

Universidad Nacional de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica



Optimización en la distribución y selección de Soportes de una Línea Aérea de Transmisión Eléctrica en un Perfil Topográfico, una Aplicación de la Programación Dinámica

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presentada por:

SAMUEL HELI CHUQUILLANQUI BERNAOLA

PROMOCION 1977-1

Lima • Perú
1979

VOLUMEN I

M I S

P A D R E S

"OPTIMIZACION EN LA DISTRIBUCION Y SELECCION DE SOPORTES DE
UNA LINEA AEREA DE TRANSMISION ELECTRICA EN UN PERFIL
TOPOGRAFICO; UNA APLICACION DE LA PROGRAMACION DINAMICA "

SAMUEL HELI CHUQUILLANQUI BERNAOLA

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE COMPETENCIA
PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

LIMA, MAYO DE 1979

El objeto de la presente Tesis es la elaboración de un modelo matemático del tendido de una línea aérea de transmisión eléctrica en un perfil topográfico determinado y la mecanización de este modelo por medio de un Computador Digital con el fin de obtener el costo óptimo de tendido.

Se utiliza el principio de optimalidad de Bellman, base de la Programación Matemática Dinámica, para minimizar la función objetivo del costo del tendido, quien depende del tipo y altura de soporte emplazado, de los factores geológicos del terreno influyentes

sobre la fundación, extensión de patas y puesta a tierra del soporte. La búsqueda de la política óptima se logra con la ayuda de una ecuación recursiva que contempla las diferentes combinaciones de estación y altura del soporte emplazado, teniendo en cuenta las restricciones inherentes al tendido. Para el efecto se construyen los modelos del perfil topográfico de la ruta de la línea y la interacción del conductor y soporte con el perfil.

La mecanización del modelo conlleva a diseñar e implementar programas digitales que resuelvan el problema. Para una utilización sencilla y versátil se consideran 3 fases de proceso: validación de los datos topográficos, optimización en el tendido y recuperación regresiva de las políticas deseadas. En la implementación se utilizan los conceptos modernos de la programación estructurada. Los programas han sido escritos en los lenguajes de programación FORTRAN IV y ASSEMBLER, para las rutinas de apoyo esenciales. Se presenta un ejemplo de proceso donde se puede observar que la colocación y selección de soportes es óptima.

I N D I C E

PROLOGO	IX
I. INTRODUCCION	
1. Reseña sobre el tendido de líneas.	1
2. Descripción de un Programa Digital que mecaniza el método manual de ubicación de soportes.	4
3. Perspectivas de desarrollo de nuevos Programas Digitales que optimizan la ubicación y selección de soportes en un perfil topográfico.	12
4. Parámetros de diseño de una línea de transmisión.	15
II. ESTUDIO DE LA CATENARIA Y EL PERFIL TOPOGRAFICO DE LA RUTA	
1. Introducción.	20
2. Curva de un cable suspendido y la catenaria.	20
3. Condiciones climáticas de referencia.	27
4. El perfil topográfico de la ruta.	28
5. Ecuación de la catenaria en el perfil.	31
6. Cambios de estado.	36
7. Comportamiento de la catenaria con el perfil topográfico.	39
III. METODOLOGIA DE COLOCACION DE SOPORTES	
1. Clasificación de los soportes.	47
2. Esfuerzos transmitidos por los cables a los soportes.	53
3. El soporte y los aisladores.	59
4. El soporte y el perfil topográfico.	64

5.	Prestación de los soportes a los esfuerzos externos: Condición de Utilización.	69
6.	Costo de los soportes.	71
IV.	MODELO MATEMATICO PARA LA DISTRIBUCION Y SELECCION DE SOPORTES EN UN PERFIL TOPOGRAFICO	
1.	Introducción.	72
2.	La Programación Dinámica.	73
3.	Modelo de Optimización de los tipos, alturas y ubicación de los soportes de una Línea de Transmisión, -Una Aplicación de la Programación Dinámica-	84
V.	DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DIGITAL DE DISTRIBUCION Y SELECCION OPTIMA DE SOPORTES	
1.	Introducción.	94
2.	Diseño del Programa Digital.	94
3.	Estructura del Proceso de Datos.	98
4.	Estructura y Lógica de los Programas.	104
5.	Detalles importantes en la programación e implementación de los Programas.	113
VI.	CONSIDERACIONES PARA LA ENTRADA Y SALIDA DE DATOS DEL PROGRAMA DIGITAL DE DISTRIBUCION Y SELECCION OPTIMA DE SOPORTES	
1.	Introducción.	115
2.	Tarjetas de control para la ejecución de los procedimientos informáticos.	115

VIII -

3. Estructura de los datos de control.	121
4. Detalles importantes en la estructuración de datos.	135

VII. CONCLUSIONES

1. Aspectos no contemplados en el desarrollo del Programa Digital de Optimización.	137
2. Conclusiones.	139
3. Recomendaciones para continuar el trabajo.	140

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	142
----------------------------	-----

APENDICES

1. Anexo A Utilización del parámetro "Z".	145
2. Anexo B Mensajes de la rutina "INPUT" del Programa "OPTOWDØ3".	149

P R O L O G O

Es motivo de gran satisfacción presentarles la presente Tesis: "OPTIMIZACION EN LA DISTRIBUCION Y SELECCION DE SOPORTES DE UNA LINEA AEREA DE TRANSMISION ELECTRICA EN UN PERFIL TOPOGRAFICO; UNA APLICACION DE LA PROGRAMACION DINAMICA".

Hoy en día, las actividades del hombre están orientadas de tal manera que éstas sean realizadas con el menor esfuerzo y produzcan mayor beneficio. Se desea siempre que el comportamiento de los sistemas creados y controlados por el hombre, tengan un comportamiento óptimo y particularmente pueden ser que: los negocios produzcan el máximo beneficio, el error de la estimación de la posición de un objeto sea mínimo, el consumo de energía sea mínimo, el costo de construcción sea mínimo, etc. Como se observa, es necesario obtener de alguna manera ese comportamiento Máximo o Mínimo deseado, y para el efecto se debe OPTIMIZAR este comportamiento para lograr lo deseado. Las técnicas de Optimización pueden clasificarse según su género en LOGICA y MATEMATICA-FUNCIONAL. El primero es heurístico o intuitivo guiado por la experiencia, mientras que el segundo implica expresar el objetivo y el proceso mediante una simple relación matemática. En términos generales, la técnica más potente de optimización es la PROGRAMACION MATEMATICA.

Para la aplicación de los métodos de optimización matemática es necesario dar la debida importancia al Modelamiento, porque es en función del Modelo Matemático que se decide el método a emplear.

Para el efecto el Modelo debe satisfacer los requerimientos:

- Debe ser suficientemente realista en la obtención de resultados.
- No debe ser complicado porque aumenta los costos de evaluación de alternativas y estrategias.

El problema fundamental de la teoría de la optimización matemática puede ser dividido en 4 partes interrelacionadas:

- Definición del objetivo.
 Conocimiento de nuestra posición o estado actual respecto del objetivo,
 Conocimiento de todos los factores ambientales que influyen - sobre la búsqueda del objetivo.
- Determinación de la mejor política en base a las partes anteriores.

Es bajo este concepto de OPTIMIZACION que orientamos la presente Tesis con el objetivo de MINIMIZAR los costos de los soportes y demás costos del tendido de cualquier línea Aérea de Transmisión Eléctrica, porque el desarrollo del país actualmente necesita de mayor energía eléctrica proveniente del aprovechamiento de las caídas de agua en las Centrales Hidroeléctricas, y obviamente, el costo de producción de esta energía es barata en relación a otros medios (térmica, nuclear, etc.).

Es sabido que estas Centrales se ubican muy alejadas de los centros de Consumo, lo cual obliga a la utilización de líneas de transmisión de energía eléctrica que por la potencia y tensión de

transmisión en la mayoría de los casos son aéreas. Las rutas de éstas líneas recorren zonas inhóspitas e inaccesibles, debido a que los costos de construcción y montaje de éstas líneas son comparativamente elevadas e influenciados mayormente por el costo de los soportes empleados que obligan a tener rutas rectas (por tramos).

Actualmente el emplazamiento de estos soportes en el perfil de la ruta se hacen aún en forma manual, el cual trae consigo que los proyectos de construcción de estas líneas duren tiempos excesivos y el costo de la línea no sea óptimo (Capítulo I). Bajo estas consideraciones se construye un modelo matemático del perfil, del comportamiento de la curva del conductor (asumido catenária) entre soportes y el perfil (Capítulo II), y de los soportes y el perfil (Capítulo III). Se consideran las restricciones inherentes al tendido. Se aplica el Método de Programación Matemática DINAMICA (basado en el principio de optimidad de Bellman) para optimizar los costos del tendido y para la obtención de la política óptima se deduce una ecuación recursiva (Capítulo IV) de recurrencia.

Definido el proceso de optimización se mecaniza este proceso mediante el uso del Computador Digital para el cual se diseña e implementan Programas Digitales escritos en el lenguaje de Programación FORTRAN IV y rutinas escritas en el lenguaje ASSEMBLER (Capítulo V). Se definen los pasos a seguir para la ejecución de estos programas y la estructuración de los datos necesarios para la obtención de los resultados deseados (Capítulo VI). Se presentan los programas fuente, su ensamblaje y ejemplo de aplicación del tendido de una línea (Volumen II).

Agradezco al Ing° Hugo Loureiro Maldonado por su valiosa orientación y asesoramiento en el desarrollo de este Tesis, al Ing° Jubert Chavez Serrano por su apoyo y colaboración en la revisión de esta obra y a todos mis colegas que hicieron de alguna u otra forma su contribución para mejorar conceptos.

Agradezco al personal del Centro de Cómputo por su constante apoyo para la culminación de esta Tesis y en especial a la Sra. Maruja Corthorn por su esfuerzo y dedicación en el mecanografiado.

Agradezco a mis padres y hermanos por su paciente espera y aliento constante para llegar a la meta deseada, que hoy logro.

Lima, Mayo de 1979

SAMUEL HELI CHUQUILLANQUI BERNAOLA

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

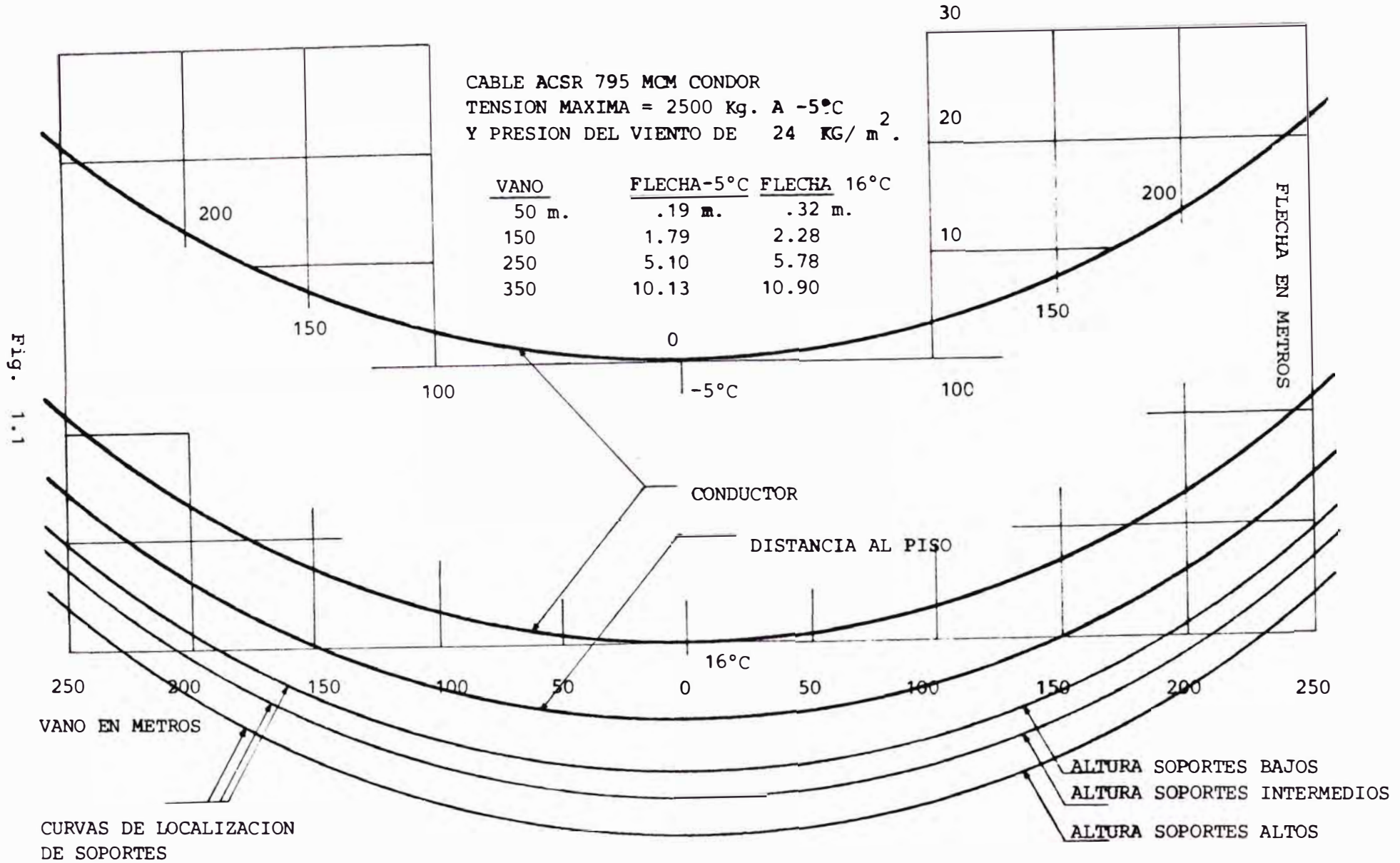
1.1 RESEÑA SOBRE EL TENDIDO DE LINEAS

Es ampliamente conocido los métodos tradicionales de trazado de una línea aérea de transmisión eléctrica que consiste en la ubicación de soportes en el perfil topográfico de la ruta de la línea. Esta localización de soportes se realiza en forma manual y consiste en lo siguiente:

- 1) Se asumen por conocidos la tensión eléctrica de transmisión y por lo tanto su nivel de aislamiento; las características, calibres y tensiones mecánicas de los conductores y cables de guarda; los tipos y características mecánicas de los soportes, y los claros reglamentarios (altura mínima del conductor a tierra).
- 2) Con las características mecánicas y eléctricas mencionadas se construye una plantilla de mica (u otro material transparente), en la que se representa una curva parabólica del conductor a las condiciones finales: flechas y tensiones finales a una temperatura determinada (16°C para la Fig. 1.1). Paralelas a esta curva se trazan las curvas de altura mínima del conductor más bajo al piso y de localización de soportes. En esta misma plantilla, para preveer tiros hacia arriba en los soportes, se presentan también la curva parabólica del conductor a otra temperatura ($- 5^{\circ}\text{C}$ para la Fig. 1.1) mínima promedio en la zona de servicio de la línea.

CABLE ACSR 795 MCM CONDOR
 TENSION MAXIMA = 2500 Kg. A -5°C
 Y PRESION DEL VIENTO DE 24 KG/ m².

VANO	FLECHA -5°C	FLECHA 16°C
50 m.	.19 m.	.32 m.
150	1.79	2.28
250	5.10	5.78
350	10.13	10.90



PLANTILLA DE LOCALIZACION DE SOPORTES EN LINEAS DE 85 KV.

- 3) Se dispone de planos de planta y perfil del derecho de vía (ruta) de la línea donde se indican los cruzamientos con otras líneas de transmisión, distribución o comunicación; con carreteras, vías férreas, ríos, etc. Los planos de perfil son los que fundamentalmente se utilizan para hacer la localización de soportes. Estos planos deben mostrar, además de los obstáculos mencionados, el perfil del eje de la línea y los perfiles laterales bajo los conductores. La altura mínima se evalúa respecto del perfil cuya cota es más elevada.
- 4) Dado el diseño de los soportes especificado para el proyecto de la línea, se hacen varios intentos para encontrar entre cada 2 soportes de tensión o rompetrecho, la combinación más adecuada y económica, esto se logra moviendo la plantilla en ambas direcciones y calculando para cada soporte las cargas verticales y horizontales e inclinación de las cadenas de aisladores, para que con éstos datos se defina el tipo de soporte que puede ser: de suspensión ligera, suspensión pesada y tensión y/o remate.

La efectividad del método manual presentado de localización o ubicación de soportes con una plantilla depende básicamente de la amplia destreza y experiencia del diseñador. Generalmente los hombres más experimentados deben hacer muchos compromisos con la selección de soportes y su ubicación, por las limitaciones de tiempo. Actualmente con el advenimiento de los computadores, se cuentan con programas digitales que han mecanizado este método manual. Se presenta la mecanización realizada a este método y que es considerado como el más usado por su ayuda enorme en cuanto a reducción del tiempo de diseño.

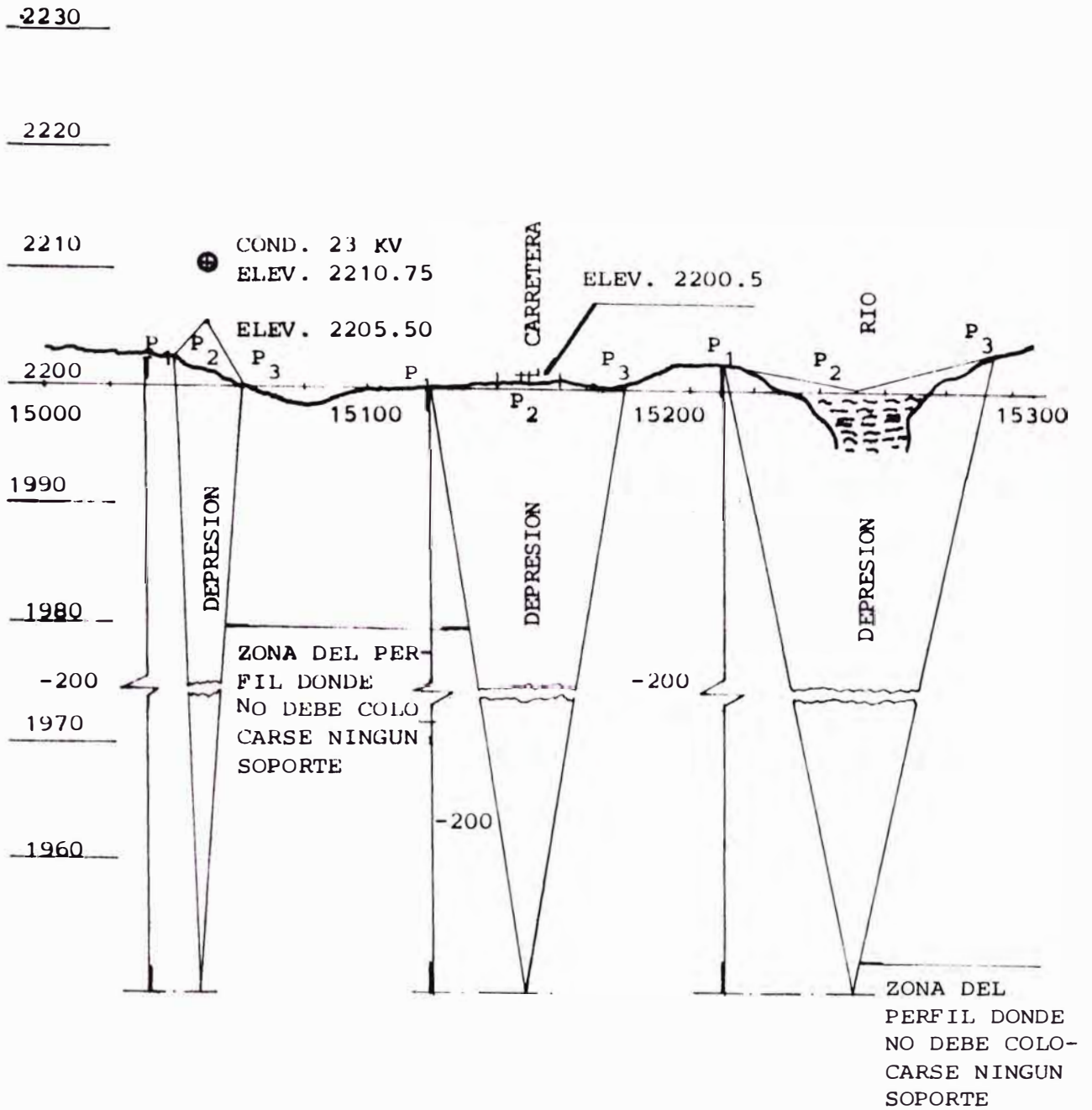
1.2 DESCRIPCION DE UN PROGRAMA DIGITAL QUE MECANIZA EL METODO MANUAL DE UBICACION DE SOPORTES

El programa digital en cuestión tiene por objeto ubicar estructuras o soportes simulando el método manual y aplicando el concepto de traslape entre posibilidades de ubicaciones de soportes, como se explicará posteriormente. Como en el método manual, este programa consiste básicamente en determinar las combinaciones óptimas de tipos y alturas de soportes disponibles, con el fin de obtener el costo mínimo por kilómetro. No considera los costos de las obras civiles ni de derecho de servidumbre. Ha sido preparado para 3 alturas diferentes y 5 tipos de soportes. Este programa simula matemáticamente los movimientos que se realizan en el método manual con la plantilla de mica sobre el perfil topográfico, es decir, hace localizaciones para la altura mínima al terreno del conductor más bajo, calcula las cargas verticales y horizontales; el ángulo de inclinación de las cadenas de aisladores y determina el tipo de soporte y el costo del mismo. Debido a que el programa trabaja para un claro o altura mínima del conductor más bajo al terreno en forma fija y representado por una parábola paralela a la del conductor, en aquellos lugares donde se requieren mayores claros como en el caso de cruzamiento de líneas de energía eléctrica o de comunicación, de cables, carreteras, ferrocarriles, es necesario sobre elevar la ordenada del perfil lateral del punto considerado y crear una zona de depresión de un ancho igual al derecho de vía del cruzamiento que se trate. Para cruzamiento de ríos, barrancas o cualquier otra área donde no se puede emplazar soportes, se crea una depresión cuyos puntos extremos corresponden a puntos fuera de dicha zona y donde si puede colocarse un soporte. La exclusión de un soporte fuera de la

zona de depresión la efectúa el programa cuando detecta ésta y entonces localiza el soporte en el extremo inicial de la depresión, en la Fig. 1.2 se muestra algunos ejemplos de los casos mencionados.

En cuanto a los datos necesarios para el funcionamiento del programa se ha considerado dos grupos. El primero es referente a los datos topográficos del perfil, quienes son un conjunto de puntos discretos del perfil que por segmentos entrelazados pretenden tomar su forma. El segundo define: las características del conductor, las alturas de los soportes; la localización, alturas y tipos del primer y último soporte de la línea; la tensión mecánica del conductor; el claro al piso, los ángulos topográficos de la ruta; los tipos y costos de los soportes y los vanos regulados con sus flechas finales a 16°C y -5°C .

El programa principal del programa de ubicación de soportes consta de un programa principal quien controla el flujo lógico de la computación y todas las combinaciones posibles de alturas de los soportes, y de 8 subrutinas que efectúan los procedimientos matemáticos requeridos para completar la localización del soporte. Como se dijo, el programa principal hace todas las combinaciones posibles de alturas y a la optimización completa de un número dado de alturas se le denomina "PASO" el cual consiste de m^n soluciones donde m es el número de alturas disponibles y n es el número de soportes que pueden localizarse en el paso considerado (llamado también, el número de soportes que se ve hacia adelante). Para el caso del programa, $m=n=3$, por el cual se tienen 27 combinaciones, y por lo tanto 27 soluciones diferentes para la localización de estructuras de un paso.



AJUSTE DE COORDENADAS

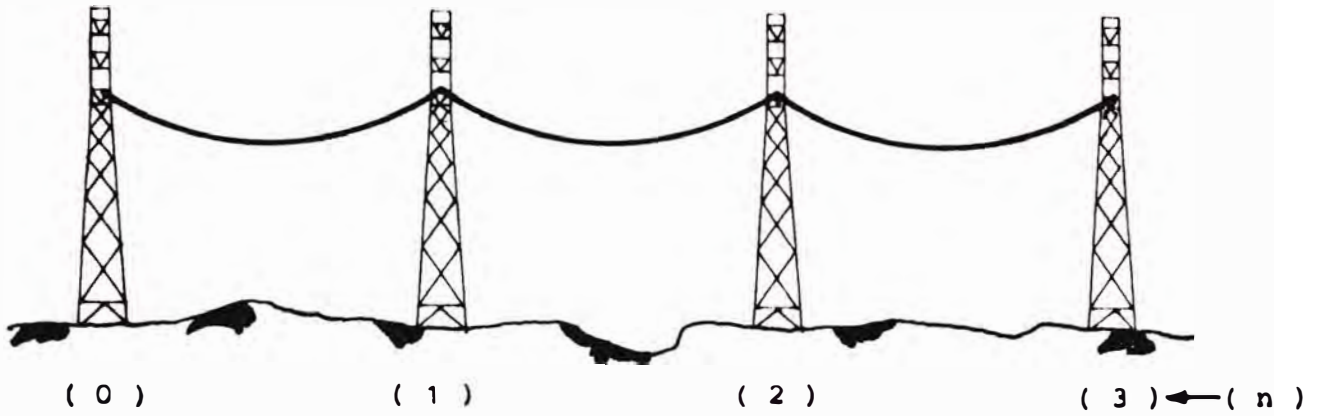
Fig. 1.2

Para iniciar el primer paso se debe dar como dato la altura de la primera estructura de la línea, la cual se denomina soporte base a partir de ésta se realizan las veintisiete secuencias de combinación de alturas y se determina la solución más económica. En la Fig. 1.3 se muestra como el programa digital considera las 27 secuencias de combinaciones de alturas. Para el paso siguiente se conserva únicamente el primer soporte de la solución más económica, desechándose la segunda y la tercera estructura, el cual pasa a ser el soporte base del paso que se inicia; de esta manera se tiene una característica de traslape que permite localizar cada uno de los soportes de la línea en función del terreno que se tiene hacia adelante y de la posición, altura y tipo del soporte que se determinó anteriormente. En la Fig. 1.4 se muestra el soporte de la combinación más económica de un paso y de los desplazamientos que éstos sufren para el paso siguiente debido a la característica de traslape.

Una vez determinado la solución más económica para un cierto número de soportes entre 2 soportes de tensión o retensión, calcula el vano equivalente para ese tramo por medio de la expresión

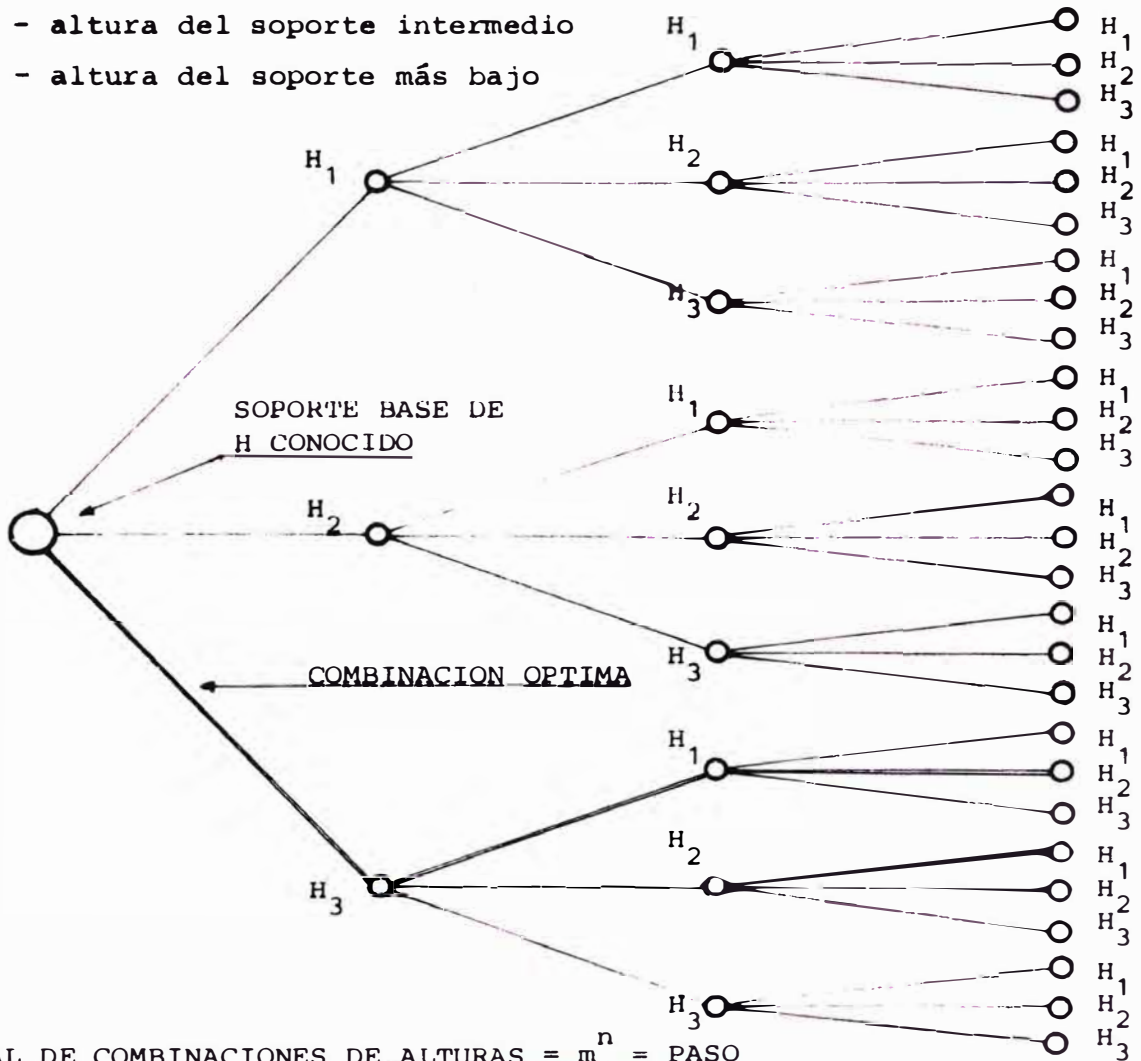
$$d_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_i d_i^3}{\sum_i d_i}}$$

si d_{eq} está dentro del rango $[0.9, 1.15] d_0$, del vano equivalente supuesto, las ubicaciones de los soportes son correctas y continúa con el siguiente tramo; en caso contrario el programa regresa al soporte de tensión donde se inicia el tramo y vuelve a determinar las posiciones, alturas, tipos y costos de los soportes con el valor del vano equivalente correcto. El programa está elaborado de -



H_1 - altura del soporte más alto
 H_2 - altura del soporte intermedio
 H_3 - altura del soporte más bajo

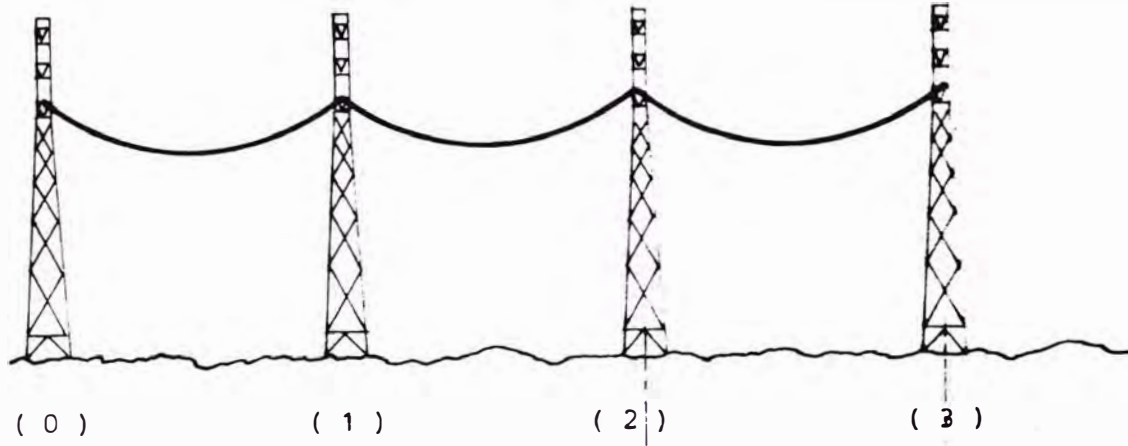
↑
m



SECUENCIA DE COMBINACION DE ALTURAS DE LOS SOPORTES.

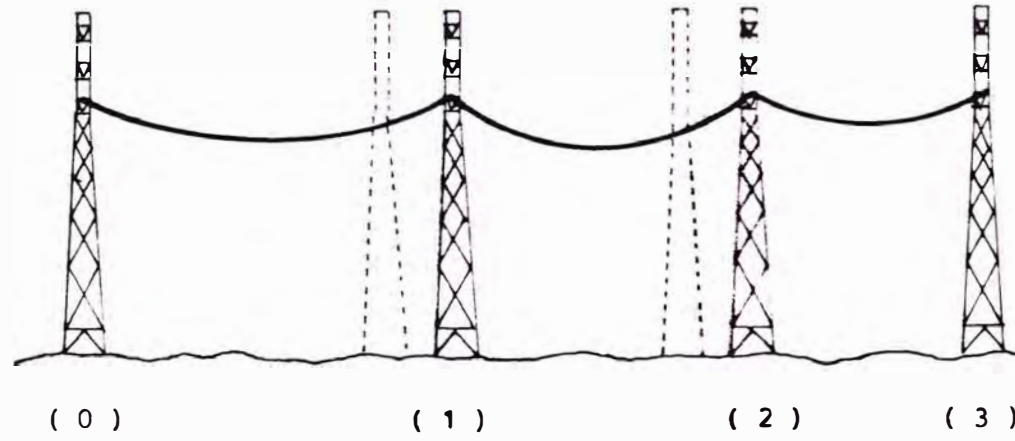
Fig. 1.3

PRIMER PASO



SOPORTE BASE

SEGUNDO PASO



SOPORTE BASE

CARACTERISTICA DE TRASLAPPE

Fig. 1.4

tal manera que detecta cualquier ángulo topográfico y selecciona el soporte de tensión o ángulo adecuado localizándolo exactamente donde se tiene el ángulo topográfico.

