 53  |
| 9.2.  | DESCRIPCION DEL PROGRAMA                | 53  |
| 9.3.  | LIMITACIONES DEL PROGRAMA               | 57  |
| 9.4.  | VARIABLES DE ENTRADA                    | 57  |
| 10.   | EJEMPLO DE APLICACION                   | 83  |
| 10.1. | INTRODUCCION                            | 83  |
| 10.2. | DATOS DE ENTRADA                        | 83  |
| 10.3. | RESULTADOS OBTENIDOS                    | 83  |
| 11.   | CONCLUSIONES                            | 85  |
|       | ANEXO 1                                 |     |
|       | SUBROUTINAS EMPLEADAS EN EL PROGRAMA    | 87  |
|       | ANEXO 2                                 |     |
|       | GRAFICOS                                | 107 |

## 2. CRITERIOS GENERALES

En la planificación de grandes Sistemas Eléctricos es necesario analizar diferentes alternativas de líneas de transmisión de grandes longitudes y altos niveles de tensión.

En esta primera etapa se precisan costos aproximados de las alternativas con el fin de orientar los estudios.

Sin embargo, en la práctica, la obtención de un conjunto de costos de alternativas resulta un problema complejo y de solución retardada, a causa del gran número de parámetros que incurren simultáneamente en la consideración de las alternativas.

Para definir una línea dentro de un sistema es necesario, por lo menos, fijar los siguientes parámetros:

- Tensión nominal de transmisión
- Número de circuitos
- Seguridad de servicio
- Longitud y ubicación del trazado
- Niveles de potencia a transmitir
- Valorización de las pérdidas de transmisión
- Sobretensiones que debe resistir la aislación

## 1. INTRODUCCION

Una de las principales tareas de una empresa de servicio público de electricidad es mantener al día en la satisfacción de la demanda y en la incorporación de nuevas áreas al sistema. La expansión de las facilidades de generación, transmisión y distribución es un factor fundamental en el desarrollo de los sistemas eléctricos.

El diseño de líneas aéreas de transmisión es una de las tareas que mas frecuentemente se tiene que abordar en las compañías de electricidad. Esto ha sido ya reconocido en muchos países de tal forma que en la actualidad en casi todos ellos se utilizan las técnicas más modernas en el diseño y construcción, con el fin de lograr la máxima eficiencia y el mínimo costo. Desde la determinación de los puntos y potencia de transmisión, pasando por la topografía, diseño económico del conductor, ubicación, selección de estructuras, diseño mecánico del conductor y de las estructuras, hasta llegar a la operación y al cálculo eléctrico; el diseño de líneas de transmisión se ha visto invadido por el uso de la computación digital. Y así tiene que ser, ya que esta área de la Ingeniería Eléctrica no puede sustraerse del uso de una herramienta tan útil, no sólo para aliviar pesados y tediosos cálculos repetitivos, sino también en la selección de criterios y en la toma de decisiones.



- Costos unitarios de los materiales y mano de obra.

Partiendo de los parámetros indicados se puede confeccionar un anteproyecto de la línea y finalmente determinar un costo aproximado.

Para ello es necesario aplicar criterios técnico-económicos que permitan definir los siguientes "parámetros básicos":

- Material de los conductores
- Tamaño y número de conductores por fase
- Número de estructuras (luz media)

La complejidad del problema reside en que cada uno de estos parámetros es función de los demás.

En el esquema de la fig. 2.1 se muestran las relaciones de dependencia de los parámetros principales que determinan el costo de la línea.

Este esquema muestra que los tres parámetros indicados son dependientes y que cada uno de ellos incide en todos los ítem importantes dentro del costo de la línea.

Por lo tanto, no es posible calcular separadamente

los parámetros básicos, los que podrían determinarse encontrando un conjunto de valores que disminuya al mínimo el costo total de la línea.

Para lograrlo, deberá calcularse el costo para todas las combinaciones posibles entre ellos.

El presente trabajo tiene por objeto principal exponer un método sistematizado para realizar este tipo de estudios.

Concretamente los objetivos que se pretende alcanzar son:

- a) Obtener presupuestos sobre iguales bases y con igual precisión, de distintas alternativas de líneas para el estudio de un sistema de transmisión.
- b) Obtener un diseño preliminar como un punto de partida al iniciar el proyecto de una línea.

En la fig. 2.2 se muestra un diagrama típico de las diversas etapas del proyecto de un sistema eléctrico, en este diagrama puede observarse la ubicación de las etapas de estudio de alternativas de sistemas y de diseño preliminar de la línea dentro del proyecto y construcción del

sistema.

Estas etapas son, como se ha dicho, el punto de partida para el proyecto y por consiguiente se encuentran en el camino crítico de todo programa. El tiempo que toman es considerable y puede alcanzar entre el 10% y el 20% del total.

Debe destacarse que la evidente complejidad del estudio obligará a emplear un programa de cálculo en un computador digital, y por otra parte, deberá forzosamente emplearse en algunos casos, criterios prácticos o empíricos que si bien no tienen un fundamento analítico riguroso, son respaldados por una larga y satisfactoria experiencia.

### 3. CALCULOS DE PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA

En éste estudio y en la subrutina que tenemos dentro del programa, calculamos los costos de potencia y energía en forma variable hasta que termina la proyección de la demanda.

Al año en que empieza el estudio se lo denomina año inicial y al año donde suponemos que la demanda se satura lo llamamos año final. Asumimos también que la demanda se satura en un límite máximo del tiempo de vida del conductor. Lógicamente las pérdidas van a ser variables, ya que año a año la potencia y la energía cambiarían según - como la demanda aumente (generalmente) o disminuya.

El cálculo de las pérdidas vendrán dados por la fórmulas siguientes:

Calculamos un factor de pérdidas según la ecuación

$$FPER = 0.84 * (FC(I) ** 2.0) + 0.16 * FC (I)$$

donde los coeficientes 0.84 y 0.16 son coeficientes encontrados en la práctica y son para zonas no muy industrializadas, razón por la cual nosotros establecemos esta ecuación dentro del programa. FC es el factor de carga y que

también será variable año a año, dependiendo de la demanda de la zona.

Con este factor de pérdidas procedemos a calcular los costos unitarios de las pérdidas por potencia y energía según la siguiente fórmula:

$$QJ = 0.012 * CPDP * FADE + 8.76 * CPEN * FPER$$

donde el primer término del segundo miembro de la ecuación corresponde a los costos de las pérdidas de potencia por unidad; y el segundo término representa los costos de las pérdidas de energía, siendo CPDP costo de pérdidas de potencia, FADE factor de ajuste de la demanda, CPEN costo de pérdidas de energía.

Esta ecuación QJ multiplicando por las pérdidas óhmicas nos dará los costos de las pérdidas de potencia y energía.

Las pérdidas en sí serán determinadas por las siguientes ecuaciones:

$$AMP = KW / KV * FPOT * 1.732$$

donde AMP será la corriente en el conductor; KW será potencia trifásica; KV será el voltaje al cual

va a trabajar dicha línea; FPOT es el factor de potencia de cada año de la demanda

$$\text{PERC} = \text{YN} * (\text{AMP} **2.0) * \text{R}/1000$$

donde YN será el número de fases y R la resistencia del conductor en ohmios/metro.

A esto además, le agregamos los costos de la línea en sí, obteniendo los costos totales de la línea y de pérdidas de potencia y energía.

## 4. CALCULO MECANICO DEL CONDUCTOR

### 4.1 INTRODUCCION

Consideramos que el diseño mecánico del conductor, esto es, la determinación de las tensiones y flechas de un conductor tendido en diferentes condiciones de carga y temperatura, es un paso importante en el diseño de líneas aéreas de transmisión. Un aspecto que favorece para que al cálculo mecánico del conductor se aplique el uso de métodos digitales, es la forma sistemática "matemática" del problema. Los criterios o decisiones son mínimos en esta etapa del diseño, pero representan un considerable esfuerzo de cálculo, generalmente de tipo repetitivo, que favorece grandemente su incorporación en un programa digital.

### 4.2 EL PROBLEMA

Los cálculos mecánicos del conductor cumplen tres funciones en el diseño de las líneas aéreas de transmisión:

- 1º Determinan la forma segura en que, bajo ciertas condiciones (definidas o no por normas), la flecha del conductor sea tal que mantenga la distancia mínima al suelo requerida.

- 2º Determinan la forma segura en que, bajo ciertas - condiciones (definidas o no por normas), los esfuerzos en el conductor no superen los valores permitidos por el material.
- 3º Determinan la forma segura en que, una vez hecho el tendido bajo ciertas condiciones específicas - de carga y temperatura, con tensiones y flechas correspondientes, las condiciones primera y segunda se cumplirán cuando la carga y temperatura varíen (tablas de templado).

Planteado en esta forma, el problema se reduce a dos tipos de cálculo:

- a) Determinar la relación entre tensiones, flechas, longitud de vanos, cargas y temperaturas de un conductor colgado, de tal forma que se pueda calcular un grupo de variables en función de cualquier otro grupo conocido.
- b) Una vez determinadas las tensiones y flechas para un vano dado, con carga y temperatura determinadas, encontrar las nuevas tensiones y flechas para otras cargas y temperaturas.



La primera parte de los cálculos es bien conocida y está perfectamente determinada, aún cuando su generalización, que siempre es aconsejable y algunas veces necesaria en una solución digital, requiere de un enfoque sistemático de este problema, en vez de utilizar una serie de fórmulas más o menos empíricas.

La segunda parte corresponde al conocido problema de "cambios de estado", cuya solución clásica es gráfica y, por lo tanto, inadecuada para una solución digital. Se ha recurrido por ello a un enfoque estrictamente "matemático", analítico, con resultados satisfactorios.

#### 4.3 PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DE LA SOLUCION

Una de las primeras decisiones que se tomó en la solución del problema planteado, fue hacer uso de la catenaria en las ecuaciones, ya que es la representación exacta de la línea de transmisión sujeta a dos soportes.

Una vez decidido el uso de la catenaria, la primera parte del problema consistió en determinar la ecuación respectiva en una forma general, donde las relaciones entre las variables sea tal que permita el cálculo fácil de cualquier grupo de ellas en función de las otras. Para ello, se es-

tableció un sistema de coordenadas, que siempre pasan por el punto más bajo de la catenaria, dejando como incógnitas las coordenadas de los puntos de apoyo del conductor.

Existe una relación entre estos puntos dados por la longitud del vano y el nivel de apoyos (ver fig. 4.1), de tal manera que el número de coordenadas incógnitas resulta ser dos. La otra incógnita puede ser la flecha o la tensión como dada o asumida. Una vez encontrada la ecuación de la catenaria, el resto de las condiciones se determina inmediatamente, especialmente la longitud de la catenaria entre los puntos de apoyo, que sirva para el cálculo de los "cambios de estado".

La segunda parte del problema, esto es, los cambios de estado, se enfocó analíticamente mediante la relación de tensiones y flechas antes y después de los cambios de estado, tomando como base la variación de la longitud del conductor. La variación de la longitud originada por el cambio de las condiciones de carga y temperatura, se divide en dos partes: una debido al cambio de temperatura exclusivamente, y la otra, debido al cambio del esfuerzo originado por nuevas condiciones de carga y de temperatura. El resultado quedó expresado en una ecuación cúbica en función de la tensión del conductor que se resuelve eficiente

mente por el método de Newton.

Finalmente, se contempla la inclusión de conductores constituidos por diferentes materiales, incorporando las ecuaciones de distribución de esfuerzos en los materiales de diferentes coeficientes de dilatación y módulo de elasticidad y la relación de traspaso de esfuerzos por cambio de temperatura. Se obtuvo, así, una solución general para toda clase de conductores.

#### 4.4 SOLUCION DE LA ECUACION DE ESTADO

Para determinar el comportamiento del conductor, sometido a cambios de esfuerzos y temperaturas, es necesario determinar las longitudes de arco y tensiones reales correspondientes a un vano y flecha determinados. Para esto se emplea la ecuación de la catenaria.

De las propiedades de la catenaria se tiene:

$$a = \frac{H}{W} \quad (1) \qquad \text{FLECHA} = y - a$$

$$y = \frac{a}{2} \left( e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right) = a \cosh \frac{x}{a} \quad (2)$$

$$L = 2a \sinh \frac{s}{2a} \quad ; \quad L = 2a \sinh \frac{x}{a} \quad (3)$$

$$\text{FLECHA} = a \cosh \frac{x}{a} - a = a \left( e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} - 1 \right) \quad (4)$$

si  $x = \frac{s}{2a}$  y reemplazando en (4) se obtiene:

$$\text{FLECHA} = \frac{s}{2x} (e^x + e^{-x} - 1)$$

La ecuación de cambio de longitud debido a los cambios de condiciones climatológicas (cambios de estado) viene dada por:

$$L_2 - L_1 = L_1 \alpha (\theta_2 - \theta_1) + L_1 \frac{H_2 - H_1}{AE} \quad (5)$$

Donde el subíndice 1 indica la condición conocida y el subíndice 2 la condición que se desea encontrar ( $H_2$ ).

De (5):

$$E (L_2 - L_1) = E \alpha L_1 (\theta_2 - \theta_1) + L_1 \frac{(H_2 - H_1)}{A} \quad (6)$$

si se reemplaza (3) en (6) se obtiene:

$$\frac{H_2}{w_2} \operatorname{senh} \frac{sw_2}{2H_2} = \alpha (\theta_2 - \theta_1) + 1 + \frac{(H_2 - H_1)}{AE} \frac{H_1}{w_1} \operatorname{senh} \frac{sw_1}{2H_1}$$

que es la ecuación a resolver.