Las subrutinas consideradas en el programa realizan lo siguiente:

- Controlar la lectura de los datos topográficos del perfil de la ruta.

Calcular la ubicación de los ejes coordenados de la parábola a partir del soporte considerado y el requerimiento de claro mínimo para 16 °C.

Calcular la ordenada de la parábola de ubicación de soportes respecto del nivel del mar, paralela a la parábola del conductor que pasa por la ordenada del punto de localización del soporte considerado.

Calcular la abscisa del punto de corte entre el perfil y la parábola de ubicación de soportes.

- Calcular las coordenadas de la parábola entre los soportes cuyas localizaciones se conoce, para - 5°C.
- Determinar el punto de tangencia entre la parábola del claro y el perfil lateral por comparación para 60 puntos del perfil; la tangencia queda determinada por el valor mínimo calculado.

Calcular las cargas de los soportes en función del vano viento y el vano peso; el ángulo de inclinación de las cadenas de los aisladores y la relación de vanos adyacentes. Además, si la relación carga horizontal/carga vertical es mayor que la máxima permisible para los soportes de suspensión y la altura del soporte no es la más alta, se incrementa la altura del soporte con el cual se modifican -

las coordenadas de las parábolas consideradas y se contrarresta o se disminuye el valor de la relación.

Seleccionar el tipo de soporte en base a los parámetros calculados y registra el costo correspondiente.

Con la aplicación de este programa al diseño de líneas, se ha conseguido bajar los costos de construcción hasta en un 5.5 %. Si bien es cierto que se tiene mayor confiabilidad puesto que en todas las fases de un proyecto de localización de soportes hay mucho menos oportunidades de errores considerables y la precisión lograda es tan buena como el mejor que puede ser obtenido manualmente, no se consideran soluciones que pueden ser aun más económicas debido a que el proceso no es refinado, esto porque, sólo se consideran n posibles ubicaciones de soportes hacia adelante y con el cambio de un paso a otro que contiene una combinación óptima ésta dejaría de ser óptima si se considera todos los posibles vanos que se puedan evaluar por combinación de puntos del perfil con alturas de soportes en cada punto siempre considerando las restricciones de diseño o tendido.

Pero una cosa es cierta, con éste método mecanizado se ahorran hasta el 9 % del costo total de los soportes, y el tiempo y el costo del diseño por kilómetro por computadora, disminuye en un 79 % respecto del método manual que se deben a la gran velocidad con el que la computadora efectúa todas las soluciones posibles para determinar la altura y el tipo más adecuado de cada soporte.

1.3 PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE NUEVOS PROGRAMAS DIGITALES QUE OPTIMIZAN LA UBICACION Y SELECCION DE SOPORTES EN UN PERFIL TOPOGRAFICO

Como se mostró en el acápite anterior, el uso de los computadores en estos días permiten la mecanización de muchos cálculos - y procesos de diseño en el campo de la ingeniería en general y de la ingeniería eléctrica en particular.

Esto porque la tendencia mundial del parque de computadoras es tener computadores más veloces y con mayor capacidad de almacenamiento de datos (memorias principales y auxiliares), y es más, sus precios de venta por unidad de información procesada, bajan continuamente (precio de hardware) pero el precio de los programas o aplicaciones crecen debido a que la complejidad de ellos en su concepción, programación e implementación es enorme (costo del software). En general estos costos pueden no considerarse demasiado apreciables para los estudios de proyectos de ingeniería en comparación a la magnitud del proyecto.

Bajo estas consideraciones, los programas digitales que calculen soluciones óptimas de la distribución y selección de soportes en un perfil, deben tender a mecanizar modelos matemáticos muy refinados con el consiguiente requerimiento de datos adicionales que permitan cumplir con el objetivo propuesto.

A modo de premisa, los programas deben resolver el tendido de una línea considerando lo siguiente:

- El perfil topográfico debe considerar todos los puntos de un enrejado de una banda de terreno donde se seleccione la ruta de la línea - en contraposición de una ruta conocida. Para el efecto debe aplicar se los conocimientos de la fotografía aérea denominada "FOTOGRAFOMETRIA" convergiendo en un modelo digital del terreno a considerarse.
- Los soportes para el tendido deben variar en tipo y altura. El tipo debe ser definido de acuerdo a la carga transmitida por los conductores y aisladores, ángulos topográficos, vientos transversales y de hielos o escarchas eventuales. Las alturas deben variar según una altura incremental que en la mayoría de los casos es definida por el fabricante de soportes.
 - En cuanto a la fundación de un soporte determinado debe considerarse las características geológicas del terreno quien influirá en las obras civiles. También las condiciones de desnivel del terreno influyen sobre posibles extensiones de las patas del soporte.
 - La presencia de objetos, obstáculos o depresiones en el terreno determinará que la ruta sea considerada o no. que la altura mínima del conductor más bajo dependa de éstos y que solicitaciones de soportes especiales o determinados sean colocados adyacente al objeto.
 - Los dos puntos anteriores en conjunto determinan la posibilidad de emplazar un soporte en el perfil y la influencia del terreno en la puesta a tierra del soporte.
 - Los aisladores también determinan restricciones de carga y distanciamiento que se evalúa con la oscilación de la cadena por efecto de cargas transversales o longitudinales.
 - El conductor influye en cuanto al vano y flecha formado referente a valores máximos fijados por reglamentaciones vigentes para los claros del conductor más bajo respecto del suelo.

Las relaciones entre vanos adyacentes determinan posibles cargas longitudinales con el cambio de estado, por el cual se debe considerar restricciones al respecto, fijado por la experiencia y características de los soportes.

Con las consideraciones mencionadas podemos orientar el objetivo de la presente Tesis, asumiendo que la ruta de la línea es conocida "a priori", es decir no hay selección de la ruta óptima, el cual se deja para investigaciones posteriores, y esto determina que el cruzamiento de cualquier objeto y obstáculo es posible. La orientación es entonces a mejorar el método presentado en el acápite 1.2 en cuanto a refinar la consideración de las combinaciones de los soportes referente a sus alturas y ubicaciones en el perfil aplicando el concepto de optimidad de Bellman. Esto obliga a cambiar el avance de colocación de soportes, es decir, ya no se verán soportes hacia adelante, sino se verán soportes hacia atrás con la ventaja de seleccionar la combinación óptima de enlazar un vano con una combinación anterior óptima para todo soporte anterior al soporte en análisis, el cual se explicará ampliamente en el Capítulo IV. Consideraremos las premisas mencionadas, quienes ayudarán a refinar aun más el proceso de optimización.

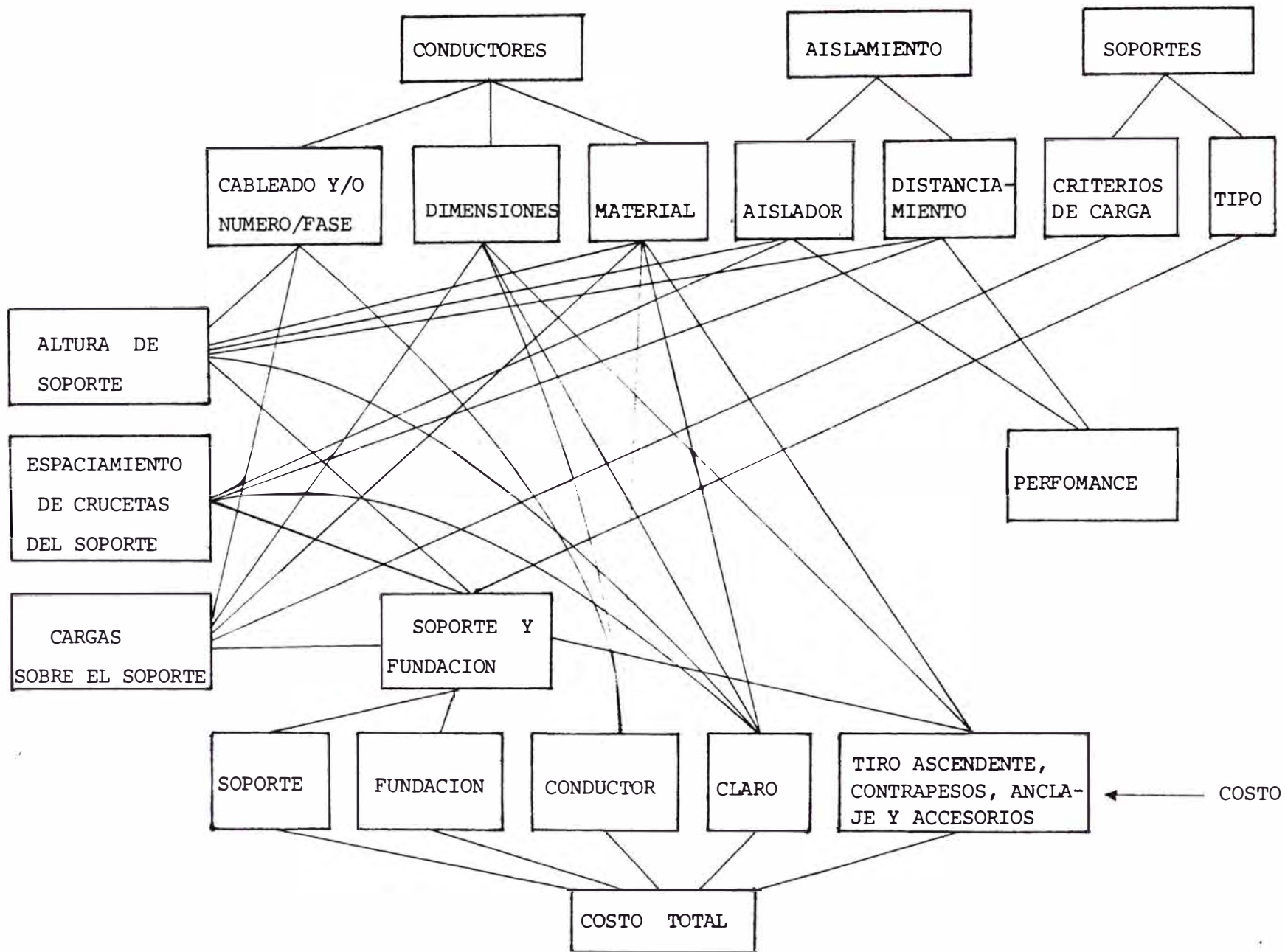
Para el efecto, en los Capítulos II y III se dan los tratamientos matemáticos del perfil, soportes y curvas del conductor colgado para el proceso mecanizado que realizará el programa digital a diseñarse, en el Capítulo V. Pero antes veamos los parámetros globales esenciales que se consideran en el diseño de cualquier línea aérea de transmisión eléctrica.

1.4 PARAMETROS DE DISEÑO DE UNA LINEA DE TRANSMISION

El diseño de una línea de transmisión no es tan sencillo - como puede parecer a los que no están al tanto con los complejos detalles para mejorar al máximo el diseño, porque el cambiar un parámetro de diseño para una línea de transmisión con soportes puede tener efectos desastrosos. El estudio de estas reacciones en cadena es complejo, pero las ventajas económicas lo hace adecuado en algunos casos y en otros da lugar a una diversidad enorme de efectos en el diseño y costo total. Pero la aplicación de los computadores permite analizar dichos efectos y puede resultar en grandes ahorros, por esto podemos asegurar que el diseño de líneas de transmisión actualmente es una de las funciones más complejas en todo el negocio de energía eléctrica. El diseño primero debe satisfacer las demandas eléctricas del sistema bajo todas las condiciones. Pero cada línea tiene su propio ambiente físico especial así como tipo de terreno y condiciones de clima que imponen esfuerzos en los elementos físicos y eléctricos. Aun la mezcla de costos de trabajo y materiales varían en una gamma considerable.

Para cada trabajo de diseño se debe considerar unas 50 permutaciones entre el tipo de conductor en tamaño y cableado, se deben estudiar un número de niveles de aislamiento incluyendo cantidad de aisladores y separación, y se pueden considerar por lo menos 5 tipos de soportes. Cualquier cambio de diseño puede desarrollarse en tres o cuatro direcciones antes de llegar a entrar en la cifra de costo de instalación tal como se muestra en la Fig. 1.5 donde cada recuadro es un elemento de diseño o costo. Las líneas denotan influencia de arriba hacia abajo. Esta figura es incompleta ya que hay tantas líneas de influencia yendo de abajo hacia arriba como las que se muestran yendo de arriba hacia abajo, por ejemplo una línea de extra alta tensión

Fig. 1.5



yendo a través de un pantano, con costos altos de fundaciones por soporte, requiere vanos largos quien requiere soportes más altos y mayor esfuerzo en los conductores.

Hacer que cada línea haga el trabajo eléctrico requerido con el comportamiento físico y eléctrico deseado a un costo de instalación anual mínimo, requiere las técnicas más avanzadas de diseño. Por los años 1970 en los E.U.A. se tiene un programa de diseño llamado "BETCHEL" que acepta 190 items separados de costos de diseño, material y trabajo. Estos van desde items de alto precio como conductores y soportes, hasta el movimiento de una pala para excavar las fundaciones en cada lugar donde se instalará un soporte. Una sola combinación específica de parámetros de entrada, como se aprecia en la Fig. 1.6, se realizan los cálculos de flechas y tensiones mecánicas para obtener la altura del soporte y las tensiones o cargas longitudinales. Se calculan los ángulos de oscilación de los aisladores para determinar el espaciamiento entre fases y del conductor al soporte. Se calculan todas las cargas transversales y sus combinaciones determinan el peso del soporte y la fundación. Después se consideran los costos de instalación y de los materiales para llegar al costo total.

Trabajos de diseño de este tipo han requerido entre 500 y 1,000 de éstos lazos, por lo tanto se pueden hacer estudios para determinar efectos en el costo de construcción de los siguientes items de diseños mayores:

- Material, dimensiones, cableado y número por fase de los conductores.

Tipos de soporte: rígidos o semirígidos, en anclaje o suspensión; circuito simple o doble; de metal o madera; simple o compuesto; -

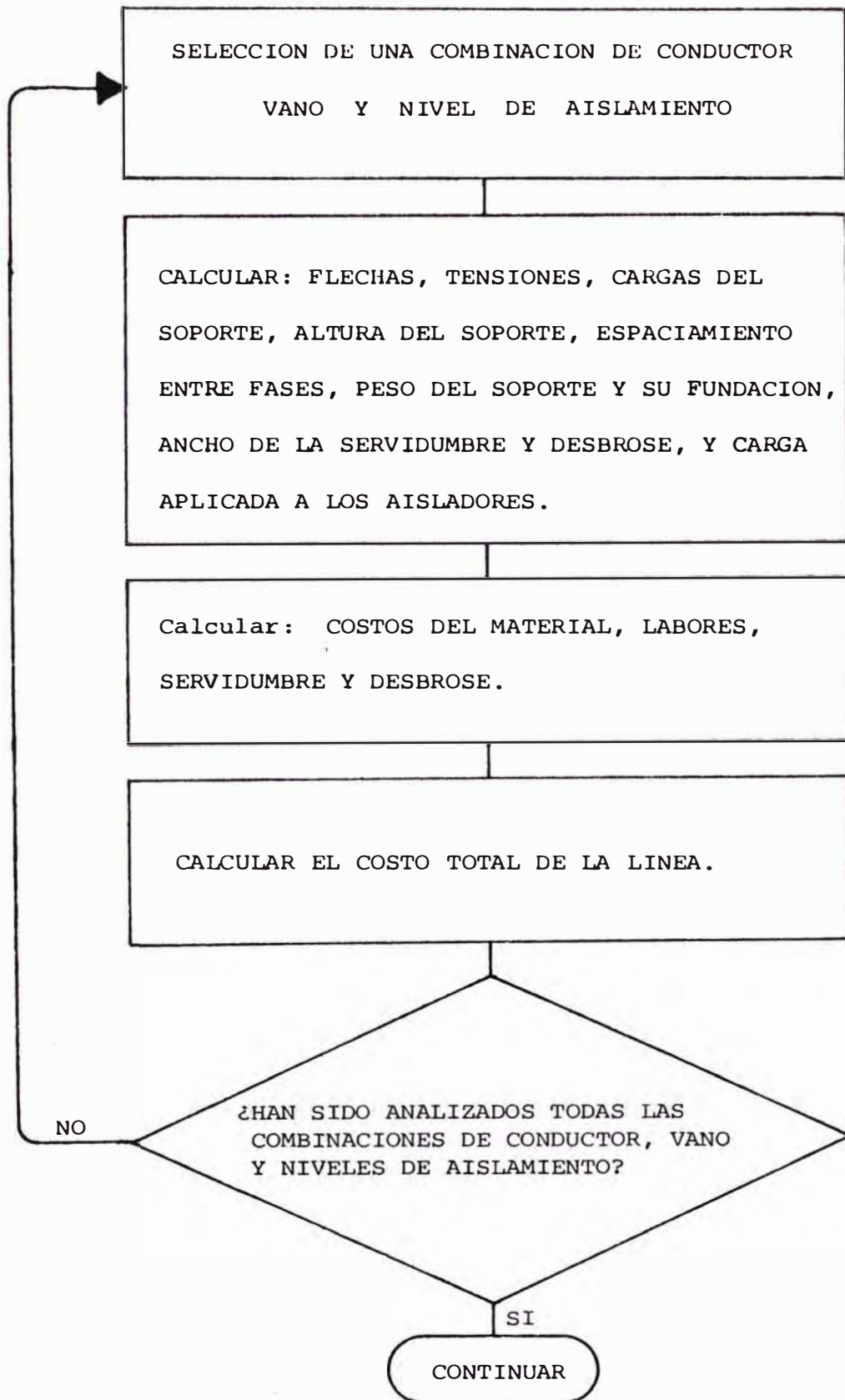


Fig. 1.6

etc.

Criterios de cargas debido al viento y hielo, y su efecto en el costo del soporte considerando una rotura eventual de un cable longitudinal por carga transversal o aumento de carga vertical.

Cantidad de aisladores y espaciamiento libre que tienen una marcada influencia en el costo del soporte y su fundación.

En la práctica, el peso del soporte es bastante sensible a cualquier cambio de diseño. Por lo tanto un programa vive o muere de acuerdo a su habilidad de calcular pesos de soporte exactos para cada lazo. Para el cálculo de estos pesos se tienen fórmulas bastante inadecuadas para el trabajo, el cual motivaron el desarrollo de otras mediante conceptos de regresión múltiple aplicados a un conjunto de soportes diseñados para la obtención de la fórmula de regresión. Para determinar los costos de mano de obra es necesario hacer estudios con anterioridad para predecir estos gastos.

Otras consideraciones de diseño, son las pérdidas de energía y potencia durante la vida de la línea y calculadas para cada configuración de conductor, demanda anual y cargas eléctricas. Estas añadidas al costo instalado anual más los pagos de operación y mantenimiento, dan un costo anual de carga eléctrica para cualquier carga máxima anual deseada. Los flujos de energía reactiva en la línea y las corrientes de carga pueden también ser calculadas de tal manera que el costo de capacitores en serie o reactores en derivación influyen sobre la configuración utilizada para los estudios de planeamiento del sistema.

C A P Í T U L O I I

ESTUDIO DE LA CATENARIA Y EL PERFIL TOPOGRAFICO DE LA RUTA

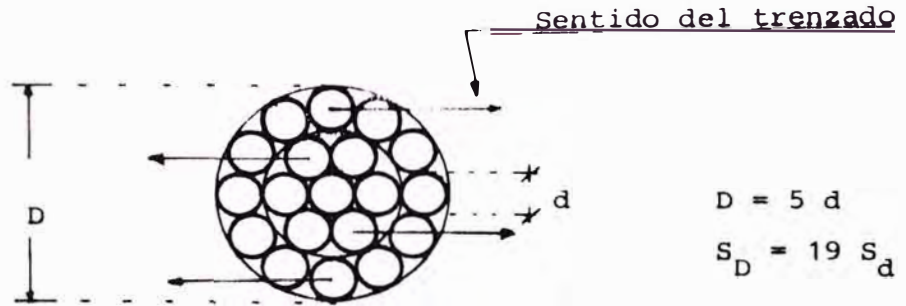
2.1 INTRODUCCION

El presente Capítulo tiene por objeto determinar las expresiones matemáticas de relación entre la catenaria y los puntos o estaciones del perfil topográfico de la ruta, esto es, determinar su propio sistema de coordenadas que varía en posición respecto de la ruta - según se consideren los puntos por donde tiene que pasar la catenaria. Por otra parte se presenta la manera como se cambia el sistema de coordenadas por eventual movimiento del origen para satisfacer demandas de posición de la catenaria respecto del perfil y los soportes emplazados en una estación determinada que permite la evaluación del claro mínimo requerido.

2.2 CURVA DE UN CABLE SUSPENDIDO Y LA CATENARIA

Como se sabe, los cables están constituidos por hilos del mismo diámetro conformando capas tal como se observa en la Fig. 2.1, entonces por esta característica de constitución podemos aseverar que en su construcción, los hilos no toman entre si una tensión o esfuerzo uniforme en el trenzado. Esto conlleva a considerar que la distribución lineal de carga es no uniforme por razones obvias de construcción o fabricación.

Aparentemente podemos considerar una distribución lineal de carga en el cable, que al estar suspendido entre 2 puntos A y B, tal



CABLE DE 19 HILOS

Fig. 2.1

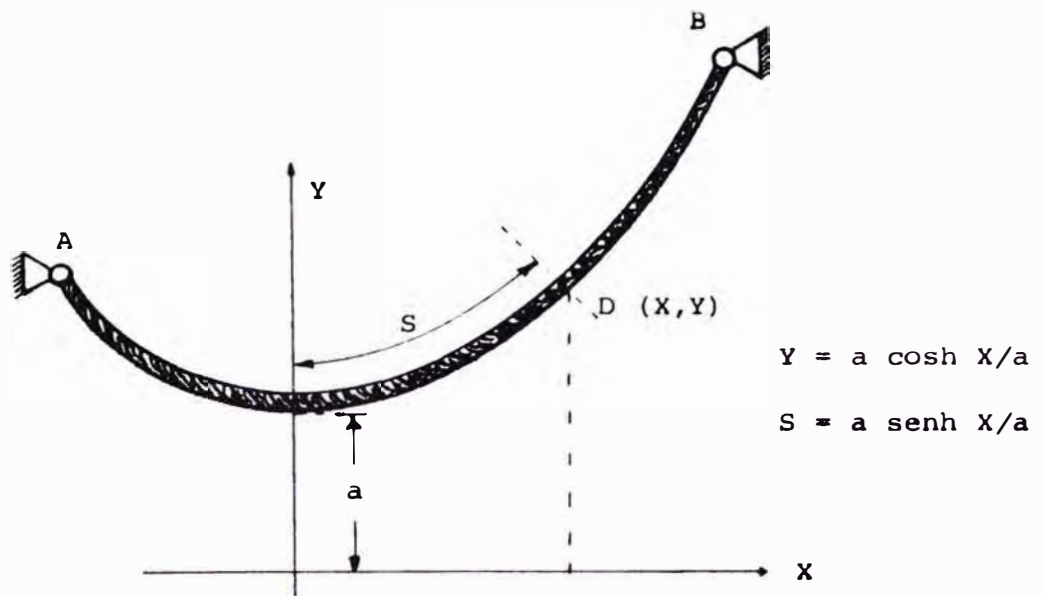


Fig. 2.2-a

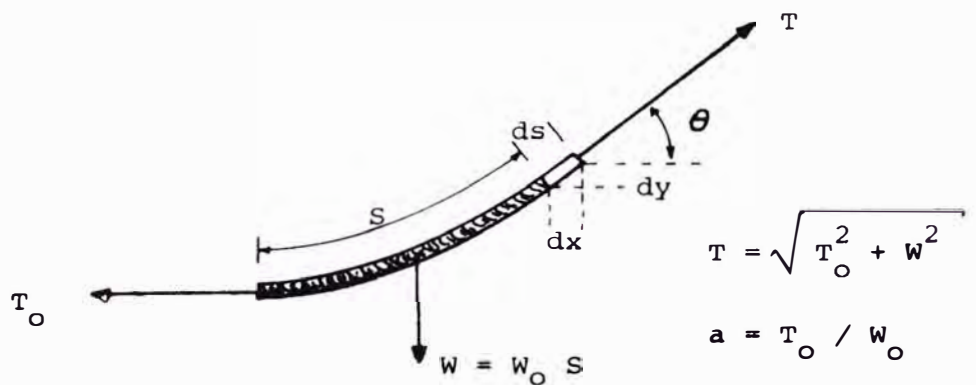


Fig. 2.2-b

como se muestra en la Fig. 2.2a tomará la forma de una curva llamada "CATENARIA". En realidad la curva formada no es una Catenaria porque la carga distribuida del peso propio no es lineal, ni tampoco podemos considerar que la curva es una parábola ya que nos alejaríamos demasiado de la característica de carga distribuida considerada.

Por esas razones es conveniente asumir que la "Catenaria" es la curva que más se asemeja a la curva formada por un cable colgado entre 2 puntos A y B. El punto más bajo C de ésta curva determina la ubicación del eje de ordenadas del sistema de coordenadas x-y - sobre el cual se expresa la ubicación de los puntos de la Catenaria. La ubicación del origen de coordenadas estará a "a" unidades de longitud por debajo del punto C. Luego cualquier punto de la Catenaria estará expresado por el conocimiento de su abscisa X y la ecuación:

$$Y = a \cosh \frac{X}{a} \quad (2.1)$$

La relación mostrada depende básicamente del parámetro 'a' llamado parámetro de la catenaria quien le da la "apertura" es decir la apariencia de muy tensado o poco tensado, por esta razón el parámetro "a" está relacionado con los parámetros de colgado y del cable esto es:

$$a = T_0/W_0 \quad (2.2)$$

donde T_0 es la tensión del cable en el punto más bajo C y W_0 es el peso por unidad de longitud del cable, del cual y de la Fig. 2.2b podemos deducir:

$$T_0 = a \cdot W_0; \quad W = S \cdot W_0; \quad T = W_0 \cdot Y \quad (2.3)$$

Los cables generalmente son de acero, aluminio, cobre, combinaciones entre ellos (Ejm. ASCR), y aleaciones de aluminio (Ejm. Almelec), por el cual es necesario mencionar sus características principales representadas por su módulo de elasticidad y coeficiente de dilatación quienes determinan su comportamiento mecánico en el tendido.

2.2.1 MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS CABLES

Regido por la Ley de Hooke y definido como la relación entre el incremento del esfuerzo unitario al incremento de la deformación unitaria dentro del límite elástico del material conductor y se denota por E.

$$E = \text{esfuerzo unitario} / \text{deformación unitaria}$$

$$E = T \cdot L / S \cdot e \tag{2.4}$$

Para el caso de un cable mixto, tal como el aluminio-acero, se tiene el módulo de elasticidad equivalente E en función de sus elementos componentes, escribimos las relaciones:

$$T = T_1 + T_2$$

$$S = S_1 + S_2$$

$$\frac{T}{E \cdot S} = \frac{T_1}{E_1 S_1} = \frac{T_2}{E_2 S_2} \tag{2.5}$$

donde el subíndice 1 indica el aluminio y el subíndice 2 el acero; las 2 primeras relaciones son evidentes y la tercera indica que el alargamiento debido a T en el aluminio-acero es igual en el aluminio y en el acero, de donde se deduce:

$$E = \frac{E_1 S_1 + E_2 S_2}{S} \quad (2.6)$$

$$T_1 = (E_1 S_1 / E S) T; \quad T_2 = (E_2 S_2 / E S) T$$

Es necesario indicar que la Ley de Hooke está definida en la porción elástica del comportamiento del material al esfuerzo en cuanto a deformación, como se muestra en la Fig. 2.3, donde se nota 2 zonas: deformación elástica y deformación plástica, ésta última origina deformaciones permanentes. Esta consideración es sólo aplicable a uno de los hilos del cable por ser éste sólido, donde hemos considerado que la Ley de Hooke sólo actúa entre 0 y L.E.P (límite elástico de proporcionalidad). En nuestro caso los cables serán expuestos a deformaciones lineales (alargamiento) cuyos esfuerzos no sobrepasen el del L.E.P. (determinado por los factores de seguridad considerados) y éstos a la vez originan una disminución en el diámetro del hilo. Por esta disminución, los hilos se acomodan entre ellos de tal manera que desaparecen, no por completo, los intersticios entre hilos originando un aumento en la longitud del cable y la distribución desigual del esfuerzo total a cada hilo.

Como el cable de alguna manera debe estar representado por un módulo de elasticidad para determinar las deformaciones lineales - integrales (equivalente a todos los hilos), este módulo cambiará con el tiempo y de acuerdo a los esfuerzos soportados, es por esto que es conveniente hablar de un "módulo de elasticidad - inicial" y un "módulo de elasticidad - final" respecto al pretendido y postendido del cable. Los valores que se les asigna no son del todo conocidos -

sino son dados por la experiencia en cuanto a afectar con un factor de corrección al módulo de elasticidad de los hilos dependiendo del número de hilos, la longitud de cable considerado y la tensión T_0 de trabajo mayoritario (llamado esfuerzo de todos los días normales sin sobrecarga).

Para nuestro caso es necesario considerar el módulo de elasticidad final, con el cual aseguramos los requerimientos de claro mínimo.

2.2.2 COEFICIENTE DE DILATACION DE LOS CABLES

Definido como el incremento de longitud por unidad de longitud para una elevación de temperatura de 1 grado centígrado, denotado por α .

$$\alpha = \frac{dL}{Ldt} \quad (2.7)$$

El coeficiente de dilatación lineal α depende en general, de la temperatura, pero para intervalos ordinarios de ésta, se puede tomar valores constantes medios, Tomando como estándar la longitud a 0°C , L_0 , tendremos para cualquier temperatura t_1 :

$$L_1 = L_0 (1 + \alpha t_1) \quad (2.8)$$

Para el caso de un cable mixto, se tiene el coeficiente de dilatación equivalente α en función de sus elementos componentes, escribimos las relaciones

$$\frac{\Delta T_1}{E_1 S_1} = \alpha_1 \Delta t; \quad \frac{\Delta T_2}{E_2 S_2} = \alpha_2 \Delta t; \quad \frac{\Delta T}{E S} = \alpha \Delta t$$

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2; \quad (2.9)$$

éstas son evidentes considerando un mismo alargamiento para tensiones repartidas, de donde obtenemos:

$$\Delta T_1 = E_1 S_1 \alpha_1 \Delta t; \quad \Delta T_2 = E_2 S_2 \alpha_2 \Delta t; \quad \Delta T = E S \alpha \Delta t \quad (2.10)$$

luego,

$$\alpha = (E_1 S_1 \alpha_1 + E_2 S_2 \alpha_2) / E S \quad (2.11)$$

2.2.3 CONDICIONES MECANICAS DE LOS CABLES

Por sus características metálicas, el cable debe presentar una tensión Q_{ROT} de ruptura. Cuando se utilizan cables donde se tenga que ver con tensión soportada o aplicada, es necesario tener en consideración los coeficientes K de seguridad que fijan las normas o reglamentos técnicos (tal como el C.E.P.), es por esto que las tensiones críticas de trabajo de los cables considerados deben ser menores a Q_{rot}/K

$$T_{operación} < Q_{ROT} / K = T_{máx} \quad (2.12)$$

La mayor tensión de operación de los cables que adquieren la forma de catenaria al estar suspendidos de 2 puntos de sujeción es precisamente en éstos puntos. Entonces cabe en estos momentos relacionar $T_{máx}$ con el vano máximo a nivel que se pueda conseguir. De la relación (2.3) tenemos:

$$T = W \sqrt{a^2 + S^2} = W \sqrt{a^2 + a^2 \sinh^2 X / a} \quad (2.13)$$

$$T = W a \cosh X / a = T_0 \cosh X/a$$

con esto obtenemos para $T_{\text{máx}}$ el semivano a nivel máximo X_{max} , así:

$$X_{\text{max}} = a \cosh^{-1} \left(\frac{T_{\text{max}}}{T_0} \right) \quad (2.14)$$

luego para cualquier estado i tendremos:

$$X_{\text{max}.i} = a_i \cdot \ln \left[\frac{T_{\text{max}}}{T_i} + \sqrt{\left(\frac{T_{\text{max}}}{T_i} \right)^2 - 1} \right] \quad (2.15)$$

entonces el vano máximo al nivel será:

$$d_{\text{max}.i} = 2 X_{\text{max}.i} \quad (2.16)$$

2.3 CONDICIONES CLIMATICAS DE REFERENCIA

Las condiciones climáticas juegan un rol importante en el estudio de obras en los conductores, soportes y fundaciones, concierne en particular a:

- La temperatura ambiente.
- La acción del viento.
- Las sobrecargas eventuales de hielo, escarcha o de nieve.

En general las prescripciones relativas a esas condiciones figuran en los reglamentos administrativos tal como el Código Eléctrico del Perú.

Presentamos a continuación el efecto del viento sobre los cables y el efecto de sobrecargas por hielo, escarcha o nieve.

2.3.1 EFECTO DEL VIENTO SOBRE LOS CABLES

Consideramos que el viento sopla en forma perpendicular al cable y transversal a la línea, con una velocidad de v kilómetros/hora, luego la fuerza del viento sobre la unidad de longitud del cable de diámetro D en mm. y con un espesor de hielo de e mm. será:

$$V = 0.0095 v (D + 2e) / 1000 \quad [\text{Kg/m}] \quad (2.17)$$

que es una fórmula usual de cálculo ampliamente conocida.