## 5. DISEÑO DE SOPORTES

Después de haberse realizado el cálculo de flechas, conociendo la altura mínima del conductor a tierra, y la fuerza que va a actuar además del viento sobre el soporte; podemos diseñar la estructura sobre la cual van a estar colocados los conductores.

Tal como vimos en los conductores la acción del viento sobre éstos depende de sus dimensiones, asimismo en los postes van a depender de las dimensiones que ellos tengan y siendo desconocidas se comprende que habrá necesidad de asignarles a criterio personal, un valor para iniciar el cálculo, rehaciéndolo después de efectuar la comprobación necesaria. Esto nos indica que para determinar las dimensiones de los elementos que forman la estructura de hormigón armado, es preciso realizar una serie de tanteos, previos los cuales se obtendrán los postes que procuran en la construcción de la línea la máxima economía.

El cálculo de los postes de hormigón se efectúan dentro de las normas previstas para esta clase de construcciones, considerando a la vez la resistencia de la armadura metálica que tendrá una determinada configuración y la parte de hormigón que trabaja a compresión. Se desecha la re

sistencia de hormigón sometido a esfuerzos de extensión.

Para el programa de computadora, se ha escogido una configuración octogonal, partiendo de un diámetro tal de varilla de hierro en base del cual podemos conocer el diámetro dentro del poste donde se alojarán las varillas de acero. Se ha previsto que las varillas de acero serán el doble que los lados del octógono.

En base de este criterio podemos calcular el radio de la circunferencia que sostiene las varillas con la siguiente relación:

$$R_{\text{varillas}} = \frac{\text{DIAMETRO DE VARILLAS}}{1 - \text{Cos } \varnothing/2}$$

Siendo  $\varnothing$  el ángulo que sostiene una cara del polígono.

También podemos calcular entonces en base de estos criterios y asumiendo que el espesor mínimo de hormigón que va a cubrir la estructura de hierro sea un variable - para el radio en que se inscribe el octógono con la siguiente fórmula matemática:

$$R_{\text{octo}} = \frac{3/2 (\text{DIAMETRO DE LA VARILLA}) + R_{\text{varillas}}}{\text{Cos } \varnothing/2}$$

Asimismo el área transversal vaciada va a ser calculada con una dependencia del diámetro de las variables con la siguiente fórmula:

$$R_{\text{vaciado}} = R_{\text{varilla}} \times \cos \phi - \frac{\text{DIAMETRO VARILLAS}}{2}$$

Luego, para encontrar la fibra neutra procedemos a dividir nuestra sección en áreas pequeñas convenientemente formadas. Sacando para ello lo que se llama áreas ficticias con la siguiente expresión:

$$S = S_h + NS_a$$

Siendo  $S$  el área equivalente para nuestro estudio, obtenemos además el centro de gravedad de cada área ficticia esto es, para la sección que inicialmente suponemos actúa a compresión.

Luego las secciones que influyen en el lado que presumimos actúan a extensión, serán la de hierro únicamente y determinamos también secciones ficticias y sus respectivos centros de gravedad. Con estos datos, y usando la ecuación:

$$x = \frac{\text{área}}{\text{altura}} * y - \frac{\text{centro de gravedad}}{\text{altura}} * \text{área}$$

encontramos puntos X y Y con los cuales y aplicando la subrutina de mínimos cuadrados obtenemos dos curvas, las cuales igualándolas y encontrando el valor de Y, se establece la distancia a la que se halla la fibra neutra.

Teniendo el valor de la fibra neutra, se encuentran los radios de giro y con éstos se obtienen los momentos de inercia de las pequeñas áreas elementales que sumadas resulta el momento de inercia total.

Con estos datos y conociendo R que es el coeficiente de trabajo, podemos calcular M el momento flector de la fuerza que actúa sobre el poste, con la siguiente expresión.

$$R = \frac{M \cdot Z}{I}$$

Siendo Z la distancia de la fibra de mayor fatiga al eje neutro e I el momento de inercia.

Para calcular R tendremos la siguiente fórmula:

$$R = 0.28 \times \text{RESISTENCIA} \left(1 + \frac{m' v'}{v}\right)$$



que es la fórmula que nos dá el límite de trabajo del hormigón armado a la compresión, en la cual el valor de la resistencia al aplastamiento del hormigón no armado, medida sobre cubos de 20 cm. de lado y después de 90 días de su fabricación, viene a estar comprendida entre 250 y 300 Kg/cm<sup>2</sup>, V' es el volúmen de las armaduras transversales u oblicuas por cada metro de longitud del poste; V el volúmen del hormigón para igual longitud de un metro y M' un coeficiente variable que depende del grado de ligazón que existe entre las barras longitudinales. Cuando estos enlaces están constituidos, como el caso corriente para los postes, por zunchasos o anillos M' está comprendido entre 15 y 32, según la distancia entre las espiras sea igual a 2/3 ó a 1/5 de la anchura de la sección del poste.

Con estos datos podemos calcular el peso del poste y su costo, conociendo el precio unitario del hierro y hormigón.

## 6. CIMENTACIONES

### 6.1 GENERALIDADES

Para nuestro cálculo de cimentaciones usamos el método "SULZBERGER", que es un procedimiento de cálculo aplicable a fundaciones para soportes de líneas de transmisión de energía eléctrica, que tiene en cuenta la influencia de la reacción lateral del suelo como efecto equilibrante complementario de la reacción de fondo.

El método principalmente es apropiado para el cálculo de fundaciones profundas, donde el momento estabilizante se obtiene con la contribución aplicable del efecto del encastramiento del macizo de fundación en el terreno a través de sus paredes laterales.

Consideremos un elemento unitario de la superficie de contacto entre fundación y terreno, sea  $\sigma$  la presión emitida por la fundación del terreno en dicho punto. Por la acción de la carga  $\sigma$  el terreno es comprimido, o lo que es lo mismo el elemento de superficie sufre un desplazamiento  $\lambda$  en la dirección de  $\sigma$ . La relación entre ambas magnitudes está dada por la expresión:

$$\sigma = c\lambda, \quad (1)$$

donde C se denomina coeficiente de compresibilidad del terreno en el punto considerado.

El principio fundamental que sirve de base al método establece que para pequeñas inclinaciones del macizo de fundación, no mayores que  $1/100$  ( $\text{tang} \alpha = 0,01$ ) el terreno se comporta elásticamente, manteniéndose C constante en la ecuación (1).

Se admite también que en terrenos de características aproximadamente uniformes, el coeficiente de compresibilidad es nulo al nivel del suelo y aumenta proporcionalmente con la profundidad. Es decir que si  $C_t$  es el valor de dicho parámetro medido a la profundidad t de la fundación, a la profundidad x se tendrá :

$$C_x = C_t \frac{x}{t} \quad (2)$$

En la práctica el ensayo de suelo se hace aproximadamente a la profundidad de la fundación. En caso de no coincidir, se determina  $C_t$ , partiendo del valor obtenido en el ensayo, mediante la ecuación (2).

La condición de variación lineal del coeficiente de compresibilidad es estrictamente teórica, y se admite como

hipótesis simplificativa para el cálculo del momento resistente lateral o momento de encastramiento. En las condiciones reales la variación de  $C$  con la profundidad depende de la naturaleza y composición del suelo en sus diversas capas, apartándose notablemente, en muchos casos, de la variación lineal.

La importancia de este análisis se manifiesta, particularmente, en los casos de suelos de capacidad portante relativamente alta en su capa superior y baja al nivel del fondo de la fundación. En tales casos, una fundación diseñada en la forma habitual de bloque prismático podría resultar antieconómica o impracticable si se la proyecta a partir del coeficiente de compresibilidad de fondo  $C_t$  con la adopción de la hipótesis simplificadora expresada en el párrafo precedente.

## 6.2 SUELO DE MAYOR RESISTENCIA EN SU CAPA SUPERIOR

En estos casos se requieren dos valores de  $C$  para proyectar la fundación: uno a la profundidad  $t$  y el otro a la profundidad  $t/2$ . El diseño conveniente es el que muestra la fig. 6.2, es decir con un ensanchamiento superior de la fundación, que podría designarse de zapata invertida.

Aún en el caso de adoptar el diseño común de fundación prismática, el valor adicional de  $C$  medido a la profundidad  $t/2$  permite calcular con mayor aproximación el momento resistente lateral, como se verá más adelante.

### 6.3 FUNDACION TIPO ZAPATA INVERTIDA

La ventaja de este diseño (fig. 6.2) consiste en el mejor aprovechamiento de la mayor resistencia de la capa superior del terreno, obteniéndose mayores momentos resistentes, tanto lateral  $M_s$  como de fondo  $M_b$ .

Cuando la relación entre la altura  $t_1$  de la zapata y su profundidad  $e$  cumple la relación,

$$\frac{t_1}{e} \geq 1,4 \quad (3)$$

La fundación puede construirse en hormigón simple (Prescripciones para la Construcción Líneas Aéreas de Energía Eléctrica Mayores de 1 KW, VDE.0210/5.69).

El empleo de este diseño es conveniente para zapatas de altura  $t_1$  no mayor que el tercio de la profundidad  $t$  de la fundación. No es recomendable para valores mayores  $t_1$

$1/3 t$  por resultar antieconómica como consecuencia del excesivo volumen de hormigón resultante. En cambio puede adoptarse la solución en hormigón armado, en cuyo caso ya no es necesario mantener la relación (3).

A continuación se describen los procedimientos de cálculo para dos casos particulares, según se trate de una base cuadrada y momento de vuelco actuando en un plano vertical que contiene a una de las diagonales, o de una base rectangular y momento de vuelco actuando en un plano vertical paralelo a uno de los lados.

### 6.3.1 Base cuadrada y momento de vuelco en plano diagonal.

En la parte superior de la fig. 6.3 se ha representado el diseño de una fundación tipo zapata invertida. El momento de vuelco actúa en el plano vertical que contiene al eje  $Ox$ .

Cálculo del momento resistente lateral:

Sean  $C_1$  y  $C_2$  los valores del coeficiente de compresibilidad del terreno al nivel  $t_1$  de la cara inferior de la zapata y a la profundidad  $t$  de la fundación respectivamente. A partir de dichos valores, desde sus respectivos niveles,

se admitirá una variación lineal del coeficiente de compresibilidad hasta anularse al nivel del terreno.

En la fig. 6.4 se ha representado la superficie de carga total correspondiente a la reacción lateral correspondiente a la reacción lateral del terreno obtenida multiplicando en cada nivel el valor del coeficiente de compresibilidad - por el ancho de la fundación proyectada sobre el plano vertical perpendicular al plano del momento. Se tiene:

$$\overline{EF} = \sqrt{2}a_2C_2 \quad \overline{AB} = \sqrt{2}a_1C_1 \quad (4)$$

En la misma figura,  $G_1$  representa al centro de gravedad del par de triángulos OAC y OBD,  $G_2$  el c. de g. del triángulo DEF, y G el c. de g. de la figura total OACEFDBO. Se tiene:

$$\overline{OG}_1 = \frac{2}{3} t_1 \quad , \quad \overline{OG}_2 = \frac{2}{3} t \quad (5)$$

Sean:

$$\frac{t_1}{t} = \tau \quad , \quad \frac{a_1}{a_2} = \lambda \quad , \quad \frac{C_1}{C_2} = \gamma \quad (6)$$

y además

$$(\lambda\gamma - \tau) = \rho \quad (7)$$

Designando con  $F_1$  y  $F_2$  la superficie del par de triángulos OAC y OBD y la del triángulo OEF respectivamente, se tiene:

$$F_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} a_2 c_2 t, \quad F_1 = F_2 \rho \quad (8)$$

El momento resistente lateral (momento de encastramiento) está dado por:

$$M_S = I_G \operatorname{tang} \alpha \quad (9)$$

donde es  $\operatorname{tang} \alpha = 0,01$ , e  $I_G$  el momento de inercia de la superficie de carga total respecto del eje baricéntrico horizontal. Dicho momento de inercia se determina mediante la expresión:

$$I_G = I_{G_1} + I_{G_2} + F_1 * \overline{G_1 G}^2 + F_2 * \overline{G_2 G}^2, \quad (10)$$

siendo  $I_{G_1}$  e  $I_{G_2}$  los momentos de inercia baricéntricos del par de triángulos OAC y OBD y del triángulo OEF respectivamente, definidos por las expresiones:

$$I_{G_1} = \frac{1}{18} F_1 * t_1^2, \quad I_{G_2} = \frac{1}{18} F_2 * t^2 \quad (11)$$

Además, las distancias  $G_1 G$  y  $G_2 G$  contenidas en la expresión (10) se calculan mediante:



$$\overline{G_1} = \frac{2}{3} t \frac{1 - \tau}{1 + \rho}, \quad \overline{G_2} = \frac{2}{3} t \frac{1 - \tau}{1 + 1/\rho} \quad (12)$$

Cálculo del momento resistente de fondo:

Sea  $G$  el peso total de la fundación más el peso de la estructura y demás cargas verticales permanentes y adicionales que gravitan sobre la misma (cables, aisladores, accesorios, etc.). Dicha carga estática se transmite al terreno a través de la superficie de apoyo  $S_1$  de la zapata y de la superficie  $S_2$  del fondo del bloque, siendo:

$$S_1 = a_1^2 - a_2^2, \quad S_2 = a_2^2$$

Es evidente que del peso total  $G$ , una fracción  $G_1$  se transmitirá al terreno a través de la superficie  $S_1$ . Si  $\lambda$  representa el hundimiento o deformación lineal del terreno bajo las cargas  $G_1$  y  $G_2$ , podrá escribirse:

$$G_1 = C_1 \lambda S_1, \quad G_2 = C_2 \lambda S_2$$

De estas expresiones se obtiene:

$$G_1 = G \frac{C_1 S_1}{C_1 S_1 + C_2 S_2}, \quad G_2 = G \frac{C_2 S_2}{C_1 S_1 + C_2 S_2} \quad (14)$$

Se admitirá que esta repartición de la carga estática

se mantiene aún cuando la estructura está sometida además a la acción de las cargas horizontales que producen el momento de vuelco que se considera en el cálculo.