2.3.2 EFECTO DEL HIELO SOBRE LOS CABLES

Consideramos una capa de hielo con espesor de e mm. quien produce una sobrecarga por metro lineal de cable dado por:

$$G = 2.9 * 10^{-3} e (e + D) \quad [\text{Kg/m.}] \quad (2.18)$$

2.3.3 COEFICIENTE DE SOBRECARGA

Se refiere a la relación de carga lineal del cable, considerando el efecto del viento y hielo respecto del cable solo. Entonces la carga total es:

$$W = \sqrt{(W_o + G)^2 + V^2} \quad (2.19)$$

y definimos a M como coeficiente de sobrecarga,

$$W = M W_o, \quad M = \sqrt{(1 + G/W_o)^2 + (V/W_o)^2} \quad (2.20)$$

2.4 EL PERFIL TOPOGRAFICO DE LA RUTA

La experiencia nos muestra que la ruta de la mayoría de las líneas aéreas de transmisión en el mundo recorren zonas accidentadas y en el tendido se las aprovechan o evaden debido a factores geológicos

o de seguridad. Esto nos obliga a considerar un modelo matemático de esta ruta de tal manera que permita aprovechar los factores topográficos, lo que implica discretizar la ruta y a cada punto considerado - denominaremos "ESTACION" de chequeo, este punto tendrá asignado un par (X_i, Y_i) referido a una coordenada X-Y aplicado a una sección recta de la ruta, tal como se muestra en la Fig. 2.4. La ordenada Y indica la altura de la estación respecto de un nivel referencial considerado, el nivel del mar en la mayoría de los casos. La abscisa X indica la distancia de la estación a una referencia cualesquiera que mayormente será una estación conocida. La distancia entre estaciones es variable con el fin de aproximar el perfil a la poligonal formada por la unión de las estaciones mediante segmentos, esto es generalmente:

$$\left| X_{i+1} - X_i \right| \neq \left| X_i - X_{i-1} \right| \quad (2.21)$$

Sobre cada una de estas estaciones se tendrá que colocar un soporte de altura determinada y será probada con otros soportes colocados anteriormente y se decidirá si es óptimo su colocación.

En nuestro caso consideramos como ALTURA DE UN SOPORTE a la distancia del punto de sujeción del cable más bajo a la estación referida.

2.5 ECUACION DE LA CATENARIA EN EL PERFIL.

Para el efecto consideramos la catenaria formada por el cuelgue de un cable entre 2 puntos de sujeción mostrados en la Fig. 2.5, donde debemos determinar los parámetros s , δ , f , c y la longitud de la catenaria considerada. Es decir debemos determinar Y_c en función de $X_c, a, X_i, Y_i, X_j, Y_j, H_i, H_j$; es decir:

$$Y_c = f(a, X_c, X_i, Y_i, X_j, Y_j, H_i, H_j) \quad (2.22)$$

escribimos las relaciones simples:

$$d = X_j - X_i ; \quad h = (Y_j + H_j) - (Y_i + H_i) \quad (2.23)$$

$$a = T_0 / MW_0$$

La ecuación de la catenaria en las coordenadas $X^* - Y^*$ es:

$$Y^* = a \cosh (X^*/a);$$

donde:

$$Y^* = Y_c - Y_0 ; \quad X^* = X_c - X_0; \quad (2.24)$$

deducimos los parámetros auxiliares.

2.5.1 LONGITUD DE LA CATENARIA

Simbolizado por L . La longitud de una curva está dado por

$$L = \int_{X_i^*}^{X_j^*} \sqrt{1 + (dY/dX)^2} \cdot dx ; \quad (2.25)$$

en nuestro caso; $(dY/dX) = \sinh (X^*/a)$, reemplazando obtenemos:

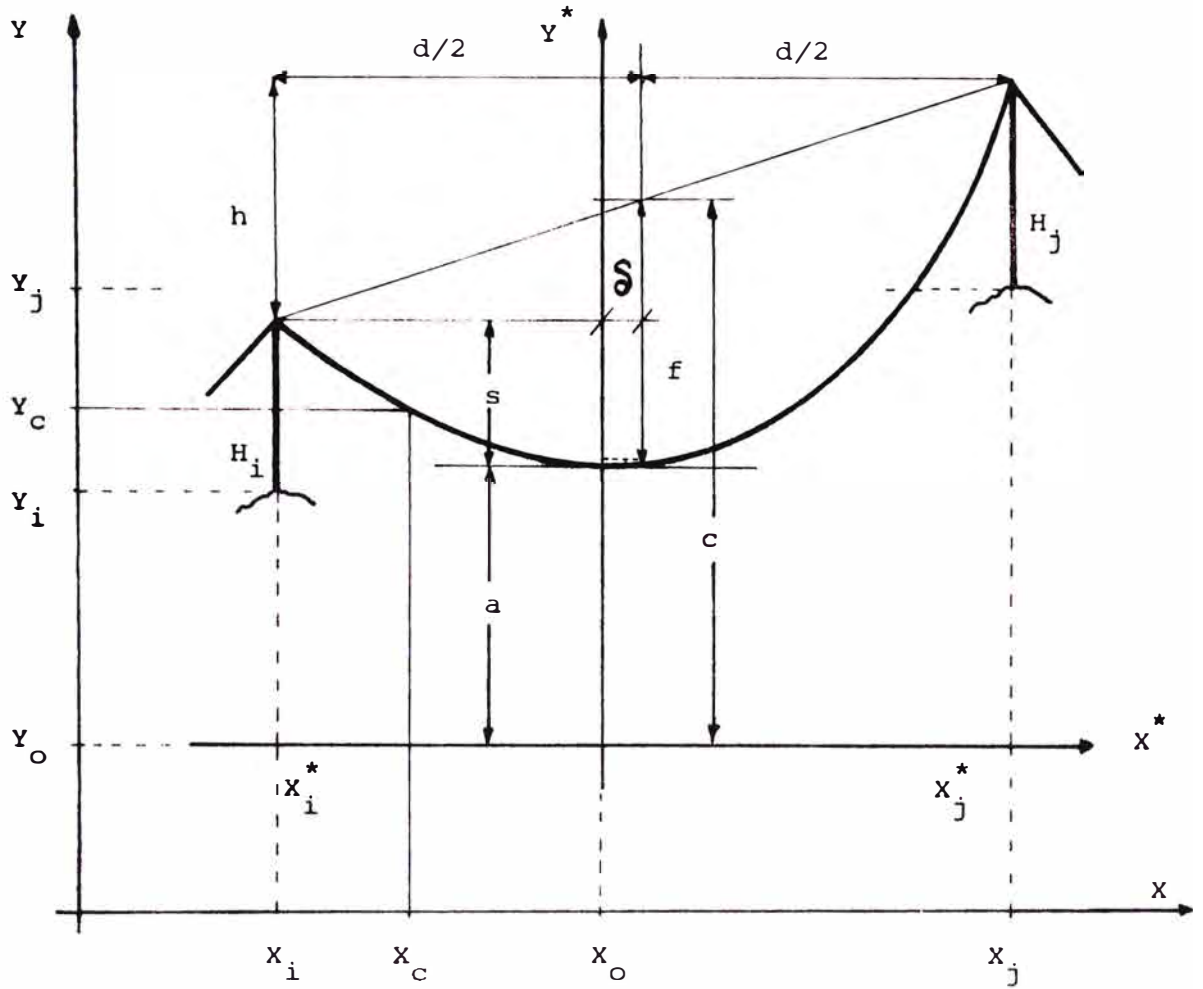


Fig. 2.5

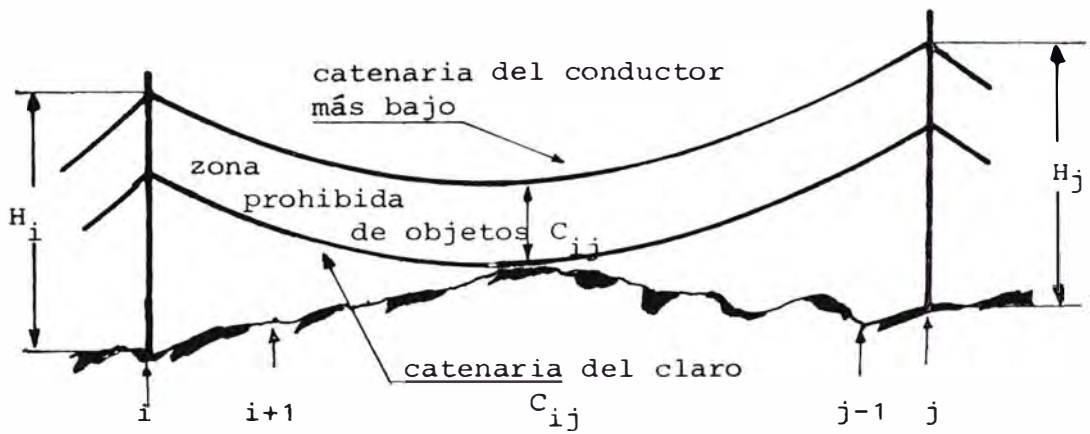


Fig. 2.6

$$L = \int_{X_i^*}^{X_j^*} \sqrt{1 + (\sinh X^*/a)^2} \cdot dX^* = a \sinh X^*/a \Big|_{X_i^*}^{X_j^*}$$

$$L = a (\sinh X_j^*/a - \sinh X_i^*/a) \quad (2.26)$$

utilizando d y transformando:

$$\begin{aligned} L &= a \left[\sinh (X_i^* - d)/a - \sinh X_i^*/a \right] \\ L &= 2a \sinh (d/2a) \cdot \cosh \left[(d + 2 X_i^*)/2a \right] \end{aligned} \quad (2.27)$$

por otra parte tenemos:

$$\begin{aligned} h &= a \cosh X_j^*/a - a \cosh X_i^*/a \\ h &= 2a \sinh (d/2a) \cdot \sinh \left[(d + 2 X_i^*)/2a \right] \end{aligned} \quad (2.28)$$

elevando al cuadrado ambos miembros de las relaciones (2.27) y (2.28)

luego restándolos, tenemos:

$$L^2 - h^2 = 4a^2 \sinh^2 (d/2a) \left[\cosh^2 (d + 2X_i^*)/2a - \sinh^2 (d+2X_i^*)/2a \right] \quad (2.29)$$

de donde resulta:

$$L = \sqrt{h^2 + (2a \sinh d/2a)^2} \quad (2.30)$$

2.5.2 LONGITUD DE LA FLECHA

Sabemos que la flecha es el segmento vertical entre el punto medio de la cuerda de la catenaria y la misma catenaria, simbolizado por f , de la Fig. 2.5:

$$f = Y_j^* - Y_f^* - h/2 = \left[(Y_j^* - Y_f^*) - (Y_f^* - Y_i^*) \right] / 2 \quad (2.31)$$

reemplazando

$$Y_i^*, Y_j^*, Y_f^* \text{ por } X_i^*, X_j^*, d \text{ y } a;$$

$$f = (a/2) \left[\cosh (X_i^* + d)/a - \cosh (X_i^* + d/2)/a \right] \dots$$

$$- (a/2) \left[\cosh (X_i^* + d/2)/a - \cosh (X_i^*/a) \right] \quad (2.32)$$

haciendo transformaciones obtenemos:

$$f = 2a \sinh^2 (d/4a) \cdot \cosh \left[(X_i^* + d/2)/a \right] \quad (2.33)$$

considerando la relación (2.30):

$$f = L \sinh^2 (d/4a) / \sinh (d/2a) \quad (2.34)$$

de donde:

$$f = (L/2) \operatorname{tgh} (d/4a) \quad (2.35)$$

2.5.3 LONGITUD DE LA SAETA

La saeta es el segmento vertical entre el punto de sujeción más bajo y el punto más bajo de la catenaria, simbolizado por s , tenemos:

$$s = c - h/2 - a ; \quad c = Y_f^* + f \quad (2.36)$$

donde:

$$Y_f^* = a \cosh (X_i^* + d/2)/a$$

pero:

$$L = 2a \sinh (d/2a) \cdot \cosh (X_i^* + d/2)/a$$

luego:

$$Y_f^* = (L/2) \sinh (d/2a) \quad (2.37)$$

de donde el parámetro C tendrá el valor:

$$c = (L/a) \sinh (d/2a) + (L/2) \operatorname{tgh} (d/4a) \quad (2.38)$$

transformando:

$$c = (L/2) \operatorname{coth} (d/2a) \quad (2.39)$$

entonces:

$$s = (L/2) \operatorname{coth} (d/2a) - h/2 - a \quad (2.40)$$

2.5.4 DISTANCIA DE LA FLECHA AL EJE VERTICAL DE LA CATENARIA

Simbolizado por δ , cuyo valor será:

$$\delta = x_i^* + d/2 \quad (2.41)$$

de las relaciones (2.27) y (2.28), tenemos:

$$\frac{h}{L} = \sinh \left[(d + 2x_i^*)/2a \right] / \cosh \left[(d + 2x_i^*)/2a \right] \quad (2.42)$$

luego

$$\frac{h}{L} = \operatorname{tg} h \delta/a; \text{ de donde resulta:}$$

$$\delta = (a/2) \ln \left[(L + h) / (L - h) \right]$$

2.5.5 UBICACION DEL ORIGEN DE COORDENADAS DE LA CATENARIA

Con los resultados obtenidos anteriormente podemos conocer la ubicación del origen de coordenadas de la catenaria (X_o, Y_o) , luego:

$$X_o = x_j - d/2 - \delta \quad (2.44)$$

$$Y_o = Y_j + H_j - h/2 - c$$

donde, para calcular (X_o, Y_o) es necesario calcular δ , c , d y h que son funciones de $x_i, x_j; y_i, y_j; a; H_i, H_j$

Con esta premisa podemos ubicar un punto de la catenaria en los ejes coordenados X - Y:

$$Y_c = Y_o + Y^*$$

x_c es conocido y puede actuar inclusive fuera de x_i, x_j

y con la relación (2.24) tendremos:

$$Y_c = Y_o + a \cosh (x_c - x_o)/a \quad (2.46)$$

2.6 CAMBIOS DE ESTADO

Este problema consiste en calcular la tensión del cable - en una hipótesis determinada partiendo de una tensión conocida en otra hipótesis, esto ocurre debido a que un cambio de las condiciones ambientales como la temperatura, presencia de hielo, nieve o escarcha obliga un cambio en la tensión de trabajo del cable y por ende la longitud del mismo.

Establecemos la ecuación de cambio de estado para lo cual, conocemos las características generales del cable:

- Naturaleza.
- Sección total (S).
- Diámetro (D).
- Módulo de elasticidad (E).
- Coeficiente de dilatación lineal (α)
- Peso unitario lineal de cable (W).

Partimos del estado 1, cuya hipótesis de base está definida por:

- Temperatura del cable (t_1).
- Coeficiente de sobrecarga del cable (M_1)
- Tensión total del cable en Kg. (proyección horizontal) (T_1).
- Vano en metros (d).

Debemos determinar la nueva tensión del cable (T_2) en otra hipótesis diferente (Estado 2), definido por:

- Nueva temperatura del cable (t_2).
- Nuevo estado de sobrecarga (M_2).

y los otros datos permanecen invariables.

Escribimos que la diferencia de longitud de arco del cable entre el estado 2 y el estado 1, corresponde a la suma algebraica

$$\Delta L = \Delta L_{\sigma} + \Delta L_t \quad (2.47)$$

donde ΔL_{σ} corresponde al alargamiento elástico dado por:

$$\Delta L_{\sigma} = L_1 \frac{T_2 - T_1}{E S} \quad (2.48)$$

y ΔL_t corresponde al alargamiento térmico dado por:

$$\Delta L_t = L_1 \cdot \alpha (t_2 - t_1) \quad (2.49)$$

de donde:

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L_1 \frac{T_2 - T_1}{E S} + L_1 \alpha (t_2 - t_1) \quad (2.50)$$

como el cable sigue el comportamiento de una catenaria, es necesario considerar una tensión T_m no horizontal promedio, para el efecto, sabemos que la tensión en cualquier punto del cable se define por:

$$T = W \cdot Y$$

entonces

$$T_m = W \cdot Y_m = M W_0 Y_m \quad (2.51)$$

de la Fig. 2.5 calculamos Y_m , definido como la ordenada media entre 2 abscisas conocidas, en nuestro caso será:

$$Y_m = \frac{1}{d} \int_{X_i^*}^{X_i^* + d} Y^* \cdot dx^* \quad (2.52)$$

de la relación (2.24), tendremos:

$$Y_m = \frac{a^2}{d} \cdot \sinh \frac{X^*}{a} \begin{bmatrix} X_{i+d}^* \\ X_i^* \end{bmatrix} = \frac{a^2}{d} \left[\sinh \frac{X_i^* + d}{a} - \sinh \frac{X_i^*}{a} \right] \quad (2.53)$$

de la relación (2.27), tenemos:

$$Y_m = \left(\frac{a^2}{d}\right) \cdot \left(\frac{L}{a}\right); \quad Y_m = \frac{L \cdot a}{d} \quad (2.54)$$

pero considerando la relación (2.23):

$$Y_m = \frac{L}{d} T_o \quad (2.55)$$

teniendo en consideración este resultado, tendremos:

$$L_2 - L_1 = L_1 \frac{L_2 T_2 - L_1 T_1}{d \text{ E S}} + L_1 \propto (t_2 - t_1) \quad (2.56)$$

$$L_2 \left[1 - \frac{L_1 T_2}{d \text{ E S}} \right] = L_1 \left[1 - \frac{L_1 T_1}{d \text{ E S}} + \propto (t_2 - t_1) \right] \quad (2.57)$$

definimos: $\varphi_i = \frac{d M_i W_o}{d T_i}$; i es el estado,

entonces tendremos:

$$L_2 = \frac{\varphi_2 L_1}{\varphi_2 - \frac{L_1 W_o M_2}{2 \text{ E S}}} \cdot \left[1 - \frac{L_1 T_1}{d \text{ E S}} + \propto (t_1 - t_1) \right] \quad (2.58)$$

por otra parte:

$$L_2 = d \sqrt{(h/d)^2 + (\sinh (d/2a_2) / (d/2a_2))^2} \quad (2.59)$$

despejando φ_2 , obtenemos la ecuación de recurrencia recursiva no lineal de cambio de estado.

$$\varphi_2 = \frac{\left[\varphi_2 - \frac{L_1 M_2 W_0}{2 E S} \right] \sqrt{(h/d)^2 + (\sinh \varphi_2 / \varphi_2)^2}}{(L_1/d) \left[1 - \frac{L_1 T_1}{d E S} + \alpha (t_2 - t_1) \right]} \quad (2.60)$$

y para una convergencia iterativa lineal tenemos:

$$\varphi_2^{(i+1)} = \frac{\left[\varphi_2^{(i)} - \frac{L_1 M_2 W_0}{2 E S} \right] \sqrt{(h/d)^2 + (\sinh \varphi_2^{(i)} / \varphi_2^{(i)})^2}}{(L_1/d) \cdot \left[1 - \frac{L_1 T_1}{d E S} + \alpha \cdot (t_2 - t_1) \right]} \quad (2.61)$$

de donde se calcula

$$T_2 = \frac{d M_2 W_0}{2 \varphi_2^*} \quad (2.62)$$

φ_2^* es calculado por métodos iterativos considerando un error dado.

Con esta tensión T_2 se calcula el parámetro de la catenaria a_2 con el cual queda completamente determinado el nuevo estado 2.

2.7 COMPORTAMIENTO DE LA CATENARIA CON EL PERFIL TOPOGRAFICO

Es sabido que en el tendido de líneas aéreas de transmisión eléctrica se debe respetar una distancia mínima entre el conductor y el terreno por razones de seguridad y plasmados en las normas técnicas vigentes para el efecto. Definiremos a esta distancia mínima entre el conductor más bajo de la línea y el terreno, que no debe disminuirse, como el CLARO de la línea y dependerá del terreno y/o objetos cruzados

entre soportes.

Definimos además como CATENARIA DEL CLARO como la catenaria del cable entre 2 soportes bajada a una distancia equivalente al claro del vano considerado, tal como se muestra en la Fig. 2.6. Como el perfil topográfico, para nuestro caso, está constituido como una secuencia de segmentos de recta, es necesario presentar el fundamento matemático del cambio de coordenadas de la catenaria del conductor, es decir, trasladar la catenaria en las 4 direcciones posibles (ortogonales) de tal manera de que se cumpla con los requerimientos del claro entre las estaciones deseadas.

2.7.1 DETERMINACION DE LA DIFERENCIA CRITICA DE LA COMPROBACION DEL CLARO REQUERIDO

Definimos como DIFERENCIA Δt_n a la diferencia de ordenadas entre la catenaria del claro del vano y el perfil topográfico en un punto cualesquiera X_n , como se muestra en la Fig. 2.7, donde

$$\Delta t_n = Y_n^* - c_{ij} - (Y_n - Y_o) \quad (2.63)$$

y Y_n^* está dado por la relación;

$$Y_n^* = a \cosh \frac{X_n^*}{a}$$

Seguidamente nuestro objetivo es determinar el valor Δt para cualquier par de puntos adyacentes del perfil de tal manera de evaluar entre ellos el mínimo valor en el vano, quien nos permitirá desplazar el origen de coordenadas de la catenaria y así lograr que la

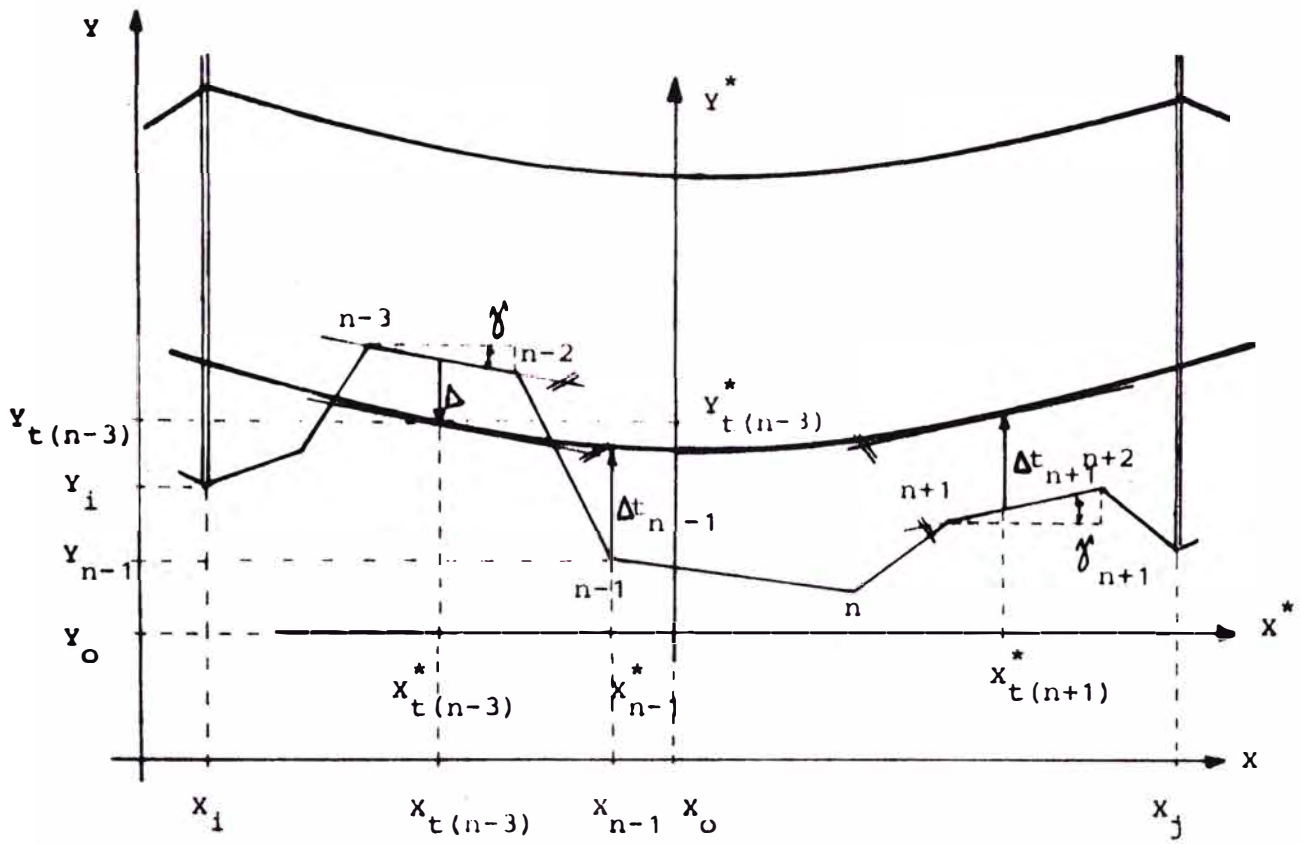


Fig. 2.7

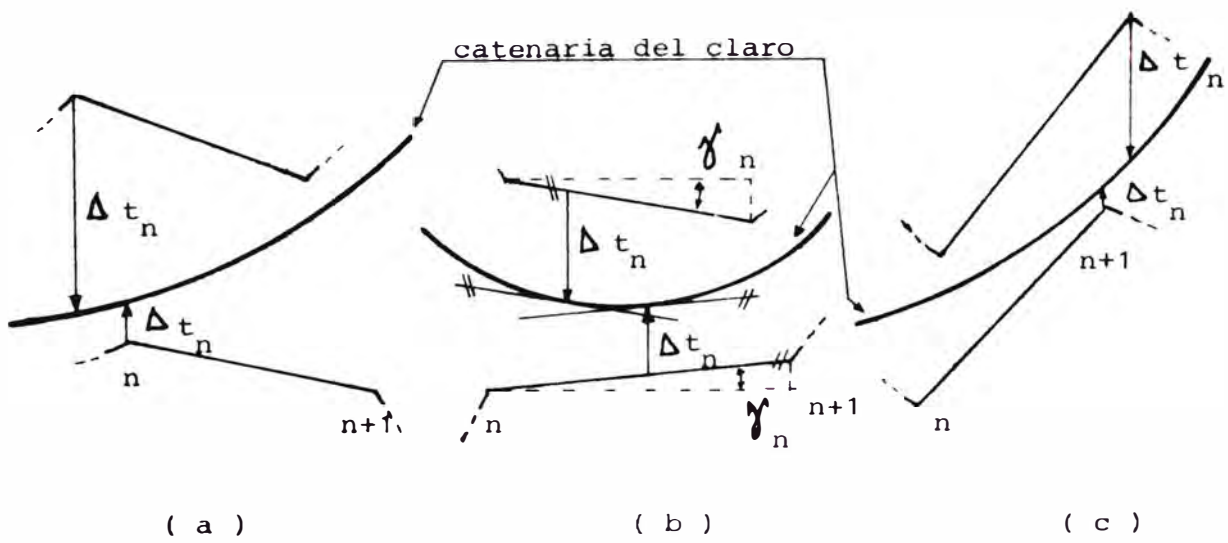


Fig. 2.8

catenaria del claro logre estar por encima del perfil (teóricamente, tangente en un punto cualesquiera).

En el análisis de 2 puntos adyacentes se presentan 3 casos de ubicación de Δt según sea la ubicación del par de puntos respecto de la catenaria del claro, tal como se muestra en la Fig. 2.8. La determinación de Δt en el caso (a) y (c) es inmediato, mientras que para el caso (b) merece un tratamiento matemático, como el que sigue; definimos:

$$\operatorname{tg} \gamma_n = (Y_{n+1} - Y_n) / (X_{n+1} - X_n) = K_n \quad (2.64)$$

con K_n determinamos el valor de X_{tn}^* que corresponde al punto crítico; como:

$$Y^* = a \cosh X^*/a; \quad dY^*/dX^* = \sinh X^*/a = K \quad (2.65)$$

entonces:

$$X_{tn}^* = a \operatorname{senh}^{-1} K_n$$

$$X_{tn}^* = a \ln \left[K_n + \sqrt{K_n^2 + 1} \right] \quad (2.66)$$

y determinar Δt_n , ahora, es inmediato.

Entonces Δt para un punto o estación p del vano i - j considerado, puede tener los valores siguientes:

$$a) \quad \Delta t_p = Y_{p+1}^* - c_{ij} - (Y_{p+1} - Y_o); \quad (2.67)$$

si el signo de $\operatorname{tg} \gamma_p$ difiere del signo de X_{p+1}^* y éste es negativo o $X_{tp}^* > X_{p+1}^*$

$$b) \quad \Delta t_p = y_{tp}^* - c_{ij} - (y_p - y_o) - K_p (x_{tp}^* - x_p^*) \quad (2.68)$$

si el signo de $\text{tg } \gamma_p$ es igual al signo de x_p^* ó x_{p+1}^* y x_{tp}^*
 $\in [x_p^*, x_{p+1}^*]$

$$c) \quad \Delta t_p = y_p^* - c_{ij} - (y_p - y_o) \quad (2.69)$$

si el signo de x_p^* difiere del signo de $\text{tg } \gamma_p$ y éste es negativ
vo ó $x_{tp}^* < x_p^*$

Tenemos los elementos suficientes como para determinar el Δt crítico; definido por:

$$\Delta t = \min [\Delta t_p]; \quad p=i, i+1, \dots, j-1; \quad (2.70)$$

2.7.2 TRANSFORMACION DE COORDENADAS DE LA CATENARIA

Es necesario la transformación de coordenadas de la catenaria debido a que al existir una diferencia Δt crítico ya sea de valor positivo o negativo, implica desplazar el origen de coordenadas hacia abajo o hacia arriba respectivamente, esto tiene su explicación en un proceso de optimización del costo del tendido de la línea y son:

- Si la diferencia es positiva implica que la catenaria del claro está por encima del perfil y esto es un caso negativo en cuanto que estamos empleando soportes de altura exagerada, entonces es necesario disminuir estas alturas de tal manera que la catenaria del claro sea tangente al perfil. Esto obliga a desplazarlo hacia abajo.

- Si la diferencia es negativa implica que la catenaria del claro está por debajo del perfil, es otro caso en el que infringimos el incumplimiento del claro requerido, lo cual obliga desplazar hacia arriba a la catenaria del claro.

Desplazamos en forma genérica para un Δt ubicado en (x_t^*, y_t^*) respecto del punto de sujeción fija (x_j^*, y_j^*) , asumido para este caso, luego:

- en el punto B: (fig. 2.9)

$$y_j^* - \Delta y = a \cosh \left[(x_j^* - x) / a \right] \quad (2.71)$$

- en el punto A:

$$y_t^* - \Delta t - \Delta y = a \cosh \left[(x_t^* - \Delta x) / a \right] \quad (2.72)$$

restando ambas relaciones:

$$y_j^* - y_t^* + \Delta t = a \left\{ \cosh \left[(x_j^* - \Delta x) / a \right] - \cosh \left[(x_t^* - \Delta x) / a \right] \right\} \quad (2.73)$$

transformando:

$$y_j^* - y_t^* + \Delta t = 2a \sinh \left[(x_j^* + x_t^* - 2 \Delta x) / 2a \right] \sinh \left[(x_j^* - x_t^*) / 2a \right] \quad (2.74)$$

definimos:

$$\rho = \frac{y_j^* - y_t^* + \Delta t}{2a \sinh \left[(x_j^* - x_t^*) / 2a \right]} \quad (2.75)$$

entonces:

$$\Delta x = \frac{x_j^* + x_t^*}{2} - a \cdot \ln \left[\rho + \sqrt{\rho^2 + 1} \right] \quad (2.76)$$

y:

$$\Delta y = y_j^* - a \cosh \left[(x_j^* - \Delta x) / a \right] \quad (2.77)$$

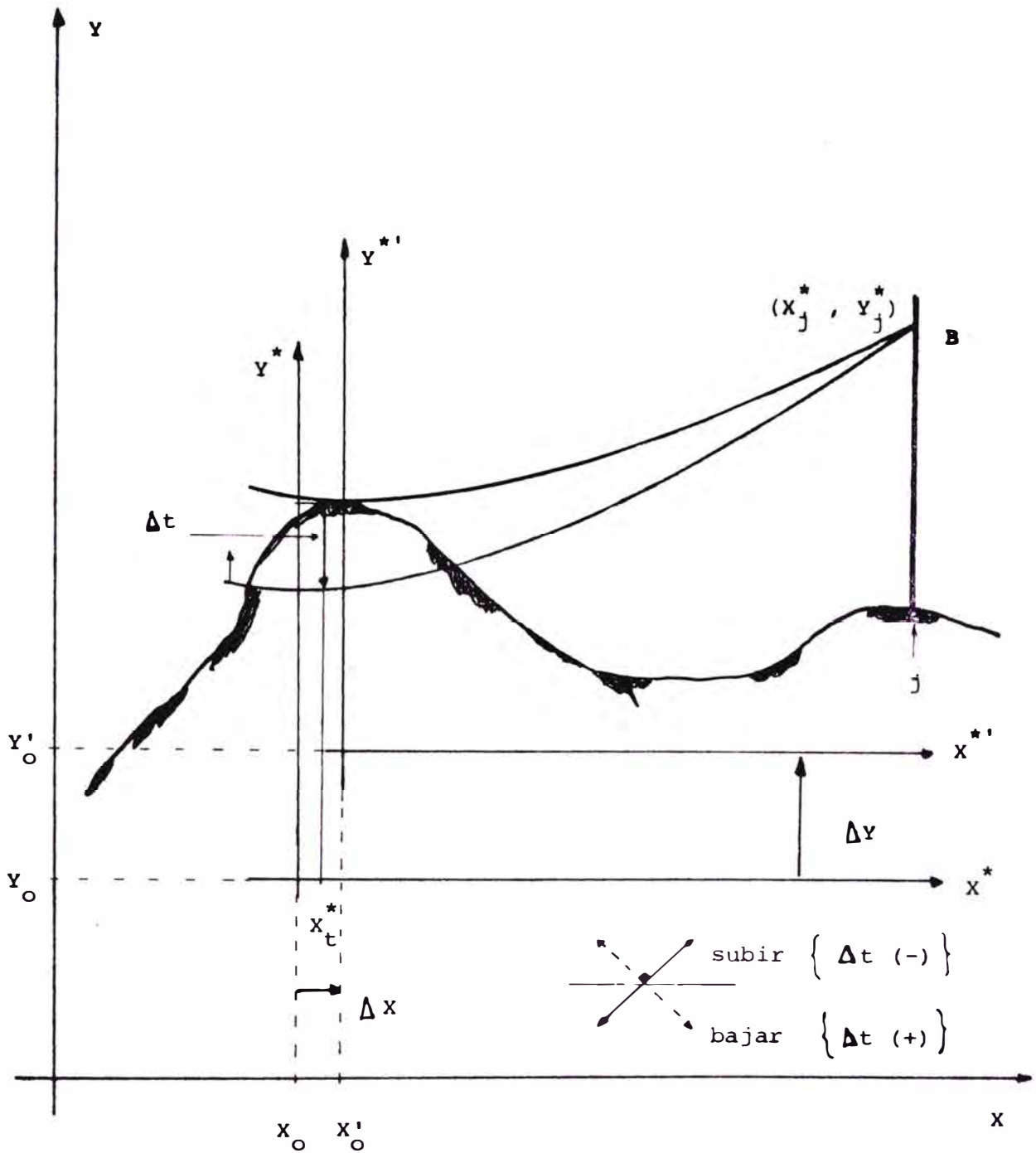


Fig. 2.9

con el cual tenemos definido la catenaria en el nuevo sistema de coordenadas dado por:

$$x'_0 = x_0 + \Delta x ; \quad y'_0 = y_0 + \Delta y \quad (2.78)$$

Con estas premisas, estamos aptos para simular el comportamiento del conductor y el cable de guarda en relación al perfil topográfico y la relación existente con los soportes será visto en el capítulo siguiente.