Se determinarán separadamente los momentos de fondo correspondientes a las cargas  $G_1$  y  $G_2$ . Designemos con  $\sigma'_x$  la presión transmitida al terreno a través del elemento de superficie sombreado situado a la distancia  $x$  del eje  $Oy$ . Análogamente sea  $\sigma''_x$  la presión transmitida a través del mismo elemento de rotación  $\text{tang} \alpha = 0,01$  producida por el momento de vuelco que actúa sobre la fundación. Se observa que mientras  $\sigma'_x$  es constante,  $\sigma''_x$  varía linealmente con  $x$ :

$$\sigma'_x = \frac{G_1}{S_1} = \sigma' = \text{constante}, \quad \sigma''_x = G_1 \text{ tang} \alpha x$$

Designando con  $b_x$  el ancho de la franja elemental de superficie, los productos  $\sigma'_x b_x dx$  y  $\sigma''_x b_x dx$  representan las fuerzas elementales de reacción del terreno sobre la base, correspondientes a la carga estática  $G$  y a la acción del momento de vuelco respectivamente.

Como se desprende de la fig.6.3, el ancho  $b_x$  varía en función de  $x$  de la siguiente manera:

$$\text{Para } 0 \leq |x| \leq \frac{d}{2} : \quad b_x = d_1 - d_2 = \text{constante}$$

$$\text{Para } \frac{d_2}{2} < |x| \leq \frac{d_1}{2} : \quad b_x = d_1 - 2x$$

En la fig. 3 se han trazado los diagramas de carga correspondientes a la carga vertical  $G_1$  (Diagrama 1) y a la rotación provocada por el momento de vuelco (Diagrama 2).

En el diagrama 1 se tiene:

$$\overline{A'_1 B'_1} = \sigma' (d_1 - d_2)$$

Este valor se mantiene constante para  $0 \leq |x| \leq \frac{d_2}{2}$ .

Para  $\frac{d_2}{2} < |x| \leq \frac{d_1}{2}$  se tiene  $\sigma'_x b_x = \sigma' (d_1 - 2x)$ , es decir la ordenada varía linealmente hasta anularse para  $|x| = \frac{d_1}{2}$ .

En el diagrama 2 es:

$$A''_1 B''_1 = \frac{1}{2} C_1 (d_1 - d_2) d_2 \operatorname{tanga}$$

El trazado de este diagrama no ofrece dificultades. - Cabe señalar que en el intervalo  $\frac{d_2}{2} < |x| \leq \frac{d_1}{2}$  la ordenada sigue una variación cuadrática, pero se ha supuesto lineal - por simplicidad y por ser despreciable el error que con ello se introduce. Finalmente mediante superposición de los dia

gramas 1 y 2 se obtiene el diagrama resultante 3. En éste se tiene:

$$\overline{A_1 B_1} = \left( \frac{1}{2} C_1 d_2 \operatorname{tang} \alpha + \sigma' \right) (d_1 - d_2) \quad (15)$$

$$D_1 E_1 = \left( \frac{1}{2} C_1 d_2 \operatorname{tang} \alpha - \sigma' \right) (d_1 - d_2) \quad (16)$$

Se ha obtenido así el diagrama de carga  $Q_1 B_1 H_1$ . Si  $K$  es el centro de gravedad del diagrama, por dicho punto pasará la reacción vertical  $G_1$  del terreno. Es suficiente entonces conocer el valor de  $k$  para poder determinar de inmediato el momento resistente buscado.

Puede demostrarse que:

$$k = \frac{1}{3} \left( \frac{d_1 + d_2}{2} - \frac{\sigma'}{C_1 \operatorname{tang} \alpha} \right) \quad (17)$$

El momento de fondo correspondiente a la carga  $C$  resulta entonces:

$$M_{b_1} = \frac{G_1}{3} \left( \frac{d_1 + d_2}{2} - \frac{\sigma'}{C_1 \operatorname{tang} \alpha} \right) \quad (18)$$

Por otra parte, el momento de fondo correspondiente a la carga vertical  $G_2$  actuando sobre la superficie  $S_2$  se cal

cula con la fórmula conocida:

$$M_{b_2} = \frac{G_2}{2} \left( d_2 - \sqrt[3]{\frac{3G_2}{C_2 \tan \alpha}} \right) \quad (19)$$

Finalmente, el momento resistente de fondo total es:

$$M_b = M_{b_1} + M_{b_2} \quad (20)$$

### 6.3.2 Base rectangular y momento de vuelco en plano paralelo.

La parte superior de la fig. 6.5 representa el diseño de una fundación tipo zapata invertida, de sección rectangular. El momento de vuelco actúa en el plano vertical que contiene al eje Ox.

Cálculo del momento resistente lateral:

Valen las mismas consideraciones expuestas para el caso anterior (base cuadrada y momento de vuelco en plano diagonal). Solo difiere el dimensionado de la superficie de carga (fig. 6.6) correspondiente a la reacción lateral del terreno, que en el presente caso queda definida por:

$$\overline{EF} = b_2 C_2, \quad \overline{AB} = b_1 C_1 \quad (21)$$

Además se tiene:

$$\overline{OG}_1 = \frac{2}{3} t_1 , \quad \overline{OG}_2 = \frac{2}{3} t \quad (22)$$

$$\frac{t_1}{t} = \tau , \quad \frac{b_1}{b_2} = \lambda , \quad \frac{C_1}{C_2} = \gamma \quad (23)$$

$$(\lambda\gamma - \tau) = \rho \quad (24)$$

La superficie  $F_1$  del par de triángulos OAC y OBD y la  $F_2$  del triángulo OEF resultan:

$$F_2 = \frac{1}{2} b_2 C_2 t , \quad F_1 = F_2 \rho \quad (25)$$

El momento resistente lateral está dado por:

$$M_s = I_G \text{ tanga} , \quad (26)$$

donde el momento de inercia  $I_G$  de la superficie de carga  $t_0$  tal respecto del eje baricéntrico horizontal está dado por la expresión:

$$I_G = I_{G_1} + I_{G_2} + F_1 \cdot \overline{G_1 G^2} + F_2 \cdot \overline{G_2 G^2} \quad (27)$$

En esta ecuación, los momentos de inercia  $I_{G_1}$  e  $I_{G_2}$  están definidos por las expresiones:

$$I_{G_1} = \frac{1}{18} F_1 t_1^2, \quad I_{G_2} = \frac{1}{18} F_2 t^2 \quad (28)$$

Las distancias  $G_1 G$  y  $G_2 G$  de la (27) se calculan mediante:

$$G_1 G = \frac{2}{3} t \frac{1 - \tau}{1 + \rho}, \quad G_2 G = \frac{2t}{3} \frac{1 - \tau}{1 + 1/\rho} \quad (29)$$

Cálculo del momento resistente de fondo:

Valen también aquí las mismas consideraciones del caso anterior (parágr. 6.3.1).

Del peso total  $G$ , una fracción  $G_1$  se transmite al terreno a través de la superficie  $S_1$ , y la fracción restante  $G_2$  a través de la superficie  $S_2$ , siendo:

$$S_1 = a_1 b_1 - a_2 b_2, \quad S_2 = a_2 b_2 \quad (30)$$

$$G_1 = G \frac{C_1 S_1}{C_1 S_1 + C_2 S_2}, \quad G_2 = G \frac{C_2 S_2}{C_1 S_1 + C_2 S_2} \quad (31)$$

Para determinar el momento de fondo  $M_{b_1}$  correspondiente

a la carga  $G$  designaremos con  $\sigma'_x$  y  $\sigma''_x$  las mismas magnitudes definidas en el caso anterior. El ancho  $b_x$  de la franja elemental varía de la manera siguiente:

$$\text{Para } 0 \leq |x| < \frac{a}{2} : \quad b_x = b_1 - b_2$$

$$\text{Para } \frac{a_2}{2} \leq |x| \leq \frac{a_1}{2} : \quad b_x = b_1$$

Además se tiene:

$$\sigma'_x = \frac{G_1}{S_1} = \sigma' = \text{constante} \quad \sigma''_x = C_1 \operatorname{tang} \alpha \cdot x$$

El diagrama 1, correspondiente a la carga vertical  $G$ , queda definido por  $A'_1 B'_1 = \sigma' b$  y  $M'_1 N'_1 = \sigma' (b_1 - b_2)$ .

En el diagrama 2 se tiene:

$$\overline{A''_1 B''_1} = C_1 \operatorname{tang} \alpha \cdot \frac{a_1}{2} \cdot b_1 = \frac{1}{2} C_1 a_1 b_1 \operatorname{tang} \alpha$$

$$\overline{D''_1 H''_1} = C_1 \operatorname{tang} \alpha \cdot \frac{a_2}{2} \cdot b_1 = \frac{1}{2} C_1 a_2 b_1 \operatorname{tang} \alpha$$

$$\overline{D''_1 E''_1} = C_1 \operatorname{tang} \alpha \cdot \frac{a_2}{2} (b_1 - b_2) = \frac{1}{2} C_1 a_2 (b_1 - b_2) \operatorname{tang} \alpha$$

De la superposición de los diagramas 1 y 2 se obtiene el diagrama resultante 3. En éste se tiene:



$$\overline{A_1 B_1} = \sigma' b_1 + \frac{1}{2} C_1 a_1 b_1 \operatorname{tanga} = \left( \frac{1}{2} C_1 a_1 \operatorname{tanga} + \sigma' \right) b_1 \quad (32)$$

$$\overline{D_1 H_1} = \sigma' b_1 + \frac{1}{2} C_1 a_2 b_1 \operatorname{tanga} = \left( \frac{1}{2} C_1 a_2 \operatorname{tanga} + \sigma' \right) b_1 \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \overline{D_1 E_1} &= \sigma' (b_1 - b_2) + \frac{1}{2} C_1 a_2 (b_1 - b_2) \operatorname{tanga} = \\ &\left( \frac{1}{2} C_1 a_2 \operatorname{tanga} + \sigma' \right) (b_1 - b_2) \end{aligned} \quad (34)$$

Se ha obtenido así el diagrama de carga  $Q_1 A_1 B_1 H_1 E_1 Q_1$ . Si  $K$  es el centro de gravedad de dicho polígono, por tal punto pasará la reacción vertical  $G_1$  del terreno.

Si se conoce  $k$  podrá entonces determinarse de inmediato el momento resistente buscado.

Designando con  $F'_1$  la superficie del triángulo  $Q_1 D_1 E_1$  y con  $F'_2$  la del trapecio  $D_1 A_1 B_1 H_1$ , se tiene:

$$F'_1 = \frac{1}{2} (b_1 - b_2) \left[ \sigma' \left( a_2 + \frac{\sigma'}{C_1 \operatorname{tanga}} \right) + \frac{1}{4} C_1 a_2^2 \operatorname{tanga} \right] \quad (35)$$

$$F'_2 = \frac{1}{8} (a_1 - a_2) b_1 \left[ C_1 (a_1 + a_2) \operatorname{tanga} + 4\sigma' \right] \quad (36)$$

Puede demostrarse la relación:

$$k = \frac{1}{3} \frac{F'_1}{F'_1 + F'_2} \left( a - \frac{\sigma'}{C_1 \tan \alpha} \right) + \frac{1}{4} \frac{F'_2}{F'_1 + F'_2} (a_1 + a_2) \quad (37)$$

El momento de fondo correspondiente a la carga  $G$  será:

$$M_{b_1} = G_1 k \quad (38)$$

El momento de fondo correspondiente a la carga  $G_2$  actuando sobre la superficie  $S_2$  se calcula mediante la conocida expresión:

$$M_{b_2} = G_2 \left( \frac{a_2}{2} - 0,47 \sqrt{\frac{G_2}{b_2 C_2 \tan \alpha}} \right) \quad (39)$$

El momento resistente de fondo total resulta entonces:

$$M_b = M_{b_1} + M_{b_2} \quad (40)$$

#### 6.4 FUNDACION PRISMÁTICA

El empleo de la fundación tipo zapata invertida tiene importancia en terrenos de capacidad portante relativamente baja. En terrenos muy resistentes no tiene aplicación por cuanto la fundación prismática reducida a sus dimensiones mínimas compatibles con el recubrimiento necesario del soporte empotrado en ella alcanza y sobrepasa generalmente el momento resistente requerido.

En los casos intermedios, es decir de terrenos de resistencia media, puede resultar conveniente el empleo del tipo de fundación prismática calculada con la consideración no solo del coeficiente de compresibilidad de fondo  $C_2$  sino también del valor medido  $C_1$  a la profundidad media  $t/2$ .

#### 6.4.1 Base cuadrada y momento de vuelco en plano diagonal.

Partiendo de las consideraciones y ecuaciones establecidas en 6.3.1, es fácil obtener las que corresponden a este caso, haciendo  $a_1 = a_2 = a$ ,  $t_1 = t/2$  (fig. 6.7 y 6.8).

Cálculo del momento resistente lateral:

Teniendo en cuenta que en este caso es  $\tau = 1/2$  y  $\lambda = 1$ , se obtiene:

$$\rho = \frac{\gamma}{2} - \frac{1}{4}, \quad (41)$$

con lo que resultan las siguiente expresiones:

$$F_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} a C_2 t, \quad F_1 = F_2 \rho \quad (42)$$

$$M_s = I_G \text{ tanga} \quad (43)$$

$$I_G = I_{G_1} + I_{G_2} + F_1 \cdot \overline{G_1 G}^2 + F_2 \cdot \overline{G_2 G}^2 \quad (44)$$

$$I_{G_1} = \frac{1}{72} F_1 t^2 \quad I_{G_2} = \frac{1}{18} F_2 t^2 \quad (45)$$

$$\overline{G_1 G} = \frac{1}{3} \frac{t}{1 + \rho}, \quad \overline{G_2 G} = \frac{1}{3} \frac{t}{1 + 1/\rho} \quad (46)$$

Cálculo del momento resistente de fondo:

Se aplica la expresión conocida:

$$M_b = \frac{G}{2} \left( \sqrt{2a} - \sqrt[3]{\frac{3G}{C_2 \tan \alpha}} \right) \quad (47)$$

#### 6.4.2 Base rectangular y momento de vuelco en plano paralelo.

Las ecuaciones correspondientes a este caso se obtienen a partir de las del parágr. 6.3.2, haciendo  $a_1 = a_2 = a$ ,  $b_1 = b_2 = b$ ,  $t = t/2$  (fig. 6.9 y 6.10).

Cálculo del momento resistente lateral:

Siendo  $\tau = 1/2$  y  $\lambda = 1$ , resulta:

$$\rho = \frac{\gamma}{2} - \frac{1}{4} \quad (48)$$

con lo que se obtienen las siguientes expresiones:

$$F_2 = \frac{1}{2} b C_2 t, \quad F_1 = F_2 \rho \quad (49)$$

$$M_s = I_G \operatorname{tang} \alpha \quad (50)$$

$$I_G = I_{G_1} + I_{G_2} + F_1 \cdot G_1 G^2 + F_2 \cdot G_2 G^2 \quad (51)$$

$$I_{G_1} = \frac{1}{72} F_1 t^2, \quad I_{G_2} = \frac{1}{18} F_2 t^2 \quad (52)$$

$$G_1 G = \frac{1}{3} \frac{t}{1 + \rho}, \quad G_2 G = \frac{1}{3} \frac{t}{1 + 1/\rho} \quad (53)$$

Cálculo del momento resistente de fondo:

Se aplica la expresión:

$$M_b = G \left( \frac{a}{2} - 0,47 \sqrt{\frac{G}{b C_2 \operatorname{tang} \alpha}} \right) \quad (54)$$

## 7. COSTOS DE CONSTRUCCION

### 7.1 GENERALIDADES

En el cálculo de estos costos se ha considerado los rendimientos obtenidos en faenas ejecutadas últimamente en compañías constructoras de nuestro medio.

Estos rendimientos consideran una ejecución con un grado de mecanización adecuado a obras de importancia, como lo es una línea de transmisión actualmente en el Ecuador.

Los ítem considerados se detallan a continuación. Los cálculos se efectúan de acuerdo a fórmulas empíricas, por lo cual solo puede considerarse como una estimación para los fines de un presupuesto total.

Además se hace notar que los cálculos pierden precisión para líneas muy cortas en cuyo caso deberá aumentarse el costo de faenas.

### 7.2 COSTO DIRECTO DE JORNALES

A continuación se detalla el cálculo del número de hom bres-día por kilómetro de línea estimados para cada faena.

### 7.2.1 Tendido y templado de conductores y cable de tierra

Consiste en la faena de instalación de cables pasándo los sobre poleas instaladas en cada punto de suspensión por medio de un cable de acero, manteniendo una tensión mecánica constante por medio de equipos especiales de tracción y frenado, la distancia entre extremos es usualmente de 3 Km, en terreno normal. Además se considera la ejecución de uniones, traslados de equipos y la regulación final (templado) de los conductores.

Se presupuestan 10 HD por Km. por movimientos de equipos. A esto se agrega un rendimiento de 13,3 HD/km por tendido y templado de cada cable en función de su sección en el caso de los conductores, esta función es empírica e igual a:

$$0,6 + 0,4 \frac{S}{382} \quad (S = \text{sección en mm}^2)$$

Para el cable de tierra se supone la cantidad constante de 13,3 HD/Km.

Finalmente se obtiene la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} \text{HTYT} = & 40(0,25 + \text{NSC} \times \text{NCIRC} (0,6 + 0,4 \frac{S}{382}) \\ & + \frac{\text{TIERRA}}{3}) \quad (\text{HD/Km}) \end{aligned}$$

NSC = N° de conductores por fase  
 NCIRC = N° de circuitos  
 TIERRA = N° de cables de tierra

### 7.2.2 Preparación del tendido

Consiste en la instalación de cadenas de aisladores y poleas en cada torre, e instalación a mano de cables y cuerdas piloto para el arrastre del conductor, además incluye instalación de protecciones en cada luz en el punto en que el conductor está más bajo.

Se estima en función del número de soportes (ATOR) y de la altura total de ellas (ALTLP) en metros.

$$HPT = N_{\text{soportes}} * ALTLP * (0.6 + 0.4(NCIRC + TIERRA) / 8)$$

### 7.2.3 Roce y despeje de vía

Comprende roce y despeje de la faja de servidumbre, - arreglo de caminos y senderos para tránsito de equipos de tendido incluye indemnizaciones por daños a los propietarios.

Se estima un hombre - día por metro de ancho de la faja.



$$\text{HROC} = \text{FAJA} \quad (\text{FAJA} = \text{Ancho en metros})$$

#### 7.2.4 Erección y montaje de estructuras

El costo de la hincada de poste (CHP) se estima en base a la experiencia obtenida en la línea 69 Kv. Guayaquil-Daule y se calcula así:

$$\text{CHP (S/. POSTE)} = 1,6 \text{ PESO (Kg/POSTE)}$$

*506 Kg*

*4400 - 11,5 m*  
?

De aquí que los hombre-día por hincada de poste es:

$$\text{HERP} = 1,6 * \text{PESO} * 1000 / (\text{VANO} * \text{CHD})$$

Siendo CHD, costo de hombre-día.

La mano de obra en montaje de estructuras se estima en 14/8 hombres-días en un poste de 14 metros. Se considera que al aumentar la altura del poste disminuye la eficiencia de la mano de obra a razón de 5% por metro.

La eficiencia (N%) en función de la altura (ALTLP) del poste es:

$$N\% = 100 - (\text{ALTLP} - 14) * 5$$

$$N\% = 170 - 5*ALTLP$$

$$HMEST = 1.75*10**5/(VANO*(170-ALTLP)) \text{ (HOMBRES-DIA)}$$

#### 7.2.5 Engrampado y espaciadores

Consiste en la fijación de los conductores y cables de tierra, retiro de poleas e instalaciones de amortiguadores.

El rendimiento es de 2HD por punto de suspensión.

$$HENG = 2*(NSOPORTES*(1.1 \text{ NCIRC} + \text{TIERRA}))$$

#### 7.2.6 Replanteo

Consiste en replantar en los terrenos, la ubicación de estructuras y ejecución de caminos de acceso.

Se ha obtenido en promedio un costo total incluyendo uso de equipos, igual a 17 hombre-día por soporte.

$$HR = 17*NSOPORTES$$

### 7.2.7 Ejecución de Fundaciones

Se han obtenido los siguientes rendimientos medios de la mano de obra en faenas de empresas particulares.

Moldajes : 1 HD/m<sup>3</sup> de hormigón

Excavación : 1 HD/m<sup>3</sup> de excavación

Rellenos compactados: 0.15 HD/m<sup>3</sup> de relleno (RELL)

Además se consideran los materiales de fundación tales como:

Moldajes con un equivalente a 0.35 HD/m<sup>3</sup> de hormigón

Aquí no hemos tomado en cuenta el valor en sí de la fundación, por cuanto esto lo tenemos en un tema aparte, además asumimos que el volumen de excavación va a ser igual al volumen de hormigón.

Número total de hombres-días para ejecución de fundaciones por Km. de línea.

$$HFUND = 2.5 * VHF$$

### 7.2.8 Número total de hombres-día

El número total de hombres-día por Km. de línea en la construcción es:

$$\begin{aligned} \text{NHDT} = & \text{HTYT} + \text{HPT} + \text{HERP} + \text{HMET} + \text{HENE} + \text{HR} \\ & + \text{HFUND} + \text{HROC} \end{aligned}$$

### 7.2.9 Costo de jornales

$$\text{CJORN} = \text{NHDT} * \text{CHD}$$

CHD = Costo del hombre - día incluyendo jornal, leyes sociales, regalías, asignaciones de estímulo y de zona.

### 7.2.10 Costos generales y prorrateo

Se supone un plazo medio de construcción de 10 Km. por mes.

Si la línea tiene una longitud L (Km.), el plazo de ejecución será:

$$P = \frac{L}{10} \text{ (meses)}$$

El número medio de obreros ocupados será

$$Nm = \frac{NHDT * L}{P * 25} = \frac{NHDT}{2,5}$$

(se supone 25 días trabajados por mes)

Para la administración se presupuesta un técnico supervisor por cada 10 obreros, con un costo equivalente al triple del obrero, más un 20% por gastos fijos de seguridad, acción social, bienestar y atención de la salud.

Gasto total de administración:

$$ADM = \frac{Nm}{10} * 3 * CHD * 1,2$$

$$CAD = NHDT * 3 * CHD * 1,2/25$$

$$CAD = 1,44 * CJORN$$

Costo de equipamiento de obreros y depreciación de equipos de construcción.

La experiencia recogida de las últimas faenas de empresas particulares aconseja estimar una cifra global igual al 25% del costo de los jornales:

$$CEQ = 0,25 * CJORN$$

Costo de campamentos y bodegas, se estima también en una cifra global, igual al 6% del costo de los jornales, ésta cifra es muy variable en la práctica dependiendo de la ubicación de la línea con respecto a centros poblados y condiciones de la zona:

$$\text{CAMP} = 0.06 * \text{CJORN}$$

#### 7.2.11 Costo total de construcción

$$\text{CFNS} = \text{CJORN} + \text{CAD} + \text{CEQ} + \text{CAMP}$$

## 8. METODO DE EVALUACION ECONOMICA

### 8.1 GENERALIDADES

En esta parte se analiza, para la evaluación económica, la actualización del capital.

Se compara costos actualizados de los elementos que constituyen el proyecto, es decir lo que costaría una inversión en el presente, de las diversas alternativas que nos presenta este programa

El método de la actualización está basado en el hecho de que cierto bien económico disponible, en una fecha futura tiene menos valor que si estuviese disponible en la actualidad.

Desde el punto de vista del consumidor, una disponibilidad futura del bien, frente a una disponibilidad actual de él, significa finalmente una postergación en las satisfacciones de sus necesidades. Desde el punto de vista del productor, el disponer de un recurso económico actual le permite, mediante la actividad de producción, recuperar en el futuro y con creces, los medios empleados.

## 8.2 TASA DE ACTUALIZACION Y TASA DE INTERES

El concepto de "Tasa de Actualización", es de sentido totalmente económico y no implica necesariamente valores monetarios, ni menos aún, un tipo dado de economía.

La "Tasa de Interés" es una consecuencia del fenómeno económico de preferencia por el presente, pero que contiene ciertas deformaciones con respecto a la tasa de actualización, provocados por las influencias de coyunturas de corto plazo, riesgos esperados, aspectos de liquidez, etc., - en los pequeños mercados reales.

Por lo anterior, la "Mecánica Algebraica" de la técnica de actualización es similar a la mecánica de las matemáticas financieras, sin que ésto signifique analogías de conceptos.

La tasa de actualización es un instrumento de selección económica, mientras que la tasa de interés puede ser un instrumento de enriquecimiento, o como se dice vulgarmente, una tasa de interés la fija y utiliza un prestamista, mientras que una tasa de actualización la emplea un formador de decisiones. Es ésta una de las razones básicas, por lo que se ha decidido la actualización de capital para



la evaluación económica.

En el programa se actualizan los costos de construcción, cuando ellos se realizan en fechas posteriores, y el costo de materiales. Utilizamos la siguiente fórmula matemática para la actualización:

$$C = \frac{D}{(1 + TAC)^{NA}} \quad \text{donde:}$$

C = Costo o Capital Actualizado

D = Costo o Capital en una fecha posterior

TAC = Tasa de Actualización

NA = Número de años a la actualización

En las condiciones especificadas, llevarían a la conclusión de la comparación de alternativas que deberían extenderse hasta el infinito. Estas comparaciones las podemos hacer, actualizando los costos y el capital en un período sumamente grande, considerando que en ese período las diferencias económicas existentes van a ser tan pequeñas - que las consideramos para la selección de alternativas y podemos entonces decir que éstas han sido comparadas al infinito.