Se ha desarrollado los fundamentos matemáticos que rigen el comportamiento del conductor en condiciones cualesquiera determinado por un estado, denominado hipótesis, si ese estado es importante en el análisis de optimización.

C A P I T U L O I I I

METODOLOGIA DE COLOCACION DE SOPORTES

3.1 CLASIFICACION DE LOS SOPORTES

3.1.1 DEFINICION DE POSTE Y PILON O TORRE

Definimos como "poste" a los soportes de poca altura de columna vertical única, tales como los postes de madera, concreto o metálicos destinados a líneas de tensión media.

Definimos como "pilón" o "torre" a los soportes metálicos de elementos estructurales ensamblados, destinados a la mayoría de líneas de transporte de energía de alta tensión.

3.1.2 DIVERSAS CLASIFICACIONES DE LOS SOPORTES

Podemos clasificarlos:

- Según la disposición de sus cruzetas.
- Según el tipo de fundación o cimentación utilizada.
- Según su aptitud a resistir a los esfuerzos longitudinales.

Las torres y pórticos sostenidos con "cables - viento" son clasificados separadamente .

3.1.2.1 CLASIFICACION DE SOPORTES SEGUN LA DISPOSICION DE SUS CRUZETAS

Según las cruzetas utilizadas distinguimos 2 grandes clases:

- Una donde los conductores están dispuestos a diferente altura, tales como los soportes triángulo, bandera, doble bandera, doble -

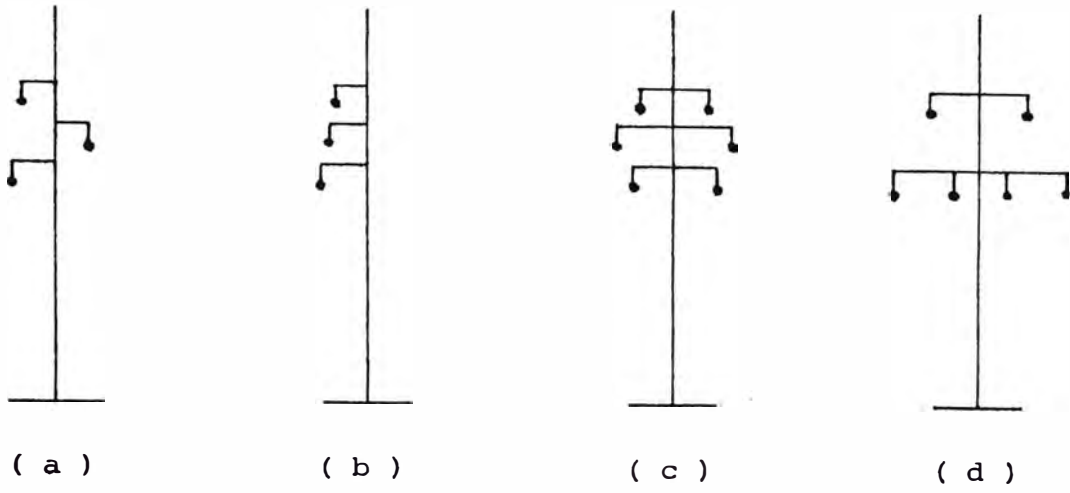


Fig. 3.1

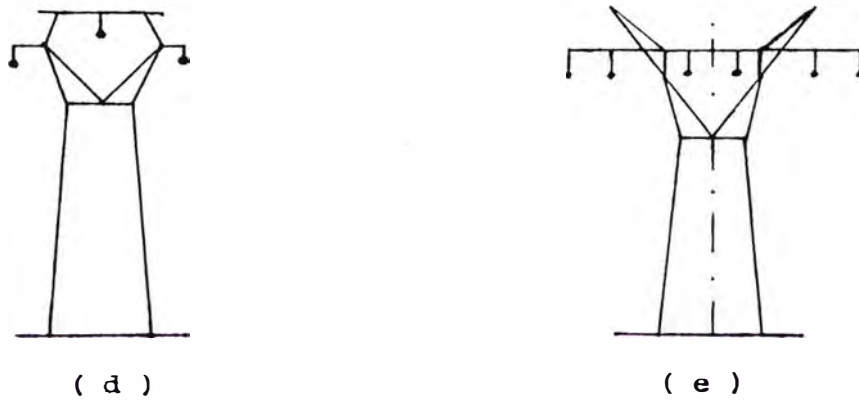
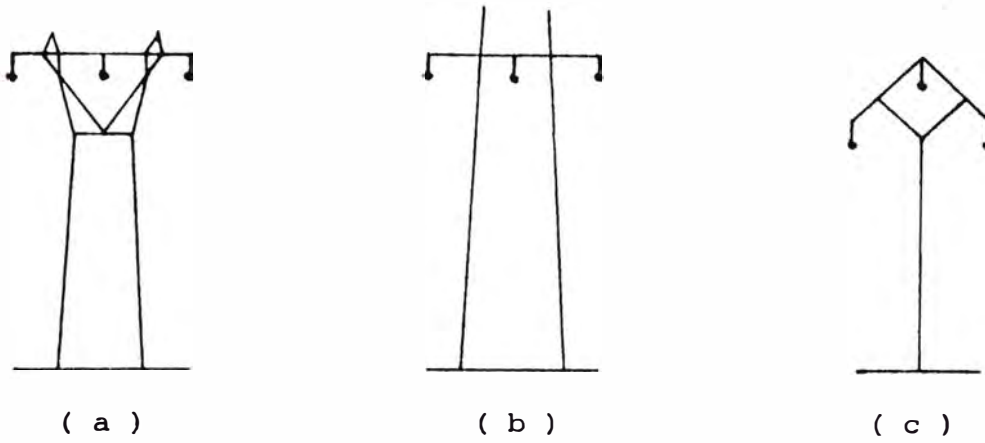


Fig. 3.2

triángulo, (como se muestra en la Fig. 3.1).

- La otra donde los conductores están dispuestos al mismo nivel o un poco desnivelados, tales como:
 - Torres o pórticos de cruzeta horizontal.
 - Postes de cruzetas en bóveda.
 - Torres del tipo "gato" (como se muestra en la Fig. 3.2).

La primera clase está compuesto esencialmente de torres o postes de columna vertical única que permiten la utilización de un solo cable de tierra o guarda dispuesto en la parte superior de la estructura. Estas estructuras presentan la ventaja de facilitar el empleo de construcciones isostáticas o asimiladas (torres de enrejados simples o múltiples) y permiten obtener generalmente, a cargas iguales, la estructura más económica. Este sistema también se emplea sobre los postes de concreto, generalmente, bajo la forma mostrada en la Fig. 3.2-h, constituido mayormente con la ayuda de perfiles en U.

La segunda clase de soportes se comportan como torres de columna única y pórticos a la vez. Estos se prestan fácilmente a la utilización de cables de guarda.

3.1.2.2 CLASIFICACION DE SOPORTES SEGUN EL TIPO DE FUNDACION O CIMENTACION UTILIZADO

Distinguimos 3 tipos particulares:

- Soportes de cimentación simple o única, (fundación monopeda o monobloc).
- Soportes de cimentación doble (fundación bípeda)

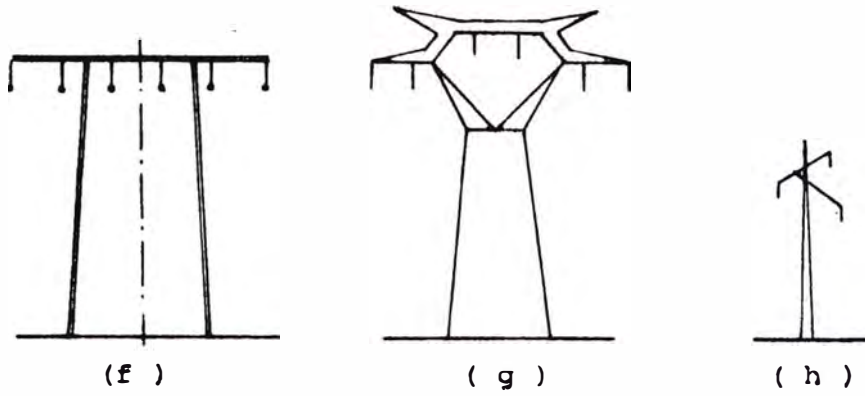


Fig. 3.2

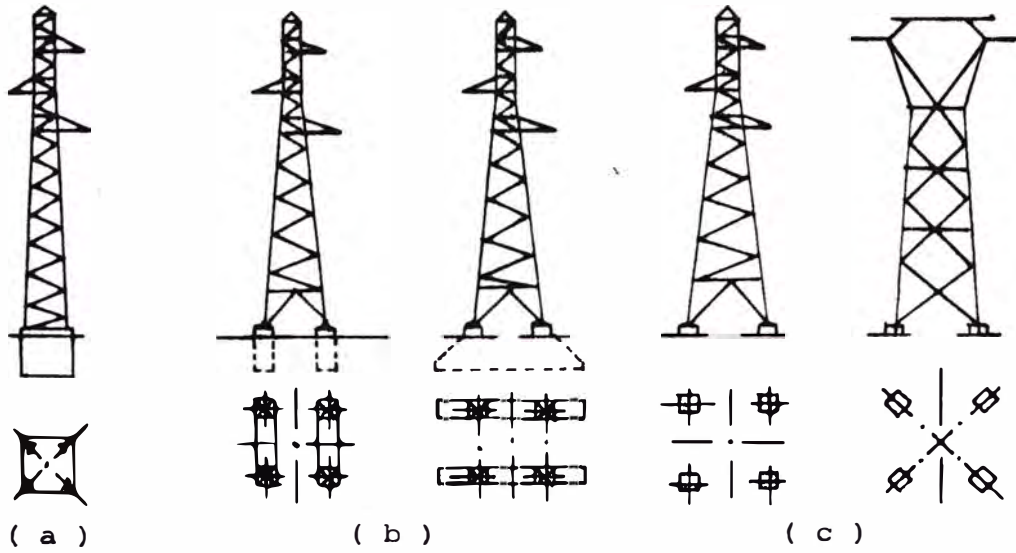


Fig. 3.3

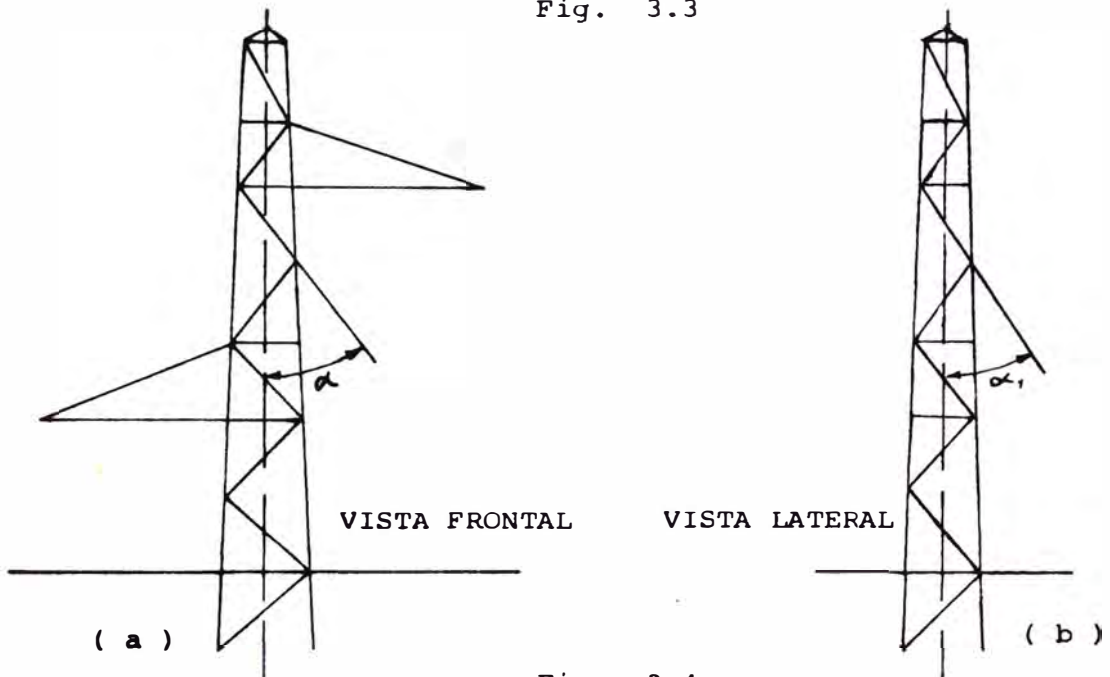


Fig. 3.4

- Soportes de cimentación separada o independiente (fundación tetrapeda).

La forma de la torre es influenciada por el sistema de cimentación utilizada.

Los soportes de cimentación simple son en general de los postes o torres metálicas de base estrecha de dimensiones no mayores de 1.50 a 1.80 m. de lado, se muestra en la Fig. 3.3-a.

A igual estabilidad las fundaciones monobloc exigen siempre un volúmen de concreto mayor que las fundaciones separadas. Estos constituyen una solución económica para las estructuras de torres metálicas ligeras.

Los soportes de cimentación doble son en general de las torres de base rectangular de dimensiones relativamente pequeñas. Marcan la transición de evolución hacia las cimentaciones tetrapedas mostramos en la Fig. 3.3-b.

Los soportes de cimentación separada o tetrapeda representan actualmente la casi totalidad de las torres de grandes líneas donde las dimensiones de la base sobrepasan los 4 a 5 metros de lado. Permite que el soporte sea solicitado con esfuerzos simples, (compresión o tracción) ya que es asimilado la mayor parte por el terreno.

3.1.2.3 CLASIFICACION DE SOPORTES SEGUN SUS APTITUDES A ESFUERZOS LONGITUDINALES

Esta clasificación observa 3 tipos principales de estructura:

Torres semirígidas.

Torres rígidas.

- Torres flexibles.

Sus definiciones particulares se refieren a su capacidad de resistencia a los esfuerzos longitudinales.

Los pilones o torres semirígidas sólo tienen en cuenta los esfuerzos longitudinales eventuales. Se disminuye los esfuerzos de flexión y torsión desarrollados por las fuerzas longitudinales eventuales. Tiene los elementos estructurales largos de tal manera de formar ángulos con la horizontal muy inclinados (α y α_1 pequeños), ver Fig. 3.4.

Los pilones o torres rígidas, son calculados para satisfacer las hipótesis de estado determinadas. Es rígida en relación a los esfuerzos transversales, el cual obliga a que α sea mayor que las semirígidas; o a los esfuerzos longitudinales, el cual obliga a que α_1 sea mayor que las semirígidas. Además considera las combinaciones de cargas en juego, simultáneos: esfuerzos verticales, transversales y longitudinales.

Los pilones o torres flexibles consideran la flexibilidad en el sentido longitudinal soportando esfuerzos considerables. Tam-

bien se considera la flexibilidad en el sentido transversal pero menor que el anterior.

3.1.2.4 Para finalizar, los pilones o torres y pórticos con "viento", son sostenidos por cables de reten llamado "viento" (Fig.3.5) y el objeto es asegurar o aumentar la estabilidad sea en el sentido longitudinal o transversal, o ambos. Generalmente estos soportes son articulados a la altura de la cimentación y actúan como soportes de suspensión. Para un estudio completo, es necesario considerar los cambios de estado de los "vientos".

Es ampliamente conocido las clasificaciones de los soportes dados por la colocación en el perfil, así denominamos como soporte de alineamiento aquel ubicado en una estación que no tiene ángulo topográfico y si lo hay, el soporte se denomina de ángulo. Respecto de las cadenas de aisladores, tenemos los soportes de suspensión y anclaje. Los soportes de retención cumplen la función de soportar tiros de uno u otro lado no simultáneo y sirven de separación de tramos de la línea (rompe trecho).

3.2 ESFUERZOS TRANSMITIDOS POR LOS CABLES A LOS SOPORTES

Como es sabido, los soportes están destinados a mantener los conductores a una altura suficiente (claro) sobre el suelo, teniendo en cuenta la flecha de cada uno de ellos, cualquiera sea la naturaleza del soporte. Por esto, deben tener la capacidad de resistir las cargas que le son aplicadas, mayormente aquellas que los conductores y cables de guarda le transmiten.

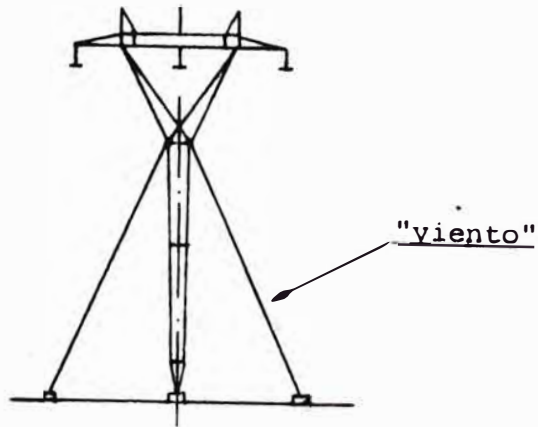


Fig. 3.5

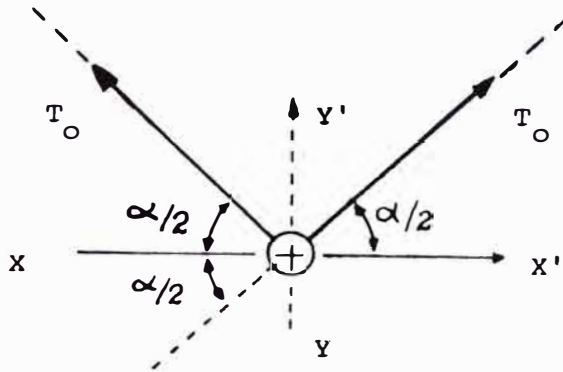
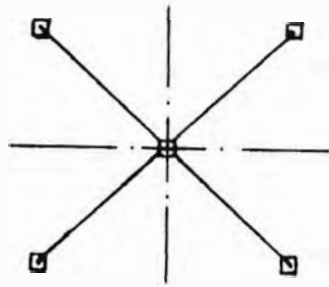


Fig. 3.6

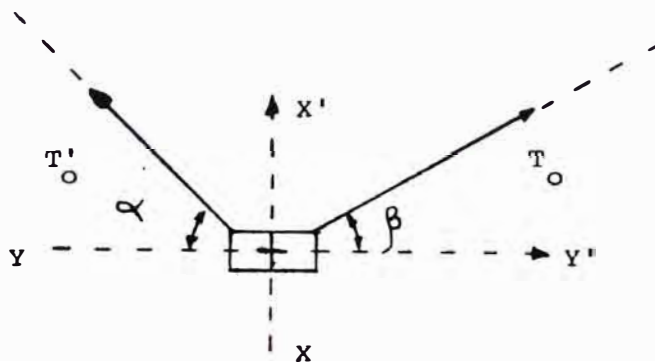


Fig. 3.7

Las cargas transmitidas por los cables pueden ser descompuestas según las 3 direcciones rectangulares: vertical, horizontal longitudinal y transversal.

3.2.1 CARGAS VERTICALES

Originado por:

- Peso de los conductores y cables de guarda o tierra.
- Peso del hielo sobre los conductores y soporte.
- Operaciones de construcción y mantenimiento.
- Peso muerto del soporte.

Las cargas de Construcción se originan por el izado o montaje, el tensado de los conductores de reemplazo de Cables malogrados, etc. cuyo exceso no previsto puede ocasionar fallas en las cruces (elementos del soporte mayor forzado). La operación de montaje de los cables ocasionan cargas verticales cuyo valor depende de la posición del equipo usado en el tensado del cable con relación al soporte que sostiene al cable y de la velocidad con que se ejecuta la operación.

Las cargas de Mantenimiento se refieren a los esfuerzos en las operaciones de cambio de conductor que involucran el descenso e izado de los cables, efectuado por las cuadrillas de mantenimiento formados por operadores no siempre expertos.

El Peso Muerto, es el peso propio del soporte que nosotros conocemos a priori en el proceso de distribución de soportes, a si como las cargas estimadas de construcción y mantenimiento.

Para el caso general, considerando sobrecarga en los conductores debido a la presencia de hielo, escarcha o nieve, utilizamos el parámetro Z (ver apéndice A) que representa el desnivel entre los soportes adyacentes respecto del considerado, tenemos:

$$P_v = M W_o (d_1 + d_2) / 2 + T_o (d_1 + d_2) Z / d_1 d_2 \quad (3.1)$$

donde, P_v representa la carga vertical originada por un conductor con sobrecarga de hielo M y cuya carga lineal es W_o , d_1 y d_2 son los vanos adyacentes al soporte considerado. El valor de P_v sirve tanto para los soportes de alineamiento o suspensión y los de ángulo anclaje o de retención.

3.2.2 CARGAS HORIZONTALES TRANSVERSALES

Son aquellas cuya dirección es ortogonal a la línea y causados principalmente por:

- Presión del viento sobre los cables y soportes.
- Componente transversal de los cables en soportes ubicados en puntos ángulo de la línea.

Es sabido que la carga del viento es originada por la transformación de su energía cinética en energía potencial de presión al incidir sobre determinadas superficies (obstáculos). La energía cinética depende de la velocidad y masa del viento y la intensidad de

su presión depende de la forma del obstáculo, del ángulo de su incidencia, de la velocidad, de la densidad del aire y de la rigidez del cuerpo afectado. Por estas consideraciones asumiremos que los soportes tengan una estabilidad aerodinámica para los estados considerados en el tendido de la línea en relación al viento sobre ella.

La carga del viento sobre los conductores se transmiten a los puntos de sujeción de los soportes, por el cual es necesario determinarlos, y es:

$$P_T = V \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \quad (3.2)$$

donde, V es la carga lineal del viento sobre el conductor más desfavorable (incluye sobrecarga) dado por la relación (2.17). Si consideramos un ángulo eventual topográfico α , tendremos:

$$P_T = V \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \cos \frac{\alpha}{2} + 2T_0 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.3)$$

Como en el caso anterior, esta relación sirve para soportes de alineamiento y ángulo (Fig. 3.6), y originado por un conductor. Cuando se tiene soportes de retención en ángulo tendremos (Fig. 3.7).

$$P_T = V \left(\frac{d_1 \cos \alpha + d_2 \cos \beta}{2} \right) + T_0' \sin \alpha + T_0 \sin \beta \quad (3.4)$$

orientado en el eje XX' .

Las relaciones (3.5) y (3.6) no son declaradas.

3.2.3 CARGAS HORIZONTALES LONGITUDINALES

Como se ha indicado en la parte 3.1, estas cargas influyen sobre la rigidez del soporte. Las condiciones que originan fuerzas longitudinales son:

- Montaje de conductores y cables de guarda.
- Falla de un soporte vecino.
- Vientos con direcciones que forman ángulos menores de 45° con el eje de la línea.
- Falla del sistema de sujeción de un soporte vecino o adyacente.
- Desmontaje de conductores.
- Carga asimétrica de hielo, escarcha o nieve.
- Descarga asimétrica de hielo, escarcha o nieve.
- Vibración y galopeo de conductores.
- Rotura de cables originado por accidentes, empalmes defectuosos, sobrecarga excesiva, incendio debido a rayos en puntos debilitados de los cables de tierra o guarda, etc.
- Cargas longitudinales eventuales.

Estas últimas mayormente son originadas por la variación de temperatura en vanos adyacentes de diferente longitud ($d_1 \neq d_2$) - que se traduce en la inclinación de la cadena de aisladores en el sentido de la línea, la diferencia de tensión somete al soporte a una carga longitudinal continua pero de menor importancia, pero su efecto se mide por:

- para el caso de un soporte de ángulo (Fig. 3.6)

$$P_L = (T'_O - T_O) \cos \alpha / 2 \quad (3.7)$$

donde las tensiones horizontales T'_0 y T_0 no son iguales. Para los casos de sobrecarga de hielo T'_0 representa la tensión máxima horizontal con hielo y T_0 representa la tensión sin hielo a la misma temperatura.

- Para el caso de soportes de retención, el esfuerzo longitudinal es sobre el eje YY' (Fig. 3.7) y tendremos que,

$$P_L = T'_0 \cos \alpha - T_0 \cos \beta \quad (3.8)$$

en vista que los soportes de retención se deciden en cuanto a su utilización, después de tener la configuración de la distribución de soportes, no será considerado su evaluación en el cálculo de esfuerzos que actúan sobre el soporte que se coloca en el perfil.

3.3 EL SOPORTE Y LOS AISLADORES

Como es sabido, los aisladores cumplen la función de retener mecánicamente a los conductores de los soportes y asegurar el aislamiento eléctrico entre esos 2 elementos. Durante decenas de años sus cualidades eléctricas y mecánicas no han sido destruidas por ninguna presión de naturaleza no conocida que hayan sufrido, sino han facilitado, todo tipo de trabajo que se efectúa sobre la línea, aun manteniendo la tensión eléctrica, y no perjudicar la recepción de señales electromagnéticas, de radio, de televisión y otros.

Los aisladores minerales, vidrios y cerámicas son materiales frágiles, esto hace que todo esfuerzo mecánico causará una deformación elástica o conduce a la ruptura sin ninguna deformación dúctil previa.

Por estas consideraciones, tendremos presente que un aislador tendrá una carga límite que soportar sin peligro de fractura. - Cuando se tenga una cadena de aisladores tendremos que considerar la longitud efectiva de ella (L_a). Para cadenas en anclaje o suspensión se considera el efecto de la carga del viento sobre la cadena, que - para nuestro caso generalizado asumimos un parámetro V_a cuyo valor - representa la carga lineal (Kg/m.) del viento sobre la cadena y de - penderá de la forma de los aisladores, por lo que tenemos: (Fig.3.8)

$$P_a = L_a \cdot V_a \quad (3.9)$$

3.3.1 ESFUERZO TRANSMITIDO A LOS AISLADORES

A continuación mostramos como se transmite a los aisladores los esfuerzos originados por los conductores cuando la cadena de aisladores está en suspensión o anblaje. Para las cadenas en suspensión, calculamos el ángulo (γ') que forma con la vertical con la - Presencia de esfuerzos transversales, en la Fig. 3.9-a se muestra - la posición de la cadena bajo los esfuerzos P_v y P_T , luego

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma' &= \frac{P_T + P_a/2}{P_v + W_a/2} \\ \gamma' &= \operatorname{arctg} \left(\frac{P_T + P_a/2}{P_v + W_a/2} \right) \end{aligned} \quad (3.10)$$

donde P_T está dado por la relación (3.2) y P_v por la relación (3.1). El esfuerzo que soporta el punto F, considerado el de sujeción y a - fecta al primer aislador, será:

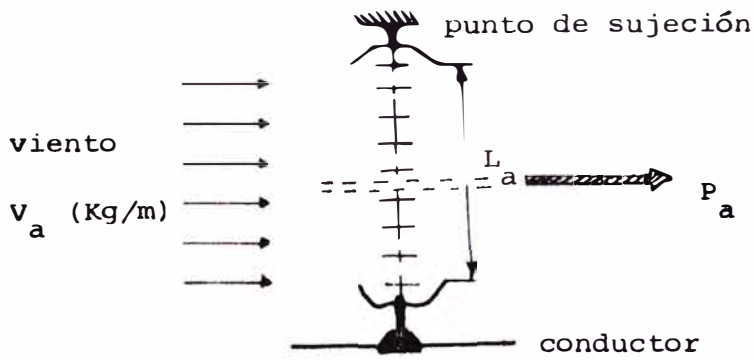


Fig. 3.8

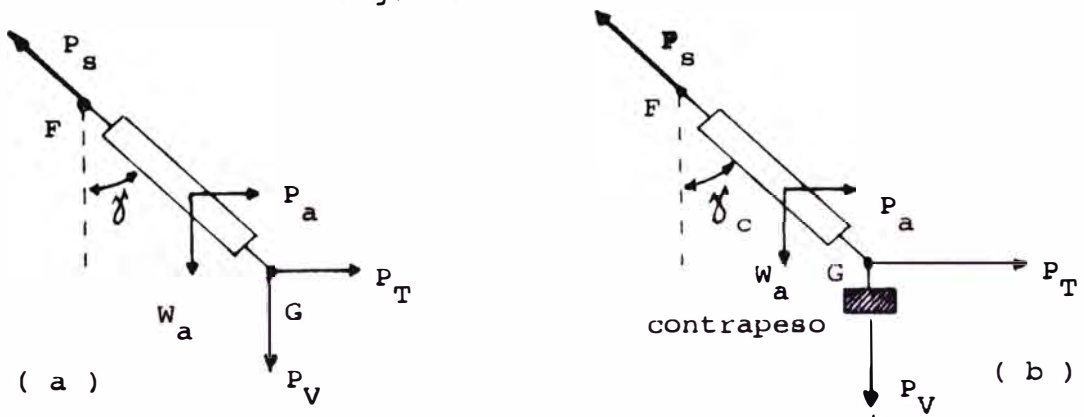


Fig. 3.9

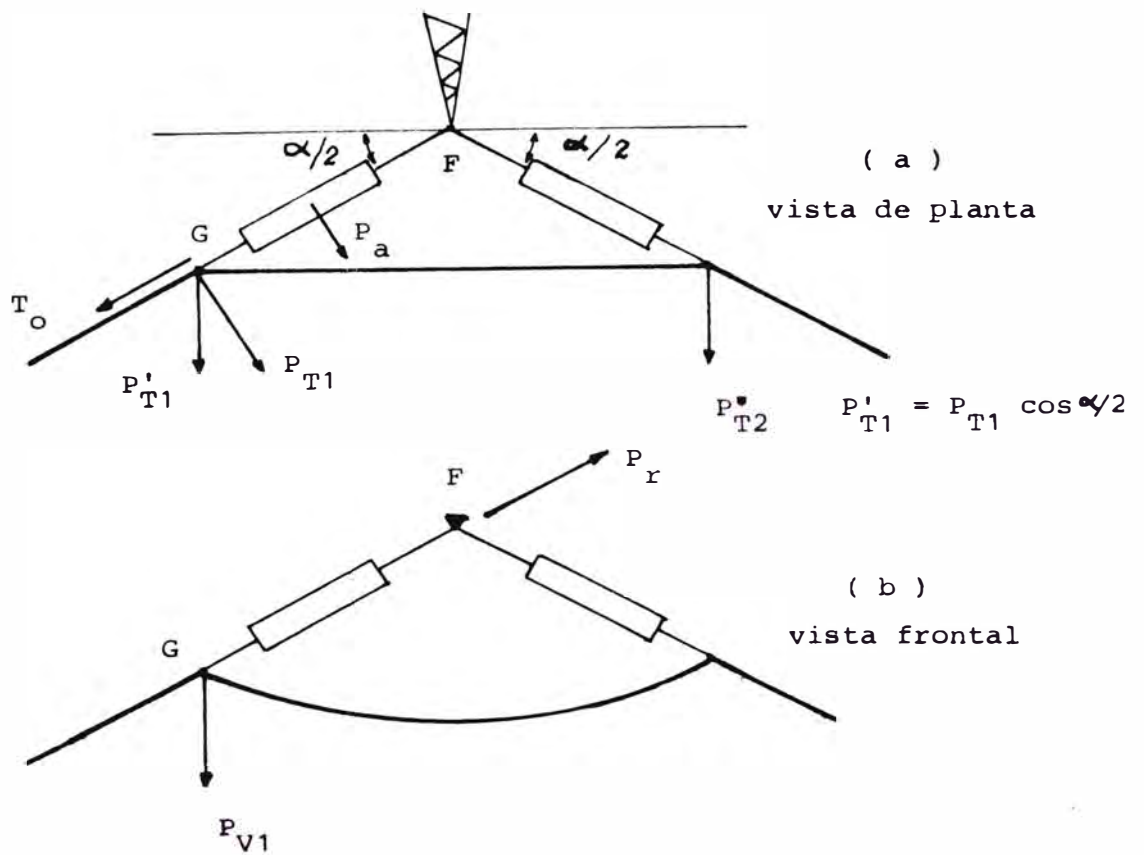


Fig. 3.10

$$P_s = \sqrt{\left(P_v + \frac{W_a}{2}\right)^2 + \left(P_T + P_a/2\right)^2} \quad (3.11)$$

$$P_s = \left(P_v + \frac{W_a}{2}\right) \sec \gamma$$

Para las cadenas de aisladores en anclaje, los esfuerzos actuantes cambian, ver Fig. 3.10. El esfuerzo que soporta el punto F para la cadena de longitud L_1 , es:

$$P_r = \sqrt{T_o^2 + P_{v1}^2 + \left(P_{T1} + \frac{P_a}{2}\right)^2} \quad (3.12)$$

donde

$$P_{T1} = V \cdot \frac{d_1}{2}; \quad P_{v1} = W_o M \frac{d_1}{2} + Z \cdot T_o/d_1; \quad (3.13)$$

$M \rightarrow$ Coeficiente de sobrecarga sin considerar el viento.

$Z \rightarrow$ Parámetro para el soporte en F.

$V \rightarrow$ Carga lineal del viento sobre los cables.

Luego, los esfuerzos soportados por los aisladores P_s y P_r deben estar cubiertos dentro de los límites de seguridad de los aisladores en cuanto a carga mecánica, si se sobrepasa de este límite (Q_a) obligará a colocarse cadenas en paralelo cuyo número depende del valor de P_s , P_r y Q_a así, (aplicamos la función máximo entero):

$$N_{as} = \left[\frac{P_s}{a} \right]_+, \quad N_{ar} = \left[\frac{P_r}{a} \right]_+ \quad (3.14)$$

es recomendable que N_{as} y N_{ar} resulte 1 ó 2, de lo contrario habrá que descartar la posibilidad de colocación del soporte en la estación en análisis.

3.3.2 LOS CONTRAPESOS EN LAS CADENAS DE AISLADORES EN SUSPENSION

Se ha visto al deducir P_v (relación 3.1) que el parámetro Z era un indicador del valor de P_v , y cuando Z es más negativo que $(-Z_{lim})$ teníamos la presencia de tiros ascendentes el cual obliga a utilizar contrapesos que serán colocados en los puntos de sujeción de cables y sólo en las cadenas de aisladores en suspensión. Otra causa para utilizar contrapesos es la de disminuir los ángulos de oscilación de las cadenas por la presencia de tiros o esfuerzos transversales, esto es el nuevo ángulo γ_c con la presencia de contrapesos, Fig. 3.9-c, será:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_c &= \frac{P_T + P_a/2}{P_v + W_a/2 + P_c} \\ \gamma_c &= \operatorname{arctg} \left(\frac{P_T + P_a/2}{P_v + W_a/2 + P_c} \right) \end{aligned} \quad (3.15)$$

y la carga soportada por la cadena será:

$$\begin{aligned} P_s &= \sqrt{(P_T + P_a/2)^2 + (P_v + W_a/2 + P_c)^2} \\ P_s &= (P_v + W_a/2 + P_c) \sec \gamma_c \end{aligned} \quad (3.16)$$

Bien, ahora nos interesa determinar el número de cadenas de aisladores (N) a colocarse en suspensión cuando $\gamma > \gamma_{lim}$ (γ_{lim} dado por normas) y se disminuye a γ de tal manera que $\gamma_c < \gamma_{lim}$ lo que ha obligado a utilizar contrapesos de valor P_c . En este caso consideramos que P_v es mayor de cero (no hay tiros ascendentes) y asumiremos de $\gamma_c \leq \gamma_{lim}$, entonces

$$\operatorname{tg} \gamma_c = \frac{P_T + N P_a/2}{P_v + N W_a/2 + P_c} \quad (3.17)$$

$$P_s = (P_v + N W_a/2 + P_c) \sec \gamma_c \quad (3.18)$$

$$N = \left[\frac{P_s}{Q_A} \right]_+ ; \quad \text{si } \gamma_c = \gamma_{\text{lim}}, \text{ tendremos}$$

$$P_s = (P_v + N W_a/2 + P_c) \sec \gamma_{\text{lim}}; \text{ luego} \quad (3.19)$$

$$N = \left[\frac{(P_v + N W_a/2) \sec \gamma_{\text{lim}}}{Q_A} \right]_+ \quad (3.20)$$

de donde:

$$N = \left[\frac{P_v \sec \gamma_{\text{lim}}}{Q_A - \frac{W_a}{2} \sec \gamma_{\text{lim}}} \right]_+ \quad (3.21)$$

y:

$$P_c = \left(\frac{P_T + N P_a/2}{\operatorname{tg} \gamma_{\text{lim}}} \right) - P_v - N W_a/2 \quad (3.22)$$

Con estas relaciones podemos calcular N y P_c . Si resulta que N ó P_c son incompatibles con las asunciones consideradas, ($N \leq N_{\text{max}}$ ó $P_c \leq P_{c \text{ max}}$) se tendrá que cambiar la cadena de aisladores de su posición de suspensión a la de anclaje.

3.4 LOS SOPORTES Y EL PERFIL TOPOGRAFICO

Se ha considerado que la ubicación de un soporte en el perfil topográfico, determinado por una sucesión de puntos probables de colocación, requiere una atención especial en cuanto se refiere a la fundación empleada en función del terreno, la consideración de

probables empleos de soportes con patas cojas, la puesta a tierra del soporte que es función de la resistividad del terreno, etc.

3.4.1 FUNDACION DE LOS SOPORTES Y LA CARACTERISTICA GEOLOGICA DEL PERFIL

Es sabido que las características geológicas del terreno influyen grandemente en el tipo y contextura de la cimentación a emplearse para emplazar un soporte en ella. Nosotros, de antemano podemos considerar una clasificación de los terrenos geológicamente, de tal manera que cada clase determine un costo aproximado de la cimentación empleada para emplazar un soporte normal promedio, en cuanto a esfuerzos soportados; permitiendo la evaluación total en el proceso de minimización de costos. Para no cometer mucho error, será conveniente clasificar los terrenos por la resistencia a la presión capaz de soportar y que ésta sea muy fina (intervals de presión cortos). La fundación en cuanto a tamaño y peso es función de la resistencia mecánica del suelo, lo que facilita a la premisa inicial de relacionar el costo de la fundación con la resistencia mecánica del terreno o suelo de la estación en análisis.

3.4.2 PUESTA A TIERRA DE LOS SOPORTES

Cuando se tiene vanos considerables y se tiene el tramo de línea en zonas de tormentas donde es necesario disipar las descargas eléctricas de los rayos, a través de los cables de guarda y el soporte, en tierra. Esta consideración requiere tener presente la influencia de la resistividad del terreno sobre el costo de disipadores a ser instalados en torno a la fundación para llevar la resistencia del terreno a niveles aceptables de diseño. Se sabe que la

característica eléctrica de los materiales que componen el suelo o terreno de la estación en análisis influyen sobre la resistividad del mismo. Para considerar esta premisa en el proceso de optimización se considerará una clasificación de la resistividad del terreno con el costo de instalación de los disipadores (jabalinas, entramados, etc) esto es, el costo será función de la resistividad del suelo.

3.4.3 DECLIVE EN EL PERFIL Y LOS SOPORTES DE PATAS COJAS

Cuando los soportes son emplazados en las laderas de los cerros hay la probabilidad de que éstos soportes presenten un desnivel entre sus patas, como se observa en la Fig. 3.11, debido a la presencia del declive. Esto nos obliga a considerar como afecta en el costo del tendido la presencia de estos soportes de pata coja, para el efecto asumimos que el desnivel Δh mostrado entre patas represente en costo, un múltiplo de Δh_0 básico definido por los fabricantes de soportes, entonces, consideramos un número entero Nb de Δh_0 que definirán ese costo adicional. Para saber el valor de Nb, escribimos que

$$\Delta h = 2b_1 \left(\frac{y_2 - y_1}{b_2} \right) \quad (3.23)$$

donde y_2 y y_1 son las ordenadas de la estación en X para el contraperfil que sirve para el chequeo del claro, y el eje central de la línea respectivamente; b_1 es el semiancho de la base del soporte y b_2 es la distancia horizontal del eje central y el contraperfil. Luego el número Nb será:

$$Nb = \left\lceil \frac{\Delta h}{\Delta h_0} \right\rceil \quad (3.24)$$

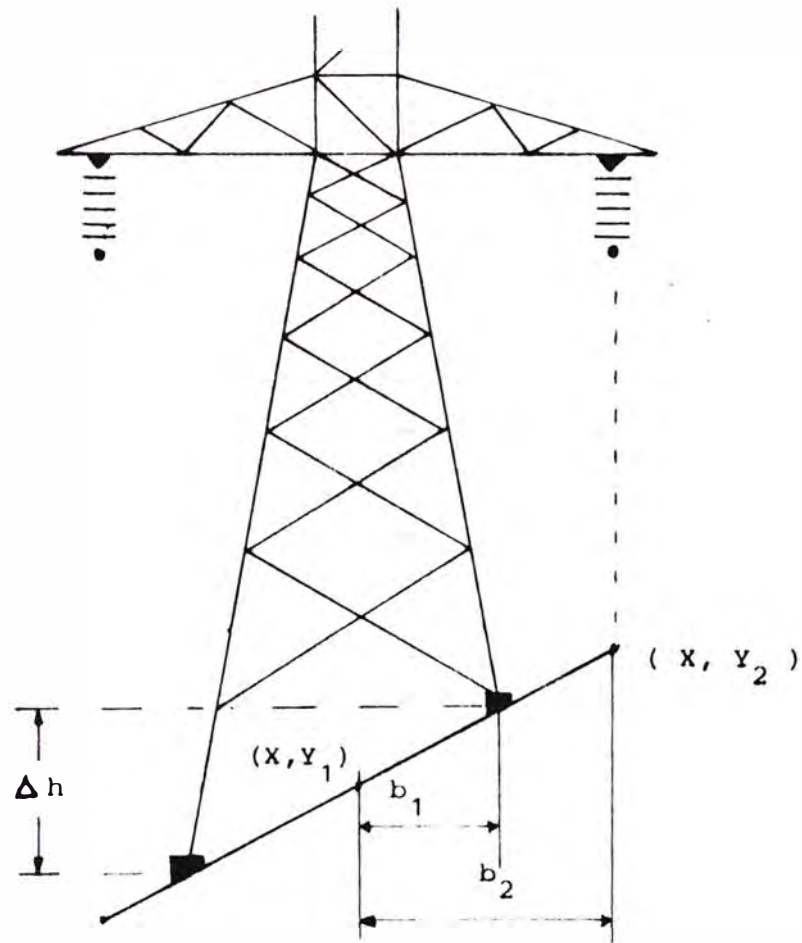


Fig. 3.11

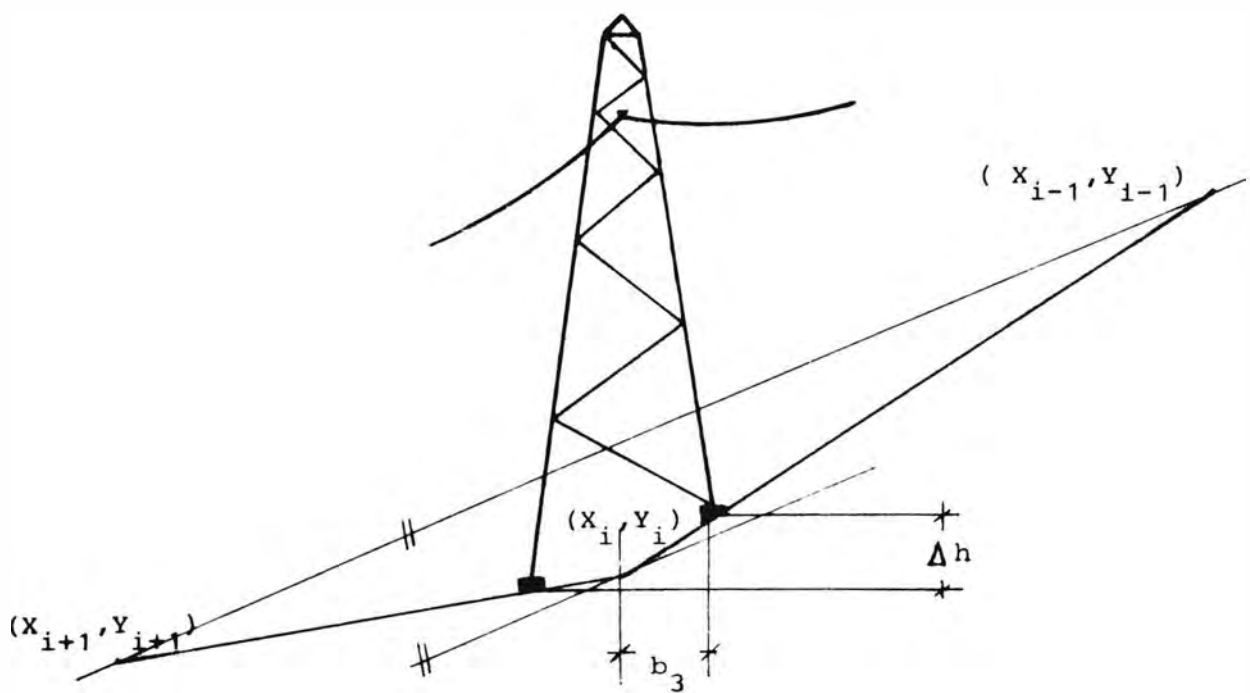


Fig. 3.12

que multiplicado por el costo de Δh_o será el costo adicional a considerarse. Este análisis es para los soportes de línea que corre paralelo a las faldas de un cerro. Para el caso que baje la ladera de un cerro se tendrá lo que se muestra en la Fig. 3.12, donde,

$$\Delta h = 2 \left| \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \right| b_3 \quad (3.25)$$

luego:

$$Nb = \left[\frac{\Delta h}{\Delta h_o} \right] \quad (3.26)$$

se observa que el Δh calculado es una aproximación por el que se debe tener cuidado en determinar Δh_o y b_3 .

3.4.4 OBSTACULOS Y OBJETOS EN EL PERFIL

Es casi imposible encontrar como trayectoria de la línea un perfil que no contenga obstáculos u objetos que influyen sobre los parámetros de tendido, tales como:

- Aumentar el claro por la presencia de objetos u obstáculos tales como ríos, carreteras, líneas telefónicas, etc., que requieren la consideración de un claro mayor que el normal.

Imposibilitar la colocación de soportes en ciertas estaciones debido a que ésta geológicamente es inapropiada, en casos como la presencia de ríos, lagos, lagunas, pantanos, zonas privadas, etc.

Condicionar los tipos de soportes a ser emplazados en torno al objeto que se cruza, esto es el caso de ríos, carreteras, ferrocarriles, etc., que requieren que los soportes que lo cruzan sean de retención o anclaje para garantizar la continuidad de servicio del fluido eléctrico en casos excepcionales de falla mecánica.

3.5 PRESTACION DE LOS SOPORTES A LOS ESFUERZOS EXTERNOS: CONDICION DE UTILIZACION

Cuando el proyectista de líneas decide la selección de soportes a utilizar y emplazarlos en los diferentes puntos del perfil de la línea, debe verificar que los soportes sean capaces de soportar o resistir dentro de las condiciones prescritas a los diferentes estados de carga. Es por esto que se hace necesario determinar una ecuación o curva de utilización del soporte que se considera. Como los soportes en su mayoría son estructuras compuestas por elementos quienes deben soportar independientemente los esfuerzos aplicados al soporte pero difieren en magnitud de un elemento a otro, por esto asumimos que el soporte presenta un tiro T_M máximo a soportar quien será gastado según los requerimientos. Este tiro T_M es función del esfuerzo soportado por el elemento más desfavorable. El gasto total P que se aplica al soporte está compuesto por la suma de:

- Esfuerzos constantes debido a, ---> esfuerzo P_1
 - peso propio del soporte y sus accesorios,
 - viento transversal sobre el mismo soporte.
- Esfuerzos variables con el vano supuesto al nivel debido a,
 - > esfuerzo P_2
 - viento sobre los conductores,
 - peso propio de los conductores.
- Esfuerzo variable con el ángulo topográfico del perfil
 - > esfuerzo P_3
- Esfuerzo variable con la desnivelación entre soportes de un vano
 - > esfuerzo P_4

entonces: $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$

(3.27)

Los esfuerzos P_2 y P_4 , no son del todo independientes y podemos hacer desaparecer a P_4 con la condición de considerarlo en P_2 . Anteriormente hemos deducido los esfuerzos P_v y P_T dados por

$$P_v = M W_o \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) + Z T_o \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right) \quad (3.28)$$

$$P_T = K \cdot V \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \cos \frac{\alpha}{2} + 2 T_o \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.29)$$

y sirven sólo para un conductor, si consideramos para N_c conductores y N_t cables de guarda, tendremos que:

$$\sum P_v = N_c P_{vc} + N_t P_{vt} \quad (3.30)$$

$$\sum P_T = N_c P_{Tc} + N_t P_{Tt} \quad (3.31)$$

cabe señalar que la constante K en P_T depende del número de conductores al nivel (determinado por la cabeza de torre).

Conociendo $\sum P_v$ y $\sum P_T$ podemos determinar P_2 (viento y efecto del ángulo α) y P_3 (peso propio del conductor y desnivelación), luego se debe cumplir que:

$$P_2 + P_3 \leq T_M - P_1 = T_G \quad (3.32)$$

ya que P_1 es constante y asumido conocido, entonces T_G será el gasto real máximo que no debemos sobrepasar. De otra manera, se cumplirá también que:

$$\sum P_v + \sum P_T \leq T_G \quad (3.33)$$

para los casos de presencia de contrapesos se tendrán en cuenta en la evaluación de $\sum P_v$ y además supondremos que el peso de las cadenas de aisladores están incluidos en P_1 .

Para el proceso de optimización, el valor de T_G será tal que considere los esfuerzos excepcionales a que serán sometidos los soportes, y sea dado para el estado más desfavorable del tendido.

3.6 COSTO DE LOS SOPORTES

En la mayoría de diseños de tendido de línea se ha considerado siempre que el costo del soporte es función directa de su peso y éste función de los esfuerzos y la altura.

En nuestro caso trataremos de generalizar esta relación de tal manera que el proceso de optimización sirva para cualquier tipo de soporte ya sea de madera, concreto o hierro. Para el efecto relacionaremos el esfuerzo de gasto del soporte y su altura en forma directa a su costo sin incluir los costos adicionales de pata coja, fundación y puesta a tierra; esto es el costo del soporte C_T es función de T_G y h_T ;

$$C_T = f (T_G, h_T) \quad (3.34)$$

y si tratamos de incluir el costo de la fundación, pata coja y puesta a tierra representado por el identificador q asignado a la estación de emplazamiento, tendremos:

$$C_T = f (T_G, h_T, q) \quad (3.35)$$

como se observa, no se incluye los vanos adyacentes que ya han sido considerados en T_G . La relación-función f se determinará en forma discreta tabulada y dependerá primordialmente del tipo de soporte en cuanto a su material y esbeltez.

C A P I T U L O I V

MODELO MATEMATICO PARA LA DISTRIBUCION Y SELECCION DE

SOPORTES EN UN PERFIL TOPOGRAFICO

4.1 INTRODUCCION

Construiremos el modelo matemático considerando: el comportamiento de la catenaria con el perfil topográfico representado por las estaciones de la ruta de la línea; las características de los soportes en cuanto a su altura y tiro de gasto disponible; las condiciones geológicas del terreno en las estaciones que influyen sobre las fundaciones, puesta a tierra y la condición de emplazamiento de un soporte; la presencia de obstáculos u objetos que influyen sobre la característica de los soportes adyacentes y sobre el claro requerido.

El objetivo es encontrar una función de costo del tendido y será minimizado teniendo en cuenta las restricciones inherentes al tendido, topografía, objetos cruzados, tipos y alturas de soportes, etc. Para el proceso de minimización se aplicará el concepto de optimidad de Bellman, considerado como el principio fundamental de la Programación Matemática Dinámica, al grafo o red secuencial formada por las múltiples estrategias de considerar una trayectoria entre estaciones y alturas del soporte por estación, cuya comparación de todas ellas no sería realizada de manera simple; que con la aplicación de un procedimiento de búsqueda determinística de la Programación Dinámica al problema, reduce la cantidad necesaria de estrategias a

ser considerados y esto es lo que se trata de mostrar. Previamente mostramos la teoría de la Programación Dinámica.

4.2 LA PROGRAMACION DINAMICA

4.2.1 MODELO MATEMATICO DETERMINISTICO

Consideramos un proceso de N etapas (multistage) y cada etapa n queda definido por una variable vectorial de estado x_n de p dimensiones (si $p=1$, es un escalar). Este vector x_n debe quedar de finido de tal suerte que caracterice por completo el estado del proce so que en todos los casos le asignaremos la expresión "variable de es tado". En cada período n , definido por el par de etapas $(n-1, n)$, - debemos tomar una decisión referente al valor de x_n , pero en general el dominio de variación de x_n está limitado por restricciones que dependen del valor de x_{n-1} . Suponemos, pues en forma general que las restricciones del problema definen para cada valor de n y x_n , un con junto de valores posibles de x_{n+1} , que llamaremos $\Gamma_{n+1} x_n$; es to es:

$$x_{n+1} \in \Gamma_{n+1} x_n; \quad (4.1)$$

expresión que significa que x_{n+1} es un elemento del conjunto

$\Gamma_{n+1} x_n$. Recíprocamente, si x_{n+1} es conocido y se quiere deter minar x_n , deberá cumplir que:

$$x_n \in \Gamma_{n+1}^{-1} x_{n+1}; \quad (4.2)$$

donde Γ_{n+1}^{-1} es el conjunto de valores x_n tales que $x_{n+1} \in \Gamma_{n+1} x_n$. En términos matemáticos Γ_{n+1}^{-1} es una aplicación

(en general no unívoca) del conjunto de los valores de x_n en el conjunto de los valores de x_{n+1} y Γ_{n+1}^{-1} es la aplicación inversa de Γ_{n+1} (de ahí el símbolo usado). Las restricciones en las que intervienen x_n se pueden entonces escribir en forma condensada:

$$x_n \in \Gamma_n x_{n-1} \cap \Gamma_{n+1}^{-1} x_{n+1} \quad (4.3)$$

que significa que x_n debe pertenecer a la vez a los conjuntos

$\Gamma_n x_{n-1}$ y $\Gamma_{n+1}^{-1} x_{n+1}$, es decir a la intersección de estos conjuntos.

Si partimos de un estado inicial x_0 conocido, el dominio de evolución posible del proceso, definido por el conjunto de estados posibles en la etapa n cuando el estado inicial es x_0 y el final no es conocido, simbolizado por $X_n(x_0, \cdot)$, queda definido en forma cada vez más restringida por las aplicaciones Γ_n :

$$x_1 \in \Gamma_1 x_0 \quad X_1(x_0, \cdot) = \Gamma_1 x_0$$

$$x_2 \in \Gamma_2 x_1 \quad X_2(x_0, \cdot) = \Gamma_2 x_1 = \bigcup_{x_1 \in X_1} \Gamma_2 x_1$$

$$x_3 \in \Gamma_3 x_2 \quad X_3(x_0, \cdot) = \Gamma_3 x_2 = \bigcup_{x_2 \in X_2} \Gamma_3 x_2$$

.

$$x_n \in \Gamma_n x_{n-1} \quad X_n(x_0, \cdot) = \Gamma_n x_{n-1} = \bigcup_{x_{n-1} \in X_{n-1}} \Gamma_n x_{n-1}$$

Si de otra manera, nos proponemos tender a un cierto estado x_N después de N períodos, los conjuntos de valores posibles indicados anteriormente deben restringirse al usar sucesivamente las aplicaciones $\prod_n^{-1} x_n$ para $n = N, N-1, N-2, \dots$. Los conjuntos $X_n(x_0, x_N)$ que se obtienen así (con el estado final x_N definido), verifican la relación reducida de (4.3)

$$X_n = \prod_n X_{n-1} \cap \prod_{n+1}^{-1} X_{n+1} \quad (4.5)$$

$$n = 1, 2, \dots, N-1$$

donde X_0 y X_N se reducen a un solo elemento:

$$X_0 = \{x_0\} \quad X_N = \{x_N\} \quad (4.6)$$

Llamaremos "política de x_0 a x_N " a toda secuencia:

$$W_{0,N}(x_0, x_N) = \{x_0, x_1, \dots, x_{N-1}, x_N\} \quad (4.7)$$

tal que (4.3) se verifique para $n=1, 2, \dots, N-1$. El problema que nos planteamos ahora consiste en encontrar la o las políticas óptimas W^* con respecto a un cierto criterio, definido en la siguiente forma:

- A todo par (x_{n-1}, x_n) se le asocia un valor dado $V_n(x_{n-1}, x_n)$, llamado "valor inmediato" del período n . En otras palabras, si el proceso se encuentra en el estado x_{n-1} , en la etapa $(n-1)$, el valor de la decisión de x_n es $V_n(x_{n-1}, x_n)$.

A toda política W se la asocia un valor total S definido por:

$$S(W) = \sum_{n=1} V_n(x_{n-1}, x_n) \quad (4.8)$$

- El criterio que nos imponemos es el minimizar o maximizar (según el significado concreto de V_n) el valor de la política. Llamemos Π

al conjunto de las políticas y supongamos, para fijar ideas, que deseamos maximizar el valor de la política. La o las políticas óptimas W^* quedarán definidas por:

$$S(W^*) = \max_{W \in \Pi} S(W) \quad (4.9)$$

y con mayor generalidad escribiremos:

$$S(W^*) = \text{OPT}_{W \in \Pi} S(W)$$

donde el símbolo OPT significa uno de los operadores MAX y MIN, según sea el problema considerado.

Llamaremos $F_{0,N}(x_0, x_N)$ al valor óptimo de $S(W)$ definido por (4.9). Por otra parte, para $0 \leq i \leq j \leq N$, llamaremos "subpolítica de x_i a x_j " a toda secuencia

$$W_{ij}(x_i, x_j) = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{j-1}, x_j\} \quad (4.10)$$

tal que se cumpla (4.3) para $n=i+1, i+2, \dots, j-1$. Se dice que una subpolítica de x_i a x_j es óptima, si su valor

$$S_{ij}(W_{i,j}) = \sum_{n=i+1}^j V_n(x_{n-1}, x_n) \quad (4.11)$$

es máximo o mínimo (según sea el caso) entre todas las subpolíticas de x_i a x_j . Consideremos una política óptima:

$$W^* = \{x_0, \dots, x_i^*, \dots, x_j^*, \dots, x_N\} \quad (4.12)$$

la subpolítica formada por la parte $\{x_i^*, \dots, x_j^*\}$ de W^* es óptima de x_i^* a x_j^* , puesto que si no lo fueran, existiría una subpolítica de

x_i^* a x_j^* que tuviera un valor mayor o menor (según el caso) y sería posible mejorar W^* reemplazando la parte $\{x_i^*, \dots, x_j^*\}$ por esta nueva subpolítica. Tenemos pues el teorema que se desprende de este análisis:

TEOREMA DE OPTIMIDAD.- " Toda subpolítica $W_{i,j}$ (x_i, x_j) extraída de una política óptima $W_{0,N}^*$ (x_0, x_N), es en sí óptima de x_i a x_j ".

Un corolario inmediato es:

COROLARIO.- "Entre el conjunto de políticas que contienen a una subpolítica $X_{0,k}$ (x_0, x_k) dada (óptima o no), la mejor es aquella que se obtiene al completar la subpolítica dada por una subpolítica óptima $W_{k,N}^*$ (x_k, x_N) ".

Este teorema, llamado "Principio de optimidad" de Bellman, constituye la base del método de la Programación Dinámica. Permite, en efecto, considerando sucesivamente 1, 2, ... N períodos construir progresivamente una política óptima. Podemos para esto, partir ya sea del primero, del último o de un período cualquiera. Supongamos, por ejemplo, que partimos del período 1. Para toda decisión posible

$$x_1 \in X_1(x_0, \cdot) = \Gamma_1 x_0,$$

conocemos el valor $V_1(x_0, x_1)$. Luego, para todo

$$x_2 \in X_2(x_0, \cdot) = \Gamma_2 x_1,$$

buscamos el conjunto de subpolíticas de x_0 a x_2 ; estas subpolíticas:

$$W_{0,2}(x_0, x_2) = \{x_0, x_1, x_2\}$$

se definen por el valor de x_1 elegido, y este valor debe ser tal que

$$x_1 \in \Gamma_1 x_0 \cap \Gamma_2^{-1} \quad x_2 = X_1(x_0, x_2)$$

El valor de una subpolítica cualquiera $W_{0,2}(x_0, x_2)$ es:

$$S_{0,2}(W_{0,2}) = V_1(x_0, x_1) + V_2(x_1, x_2)$$

y obtendremos la o las subpolíticas óptimas de x_0 a x_2 investigando el óptimo de $S_{0,2}$, definido por:

$$F_{0,2}(x_0, x_2) = \text{OPT} \left[V_1(x_0, x_1) + V_2(x_1, x_2) \right] \quad (4.13)$$

$$x_1 \in X_1(x_0, x_2)$$

Consideremos a continuación el conjunto de períodos 1, 2 y 3. Para todo $x_3 \in X_3(x_0, \cdot) = \Gamma_3 X_2(x_0, \cdot)$;

determinamos

$$x_2(x_0, x_3) = X_2(x_0, \cdot) \cap \Gamma_3^{-1} x_3 ;$$

del teorema de optimalidad, una subpolítica óptima de x_0 a x_3 contiene una subpolítica óptima de x_0 a x_2 , entonces basta considerar las subpolíticas de x_0 a x_3 tales que contengan subpolíticas óptimas de x_0 a x_2 . El valor óptimo de x_0 a x_3 será entonces:

$$F_{0,3}(x_0, x_3) = \text{OPT} \left[F_{0,2}(x_0, x_2) + V_3(x_2, x_3) \right]$$

$$x_2 \in X_2(x_0, x_3) \quad (4.14)$$

y la o las subpolíticas óptimas de x_0 a x_3 serán las que pasen por el o los valores de x_2 para los cuales se alcanza el óptimo.

Generalizando, si tenemos determinado $F_{0,n-1}(x_0, x_{n-1})$ para todo $x_{n-1} \in X_{n-1}(x_0, \cdot)$, calculamos

$$X_n(x_0, \cdot) = \bigcap_n X_{n-1}(x_0, \cdot) \quad (4.15)$$

a continuación, determinamos para todo $x_n \in X_n(x_0, \cdot)$:

$$X_{n-1}(x_0, x_n) = X_{n-1}(x_0, \cdot) \cap \bigcap_n^{-1} x_n \quad (4.15-a)$$

y calculamos el valor óptimo de x_0 a x_n :

$$F_{0,n}(x_0, x_n) = \text{OPT} \left[F_{0,n-1}(x_0, x_{n-1}) + V_n(x_{n-1}, x_n) \right] \\ x_{n-1} \in X_{n-1}(x_0, x_n) \quad (4.16)$$

Si x_{n-1}^* es un valor de x_{n-1} que optimiza el segundo miembro, toda subpolítica de x_0 a x_n que se obtiene al incorporar x_n a una subpolítica óptima de x_0 a x_{n-1}^* es en sí misma óptima de x_0 a x_n :

$$W_{0,n}^*(x_0, x_n) = \left\{ W_{0,n-1}^*(x_0, x_{n-1}^*), x_n \right\} \quad (4.17)$$

obtenemos así las subpolíticas óptimas de x_0 a todo x_n . Cuando se llega a $n=N$, hemos resuelto el problema que consiste en encontrar las políticas óptimas, pero, no lo hemos resuelto solamente para el valor x_N fijado al principio, sino también para todos los valores $x_N \in X_N(x_0, \cdot)$, al mismo tiempo que hemos encontrado todas las subpolíticas óptimas.

En ciertos problemas el valor de x_N no es conocido y será entonces elegido aquel para el cual la política óptima de x_0 a x_N proporcione el mejor valor. En este caso la optimización se realiza en -

el sentido de los valores crecientes de n . Inversamente, se tiene el caso de que x_N sea conocido y x_0 sea desconocido, esto implica partir de $n=N$ y avanzar en el sentido de los valores decrecientes de n . El método es exactamente el mismo, pero $F_{0,n}(x_0, x_n)$ y $W_{0,n}^*(x_0, x_n)$ se reemplazan respectivamente por $F_{n,N}(x_n, x_N)$ y $W_{n,N}^*(x_n, x_N)$.

Veamos a continuación la relación que existe entre este modelo de Programación Dinámica Determinística y los grafos o redes, en forma estructural.

4.2.2 LA TEORIA DE REDES O GRAFOS Y LA PROGRAMACION DINAMICA

Récordamos, que llamamos "red" o "grafo" a una estructura matemática constituida por un conjunto X (conjunto de los nodos o vértices de una red) y una aplicación Γ (no unívoca generalmente) de X en X . En el modelo tratado en la sección 4.2.1, X es la unión de las $X_n(x_0, x_N)$ para $n=0, 1, 2, \dots, N$; es decir:

$$X = \bigcup_{n=0}^N X_n(x_0, x_N)$$

y la aplicación Γ queda definida por:

$$\Gamma_{\tilde{x}_{n-1}} = \Gamma_n \tilde{x}_{n-1} \cap X_n(x_0, x_N)$$

donde \tilde{x}_{n-1} es un valor particular de x_{n-1} , tal que

$$\tilde{x}_{n-1} \in X_{n-1}(x_0, x_N)$$

$$n, n' ; \quad n \neq n' : \quad X_n \cap X_{n'} = \emptyset; \quad X = \bigcup_{n=0}^N X_n; \quad X_n \neq \emptyset; \quad (4.19)$$

y quedan total y estrictamente ordenados por la relación:

$$X_n \prec X_{n'} \langle \Longleftrightarrow \rangle n < n' ; \quad (4.20)$$

La función $O(X_r)$ definida por: $X_r \in X_n \implies O(X_r) = n$, recibe el nombre de "función ordinal de la red".

Llamaremos "red secuencial" a una red $G = (X, \Gamma)$ que satisface las 2 condiciones siguientes:

1) G posee una función ordinal $O(X_r)$ que tiene por valores $0, 1, 2, \dots, N$.