En cuanto a los diferentes tipos de instalaciones, se

tienen varios tipos, para una terna, o dos ternas (que es la que analiza el programa), en cuanto al escoger el uso de una o dos ternas, en la subrutina de "Cálculo de Pérdidas de Potencia y Energía" calcula si es o no necesario el uso de una segunda terna y el año en que ésta debe ser instalada, y actualiza entonces el costo más económico de esa línea con ese conductor; con estos datos va entonces a la comparación de los diversos tipos de instalaciones, para una o dos ternas.

### 8.3 TIPOS DE INSTALACIONES

En el programa de computación se han escogido ocho tipos de instalaciones, cuatro para cuando son de una sola terna y cuatro cuando son de dos ternas.

Los tipos de instalaciones se muestran en la fig. 8.1

## 9. PROGRAMA DE COMPUTACION

### 9.1 GENERALIDADES

Ideado con la finalidad de agilizar el proceso de cálculo de un diseño de líneas de transmisión construídas con soportes de hormigón armado.

Este programa calcula el conductor, vano, soporte y fundación más económica de entre varias alternativas propuestas, mediante el uso de la "actualización" del capital y por una comparación directa escoje cual de ellos es el más económico.

### 9.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA

Ha sido dividido en 6 programas principales debido a la falta de capacidad de memoria de la máquina IBM 1130 y por así facilitarnos el enlazamiento que, para efecto de los cálculos que se tienen que realizar, se deben efectuar entre programa y programa.

Dichos programas son:

- a) ESPHL.- Con el que realmente iniciamos el proceso

de cálculo. Sirve para leer los datos de entrada, de las características tanto de los conductores a analizar, condiciones climatéricas, características de la zona, estructura de la línea que se va a instalar, además enlaza al siguiente programa.

- b) PRP1.- Realmente se lo deberfa llamar "Cálculo del conductor económico", ya que es este programa el - que nos calcula las pérdidas de potencia y energía, mediante el cálculo de las pérdidas por disipación en la línea, debido a la circulación de corriente - solicitada por la demanda de la zona. Este progr<sup>a</sup>ma además analiza la entrada de la segunda terna, - cuando analizamos dos ternas de la manera más eco- nómica posible, ya que se calcula el costo de la lí- nea con dos ternas durante los años de vida útil - del conductor y escoge de entre ellas cual es la manera de entrar en su forma más económica.

Para evitar errores en el cálculo de comparación - económica, se ha proyectado la actualización hasta un límite tan grande, que podríamos decir estamos - comparando hasta el infinito. Este programa se enlaza con el siguiente:

- c) PRP2.- Utiliza dos subrutinas, CMCEC y EFURP. Mediante la primera calculamos las flechas y tensiones del conductor que se está analizando, escogiendo este programa la máxima flecha ya que este dato es necesario para ir a la subrutina EFURP, donde se calcula la fuerza que actúa sobre el soporte debido a la presión del viento sobre los conductores. Después de realizar estos cálculos mediante la utilización de esas subrutinas y mediante una comparación de una constante que nos determina el tipo de configuración, determina a cual de los programas, PRP3, PRP4, debe enlazar.
- d) PRP3, PRP4.- La finalidad de estos programas son calcular los costos del soporte para la línea que se analiza. Son dos tipos, el primero cuya base tiene la forma de octógono, y el segundo redondo. En esta parte en realidad nos calcula las áreas ficticias de la configuración y con éstos datos llama a la subrutina CMF y ésta a su vez llama a otras que realiza en sí los cálculos del diseño y costo del soporte. Este programa enlaza con el último, de este proceso.

- e) PRP5.- Utiliza tres subrutinas: FUNDA, CCONS y SALRE. Programa que con los datos venidos de los programas anteriores utiliza la subrutina FUNDA para calcularnos la fundación más económica que se debe emplear en la construcción de la línea, - con la subrutina CCONS que representa los costos de construcción, calcula los costos de la mano de obra necesaria en dicha obra.

Mientras va analizando las probabilidades de variación económica, escoge la probabilidad más baja y va almacenando en la memoria, una vez que se ha terminado todo el proceso de cálculo lleva a realizar una comparación de:

- 1.- si se ha terminado de analizar todos los vanos propuestos, de no ser así, nos enlaza con PRP2 y si ha terminado de analizar, realiza la otra comparación.
- 2.- si se ha terminado de analizar todos los conductores propuestos, de no ser así nos enlaza con el programa PRP1, y de haber terminado de analizar todos los conductores llama a la sub-

rutina SALRE que es la que escribe los resultados de la probabilidad más económica de diseño.

Para un mejor entendimiento ver los diagramas de flujo que se muestra en páginas siguientes.

### 9.3 LIMITACIONES DEL PROGRAMA

Está propuesto para que analice como máximo diez conductores, dos formas de soporte, redondo y octogonal, y ocho tipos de instalaciones de líneas, una terna con y sin hilo de guardia, dos ternas con y sin hilo de guardia en configuración simple, es decir en un sólo soporte, aún cuando el uso de dos ternas en un sólo soporte no es muy aconsejable, por cuanto el costo sube grandemente, luego tenemos una terna con y sin hilo de guardia y dos ternas con y sin hilo de guardia en tipo Pórtico, es decir en dos soportes, convenientemente dispuestos. Para un mayor entendimiento ver fig. 8.1.

### 9.4 VARIABLES DE ENTRADA

Las variables y su formato para la entrada de datos se lo indica en las páginas siguientes.

| TARJETA | VARIABLE | DESCRIPCION                                | FORMATO | COLUMNAS |
|---------|----------|--|---------|----------|
| 1       | TITU     | Título de la línea a analizar              | 20 A4   | 1 - 80   |
| 2       | NC       | Número de conductores a analizar "NC 10"   | I6      | 1 - 6    |
|         | N        | Número de Fases                            | I6      | 7 - 12   |
|         | NTERN    | Número de Ternas                           | I6      | 13 - 18  |
|         | M        | Número de hilo de guardia                  | I6      | 19 - 24  |
|         | NCLIM    | Número de condiciones climáticas "NCLIM 6" | I6      | 25 - 30  |
|         | EI       | Módulo de elasticidad inicial              | F10.4   | 31 - 40  |
|         | EF       | Módulo de elasticidad final                | F10.4   | 41 - 50  |
|         | ALFA     | Coefficiente de expansión                  | F10.4   | 51 - 60  |
|         | KCNST    | Constante adicionada al peso del conductor | F10.4   | 61 - 70  |
| 3       | SPNIN    | Vano inicial (m)                           | F5.0    | 1 - 5    |
|         | SPNFN    | Vano final (m)                             | F5.0    | 6 - 10   |
|         | ANI      | Año inicial de la demanda                  | F5.0    | 11 - 15  |
|         | ANF      | Año final de la demanda                    | F5.0    | 16 - 20  |
|         | FADE     | Factor de ajuste de la demanda             | F10.3   | 21 - 30  |
|         | CPDP     | Costo de pérdida de potencia (sucres)      | F10.3   | 31 - 40  |
|         | CPEN     | Costo de pérdida de energía (sucres)       | F10.3   | 41 - 50  |
|         | TAC      | Tasa de actualización                      | F10.3   | 51 - 60  |
|         | ANE      | Año de entrada de la segunda terna         | F10.3   | 61 - 70  |



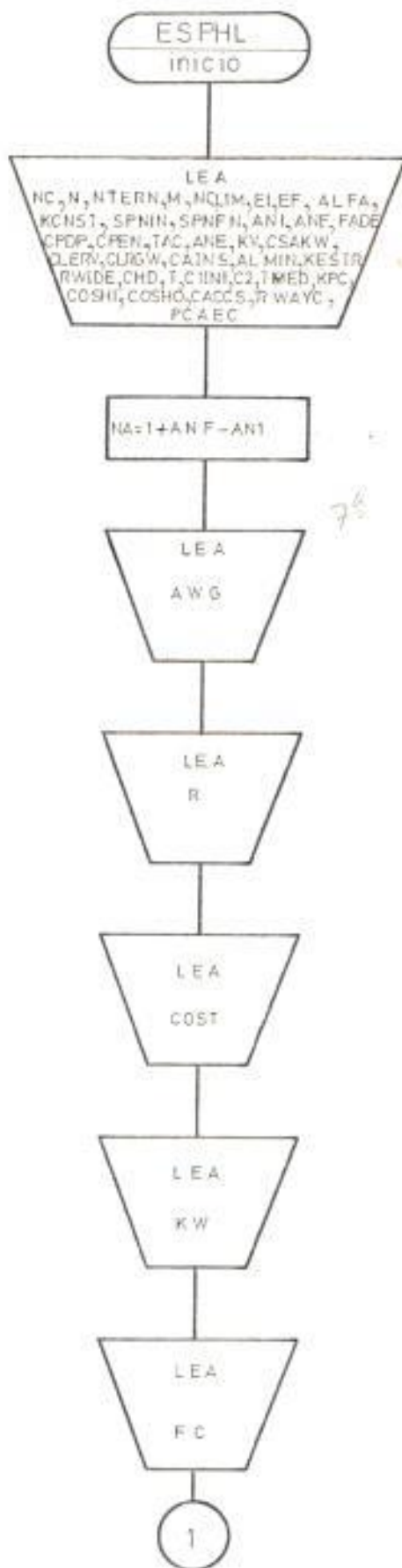
|   |       |  |       |         |
|---|-------|--|-------|---------|
|   | KV    | Voltaje de funcionamiento de la línea(KV)  | F5.0  | 71 - 75 |
|   | CSAKW | Potencia de saturación del conductor(KW)   | F5.0  | 76 - 80 |
| 4 | CLERV | Distancia entre fase y fase (m)  | F10.4 | 1 - 10  |
|   | CLRGW | Distancia entre fase e hilo de guardia (m)   | F10.4 | 11 - 20 |
|   | CAINS | Longitud de la cadena de aisladores (m)  | F10.4 | 21 - 30 |
|   | ALMIN | Altura mínima a la fase (m)  | F10.4 | 31 - 40 |
|   | KESTR | Clase de estructura empleada<br>= 0 Configuración ortogonal<br>= 1 Configuración redonda | I1    | 41 - 41 |
| 5 | RWIDE | Costo de derecho de ancho de via (sucres)  | F10.4 | 1 - 10  |
|   | CHD   | Costo de un hombre día (sucres)  | F10.4 | 11 - 20 |
|   | T     | Profundidad de la fundación  | F10.4 | 21 - 30 |
|   | CIINI | Coefficiente de compresibilidad a la profundidad T (m)                                   | F10.4 | 31 - 40 |
|   | C2    | Coefficiente de compresibilidad T med  | F10.4 | 41 - 50 |
|   | TMED  | Profundidad a la que se mide C2 (m)  | F10.4 | 41 - 60 |
|   | KPC   |  | I1    | 61 - 61 |
| 6 | COSHI | Costo del hierro (sucre/kilogramo)   | F10.4 | 1 - 10  |
|   | COSHO | Costo del hormigón (sucre/m <sup>3</sup> )   | F10.4 | 11 - 20 |

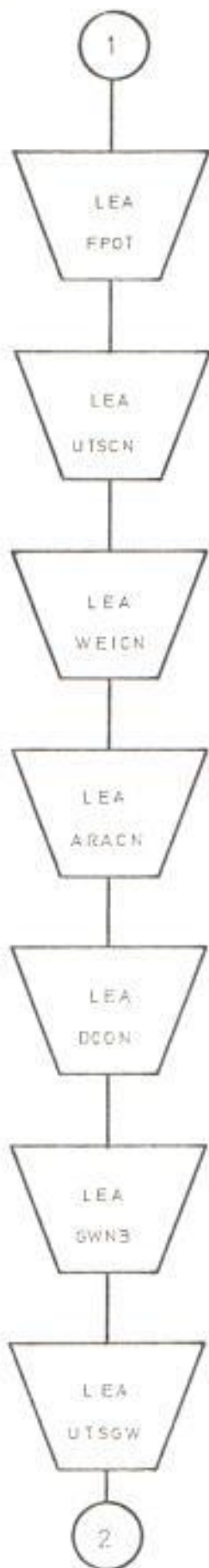
|    |       |  |                             |  |   |
|----|-------|--|-----------------------------|--|---|
|    | CACCD | Costo de accesorios, aisladores y crucetas (sucres)              |                             | F10.4                                      | 21 - 30                                     |
|    | RWAYC | Ancho de derecho de via (m)                                      |                             | F10.4                                      | 31 - 40                                     |
|    | PCAEC | Peso de accesorios, cadena de aisladores y crucetas (kilogramos) |                             | F10.4                                      | 41 - 50                                     |
| 7  | AWG   | Nombre del conductor (máximo 2 tarjetas)                         | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC      | 5A2<br>5A2<br>:<br>:<br>5A2                | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:            |
| 8  | R     | Resistencia del conductor ( $\Omega$ /KM)                        | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC      | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>21 - 30<br>:<br>:      |
| 9  | COST  | Costo del conductor (sucres/m)                                   | 1<br>2<br>3<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>21 - 30<br>:<br>:<br>: |
| 10 | KW    | kilovatios de la demanda (máximo 3 tarjetas)                     | 1<br>2<br>:<br>:<br>NA      | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:            |
| 11 | FC    | Factor de carga (máximo 3 tarjetas)                              | 1<br>2<br>:<br>:<br>NA      | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:            |
|    |       |  |                             |  |   |