2) $\Gamma X_n \subset X_{n+1}; \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1 ;$

$$\text{donde } X_n = \left\{ X_r : O(X_r) = n \right\} \quad (4.21)$$

es decir, tendremos que:

$$\Gamma X_n = X_{n+1} \quad (4.22)$$

porque:

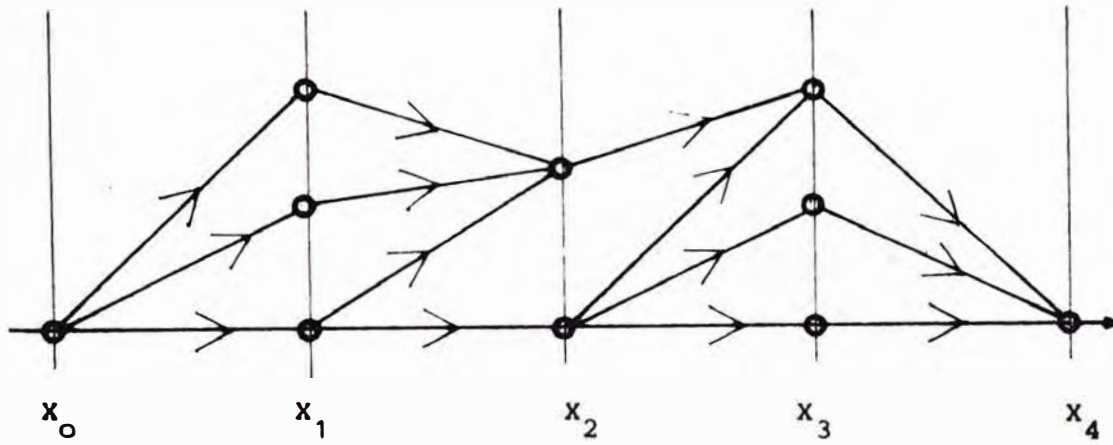
$$\Gamma^{-1} X_{n+1} \subset X_n ; \text{ y } \Gamma X_n \subset X_{n+1} \quad (4.23)$$

para: $n=0, 1, \dots, N-1 ;$

por el cual aseguramos que la red de un programa dinámico es una red secuencial (por la relación 4.22).

4.2.3 PROGRAMAS DINAMICOS DE REDES NO SECUENCIALES

Acabamos de aseverar que la red de un programa dinámico es secuencial, es decir, el principio de la programación dinámica es solo aplicable a procesos que tengan estructura secuencial, lo cual en



RED DE UN PROGRAMA DINAMICO DE 4 PERIODOS

Fig. 4.1

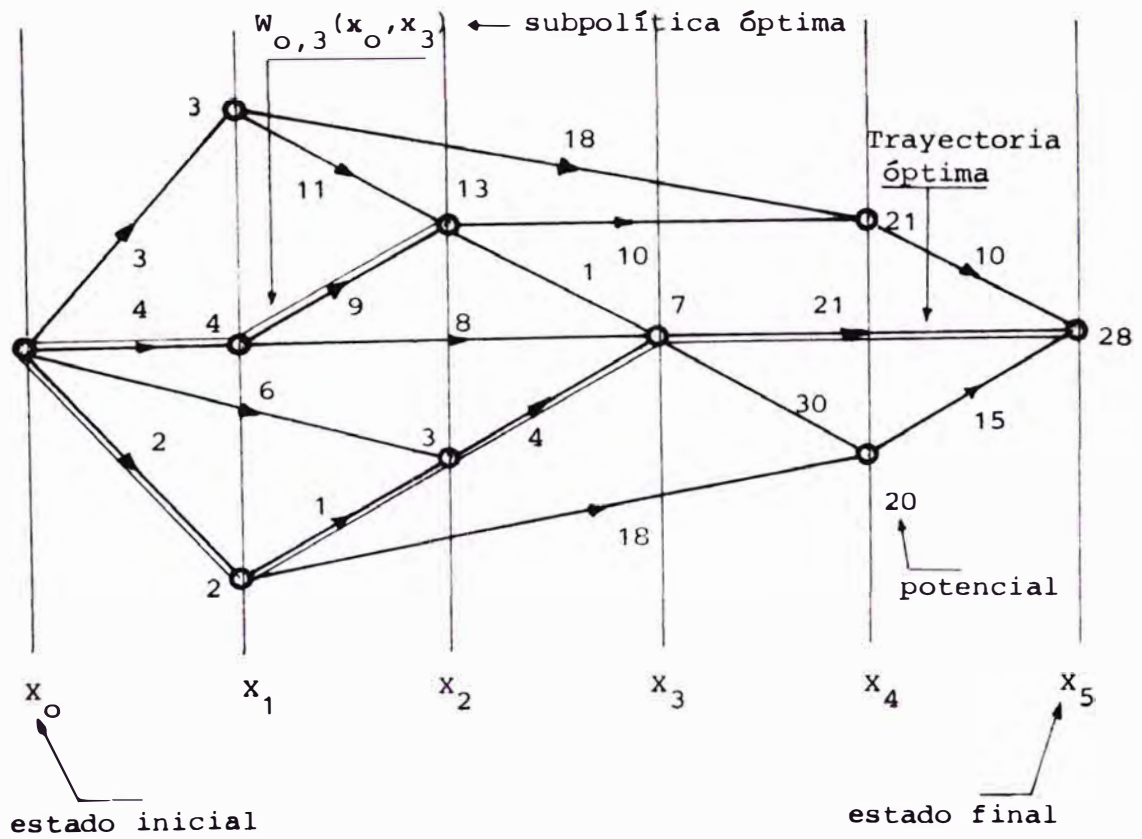


Fig. 4.2

otros casos no lo es y a continuación se muestra esta modificación.

Suponemos tener una red $G = (X, \Gamma)$ que representa los cambios de estado de un proceso que tiene una función ordinal (es decir es una red sin circuitos: no tiene caminos cerrados). A cada vértice $\tilde{x}_i \in X$ le asignamos un "potencial" igual al valor óptimo de un camino de \tilde{x}_0 a \tilde{x}_i . Este potencial se obtendrá considerando todos los arcos que parten de \tilde{x}_0 a \tilde{x}_i , y tomando el óptimo de la suma del valor del arco y del potencial del vértice del que proviene. Esta técnica descrita no es diferente de la usada en la sección precedente para redes secuenciales. Como en el caso de éstas últimas el potencial que se asigna a un vértice, no se modifica durante el transcurso de los cálculos. Basta pues, que la red tenga una función ordinal para que se pueda aplicar la técnica de la programación dinámica. Lo dicho se muestra graficamente en la Fig. 4.2 donde la red es no secuencial y sin circuitos, ya que la aplicación del principio de optimidad es válido.

4.3 MODELO DE OPTIMIZACION DE LOS TIPOS, ALTURAS Y UBICACIONES DE LOS SOPORTES DE UNA LINEA DE TRANSMISION, - UNA APLICACION DE LA PROGRAMACION DINAMICA -

4.3.1 DESCRIPCION DE LA RUTA Y ASUMCIONES PRINCIPALES

El perfil topográfico de la ruta es descrito por puntos consecutivos (X_i, Y_i) llamados estaciones, que representan puntos de evaluación para los soportes de la línea. El valor X_i representa la distancia horizontal a una estación base (que en nuestro caso serán los puntos de ángulo o ubicaciones fijas de soportes fijados a priori) e Y_i representa la cota sobre el nivel del mar de la esta-

ción. Y_i y el identificador q_i contienen información como la posibilidad de emplazar un soporte y la clase de terreno o suelo esperado. La elevación del terreno en cualquier punto intermedio entre dos estaciones se determina por simple interpolación lineal. También se da información numérica acerca de los objetos u obstáculos en el terreno que requieren tratamiento individual tales como caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión existentes, etc. Las cantidades que describen a un objeto u obstáculo dado debe incluir lo siguiente:

- 1) Identificador I, quien da el tipo de objeto u obstáculo.
- 2) El claro mínimo permisible entre el objeto y los conductores de la línea.

El identificador I también informará, si es necesario, acerca de la influencia del objeto sobre el tipo de soporte requerido en las estaciones de evaluación adyacentes (suspensión o anclaje).

La localización y selección de soportes se realiza desde un conjunto específico de soportes que pueden actuar en suspensión o anclaje según los requerimientos de esfuerzo. El tipo de fundación para cada soporte depende de la clase de suelo de la estación de evaluación. Los soportes varían en altura y el ángulo que hace la línea en una estación determinada influye sobre el requerimiento de es fuerzo, puesto que cada tipo de soporte presenta una tensión máxima de gasto. Se asigna un costo a cada tipo de soporte de una altura determinada. Este costo incluye los de construcción del soporte, accesorios menores, costo de fundación estándar. El costo de los aisladores influye según sea la sollicitación en suspensión o anclaje y el esfuerzo soportado. Los costos adicionales de fundación, puesta

a tierra, aisladores y pata coja dependen del identificador q y pueden diferir para el mismo tipo de soporte en diferentes estaciones. - Además se da información acerca de los esfuerzos tensionales de los conductores y cables de guarda.

4.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

Introducimos los símbolos siguientes:

$v = 0, 1, \dots, m+1$, es el número consecutivo del soporte en la línea.

m , es el número de soportes seleccionados y ubicados.

C_v , es el costo del soporte v que depende del tipo T_v , altura h_v y el valor del identificador q_v en la estación (X_v, Y_v)

El problema puede ser formulado como sigue: Desde el conjunto de puntos de evaluación quienes describen el perfil de la ruta, definido por:

$$S = \left\{ (X_i, Y_i) \right\} ; i = 0, 1, \dots, N ; \quad (4.24)$$

un conjunto de soportes serán seleccionados y ubicados en:

$$U = \left\{ (X_v, Y_v) \right\} ; v = 1, 2, \dots, m ; \quad (4.25)$$

$$U \subset S$$

Junto con la determinación del tipo de soporte y su altura, se minimiza el costo global del tendido dado por:

$$D_m = \sum_{v=1}^m C_v (T_v, h_v, q_v) ; \quad (4.26)$$

El tipo de soporte T_v y su altura h_v en la estación (X_v, Y_v) se escoge del conjunto:

$$H = \left\{ h_a, T_\xi \right\}; \quad a = 1, 2, \dots Q; \quad (4.27)$$
$$\xi = 1, 2, \dots G;$$

donde: a es el subíndice de altura del soporte y $h_{a-1} < h_a$;

Q es el número total de alturas diferentes de los soportes utilizados.

ξ es el subíndice del tipo de soporte en cuanto a la tensión de gasto.

G es el número total del tipos diferentes de los soportes utilizados.

4.3.3 RESTRICCIONES DEL PROBLEMA

La minimización de la función D_m definida por la relación (4.26) está sujeta a las restricciones siguientes:

1. La colocación del soporte v en la estación de evaluación (X_i, Y_i) será vetada si el identificador q_i indica que el emplazamiento del soporte está prohibido en esa estación.
2. La catenaria formada por el conductor más bajo entre los soportes v y $(v+1)$ debe cumplir con el requerimiento de claro mínimo respecto del terreno u objeto cruzado.
3. El vano $v, (v+1)$ no debe exceder el vano máximo permisible
 $(X_{v+1} - X_v) \leq d_{\max}(q_v)$
4. La suma de los esfuerzos vertical y transversal causados por el viento, peso propio del conductor y posible ángulo en la línea no debe exceder a la carga de gasto admisible del soporte.

$$\sum T_v + \sum T_T \leq T_G$$

5. Los ángulos de oscilación de los aisladores en los soportes de suspensión causados, por la carga transversal del viento y eventual ángulo topográfico no debe exceder del valor máximo permisible

$$\Theta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{T_v + T_a/2}{T_v + W/2 + W_c} \right) \leq \Theta_{\max}$$

6. El tipo de soporte T_v depende además del objeto u obstáculo cruzado por los vanos $(v-1)$, v y $v,(v+1)$, esto es:

$$T_v = \left\{ E_v \right\} \quad (4.28)$$

La determinación de E_v (anclaje o suspensión) requiere tener en cuenta el identificador I para los objetos cruzados por la línea.

4.3.4 METODO DE SOLUCION

Este problema de optimización no lineal con restricciones es tratado como un proceso de decisión multietapa finita y es resuelto, como se verá, con la aplicación del principio de optimidad de la Programación Dinámica o de Bellman. Hemos considerado que el perfil está definido por las estaciones de evaluación (X_i, Y_i) . Sea Q el número de alturas diferentes de los soportes, y :

$a, b, c = 1, 2, \dots, Q$; los subíndices de estas alturas, de tal manera que::

- a corresponde al soporte v ubicado en la estación (X_i, Y_i) .
- b corresponde al soporte $v+1$ ubicado en la estación (X_s, Y_s) .
- c corresponde al soporte $v-1$ ubicado en la estación (X_r, Y_r) .

Llamaremos nodos a los puntos de suspensión o sujeción de los conductores más bajos, y denotados por (i,a) , (s,b) y (r,c) para los tres soportes consecutivos respectivamente.

El nodo para el primer soporte es denotado por $(0, c_1)$ y del último por (N, b_2) .

Denotamos por:

$$F_{i,a}(X_r, Y_r) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N; \quad (4.28)$$

$$a = 1, 2, 3, \dots, Q;$$

$$r \in R_i = \{0, 1, \dots, i-1\};$$

a la mínima alternativa en costo de tendido (construcción de la línea) desde el primer nodo al soporte de altura h_a en la estación (X_i, Y_i) . Este costo es tratado como una función de las coordenadas (X_r, Y_r) del soporte precedente, pero no incluye el costo de emplazar el soporte de altura h_a en la estación (X_i, Y_i) . Para los vanos que conectan los nodos (i,a) con el primer soporte y satisfacen todas las restricciones, el costo óptimo está expresado por:

$$F_{i,a}(X_0, Y_0) = C_0; \quad (4.29)$$

donde, C_0 es el costo del primer soporte de la línea de transmisión de altura conocida. Si consideramos que, $C(Tg, h_a, q_i)$ denota el costo de emplazar un soporte de tipo Tg , de altura h_a en la estación (X_i, Y_i) , y Tg es función de algunas variables, así:

$$Tg = Tg(X_r, Y_r, X_i, Y_i, X_s, Y_s, E_i); \quad (4.30)$$

el principio para determinar los valores óptimos de costo $F_{s,b}(X_i, Y_i)$, cuando $s > 1$ y el soporte precedente no es el primero de la línea, consiste en la búsqueda de un vano simple que conecte los nodos (s,b) y (i,a) tal que satisfaga las restricciones y minimice la parte derecha de la ecuación recursiva:

$$F_{s,b} (X_i, Y_i) = \underset{r,a}{\text{MIN}} \left[F_{i,a} (X_r, Y_r) + c (\bar{T}_g, h_a, q_i) \right] \quad (4.31)$$

$$r \in R_i = \{0, 1, \dots, i-1\}; \quad i \in R_s = \{0, 1, \dots, s-1\}$$

$$a = 1, 2, \dots, Q;$$

Esto quiere decir que los vanos precedentes fueron determinados al mínimo costo hasta el nodo (i,a) y se conoce este costo. Como los valores $F_{i,a} (X_o, Y_o)$ están determinados por la relación (4.29), es obvio que aplicando la relación recursiva (4.31) para los valores $b = 1, 2, \dots, Q$; con $s = 2, 3, \dots, N$; se obtienen una familia de soluciones óptimas, una para cada b en (X_s, Y_s) , quienes dependen de (X_i, Y_i) del soporte precedente. Para el nodo del último soporte, el valor:

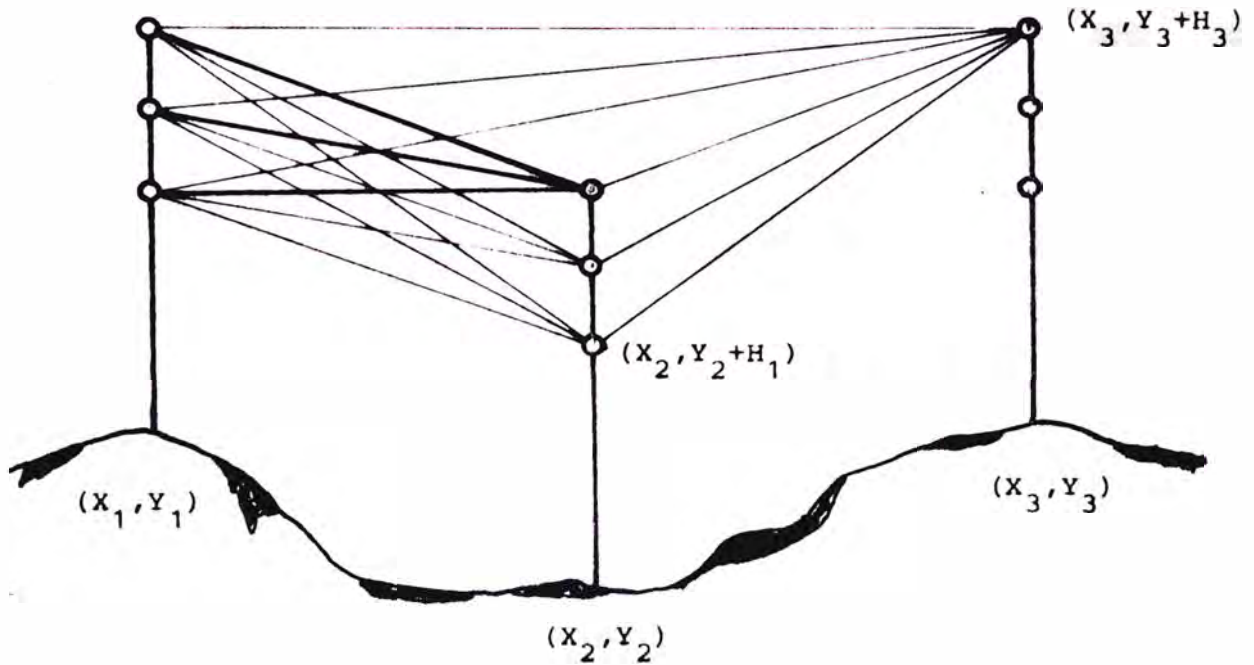
$$\underset{i}{\text{MIN}} F_{N,b_2} (X_i, Y_i); \quad i \in R_N = \{0, 1, 2, \dots, N-1\} \quad (4.32)$$

debe ser determinado, entonces el conjunto de vanos adyacentes óptimos que forman la línea, dan el costo óptimo como solución buscada.

El procedimiento presentado consiste de N etapas consecutivas. Los resultados del cálculo en la n -ésima etapa ($n=1,2,\dots,N$) terminan los costos mínimos del tendido de la línea comprendida entre la primera estación, con soporte conocido, y los Q nodos en (X_n, Y_n) . Estos costos se expresan como función de las coordenadas del soporte precedente. La primera etapa consiste en la determinación del costo del vano que une el nodo del primer soporte en (X_o, Y_o) con los Q nodos en (X_1, Y_1) , $v=1$, quienes satisfacen las restricciones (1-3) impuestas. Las variantes consideradas en la segunda etapa comprenden ya sea una conexión directa con el primer soporte o conexiones intermedias

a través de los nodos en (X_1, Y_1) . Las conexiones intermedias requieren tener en consideración todas las restricciones impuestas y se decide la altura óptima del soporte en (X_1, Y_1) . Las decisiones que se toman en la tercera etapa consiste no solo de la selección de la altura óptima del soporte en (X_1, Y_1) sino también de la selección óptima de las coordenadas (X_r, Y_r) del soporte precedente. Los cálculos en las próximas etapas se realizan en forma similar, cuando se consideran vanos de conexión entre los nodos (s,b) y (i,a) , es decir encontrar una variante de vanos al nodo (i,a) quien hace posible que el costo del tendido sea mínimo a través del proceso de decisión en el nodo (i,a) . Cuando se ha terminado la n-ésima etapa, para cada uno de los Q nodos en (X_s, Y_s) , donde $s=1, 2, \dots, n$; se tiene el costo óptimo de tendido al nodo considerado. La secuencia de estos vanos óptimos que implican el conocimiento de los tipos y alturas de los soportes como también sus emplazamientos que preceden al soporte en (X_s, Y_s) . Este estado puede ser tratado como el punto inicial para la próxima etapa de cálculo, esto es, el resultado de las decisiones en la n-ésima etapa ($n = 1, 2, \dots, N$) es la conversión de un estado precedente a uno nuevo y la reducción de las N etapas al comienzo del proceso de $(N-n)$ etapas.

" En la transición a la etapa $n+1$, $n < N$, las decisiones sobre las coordenadas (X_r, Y_r) para el soporte $(v-1)$ y la altura del soporte v en (X_i, Y_i) deben formar la estrategia o política óptima desde el punto de vista del estado del proceso al final de la n-ésima etapa." Esta sentencia sigue el principio de optimidad de Bellman. La transición de una etapa a otra es por aplicación de la ecuación recursiva (4.31) quien respecto a un número de variables que es



COMBINACIONES DE ESTACIONES Y ALTURAS DE LOS SOPORTES.

Fig. 4.3

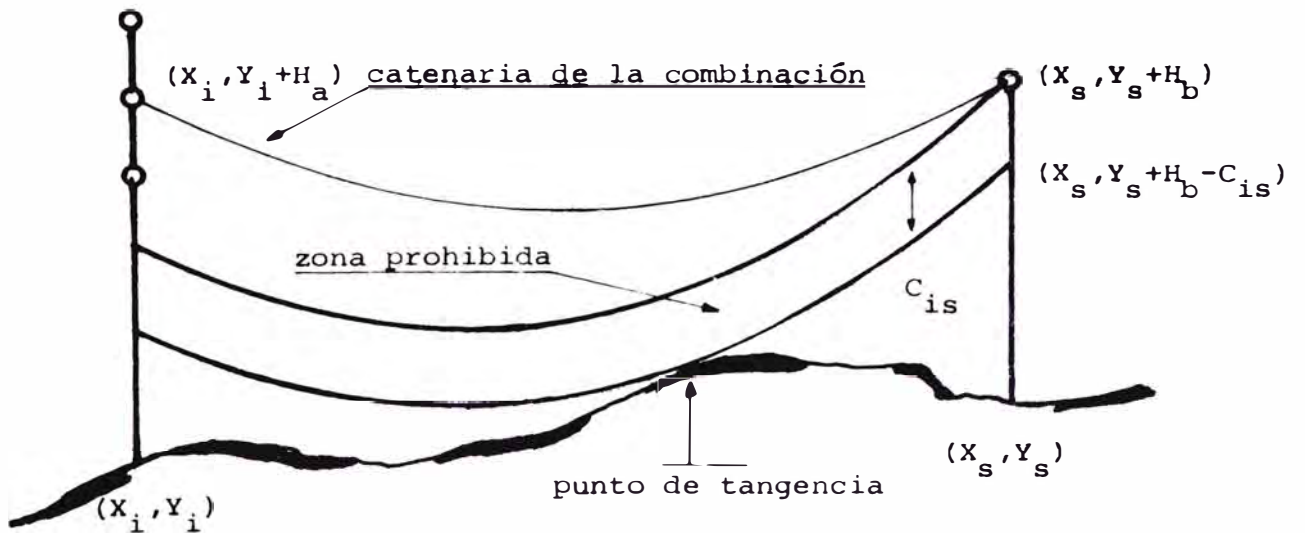


Fig. 4.4

pecifican el estado del proceso en la próxima etapa, juega el rol de la función de costo D_m (relación 4.26). La dependencia del costo dado por la ecuación recursiva (4.31) sobre las coordenadas del soporte precedente resulta de las restricciones (4 - 6) quienes siempre cubren un par de vanos consecutivos.

Lo dicho anteriormente se traduce gráficamente respecto del perfil y los soportes como se muestra en la Fig. 4.3 donde se tiene 3 estaciones en análisis y las posibles variantes en combinación de alturas de los soportes siempre referido desde una estación n a una estación $i < n$, tal como se ha mencionado en el modelo. Para el caso de la restricción del claro mínimo solo es necesario construir la catenaria del claro para el soporte en (X_s, Y_s) con altura b hacia la izquierda, como se muestra en la Fig. 4.4., donde las curvas del conductor por encima del considerado cumplen con la condición del claro mínimo.

C A P I T U L O V

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DIGITAL DE DISTRIBUCION Y SELECCION OPTIMA DE SOPORTES

5.1 INTRODUCCION

En los capítulos precedentes se ha señalado el método de solución al problema de distribución y selección óptima de soportes en el perfil topográfico de la ruta de cualquier línea aérea de transmisión eléctrica. Se presentó el modelo matemático del perfil y los elementos de distribución: conductor, soportes, requerimiento de claro según sea el obstáculo cruzado, puesta a tierra de los soportes, fundación, aisladores y extensión de patas del soporte por eventual desnivel en el terreno. Con estas premisas nos abocamos entonces a diseñar y dar las pautas para su implementación, de un Programa Digital que resuelva el problema planteado.

5.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DIGITAL

Para el efecto, debemos considerar inicialmente los siguientes parámetros:

Recursos de cómputo mínimo para el cual se diseña el programa, aun que en la mayoría de los casos actualmente no influye porque se supone que los recursos de cómputo son fáciles de conseguir (tales como: Capacidad de memoria principal y periféricos, procesadores de gran velocidad, etc.).

- Datos con el que se cuenta: datos del perfil, soportes, obstáculos, reglamentos sobre el claro requerido, fundaciones, puesta a tierra, aisladores, conductores, cables de guarda, contrapesos, extensiones de pata, etc.

- Resultados que se requieren: Relación de soportes colocados, sus ubicaciones, tipos, alturas, empleo de contrapesos, posición de sus aisladores (anclaje o suspensión), costo total óptimo, relación de vanos entre soportes, etc.

Características de las secuencias lógicas de cálculo y sus relaciones matemáticas empleadas; condiciones entre datos de entrada: compatibilidad, consistencia, etc.

Restricciones del problema dado por el terreno, reglamentos y asunciones experimentales.

- Lo fundamental, definición del problema y la relación de lo anterior con éste para su solución mecanizada.

Con estos parámetros definidos, se prosigue a definir el ambiente de la solución mecanizada y sus relaciones de proceso. Esto es relacionar los parámetros de diseño para obtener una secuencia lógica de proceso de tal manera que el resultado sea obtenido en forma lógica, con el mínimo esfuerzo en la preparación de los datos y con el mínimo número de intervenciones del usuario en el proceso del programa. Bajo estas consideraciones enumeramos la secuencia de proceso de datos que resulta del análisis de los parámetros de diseño.

Los datos topográficos deben ser tratados previamente con programas ad-hoc que validen estos datos y no presenten problemas en el proceso de optimización.

Justificación.- Como los datos del perfil topográfico debe contener por estación la distancia horizontal respecto de una estación de referencia, las cotas central y laterales, el ángulo topográfico de la línea en esa estación, datos geológicos para la fundación y puesta a tierra, datos del obstáculo apostado en la estación que

definen el claro requerido o la posibilidad de emplazamiento de un soporte en ella y requerimiento de algún tipo de soporte adyacentes para su cruce. Se hace necesario que estos datos sean válidos o consistenciados previamente ya que son datos sobre los cuales se opera y representan cerca del 40 % de importancia en el proceso de optimización, esto es, depende como sea la semejanza entre el perfil real y el perfil poligonalizado por segmentos el cual determina un resultado que se acerque a lo real.

A parte de estos datos topográficos, es necesario considerar datos adicionales sobre:

- ° El conductor: diámetro, carga de rotura, factor de seguridad, sección, peso unitario lineal, costo unitario lineal, etc.
- ° El cable de guarda, con similar especificación del conductor.
- ° Los contrapesos a utilizarse: carga inicial e incremental, costo inicial e incremental, máxima carga disponible restringido por el diseñador.
- ° Los aisladores: longitud, carga de rotura, peso, máximo ángulo de oscilación considerada en anclaje, costo de la cadena.
- ° El tendido: tiro horizontal para el cable de guarda y/o conductor en frío y en caliente, vano máximo y mínimo standard, doble vano máximo, claro mínimo standard.
- ° La geología de grupos de terreno que contemplen su influencia - en el costo de la fundación, claro mínimo, resistencia del terreno para la puesta a tierra del soporte, etc.
- ° Los soportes: altura mínima de sujeción, incremento de altura, número de conductores y cables de guarda, ancho entre patas, máximo desnivel admisible para la consideración de extensión de pa

tas del soporte, costo de la extensión de patas por metro extendido, gasto disponible para tipo de soporte en relación a los esfuerzos transmitidos, costo del soporte según su tipo y altura considerada.

- ° Posiciones fijas de soportes de determinado tipo, altura y ubicación fijada a priori.
- ° Cambios de los vanos máximos y mínimos standard ("ruling span") entre ciertos tramos de la ruta.
- ° El primer soporte emplazado: tipo, altura y costo.
- ° Datos adicionales sobre el control de áreas de trabajo en memoria del Computador y datos de control que el programa necesita para el proceso de optimización.

Con estos datos enumerados podemos entrar al proceso de optimización que será explicado mediante el algoritmo que se mostrará en el siguiente acápite.

Con los resultados del proceso de optimización, quien por cada estación y alturas posibles de soportes emplazados se tiene a partir de ella la relación de vanos óptimos que determinan la combinación óptima a la estación deseada. Para el efecto se debe utilizar un programa ad-hoc de búsqueda extendida de retorno quien obtenga estas combinaciones óptimas para su análisis, a partir de una estación que no necesariamente es la última. Si se quiere analizar desde la última estación se tendrá que conocer la altura del soporte a ser emplazado y con el cual se obtiene la ubicación óptima de soportes en el perfil. Esto no impide que se conozcan las demás soluciones subóptimas (relacionada con las demás alturas en la última estación) y pueden ser recuperadas con otro programa ad-hoc escrito para tal efecto.

5.3 ESTRUCTURA DEL PROCESO DE DATOS

Lo enumerado en el acápite anterior se traduce en la estructura del procedimiento informático que se presenta en la Fig.5.1 a, b y c, cuyos símbolos gráficos utilizados son conocidos en cualquier ambiente de cómputo. Podemos dividir este proceso en 3 etapas:

5.3.1 ETAPA DE VALIDACION DE LOS DATOS TOPOGRAFICOS

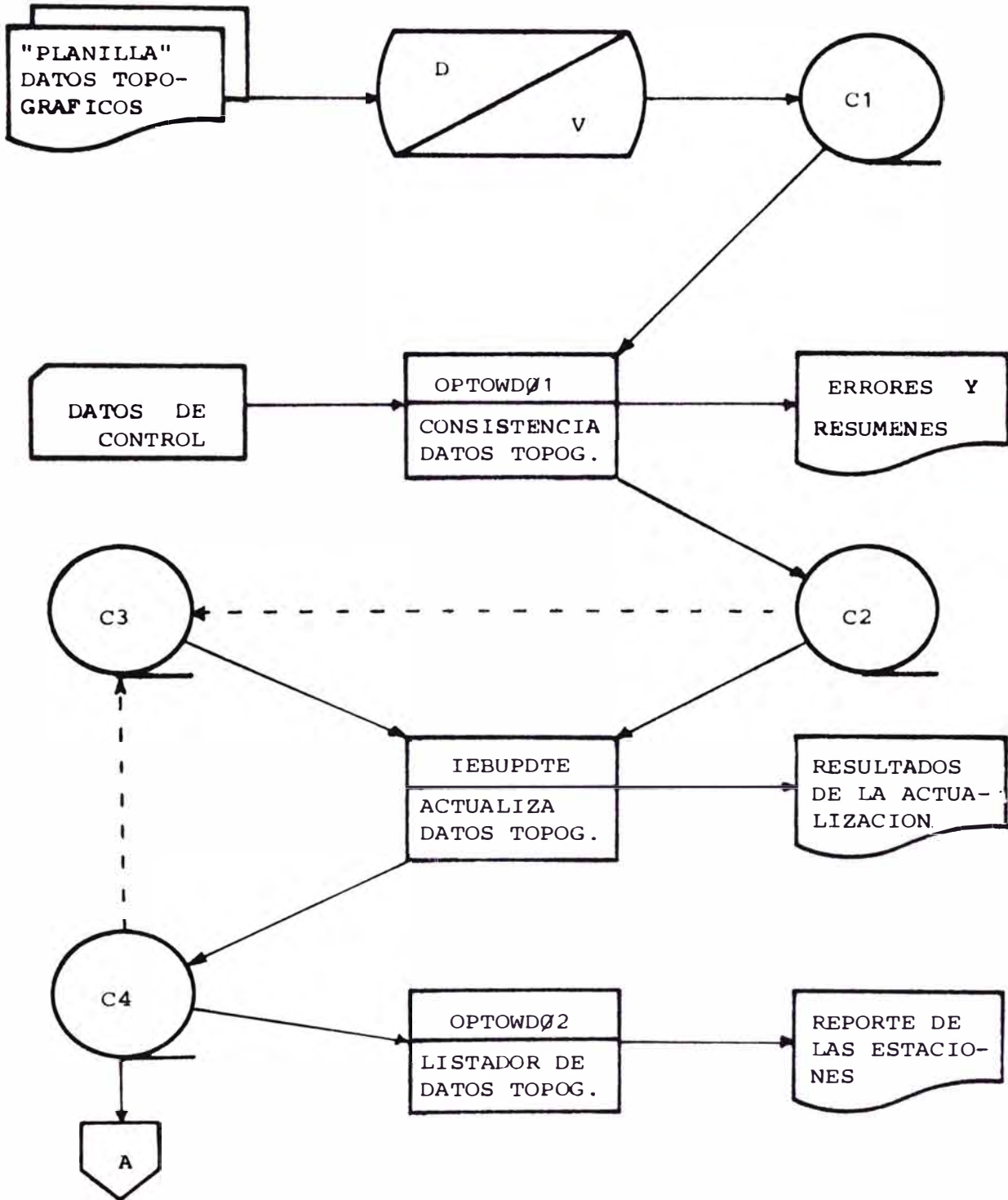
Esta etapa, mostrada en la Fig. 5.1a, consiste en los pasos siguientes:

Se digita y verifica (Data Entry), los datos del levantamiento topográfico de la ruta (planillas). Estos datos son referentes a la ubicación de las estaciones, comentarios sobre tramos de la ruta, datos geológicos del terreno de la estación y requerimientos de la estación al tendido de la línea. Estos datos son grabados luego en una cinta magnética C1.