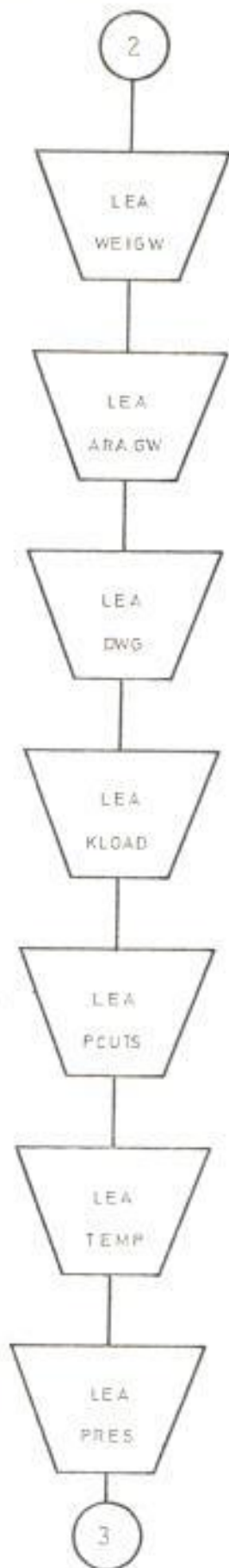
|    |       |   |                        |                                   |  |
|----|-------|---|------------------------|-----------------------------------|--|
| 12 | FPOT  | Factor de potencia (máximo 3 tarjetas)            | 1<br>2<br>:<br>:<br>NA | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>71 - 80 |
| 13 | UTSCN | UTS del conductor (Kg)                            | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:       |
| 14 | WEICN | Peso del conductor (Kg/MT)                        | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:       |
| 15 | ARACN | Area transversal del conductor (mm <sup>2</sup> ) | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:       |
| 16 | DCON  | Diámetro del conductor (MT)                       | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:       |
| 17 | GWNB  | Nombre del hilo de guardia                        | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:       |
| 18 | UTSGW | UTS del hilo de guardia (Kg)                      | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:       |
|    |       |   |                        |                                   |  |

|    |       |  |  |  |   |
|----|-------|--|--|--|---|
| 19 | WEIGW | Peso del hilo de guardia (Kg/mt)   | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC                   | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:                |
| 20 | ARAGW | Area del hilo de guardia (mm <sup>2</sup> )  | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC                   | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:                |
| 21 | DGW   | Diámetro del hilo de guardia (mts)   | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC                   | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:                |
| 22 | COSTG | Costo del hilo de guardia (sucres/mt)  | 1<br>2<br>:<br>:<br>NC                   | F10.4<br>F10.4<br>:<br>:<br>F10.4          | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:                |
| 23 | KLOAD | Si se consideran las cuatro condiciones climáticas será KLOAD (1) = 1, KLOAD(2) = 2, ... KLOAD (4) = 4 | 1<br>2<br>:<br>:<br>:<br>:<br>:<br>NCLIM | I10<br>I10<br>:<br>:<br>:<br>:<br>:<br>I10 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:<br>:<br>:<br>: |
| 24 | PCUTS | Porcentaje de UTS del conductor en cada condición climática  | 1<br>2<br>:<br>:<br>:<br>NCLIM           | F10.2<br>F10.2<br>:<br>:<br>:<br>F10.2     | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:<br>:           |
| 25 | TEMP  | Temperatura de cada condición climática (°C)   | 1<br>2<br>:<br>:<br>:<br>NCLIM           | F10.2<br>F10.2<br>:<br>:<br>:<br>F10.2     | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>:<br>:           |
|    |       |  |  |  |   |

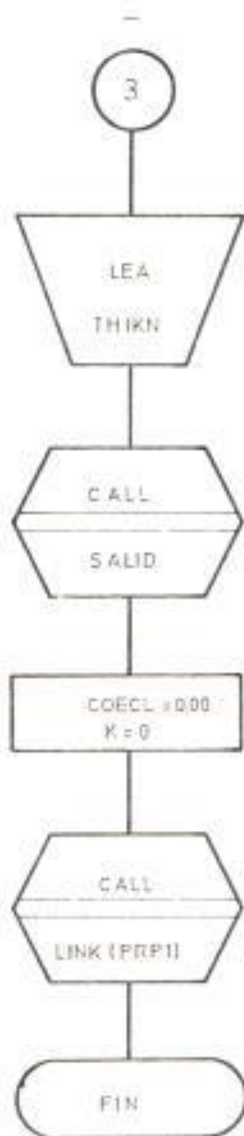
|    |       |   |                              |                                  |
|----|-------|---|------------------------------|----------------------------------|
| 26 | PRES  | Presión del vien 1<br>to en sus diver- 2<br>sas condiciones cli :<br>máticas (Kg/seg.mt) :<br>NCLIM | F10.2<br>F10.2<br>:<br>F10.2 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>: |
| 27 | THIKN | Espesor del hie- 1<br>lo en diversas 2<br>condiciones cli- :<br>máticas (mts) :<br>NCLIM            | F10.4<br>F10.4<br>:<br>F10.4 | 1 - 10<br>11 - 20<br>:<br>:<br>: |

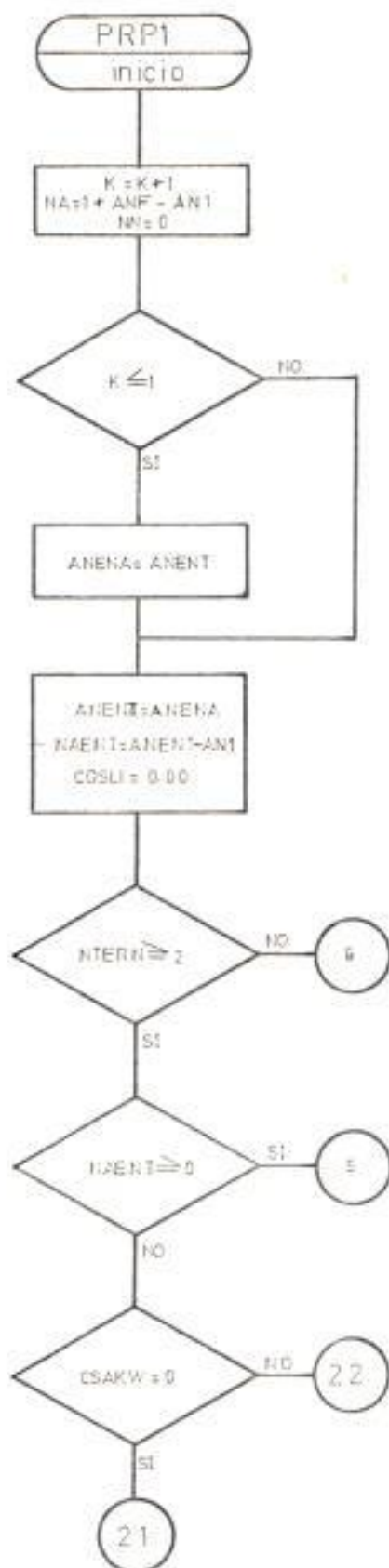


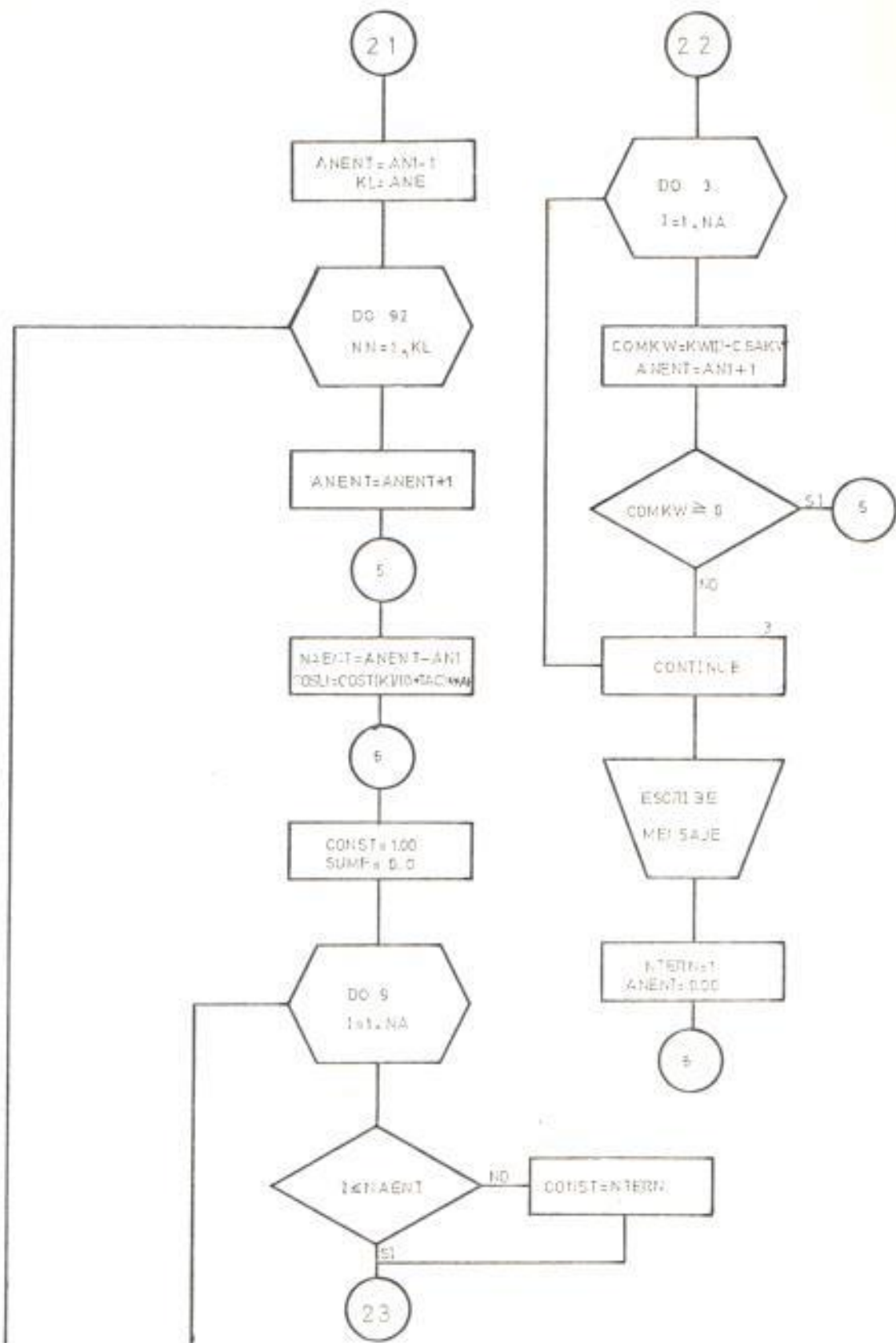


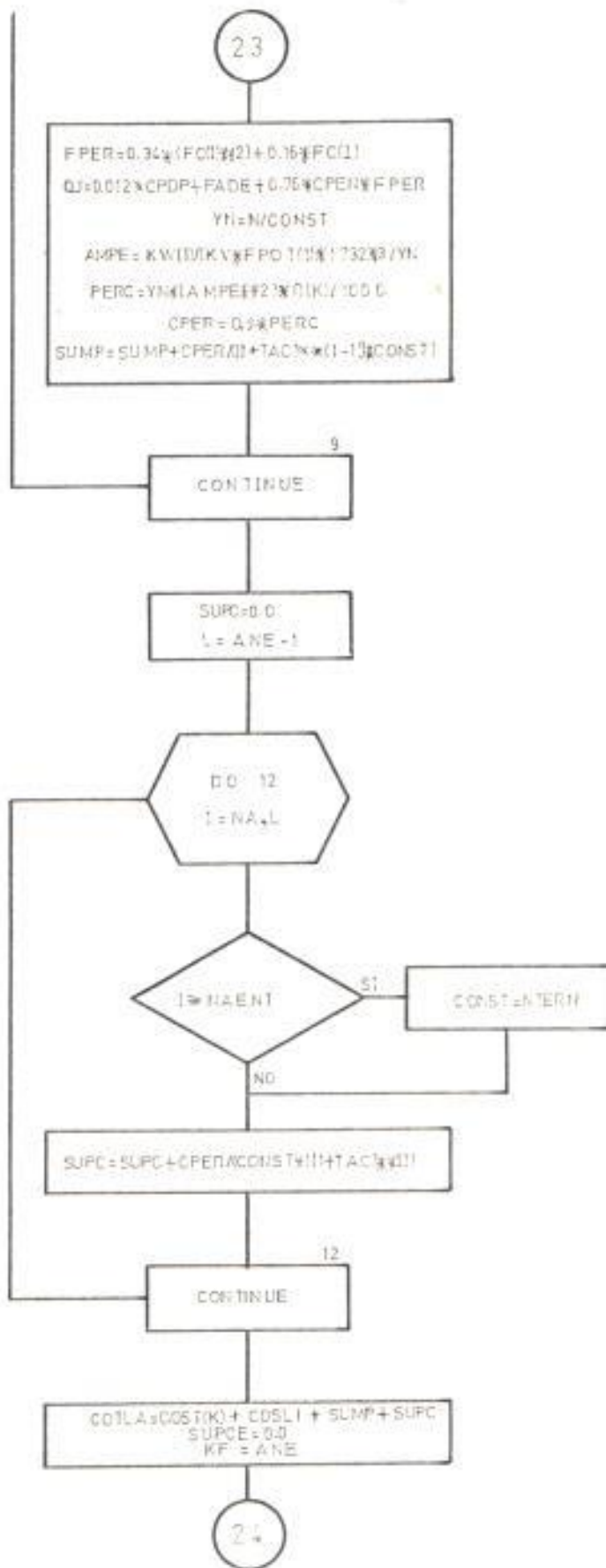


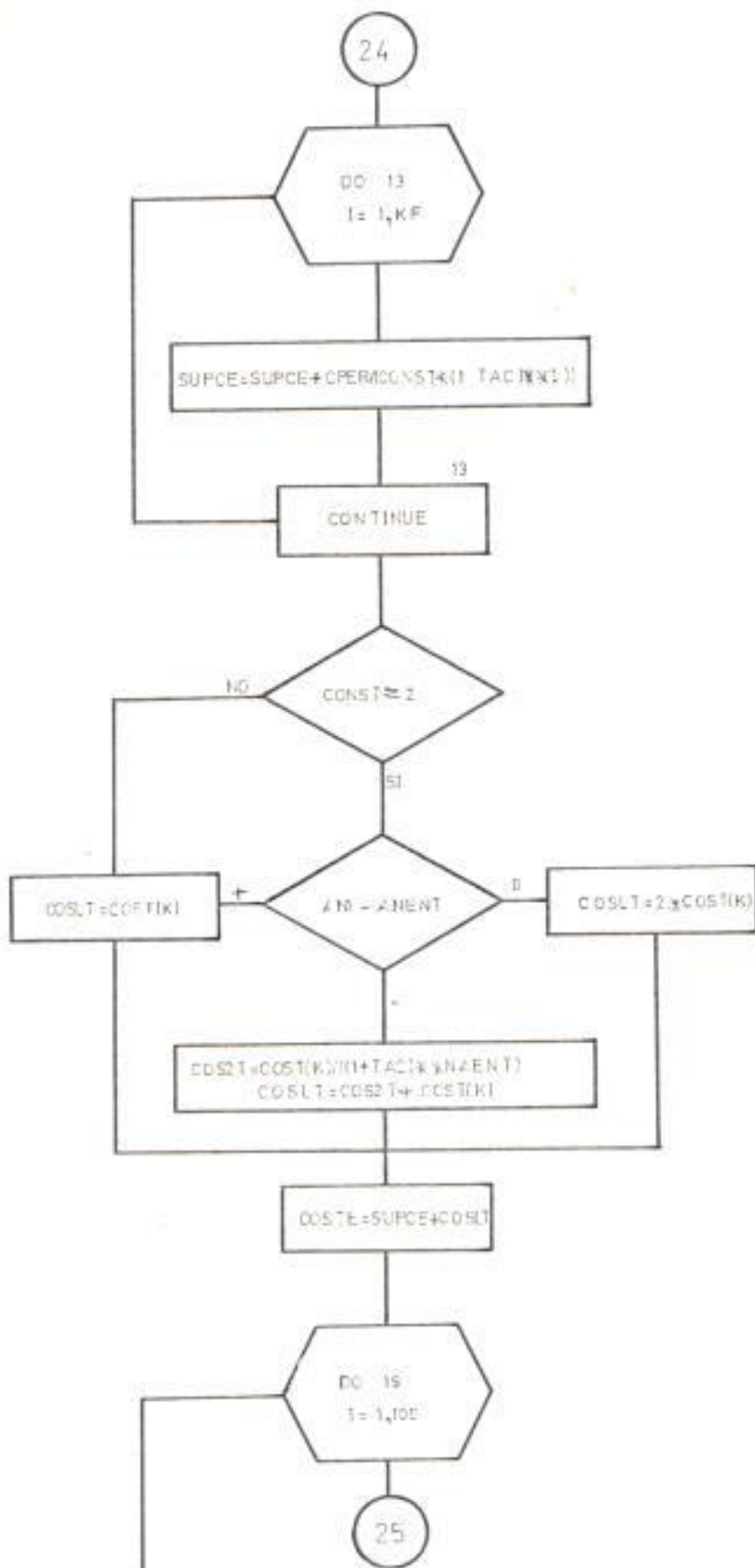


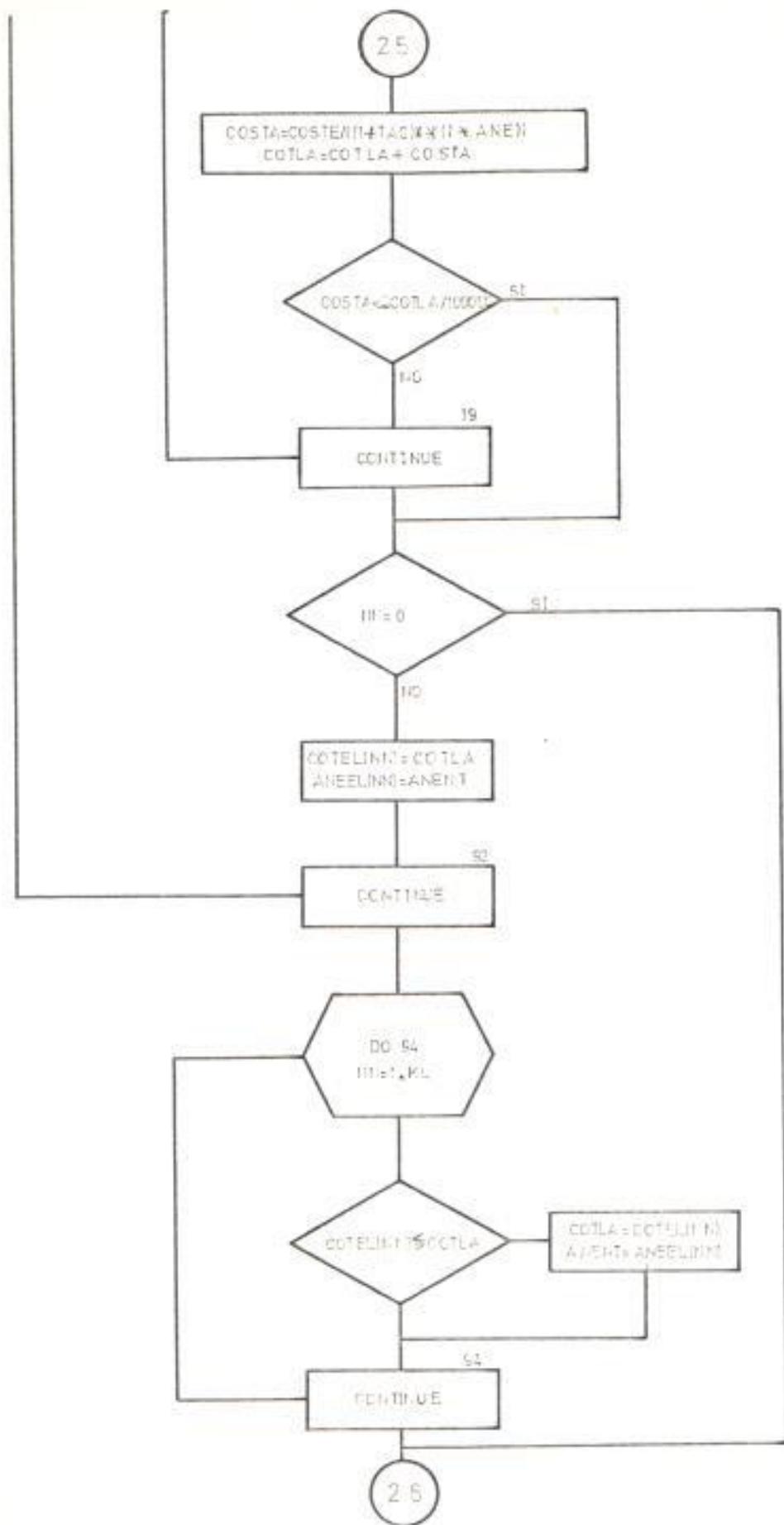


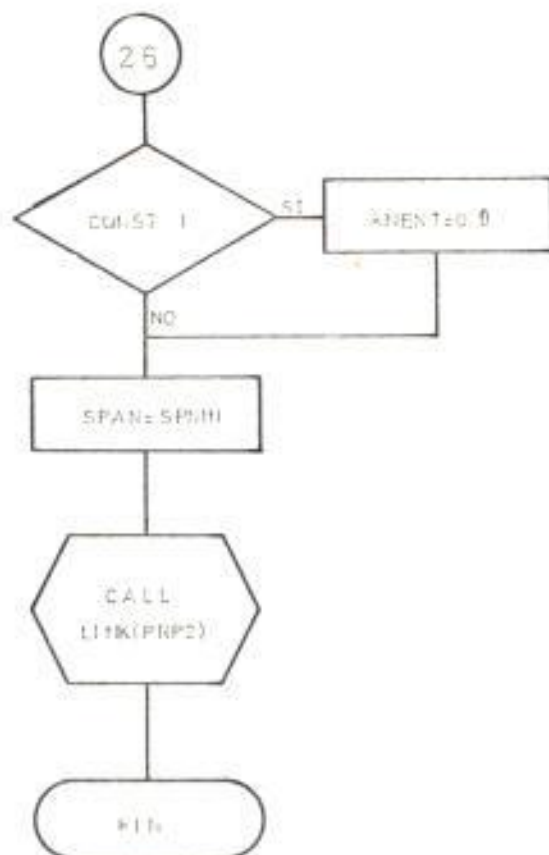






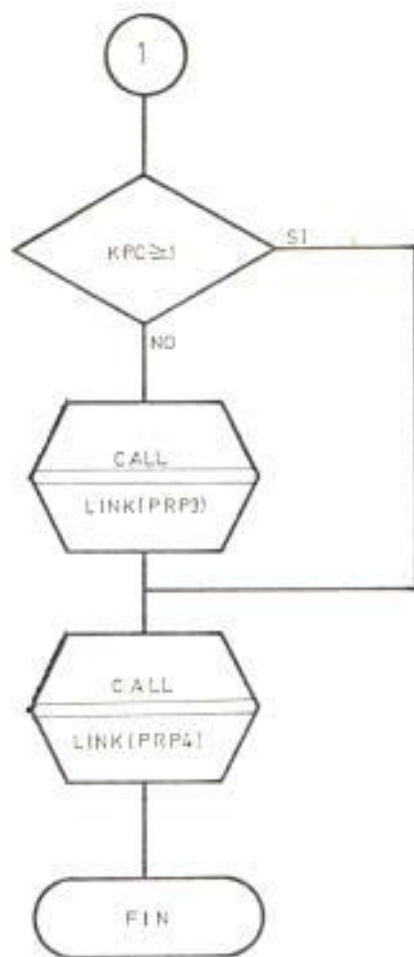


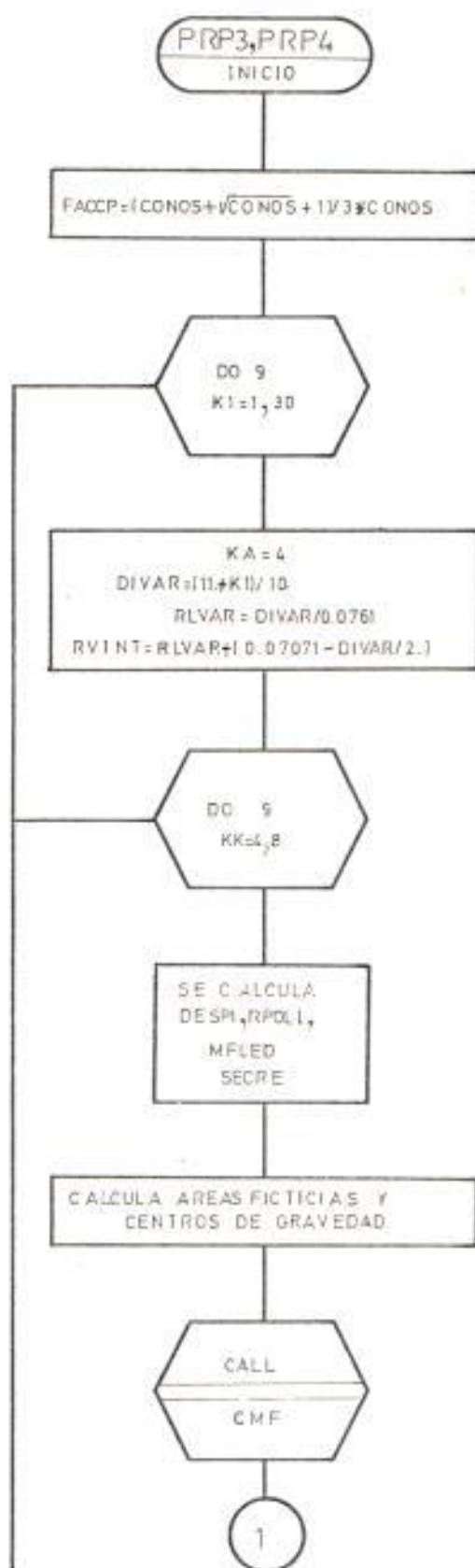


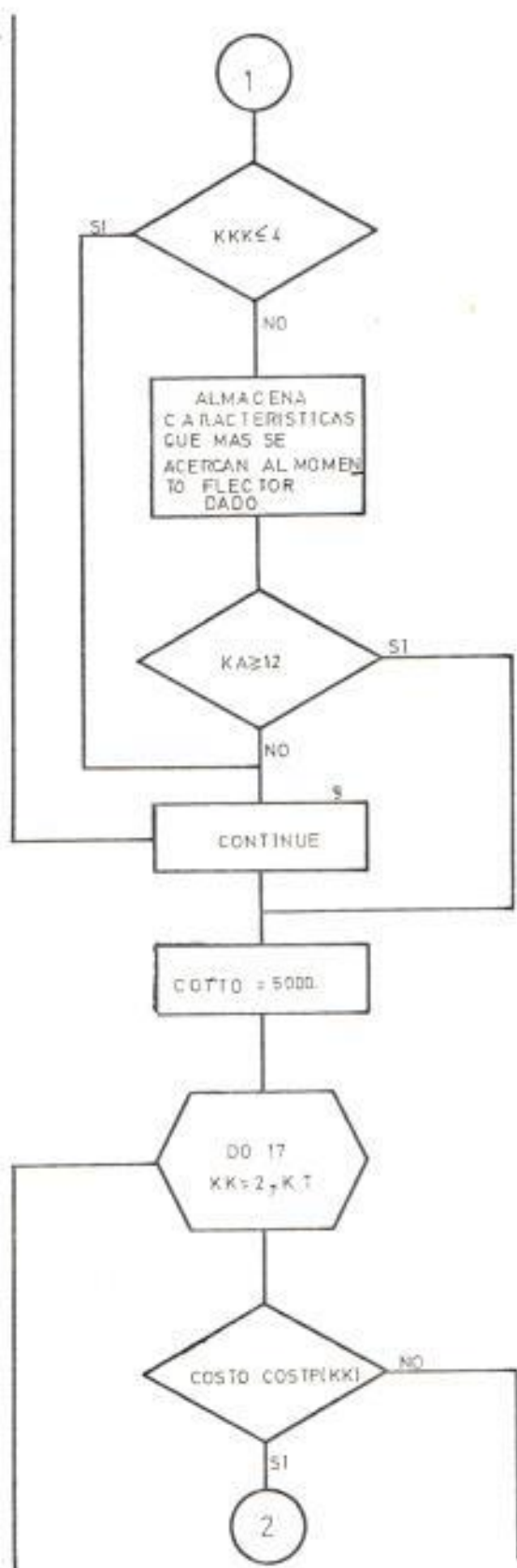




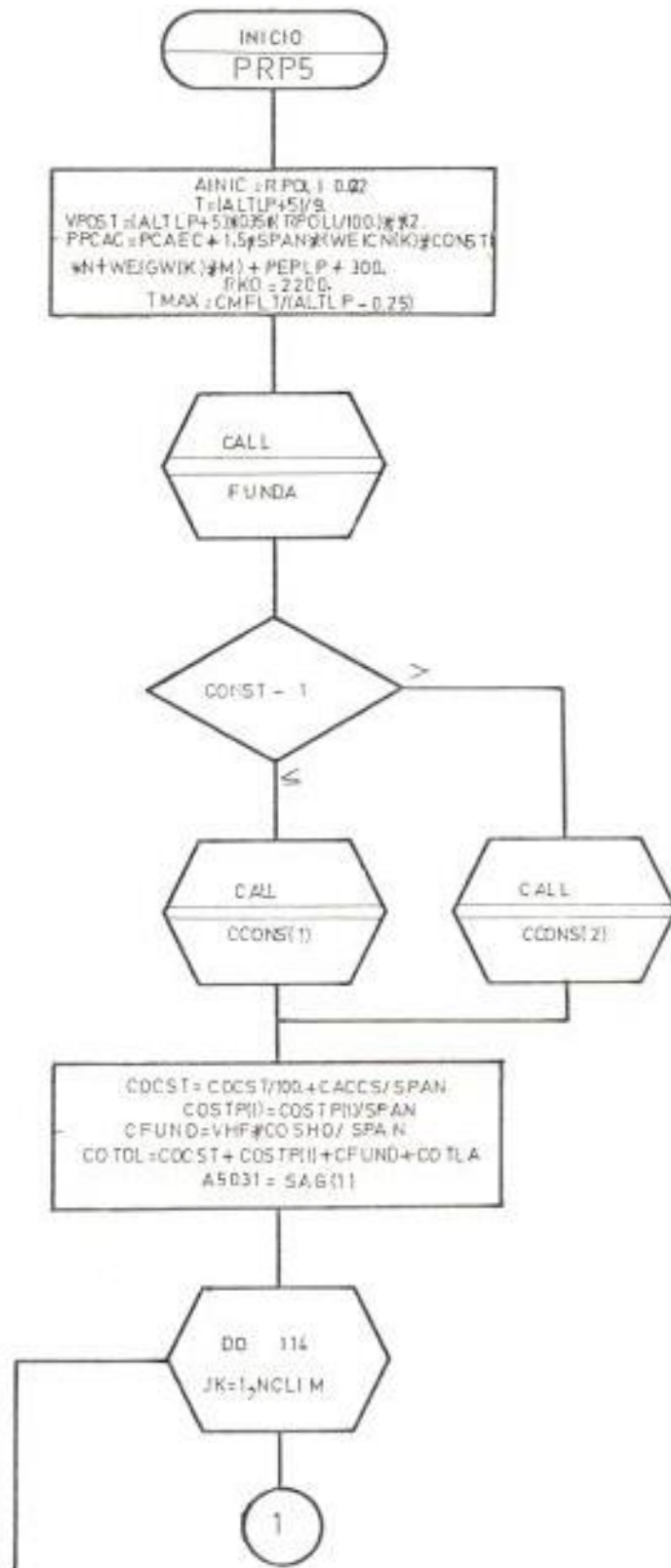


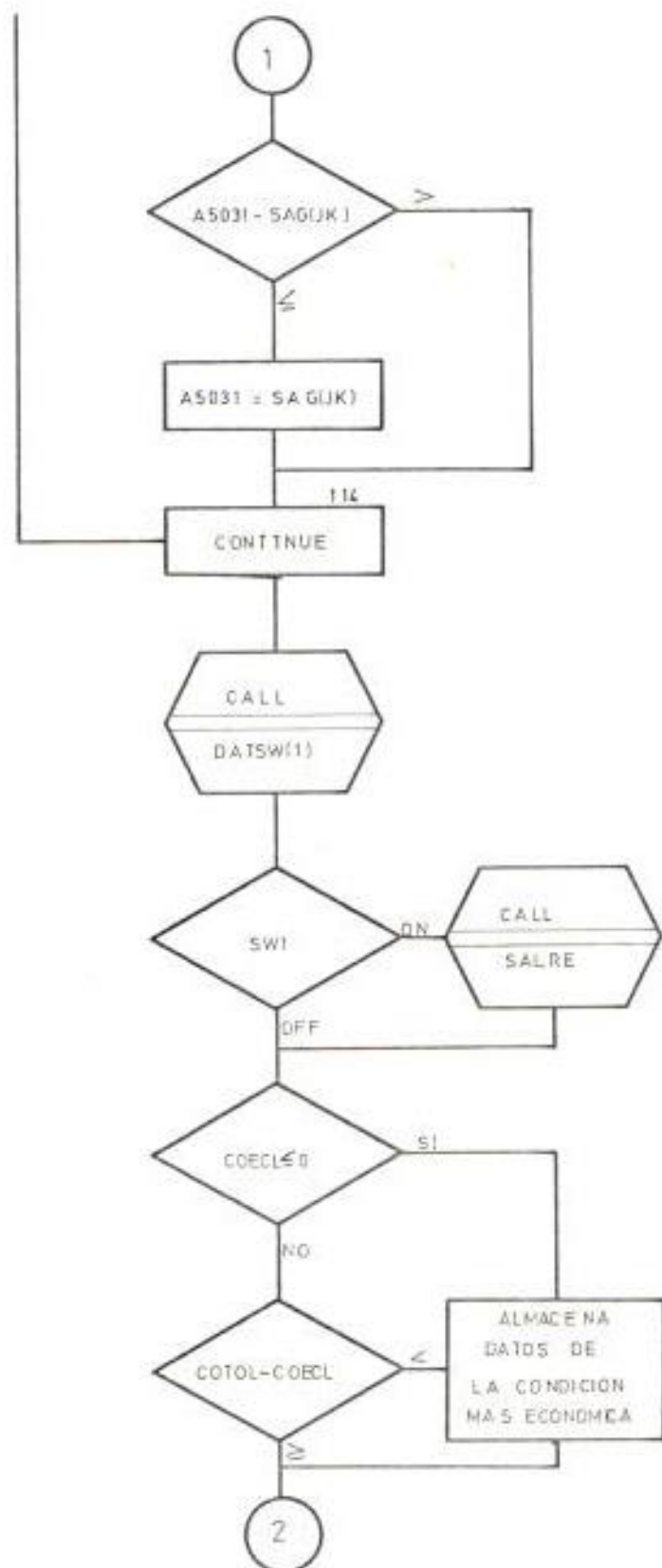


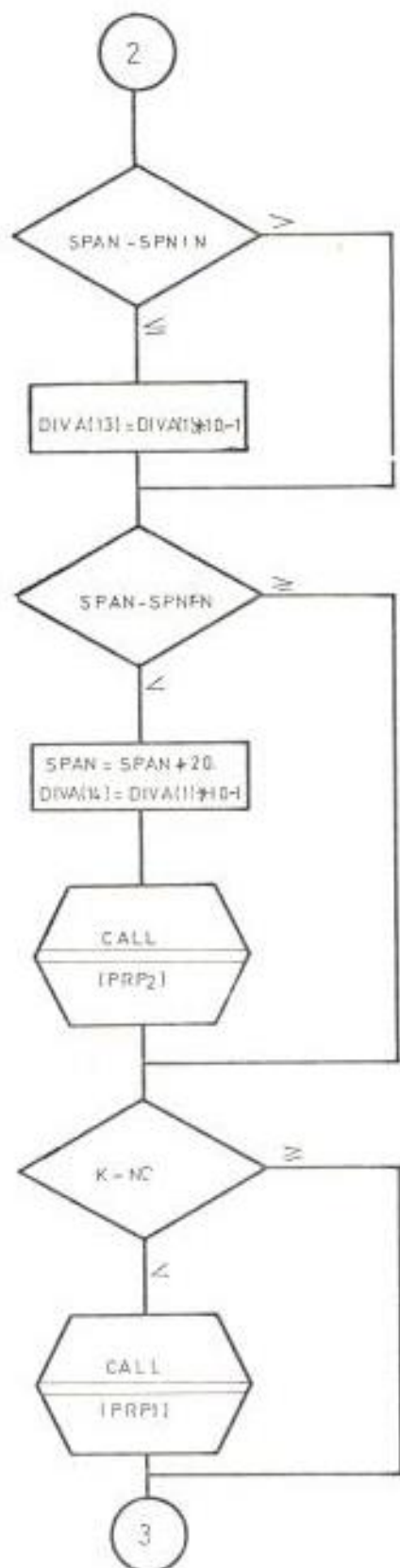
















## 10. EJEMPLO DE APLICACION

### 10.1 INTRODUCCION

El ejemplo escogido para usarlo como prueba en éste programa, es el de una zona de Manabí tomada como característica de nuestro consumo regional.

En este ejemplo usamos casi todas las características posibles que nos da el programa, tales como: características del terreno, factor de carga, factor de potencia, etc.

### 10.2 DATOS DE ENTRADA

En la hoja de salida del programa, que según el formato de entrada que se presentó en el capítulo anterior, se muestran los datos que se han introducido al programa para que realice los cálculos que necesitamos para efectos de solución del problema del cálculo del conductor y vano económico.

### 10.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Se puede obtener resultados parciales, o un resultado

Único que es el escogido del más económico. Si se necesita resultados parciales, se debe alzar el switch 1 en