El programa OPTOWDØ1 es el que se encarga de validar los datos topográficos en cuanto a considerar números y códigos en los diferentes campos del registro de datos de la cinta C1. El programa requiere de datos de control concerniente al intercambio de información con el programa IEBUPDTE y además para la manipulación de archivos del usuario: cintas magnéticas donde se almacena la información consistenciada, C2. Los registros del C1 que contienen datos errados son impresos indicando el tipo de error.

Al final se emiten resúmenes del proceso de consistencia.

- El programa IEBUPATE es aquel que se encarga de actualizar datos del perfil sobre datos ya acumulados y consistenciados que se encuentran en la cinta magnética C3 que con la presencia de C2 generan nuevos datos actualizados en C4. Nótese que C2 puede convertir



PRIMERA FASE DE VALIDACION DE LOS DATOS TOPOGRAFICOS.

Fig. 5.1 - a

se en C3 o C4 sin procesar el programa IEBUPATE, y depende de la presencia de errores en el proceso del programa OPTOWDØ1. Además - C4 se convierte en C3 en el proceso de actualización de C2 sobre éstos datos.

El programa OPTOWDØ2, es el encargado de listar todas las estaciones y comentarios de la ruta desde C4 para su chequeo respectivo, - necesario para el proceso de la segunda etapa. Al final se emite unas estadísticas sencillas necesarias para ver el grado de accidentado que es la ruta.

Con estos 4 pasos aseguramos que los datos del perfil no presenten problemas en el proceso de optimización.

5.3.2 ETAPA DE OPTIMIZACION

Esta etapa, Fig. 5.1-b, consiste de un solo paso y es presentado por el procesamiento del programa OPTOWDØ3 quien es el programa de selección y ubicación óptima de soportes en el perfil. Previamente este programa valida y asimila los datos de control que consisten de: Datos de los soportes, aisladores, conductor y/o cable de guarda, tendido de la línea, ubicaciones fijas de soportes, cambios del "ruling span", especificaciones sobre el costo de puesta a tierra de los soportes, sus fundaciones y requerimiento de claro, etc.

Con estos datos se calcula el resto de parámetros del tendido y asunciones en caso de ausencia. Posteriormente se entra al proceso del tendido: ubicación y selección de soportes según su tipo y -

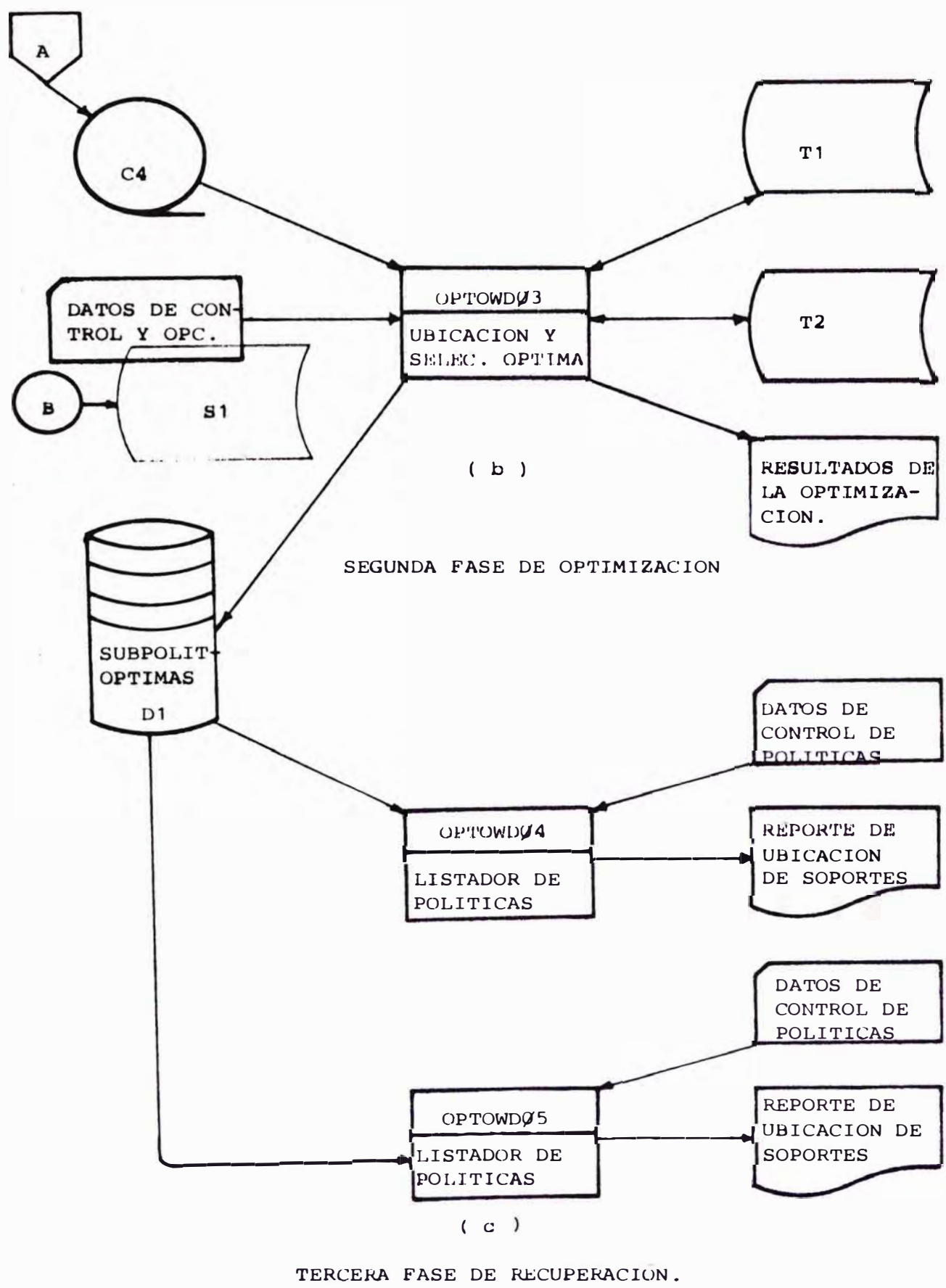


Fig. 5.1

altura. El cual requiere de 2 archivos temporales y un archivo directo D1 de almacen de las subpolíticas óptimas. El primer archivo temporal T1 sirve para almacenar los datos de los cambios del ruling-span y el segundo T2 sirve para almacenar los datos de soportes fijos emplazados a priori que se leen en el proceso del tendido. Al final se emiten resúmenes del proceso y las soluciones subóptimas al último soporte emplazado en la última estación.

5.3.3 ETAPA DE RECUPERACION

En esta etapa, Fig. 5.1-c, que cuenta con 2 pasos alternativos se recuperan las soluciones subóptimas a criterio del diseñador, es decir puede tomar como estación inicial de recuperación no sólo la última sino las anteriores a ella y con variante (relacionado a la altura del soporte en la estación) determinada. Esta recuperación se hace gracias a que una estación y una altura de soporte en ésta apunta (término de referencia) al soporte adyacente para el cual es óptimo el enlace, es decir, el costo de enlace ha sido mínimo; y así sucesivamente.

Se tiene 2 alternativas de recuperación dados por los programas OPTOWDØ4 y OPTOWDØ5. El programa OPTOWDØ4 tiene la posibilidad de listar todo el archivo D1 por estación ascendente, y la recuperación regresiva a partir de una estación y variante fijada por el usuario (diseñador) El programa OPTOWDØ5 tiene la posibilidad de hacer la recuperación regresiva a partir de una estación y variante dada y listar, por estación ascendente de la solución subóptima con la indicación del vano equivalente en las secciones o tramos entre -

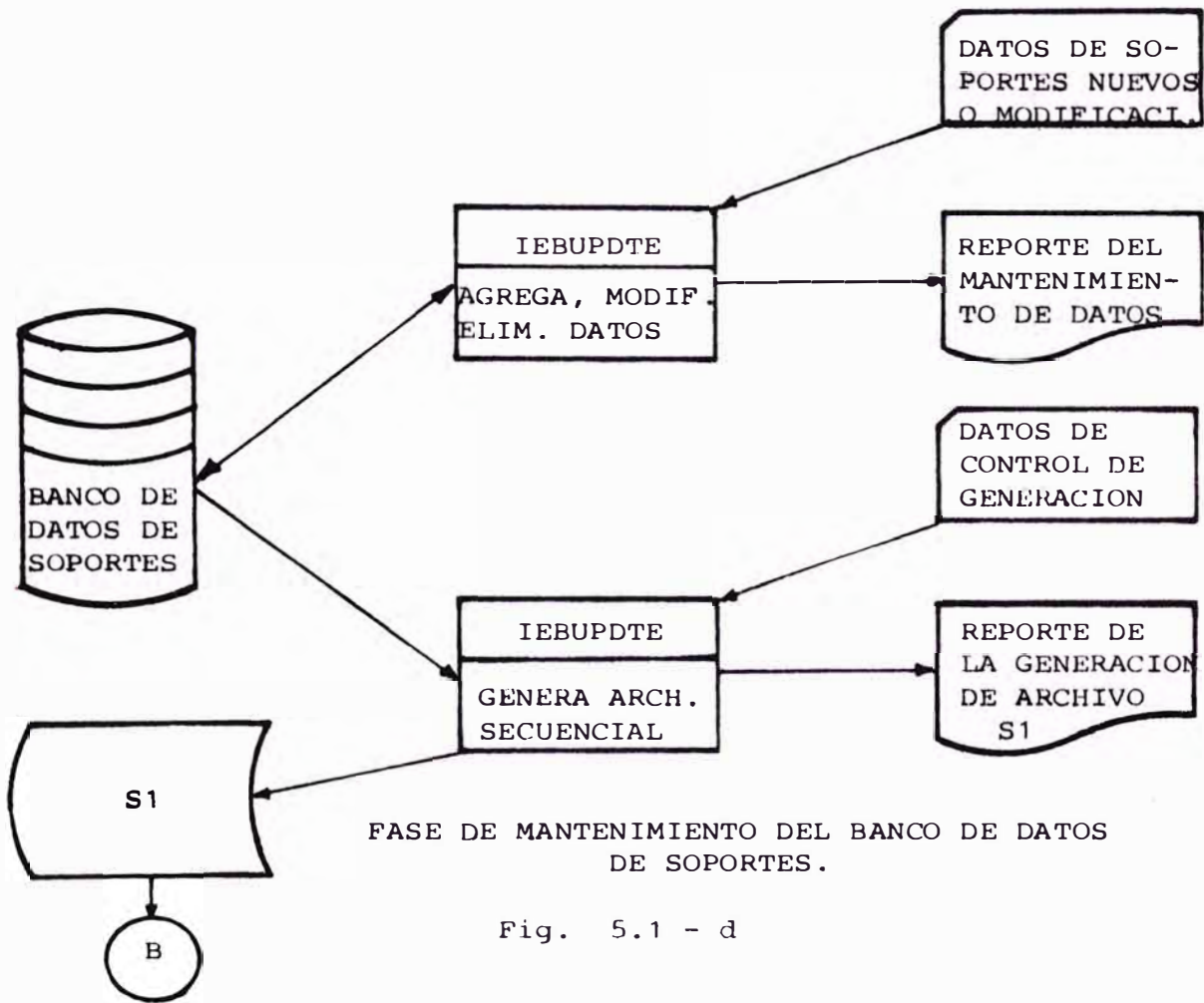
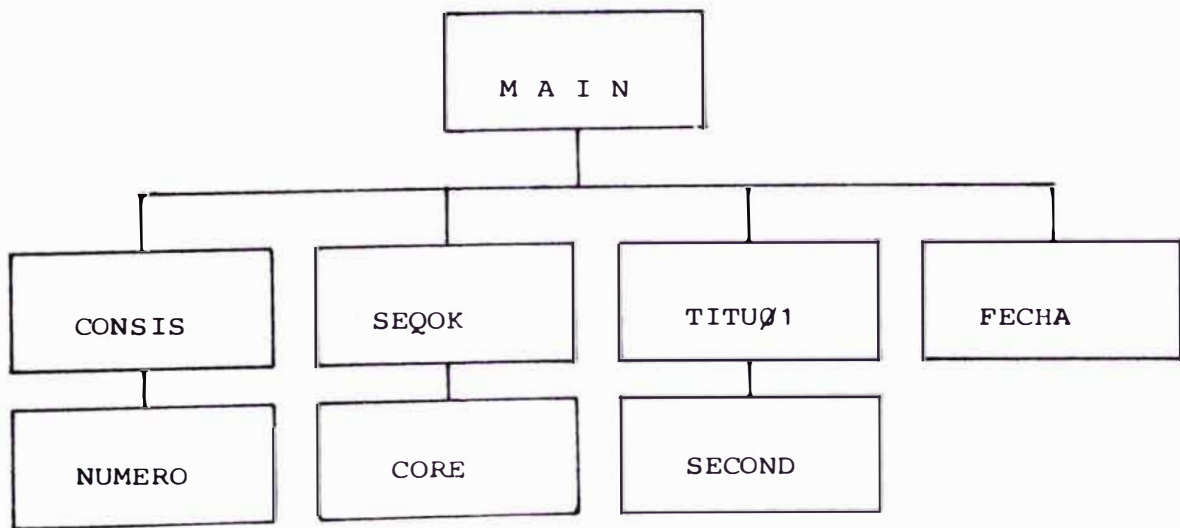


Fig. 5.1 - d



ARBOL ESTRUCTURAL DEL PROGRAMA "OPTOWD01"

Fig. 5.2

soportes en anclaje. Ambos al final emiten resúmenes del proceso.

A continuación mostramos la estructuración de los programas y su secuencia lógica interna de proceso y en el capítulo siguiente la estructura de los datos de los diferentes archivos mencionados anteriormente.

5.4 ESTRUCTURA Y LOGICA DE LOS PROGRAMAS

Sino se indica lo contrario, todas las rutinas están escritas en lenguaje FORTRAN IV.

5.4.1 PROGRAMA OPTOWDØ1

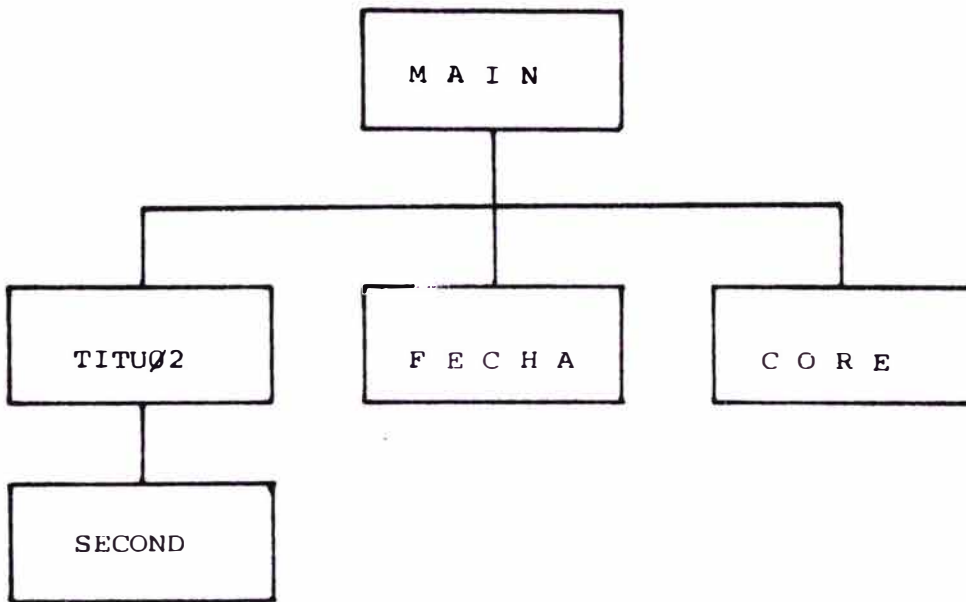
La estructura de este programa se muestra en la Fig. 5.2 donde la rutina principal MAIN controla las rutinas subordinarias: CONSIS quien a su vez controla a NUMERO; SEQOK a CORE; TITUØ1 a SECOND; y FECHA. La función de cada rutina es la siguiente:

MAIN.- Inicializa variables de trabajo e ingresa a un proceso de consistencia para todo registro de datos que no sea comentario. Al final emite resúmenes del proceso.

CONSIG.- Esta rutina controla a la rutina número para asignarle tareas de consistencia de zonas numéricas del registro y en caso de error determina el tipo tal como: no numérico, exceso de puntos, blancos intercalados, etc.

NUMERO.- Rutina encargada de validar cada byte de la zona asignada y que esta sea numérica, considera si la zona es para un número entero o real según lo determine CONSIS.

SEQOK.- Rutina encargada de chequear el valor de la distancia horizontal de la estación respecto del anterior y debe resultar creciente, pa



ARBOL ESTRUCTURAL DEL PROGRAMA "OPTOWDQ2"

Fig. 5.3

ra guardar secuencia en la ruta. Para el efecto es necesario leer el registro de memoria, leído por MAIN, y para el cual da el control a la rutina CORE.

CORE.- Rutina escrita en el lenguaje de Programación ASSEMBLER de la Computadora IBM-360. Su misión es simular un proceso de lectura de un registro de un archivo pero en realidad se leerá de una zona de memoria definida.

TITUØ1.- Rutina encargada de imprimir el título del reporte de errores.

SECOND.- Rutina escrita en ASSEMBLER quien entrega a TITUØ1 el tiempo exacto del proceso en centésimas de segundo.

FECHA.- Rutina escrita en ASSEMBLER quien entrega a MAIN la fecha del proceso.

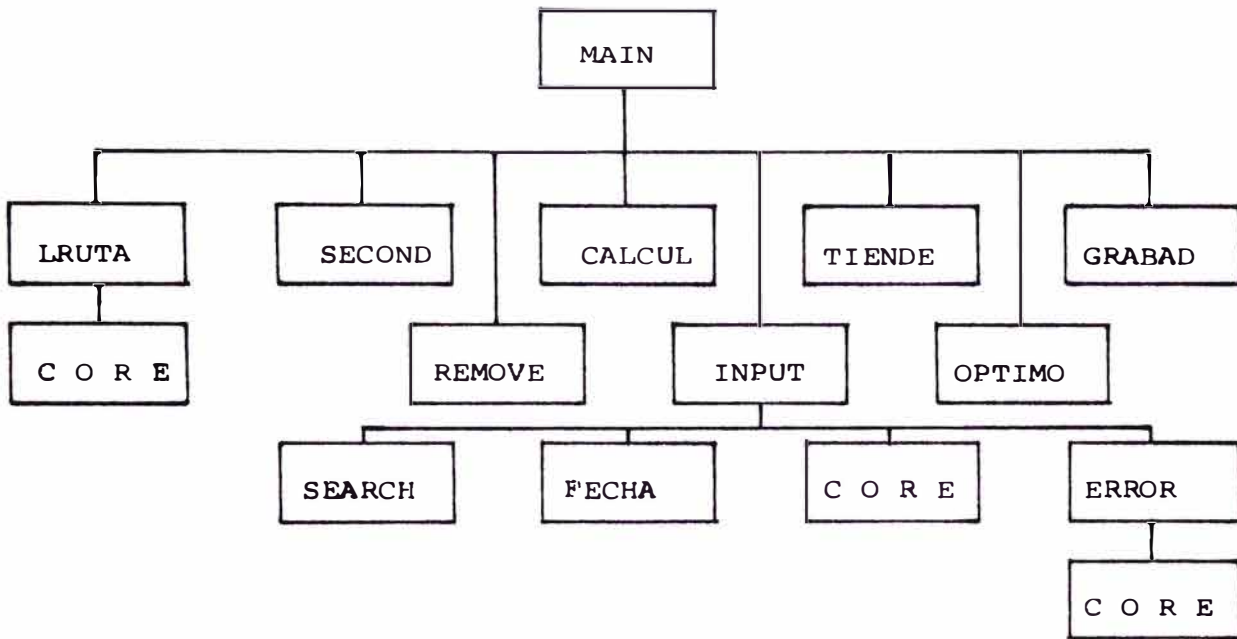
5.4.2 PROGRAMA "IEBUPDTE"

Este programa producto de IBM, como parte del sistema operativo OS-PCP, se encarga de reemplazar, eliminar y/o intercalar datos antiguos con otros nuevos consistenciados previamente por el programa OPTOWDØ1 y el archivo actualizado se encuentra disponible para un nuevo proceso con este programa o para el OPTOWDØ2 u OPTOWDØ3.

5.4.3 PROGRAMA "OPTOWDØ2"

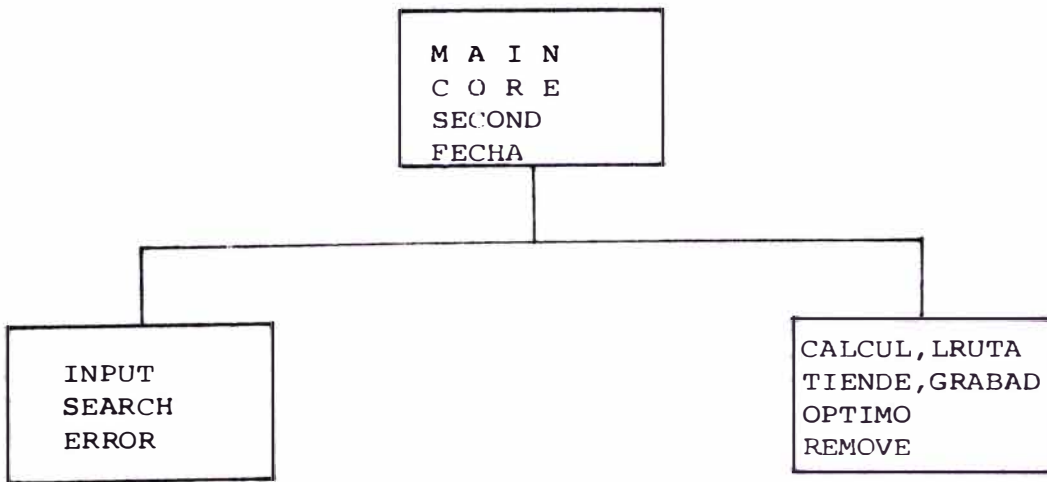
La estructura de este programa se muestra en la Fig. 5.3 donde las funciones de cada una de las rutinas son:

MAIN.- Inicializa variables y prepara a éstas para el proceso estadístico de recolección, Imprime cada registro según sea de datos del perfil o comentarios, controla en número de líneas impresas por página y sobrepasado un límite salta de página e imprime el encabezado



ARBOL ESTRUCTURAL DEL PROGRAMA "OPTOWDØ3"

Fig. 5.4



ARBOL DE TRASLAPE EN EL PROCESO DEL PROGRAMA "OPTOWDØ3"

Fig. 5.6

con la indicación del tiempo de proceso. Al final se emite un resumen del proceso y datos estadísticos necesarios para el análisis de resultados de la segunda etapa o fase.

TITULO2.- Rutina de impresión del encabezado del reporte con la indicación de las columnas de datos de impresión, como se podrá observar en el volumen 2.

Las rutinas Fecha, Core y Second son las mismas del programa OPTOWDØ1.

5.4.4 PROGRAMA "OPTOWDØ3"

La estructura de este programa se muestra en la Fig. 5.4 y como se observa es el programa central y más importante del procedimiento informático presentado. Debido a esto es necesario explicar previamente las funciones de las rutinas secundarias para luego explicar la rutina principal, así:

INPUT.- Rutina encargada de asimilar los datos de control y secundarios al programa tales como: datos de los soportes, ubicaciones fijas de soportes, cambios del "ruling-span", aisladores, conductores, datos geológicos, etc. Para el efecto se seleccionan bajo el criterio de grupo predominante e identificado por palabras clave de tal manera que ellos pueden formar un "Banco de Datos" para determinados grupos de soportes, conductor y factores geológicos que pueden ser utilizados en el planeamiento de líneas de transmisión, esta consideración se traduce en mantener un subsistema de actualización de estos datos tal como se muestra en la Fig. 5.1-d. Al final emite mensajes sobre los datos asimilados y asunciones realizadas.

SEARCH.- Rutina de soporte a INPUT cuya función es determinar si un registro de los datos de control es un indicador (palabra clave) de grupo, comunicando su decisión a INPUT.

ERROR.- Rutina de soporte a INPUT, encargada de identificar el error en la asimilación de datos y comunica al usuario el origen del error bajo un valor de la variable KILL (Ver apéndice B).

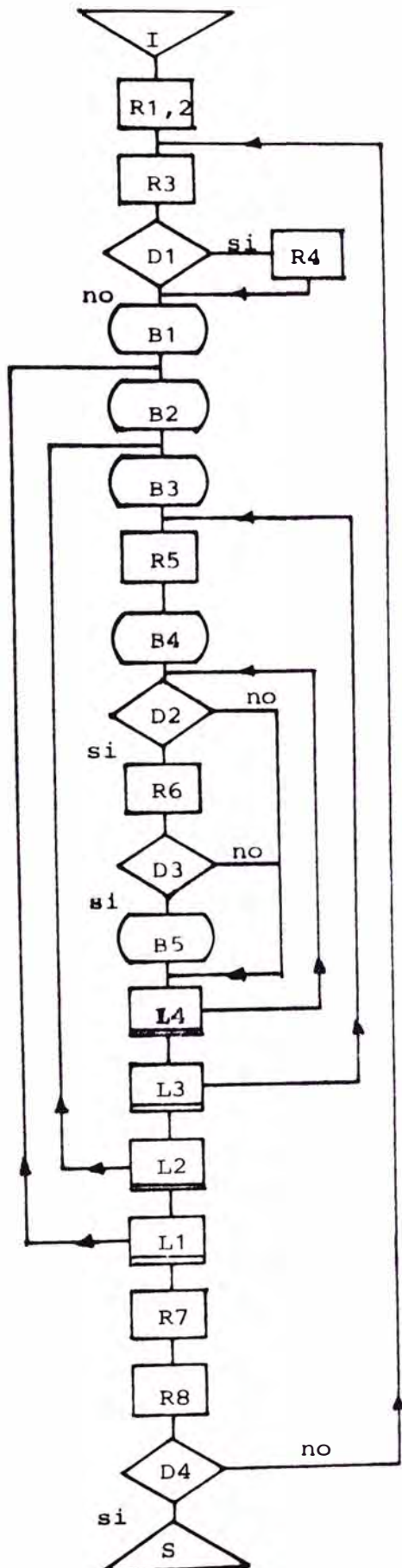
CALCUL.- Rutina de chequeo y cálculos a base de los datos asimilados por INPUT, determina el parámetro de la catenaria en frío y caliente para el conductor y cable de guarda; el peso del conductor con sobrecarga vertical y total bajo el efecto del viento y/o hielo.

LRUTA.- Rutina encargada de asimilar los datos del perfil topográfico a memoria. Como estos datos contienen entre ellos algunos comentarios y éstos no son asimilados por la ayuda de la rutina CORE. A la vez manipula el archivo temporal de soportes emplazados "a priori".

TIENDE.- Rutina encargada de ubicar el origen de los ejes coordenados de la catenaria que pasa entre 2 puntos de sujeción predeterminados en ubicación y altura. Si entre estos puntos la catenaria pasa por "muy encima" o "muy debajo" del claro requerido en la estación crítica, ubicado por el análisis de Δt entre estos soportes, es necesario bajar o subir la catenaria para cumplir con el requerimiento de claro. Esto se puede observar en la catenaria de la Fig. 5.7.

OPTIMO.- Rutina encargada de calcular el costo óptimo a la estación y altura de análisis donde se refleja el costo del soporte, conductor y cable de guarda, fundación, aisladores, extensión de patas, puesta a tierra del soporte, contrapeso (si lo requiere); que en conjunto determinan si el enlace es óptimo para un soporte emplazado antes del soporte de análisis. Esto es evalúa la ecuación de recursividad (4.31) para la estación en análisis. Sabemos que el costo del soporte emplazado es función del esfuerzo soportado y su altura.

GRABAD.- Rutina que se encarga de sacar la información de las subpóliticas óptimas al archivo directo de almacenamiento auxiliar (Disco



RUTINAS

- R1 - Entrada de datos de los soportes y control del tendido.
- R2 - Generación de los parámetros del tendido.
- R3 - Entrada de los datos topográficos de una sección de línea con inicialización de costos.
- R4 - Modificación de los límites de vano (cambio del "ruling span")
- R5 - Tiende catenaria entre los nodos (S,b) y (I,..) con transformación de sus ejes coordinados por requerimientos del perfil.
- R6 - Cálculo del costo de conexión; soporte fundación, puesta a tierra, extensión de patas.
- R7 - Salida de las subpolíticas óptimas obtenidas hasta la estación R, la más alejada de I.
- R8 - Reordenamiento de los datos en memoria

BLOQUES

- B1 - Computa los límites del índice S de las estaciones de referencia de conexiones.
- B2 - Computa el índice R de la estación más alejada de I y el índice b en S, nodo hacia el cual se hacen las conexiones.
- B3 - Computa los límites del índice I de las estaciones donde se emplazan los soportes.
- B4 - Computa el índice a en I, nodo desde el cual se hace la conexión con (S,b).
- B5 - Almacenamiento de la solución y actualización de los índices de conexión.

LAZOS

- L1 - Cambio de estación de referencia S.
- L2 - Cambio de altura del soporte en S.
- L3 - Cambio de estación de emplazamiento I.
- L4 - Cambio de altura del soporte en I.

DECISIONES

- D1 - ¿Hay cambio del "ruling span"?
- D2 - ¿Se cumple con el claro mínimo?
- D3 - ¿Es el costo calculado menor que el almacenado?
- D4 - ¿Es el final de línea?

LOGICA DEL PROGRAMA "OPTOWD03"

Fig. 5.5

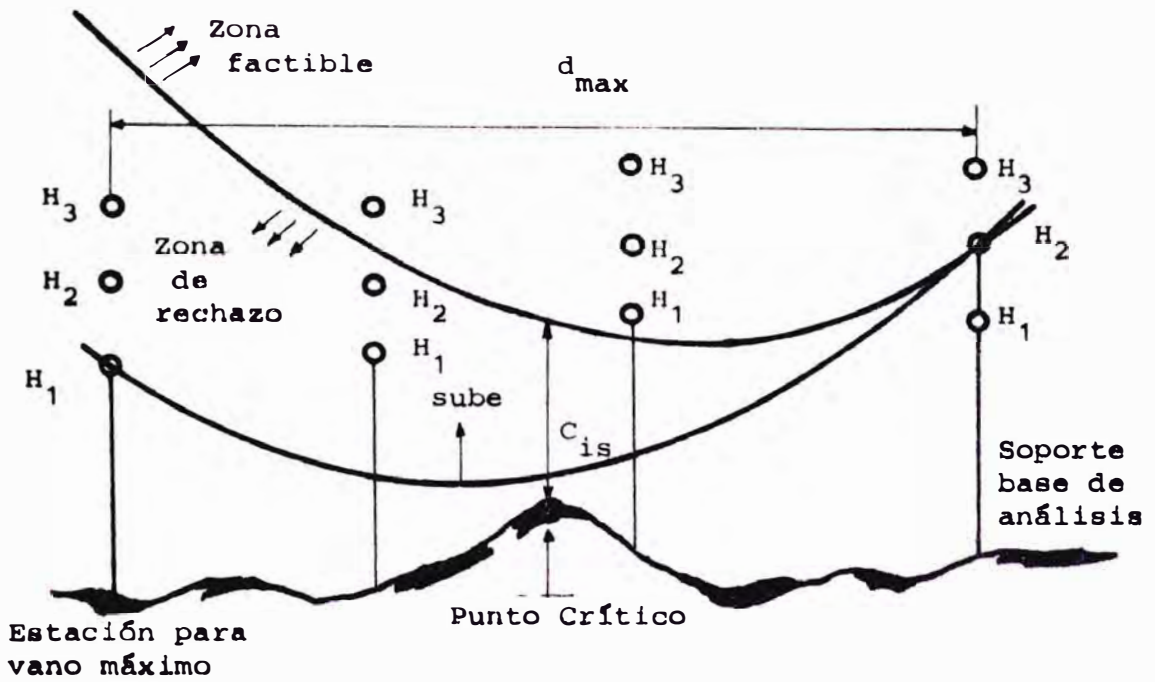
D1), para su uso posterior en la recuperación regresiva de políticas. MAIN.- Rutina encargada de controlar las rutinas anteriormente nombradas de tal manera que se pueda cumplir con la lógica mostrada en la Fig. 5.5 donde se explica detalladamente las decisiones procesos en bloque y específicos, y la formación de los lazos repetitivos para las combinaciones de estación-altura de 1 a 1 respecto de una base. La selección del emplazamiento de un soporte se realiza en función de su altura y esfuerzo soportado. Si su altura no permite que la catenaria cumpla con los requerimientos de claro se descarta su emplazamiento, - tal como se puede observar en la Fig. 5.7.

Este programa OPTOWDØ3 para su ejecución completa, necesita de 110 K de memoria libre sin considerar las áreas de amortiguamiento (BUFFERS) para la E/S de datos, se tuvo que emplear el concepto de traslape en el proceso para el cual se hizo el árbol de traslape mostrado en la Fig. 5.6 donde la rama más larga es de 100 K bytes y como el sistema operativo OS-PCP en el Computador IBM-360/40 del Centro de Cómputo de la U.N.I. facilita 104 K libres, es factible su procesamiento bajo esta modalidad. Esto se debe a que la raíz es de 84 K de memoria debido a la cantidad de área utilizada para almacenar los datos del perfil y las subpolíticas que suman alrededor de 60 K.