la consola de la computadora, entonces escribe los cálculos parciales que el programa realiza, escogiendo finalmente de entre todos los cálculos efectuados, el proyecto más económico. Si no se alza el switch, entonces el programa escribe el resultado del escogitamiento económico realizado y escribe solamente el proyecto más económico.

Los resultados obtenidos de este proyecto están en la hoja de salida del programa, donde especifica todas las características del proyecto.

## 11. CONCLUSIONES

Del estudio realizado, podemos concluir que es posible diseñar un programa de computación para efectuar un estudio preliminar de una línea de transmisión, conocer sus principales características y costos aproximados de la obra.

Este programa es útil para la selección de:

- a) Conductor.- Analizando con relación al costo de pérdidas de potencia y energía, además de su operación económica en una o dos ternas.
- b) Vano Económico.- Analizando en función del costo que da el reforzar una estructura cuando la distancia que separa dos estructuras aumenta.
- c) Soporte que va a ser utilizado en dicho diseño.
- d) Fundaciones Económicas.- Para una determinada estructura dependiendo de un momento de volque debido a una tensión existente en la punta del soporte.

Además de proporcionar las bases para efectuar del pro  
yecto definitivo.

Se facilita también el evaluar con rapidez alternativas  
de transmisión e incidencia de parámetros de proyecto.