5.4.4 PROGRAMA "OPTOWDØ4"

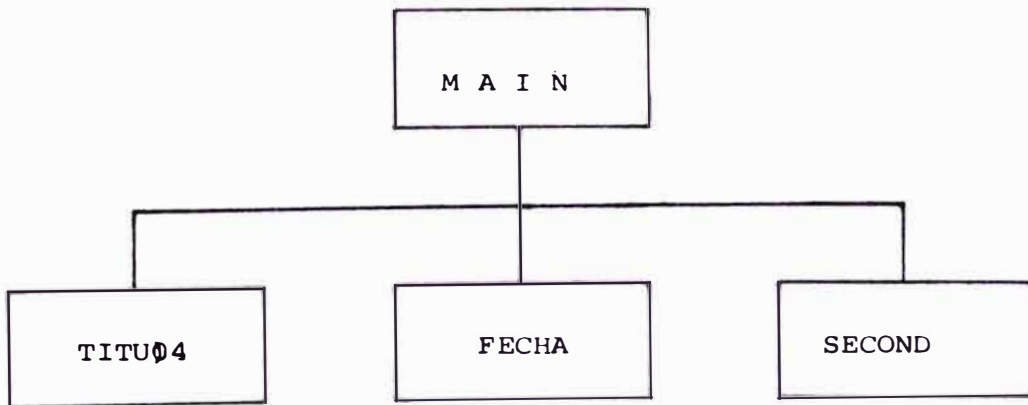
La estructura de este programa se muestra en la Fig. 5.8 y las funciones de cada rutina son:

MAIN.- Inicializa variables y asimila los datos de control de tal manera de decidir si el listado es de todo el archivo D1 en forma ascendente por número de estación o relación de estaciones-alturas de una



EFFECTO DE LA RUTINA "TIENDE" SOBRE LA SELECCION Y UBICACION DE SOPORTES

Fig. 5.7



ESTRUCTURA DEL PROGRAMA "OPTOWD04" (u "OPTOWD05").

Fig. 5.8

política o subpolítica recuperada a partir de una estación-altura en forma regresiva. Controla el número de líneas por página.

TITUØ4.- Imprime el encabezado del listado emitido por el MAIN de acuerdo a los datos de control.

Las rutinas CORE y SECOND son las mismas del programa OPTOWDØ1. Además cabe mencionar que éste programa OPTOWDØ4 tiene otra versión OPTOWDØ5 con la misma estructuración pero que utiliza un archivo temporal T3 para almacenar datos de las estaciones de la política considerada y después listar en orden ascendente por estación con la indicación del vano equivalente entre estaciones fijas de un tramo considerado en el tendido.

5.5 DETALLES IMPORTANTES EN LA PROGRAMACION E IMPLEMENTACION DE LOS PROGRAMAS

Como se mencionó anteriormente los programas han sido escritos en el Lenguaje de Programación FORTRAN IV con soporte de rutinas de apoyo escritos en el Lenguaje de Bajo Nivel ASSEMBLER con el objeto de acelerar el proceso, quien refleja más esta consideración es la rutina REMOVE encargada de desplazar en memoria los datos existentes reemplazando en zonas cuyos datos fueron grabados en el archivo D1, para luego llevar nuevos datos en la zona dejada por el movimiento. La otra rutina importante es CORE que permite la lectura/escritura en memoria.

A parte de las rutinas mencionadas, cabe señalar las técnicas de programación utilizadas:

Se utiliza la programación estructurada "TOP-DOWN" combinado con los procesos repetitivos que permiten las combinaciones estación-al tura.

Para el intercambio de datos entre rutinas se utiliza zonas comunes (COMMON AREA) etiquetadas para grupos de datos caracterizados en común por la naturaleza de información.

- Se optimiza el uso de memoria con las declaraciones INTEGER*2 y LOGICAL*1 de tal manera que las variables con estas características no ocupen mayor espacio de memoria, esto porque sus valores almacenados no excedan de la capacidad máxima disponible.

Por el hecho de usar áreas comunes se ahorra memoria por el intercambio de parámetros entre rutinas, lo cual se obvia porque no tiene declarados la presencia de estos parámetros, salvo para las rutinas SEARCH y ERROR que contemplan el "RETORNO MULTIPLE" controlado por la rutina INPUT en el programa OPTOWDØ3.

- Los programas fuente contienen comentarios explícitos sobre el desarrollo de las instrucciones en forma secuencial y/o repetitiva.

Con estas menciones se puede decir que se ha utilizado el lenguaje FORTRAN IV y ASSEMBLER por ser los más difundidos en el ambiente de INGENIERIA en el país; con el cual la contribución de estos programas al desarrollo de proyectos de líneas de transmisión sea efectiva a corto plazo, por el cual se presenta en el Volumen II los listados de los programas fuente mencionados.

C A P I T U L O VI

CONSIDERACIONES PARA LA ENTRADA Y SALIDA DE DATOS DEL PROGRAMA

DIGITAL DE DISTRIBUCION Y SELECCION OPTIMA DE SOPORTES

6.1 INTRODUCCION

En el Capítulo anterior se explicó la estructura y funcionamiento de los pasos de procesamiento y de los programas integrantes, pero no se tocó el cómo hacer funcionar éstos programas y cuáles son los datos necesarios y/o no necesarios para su ejecución. Por esto es imprescindible dar las pautas de ejecución y controlar la escritura de estos datos, y conocimiento de las tarjetas de control necesarios para su procesamiento bajo el Sistema Operativo OS-PCP en el Computador IBM-360/40 del UNI-CC.

6.2 TARJETAS DE CONTROL PARA LA EJECUCION DE LOS PROCEDIMIENTOS INFORMATICOS

Estas tarjetas de control se muestran en las Figs. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ; para los diferentes programas mencionados en el capítulo anterior. Estas tarjetas de control son las aceptadas por el JOB CONTROL LANGUAGE del sistema operativo OS-PCP. A continuación presentamos una breve explicación de ellos, donde se considerará que la tarjeta EXEC sirve para ordenar la ejecución del programa, y la tarjeta JOB sirve para la identificación del usuario.

6.2.1 EJECUCION DEL PROGRAMA "OPTOWDØ1"

Las tarjetas de control para su ejecución, se muestran en la Fig. 6.1, donde:

- STEPLIB, archivo de residencia del programa, y es similar para los demás.

FT06F001, archivo de salida impresa, conteniendo los errores de consistencia.

- FT05F001, archivo de los datos de control de proceso con residencia en tarjetas.

FT09F001, archivo de datos topográficos a consistenciarse.

- FT11F001, archivo de datos topográficos correctos.

6.2.2 EJECUCION DEL PROGRAMA "IEBUPDTE" DE ACTUALIZACION DE LOS DATOS TOPOGRAFICOS

Refiriéndonos a la Fig. 6.2, tenemos que:

SYSPRINT, archivo de mensajes y resultados de la actualización.

- SYSUT1, archivo que contiene los datos topográficos por actualizar se.

- SYSUT2, archivo que contendrá estos datos actualizados.

- SYSIN, archivo que contiene las modificaciones, agregados y/o eliminaciones de registros del SYSUT1. Debe contener como primer registro:

```
./ CHANGE LIST=ALL [ ,SEQFLD=738 ] CC
```

donde: LIST=ALL, es opcional e indica listar el archivo SYSUT2 integro; SEQFLD=738, indica que el campo de secuencia se encuentra en la columna 73 con 8 bytes de longitud y CC es el indicador de comentario para el programa OPTOWDØ1. La tarea de este registro es actuar como comando de función.

```

//C279T6E1      JOB          TØ19EEM1 ,CHUQUILLANQUI ,
//              MSGLEVEL=1 ,TIME=5 ,CLASS=B
//OPTOWDØ1     EXEC          PGM=OPTOWDØ1 ,TIME=5
//STEPLIB      DD           DSN=SYS2.UNIEELIB ,DISP=SHR
//FTØ6FØØ1     DD           SYSOUT=A
//FTØ9FØØ1     DD           UNIT=TAPE ,DISP=OLD ,VOL=SER=C1 ,
//              LABEL= ( 1 ,NL) ,DCB= (RECFM=FB ,LRECL=8Ø ,
//              BLKSIZE=8Ø)
//FT11FØØ1     DD           UNIT=TAPE ,DISP= ( ,PASS) ,VOL=SER=C2 ,
//              LABEL= ( 1 ,NL) ,DCB= (RECFM=FB ,LRECL=8Ø ,
//              BLKSIZE=8ØØ)
//FTØ5FØØ1     DD           *

```

Datos de Control

```

/*
//

```

TARJETAS DE CONTROL PARA LA EJECUCION DEL
PROGRAMA "OPTOWDØ1"

Fig. 6.1

```

//C279TGU1      JOB          TØ19EEM1 ,CHUQUILLANQUI ,
//              MSGLEVEL=1 ,TIME=5 ,CLASS=A
//ACTUALIZ     EXEC          PGM=IEBUPDTE ,TIME=5 ,PARM=MOD
//SYSPRINT     DD           SYSOUT=A
//SYSUT1       DD           UNIT=TAPE ,DISP=OLD ,VOL=SER=C3 ,
//              LABEL= ( 1 ,NL) ,DCB= (RECFM=FB ,LRELL=8Ø ,
//              BLKSIZE=8ØØ)
//SYSUT2       DD           UNIT=TAPE ,DISP= ( ,PASS) ,VOL=SER=C4 ,
//              LABEL= ( 1 ,NL) ,DCB= (RECFM=FB ,LRECL=8Ø ,
//              BLKSIZE=8ØØ)
//SYSIN        DD           UNIT=TAPE ,DISP=OLD ,VOL=SER=C2 ,
//              LABEL= ( 1 ,NL) ,DCB= (RECFM=FB ,LRECL=8Ø ,
//              BLKSIZE=8ØØ)
//
//

```

TARJETAS DE CONTROL PARA LA EJECUCION DEL
PROGRAMA "IEBUPDTE" DE ACTUALIZACION

Fig. 6.2

6.2.3 EJECUCION DEL PROGRAMA "OPTOWDØ2"

Refiriéndonos a la Fig. 6.3, tenemos que:

- FO06F001, archivo de impresión de las estaciones del perfil en orden ascendente.
- FT09F001, archivo C4 desde donde se lista los datos topográficos.
- FT05F001, archivo de los datos de control de proceso con residencia en tarjetas.

6.2.4 EJECUCION DEL PROGRAMA "OPTOWDØ3"

Refiriéndonos a la Fig. 6.4, tenemos que:

- FT03F001, archivo temporal que almacena datos de ubicaciones fijas de soportes.
- FT04F001, archivo temporal que almacena datos de cambios del "ruling-span".
- FT06F001, archivo de impresión de los datos de control y asunciones, y resultados que el programa emite según el deseo del usuario.
- FT07F001, archivo de datos del perfil topográfico de la ruta.

FT09F001, archivo de datos D1 de las subpolíticas posibles del proceso de optimización, incluye los datos de FT07F001 modificados.

Es un archivo RELATIVO (Directo del FORTRAN), creado en forma secuencial.

FT05F001, archivo de entrada de datos de control y datos necesarios para el proceso de optimización, puede residir en tarjetas o en disco si procede de un Banco de Datos de soportes.

6.2.5 EJECUCION DEL PROGRAMA "OPTOWDØ4" Y "OPTOWDØ5"

Refiriéndonos a la Fig. 6.5, tenemos que:

```

//C279IGE2      JOB          T019EEM1?CHUQUILLANQUI,
//              MSGLEVEL=1,CLASS=B,TIME=5
//OPTOWD02     EXEC          PGM=OPTOWD02,TIME=5
//STEPLIB      DD           DSN=SYS2.UNIEELIB,DISP=SHR
//FT06F001     DD           SYSOUT=A
//FT09F001     DD           UNIT=TAPE,DISP=OLD,VOL=SER=C4,
//              LABEL=(1,NL),DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,
//              BLKSIZE=800)
//FT05F001     DD           *

```

Datos de Control

```

/*
//

```

TARJETAS DE CONTROL PARA LA EJECUCION DEL
PROGRAMA "OPTOWD02"

Fig. 6.3

```

//C279TGE3     JOB          T019EEM1,CHUQUILLANQUI,
//              MSGLEVEL=1,CLASS=H,TIME=30
//OPTOWD03     EXEC          PGM=OPTOWD03,TIME=30
//STEPLIB      DD           DSN=SYS2.UNIEELIB,DISP=SHR
//FT03F001     DD           UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(20,4)),
//              DCB=(RECFM=FB,LRECL=12,BLKSIZE=120,
//              BUFNO=1)
//FT04F001     DD           UNIT=SYSDD,SPACE=(TRK,(20,4)),
//              DCB=(RECFM=FB,LRECL=28,BLKSIZE=140,
//              BUFNO=1)
//FT06F001     DD           SYSOUT=A
//FT07F001     DD           UNIT=TAPE,DISP=OLD,VOL=SER=C4,
//              LABEL=(1,NL),DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,
//              BLKSIZE=80)
//FT09F001     DD           DSN=OPTIMO,DISP=(,KEEP),UNIT=2311,
//              VOL=SER=OS1001,SPACE=(TRK,(200,10)),
//              DCB=(RECFM=FB,LRECL=180,BLKSIZE=180,
//              DSORG=DA)
//FT05F001     DD           *

```

Datos de Control

```

/*
//

```

NOTA.- Referencias adicionales en el Anexo B

TARJETAS DE CONTROL PARA LA EJECUCION DEL
PROGRAMA "OPTOWD03"

Fig. 6.4

```

//C279TGE4      JOB      TØ19EEM4,CHUQUILLANQUI,
//              MSGLEVEL=1,CLASS=B,TIME=5
//OPTOWD4       EXEC     PGM= [ OPTOWDØ4 ] ,TIME=5
//              [ OPTOWDØ5 ]
//STEPLIB       DD      DSN=SYS.UNIEELIB,DISP=SHR
//FTØ6FØØ1     DD      SYSOUT=A
//FTØ9FØØ1     DD      DSN=OPTIMO,DISP=OLD,UNIT=2311,
//              VOL=SER=OS1ØØ1
//FTØ3FØØ1     DD      UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(1Ø,1Ø))
//FTØ5FØØ1     DD      *

```

Datos de Control

```

/*
//

```

TARJETAS DE CONTROL PARA LA EJECUCION DE LOS
PROGRAMAS "OPTOWDØ4" U "OPTOWDØ5"

Fig. 6.5

```

a. //C279TGU2      JOB      TØ19EEM1,CHUQUILLANQUI,
//              MSGLEVEL=1,CLASS=A,TIME=5
//MODIFICA     EXEC     PGM=IEBUPDTE,PARAM=MOD,TIME=5
//SYSRINT      DD      SYSOUT=A
//SYOT1        DD      DSN=TORRES,DISP=OLD,UNIT=2311,
//              VOL=SER=OS1ØØ1
//SYSUT2       DD      DSN=TORRES,DISP=OLD,UNIT=2311,
//              VOL=SER=OS1ØØ1
//SYSIN        DD      *

```

Adición, modificación y/o eliminación sobre un grupo de datos

```

/*
//

```

```

b. //C279TGU3      JOB      TØ19EEM1,CHUQUILLANQUI,
//              MSGLEVEL=1,CLASS=A,TIME=5
//OREASEC      EXEC     PGM=IEBUPDTE,TIME=5
//SYSRINT      DD      SYSOUT=A
//SYSUT1       DD      DSN=TORRES,DISP=OLD,UNIT=2311,
//              VOL=SER=OS1ØØ1
//SYSUT2       DD      DSN=CONTROL,DISP=(,KEEP),UNIT=2311,
//              VOL=SER=OS1ØØ1,
//              DCB=(RECFM=FB,LRECL=8Ø,BLKSIZE=64Ø),
//              SPACE=(TRK,(5.1))
//SYSIN        DD      *
./ CHANGE NAME=GRUPOØ1,NEW=PS,LIST=ALL

```

Datos de cambio (al menos 1, aún sea idéntico)

```

/*
//

```

TARJETAS DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DEL BANCO
DE DATOS DE CONTROL

Fig. 6.6

FT06F001, archivo de impresión de las políticas deseadas.

FT09F001, archivo de datos D1 que contiene a las subpolíticas y es accesado en forma directa o secuencial según sea el caso.

FT05F001, archivo de los datos de control del programa e indicadores de preferencia de las políticas a listar.

FT03F001, archivo temporal de almacenamiento de la política deseada para determinar los vanos equivalentes.

6.2.6 EJECUCION DEL PROGRAMA "IEBUPDTE" PARA EL MANTENIMIENTO DEL BANCO DE DATOS DE SOPORTES

Refiriéndonos a la Fig. 6.6, observamos 2 ejecuciones, la primera es para mantenimiento del archivo "pseud Banco de Datos" y el otro es para generar el FT05F001 para el programa OPTOWD03. Para más detalles referirse al Manual 1 de las Referencias.

6.3 ESTRUCTURA DE LOS DATOS DE CONTROL

6.3.1 PROGRAMA "OPTOWD01"

Para el archivo FT05F001, que se muestra en la Fig. 6.7, donde cada variable representa:

RTAPE, Unidad física de lectura de los datos topográficos, por defecto 9.

WTAPE, Unidad física de grabación de los datos topográficos correctos, por defecto 11.

WOUT, Unidad física de impresión, por defecto 6.

NLIN, Contador de líneas por página, por defecto 80.

NGEN, Indicador de generación del correlativo de actualización, por defecto (default) 0, (no genera).

Para los archivos FT09F001 y FT11F001, tienen la estructura mostrada en la Fig. 6.8, donde:

EX, distancia horizontal a una estación base en m.
 NY1, altura sobre una referencia base, del perfil lateral izquierdo en m.
 HY, idem del perfil central.
 HY2, idem del perfil lateral derecho.
 EANGX, ángulo topográfico de la estación en grados sexagesimales.
 NI, indicador que la estación necesita ser cruzada por la línea por 2 soportes adyacentes en anclaje.
 IE, indicador del tipo de objeto cruzado que influye sobre el claro mínimo.
 IQ, indicador del tipo de terreno que influye sobre la fundación.
 NQ, indicador sobre la condición de emplazamiento de un soporte.
 IT, indicador sobre el tipo de terreno que influye sobre la puesta a tierra del soporte.
 CC, indicador del registro: dato o comentario.
 CORREL, número secuenciador de estaciones.

6.3.2 PROGRAMA "OPTOWD02"

Para el archivo FT05F001, que se muestra en la Fig. 6.9, donde cada variable representa: WOUT, RTAPE y NLIN tiene la acepción presentada en el acápite anterior, idem para el archivo FT09F001. NLIST, condición de listar las estaciones, por defecto 0 (no lista).

RTAPE	WTAPE	WOUT	NLIN	NGEN	
I5	I5	I5	I5	I5	55X

Fig. 6.7

EX	HY1	HY	HY2	EANGX	NI	IE	
F10.2	F10.2	F10.2	F10.2	F10.5	I2	I2	

		IQ	NQ	IT		CC	CORREL
	6X	I2	I2	I2	4X	A2	I8

Fig. 6.8

WOUT	RTAPE	NLIST	NLIN	
I5	I5	I5	I5	60X

Fig. 6.9

CLAVE (1)	CLAVE (2)	CLAVE (3)	CLAVE (4)	CLAVE (5)	CLAVE (6)
A8	A8	A8	A8	A8	A8

CLAVE (7)	CLAVE (8)	CLAVE (9)		CLAVE (10)	CLAVE (11)
A8	A8	A8	8X	A8	A8

CLAVE (12)	CLAVE (13)	CLAVE (14)	
A8	A8	A8	40X

CLAVE (I)	
A8	72X

Fig. 6.10-a

6.3.3 PROGRAMA "OPTOWD03"

Para el archivo FT05F001, que se muestra en la Fig. 6.10 donde cada variable representa:

a. CLAVE, almacenador de las palabras clave de los grupos de datos identificados para:

CLAVE(1), datos de control del proceso.

CLAVE(2), comentarios.

CLAVE(3), datos de control de memoria.

CLAVE(4), datos sobre los conductores y cables de guarda.

CLAVE(5), datos de los contrapesos.

CLAVE(6), datos de los aisladores.

CLAVE(7), datos técnicos del tendido.

CLAVE(8), datos geológicos de fundación.

CLAVE(9), datos de los objetos cruzados para el claro mínimo.

CLAVE(10), datos de los soportes.

CLAVE(11), datos de las ubicaciones fijas de soportes.

CLAVE(12), datos para el cambio de "ruling-span".

CLAVE(13), datos geológicos para la puesta a tierra.

CLAVE(14), final de datos.

En los grupos de datos posteriores, será necesario considerar CLAVE(I) idéntico a cualquiera de los mencionados anteriormente como registro inicial o de cabecera.

b. Datos de control del proceso: CLAVE(1). Fig. 6.10-b.

DLIST, indicador de listar los ejes de la catenaria tendida entre 2 estaciones - altura. Default F.

DLNALT, indicador de listar los cambios de "ruling-span" en el proceso. Default F.

- DLHTWE, indicador de listar las posiciones fijas de soportes.
Default F.
- DLCTRP, indicador de listar el uso de contrapesos, default F.
- WDIREC, unidad física de grabación de subpolíticas, default 9.
- RTAPE, unidad física de lectura de datos del perfil, default 7.
- WOUT, unidad física de impresión, default 6.
- USPOTF, unidad física del archivo temporal de soportes fijos,
default 3.
- URULIN, unidad física del archivo temporal de cambios de reglaje,
default 4.
- c. Datos de Control de memoria, CLAVE(3). Fig. 6.10-c.
- NEST, número de estaciones en memoria, default 250.
- NVAR, número de variantes en memoria, default 10, relacionado
con el número de alturas.
- d. Comentarios, Fig. 6.10-d, no obligatorio. CLAVE(2).
- e. Datos de los conductores y cable de guarda, con sufijos indicadores C y G respectivamente, Fig. 6.10-e. CLAVE(4). Obligatorio para el conductor.
- ACOND y AGUAR, identificadores.
- EDMTC, EDMTG, diámetro del cable en mm.
- TIROMC, TIROMG, tiro máximo del cable en Kg.
- EICEC, EICEG, espesor del hielo en mm.
- VENT1C, VENT1G, viento con hielo en Km/h.
- VENT2C, VENT2G, viento sin hielo en Km/h.
- EAREAC, EAREAG, sección del cable en mm^2 .

DLIST	DLNALT	DLNTWE	DLCTRP		WDIREC	RTAPE
L1	L1	L1	L1	6X	I5	I5

WOUT	USPOTF	URULIN		
I5	I5	I5	5X	40X

Fig. 6.10-b

NEST	NVAR	
I8	I8	64X

Fig. 6.10-c

COMENTARIOS
10A8

Fig. 6.10-d

'C' 'T'	ACOND	EDMTC	TIROMC	EICEC	VENT1C	VENT2C
A2	A8	F8.5	I8	F8.4	I8	I8

EAREAC	EPESOC	VALUEC	
F8.4	F8.4	I6	8X

Fig. 6.10-e

ACNTRP	WINIT	WFINAL	WINCRE	VALUEI	VALUED	
A8	I8	I8	I8	I8	I8	32X

Fig. 6.10-f

EPESOC, EPESOG, peso lineal del cable en Kg/m.

VALUEC, VALUEG, costo lineal del cable en U./m.

f. Datos de los contrapesos, Fig. 6.10-f, CLAVE(5)

ACNTRP, identificador.

WINIT, peso inicial en Kg.

WFINAL, peso máximo a considerarse en Kg.

WINCRE, peso incremental en Kg.

VALUEI, costo del peso mínimo en U.

VALUED, costo del peso incremental en U.

g. Datos de los aisladores, Fig. 6.10-g, CLAVE(6)

AISLT, identificador.

TIROVI, carga admisible en suspensión, en Kg.

TIROHI, carga admisible en anclaje, en Kg.

WCHAIN, peso de la cadena sin hielo, en Kg.

WICE, peso de la cadena con hielo, en Kg.

VENTI, viento sobre la cadena, en Kg/m.

ELONGI, longitud de la cadena, en m.

EANGLI, máximo ángulo de oscilación de la cadena, en grados sexagesimales.

VALUEI, costo de la cadena en U.

h. Datos sobre el tendido, Fig. 6.10-h, CLAVE(7)

HTIROF, GTIROF, Tiro horizontal de tendido en frío, en Kg.

HTIROC, GTIROC, Tiro horizontal de tendido en caliente, en Kg.

EVANOM, máximo vano estandar, en m.

EVANON, mínimo vano estandar, en m.

ECLARO, mínima altura libre del conductor al suelo, en m.

EJECPF, distancia entre el eje central y el lateral, en m.

EANGLT, máximo ángulo topográfico para considerarlo en suspensión,
en grados.

EHMAXD, máxima relación desnivel/vano, en m/m.

EVAN2M, máximo doble vano standard en m.

- i. Datos geológicos para la fundación, Fig. 6.10-i, CLAVE(8). Máximo 10 datos.

AGEO, identificador de grupo de suelos.

ADESCR, descripción del suelo.

VALUEG, costo de fundación, en U.

NCODG, indicador de grupo de suelo, relacionado a los datos del
perfil de la ruta.

- j. Datos de los objetos cruzados, Fig. 6.10-j, CLAVE(9). Máximo 10
datos.

AOBJE, identificador del objeto.

ADESCR, descripción del objeto.

EHCLAR, altura mínima del conductor al objeto, en m.

NLODO, indicador de objeto, relacionado a los datos del perfil
de la ruta.

- k. Datos de los soportes, Fig. 6.10-k, CLAVE(10), máximo 20 tipos
de soportes y 10 alturas diferentes.

EHMINT, altura mínima de sujeción, en m.

EHINCT, altura incremental, en m.

NCABHO, número de conductores a nivel en la cabeza de soporte.

NCABTT, número total de conductores.

NCGHO, número de cables de guarda a nivel.

NCGTT, número total de cables de guarda.

AISLT	TIROVI	TIROHI	WCHAIN	WICE
A8	I8	I8	I8	I8

VENTI	ELONGI	EANGLI	VALUEI	
I8	F8.4	F8.4	I8	8X

Fig. 6.10-g

HTIROF	HTIROC	EVANOM	EVANON	ECLARO
F8.2	F8.2	F8.4	F8.4	F8.4

EJECPF	EANGLT	EHMAXD	EVAN2M	
F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	8X

Fig. 6.10-h

AGEO	ADESCR	VALUEG	ECODG	
A8	5A8	I8	I4	20X

Fig. 6.10-i

EHMINT	EHINCT	NCABHO	NBABTT	NCGHO
F8.2	F8.2	I8	I8	I8

NCGTT	EHDCOS	VALCOS	EXPATA	
I8	F8.2	I8	F8.2	8X

TOWIA	TWTIRO	TOWVAL	
A4	I8	10I6	8X

Fig. 6.10-k

EHDCOS, máximo desnivel para la fundación para no considerar extensión de patas, en m.

VALCOS, costo de la extensión de patas por m.

EXPATA, distancia entre patas del soporte, en m.

TOWIA, identificador del tipo de soporte.

TWTIRO, máximo tiro de gasto, en Kg.

TOWVAL, costo del soporte según el gasto y altura, en U.

l. Datos de las ubicaciones fijas de soportes, Fig. 6.11-1, CLAVE(11)

ELONGF, distancia horizontal de ubicación, en m.

TOWFID, identificador del tipo de soporte.

EHTOWF, altura mínima del soporte fijo en m.

m. Datos para los cambios de "ruling span", Fig. 6.10-m, CLAVE(12)

ARUL, identificador de tramo.

ELONRI, distancia horizontal inicial, en m.

ELONRF, distancia horizontal final, en m.

EVANRM, vano máximo considerado, en m.

EVANRN, vano mínimo considerado, en m.

DUSECG, condición de consideración del cable de guarda.

n. Datos geológicos para la puesta a tierra, Fig. 6.10-n, CLAVE(13)

ACODT, identificador de grupo de suelos.

ADESCR, descripción del suelo.

VALUET, costo de la puesta a tierra, en U.

NCODT, indicador de puesta a tierra, relacionado a los datos del perfil de la ruta.

AOBJE	ADESCR	EHCLAR	NLODO	
A8	5A8	F8.4	I4	2ØX

Fig. 6.10-j

ELONGF	TOWFID	EHTOWF	
F8.2	A4	F8.3	6ØX

Fig. 6.10-l

ARUL	ELONRI	ELONRF	EVANRM	EVANRN	DUSECG	
A8	F8.2	F8.2	F8.2	F8.2	L4	36X

Fig. 6.10-m

ACODT	ADESCR	VALUET	NCODT	
A8	5A8	I8	I4	2ØX

Fig. 6.10-n

ELONGF	TOWFID	EHTOWF	
A4	A4	A4	ØX

Fig. 6.11

ARUL	ELONRI	ELONRF	EVANRM	EVANRN		DUSECG
A8	A4	A4	A4	A4	3X	A1

Fig. 6.12

Para los archivos FT03F001 y FT04F001, cuya estructura de datos se muestran en las Figs. 6.11 y 6.12 respectivamente corresponden a las partes l y m anteriormente expuestas.

Para el archivo FT07F001, la estructura de datos es similar al del FT09F001 del programa OPTOWDØ1.

Para el archivo FT09F001, cuya estructura de datos se muestra en la Fig. 6.13, tenemos:

EX, HY1, HY2, EANGX, IQ, IE y NT corresponden a lo especificado para el programa OPTOWDØ1.

DFIX, condición de soporte fijo.

DSPOT, condición de emplazamiento.

DRETEN, condición de requerimiento de soporte en anclaje adyacentes.

VXL, costo óptimo de la política considerada a la estación en referencia.

NXI, apuntador sobre la estación anterior de enlace de la política óptima.

NHI, apuntador sobre la altura de soporte en la estación anterior de enlace de la política óptima.

ITIPOT, tipo de soporte emplazado en la estación anterior de enlace de la política óptima.

NCTP, número de contrapesos colocados en la estación anterior.

NCOJ, número de m. de extensión de patas en la estación anterior.

DCONDT, condición de emplazamiento de un soporte en anclaje.

Además cabe destacar que se necesita colocar de todas maneras datos a cada una de las variables descritas para el archivo FT05F001, para que el programa no tome valores inesperados.

6.3.4 PROGRAMA OPTOWD04

Para el archivo FT05F001, su estructura de dato se muestra en la Fig. 6.14, donde:

RIN, unidad física de entrada de los datos de control sobre las políticas a listarse, default 5.

WOUT, unidad física de impresión, default 6.

RDIREC, unidad física de datos de las subpolíticas, default 9.

NVAR, número de variantes a considerarse en el listado ascendente por número de estación, default 10. Además es un indicador de listar en forma ascendente por estación (> 0) o por selección de políticas (≤ 0).

NLIN, número de líneas por página, default 80.

NESTS, número de estaciones a listarse en el caso secuencial, default 2800.

Si se lista por selección de políticas es necesario considerar la forma de selección de la política a listarse y asimilado por la unidad física RIN. Se muestra en la Fig. 6.15, donde:

NEST, número de la estación relativa de la política a considerarse en la recuperación regresiva. Obligatorio.

NVARX, variante en altura a considerarse para la política en la estación NEST, default 1.

Se puede tener más de un dato.

6.3.5 PROGRAMA OPTOWD05

Para el archivo FT05F001, su estructura de dato se muestra en la Fig. 6.16, donde:

EX	HY1	HY	HY2	EANGX	IQ	IE
A4	A4	A4	A4	A4	A2	A2

NT	DFIX	DSPOT	DRETEN		VXL	NXI
A2	A1	A1	A1	1X	10A4	10A2

NHI	ITIPOT	NCTP	NCOJ	DCONDT
10A2	10A2	10A2	10A2	10A1

Fig. 6.13

RIN	WOUT	RDIREC	NVAR	NLIN	NESTS	
I10	I10	I10	I10	I10	I10	20X

Fig. 6.14

NEST	NVARX	
I10	I10	60X

Fig. 6.15

RIN	WOUT	RDIREC	NTITU	NLIN	
I10	I10	I10	I10	I10	30X

Fig. 6.16

RIN, WOUT, RDIREC y NLIN, tienen la concepción del programa anterior, además:

NTITU, número de tarjetas a considerarse como títulos del reporte, además es un indicador de cambio de encabezado (NTITU > 0, hay cambio), default 0.

Las tarjetas de título deben ser leídas por RIN y deben ser en número ≤ 10 .

Para la definición de la política a listarse en forma ascendente por estación y con indicación de los vanos equivalentes, es necesario dar los datos en la unidad RIN según se indicó para el programa OPTOWD04.

6.4 DETALLES IMPORTANTES EN LA ESTRUCTURACION DE DATOS

Se puede observar que para el programa OPTOWD03, se ha utilizado el concepto de agrupación de datos por características comunes en palabras clave, el cual permite que el usuario controle mejor la elaboración de éstos. Cabe recalcar que el orden de palabras clave con datos no necesariamente puede ser ascendente salvo con el final de datos indicado por CLABE(14). La forma de almacenamiento de datos en los archivos manejados por los programas OPTOW03, OPTPW04 y OPTOW05 es en forma binaria el cual permite la reducción de la longitud del registro. En lo posible tratar de utilizar los default de las variables de control para evitar la confusión entre la unidad física asignada y la relación con el programa mediante el FTXXF001, donde XX es la unidad física asignada.

El uso de estos programas nos permitirán de alguna manera mejorar el proceso de diseño de las líneas de transmisión de potencia en su etapa de planeamiento.

Con estas menciones se puede decir que se ha utilizado el lenguaje FORTRAN IV y ASSEMBLER por ser los más difundidos en el ambiente de INGENIERIA en el país, con el cual la contribución de estos programas al desarrollo de proyecto de líneas de transmisión sea efectiva a corto plazo, por el cual se presenta en el Volumen II los listados de los programas fuente mencionados.

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES

7.1 ASPECTOS NO CONTEMPLADOS EN EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DIGITAL DE OPTIMIZACION

Como se puede apreciar no se ha considerado aspectos tales como:

- Acercamiento del conductor a ladera de un cerro cuando la ruta de la línea corre por ésta. Que si bien es cierto y fundamental para los vanos largos, se puede subsanar en el levantamiento de los datos topográficos y restringiendo el vano máximo. En los casos excepcionales se tendrá que recurrir al estudio exhaustivo del problema.
- Cruce en ángulo de la línea con carreteras, líneas de comunicación, líneas de transmisión, ferrocarriles, etc. Esto se puede subsanar restringiendo el emplazamiento de soportes con el cual obligamos a colocarlo en ciertas estaciones factibles con requerimiento de soportes en anclaje.

Influencia de la línea sobre líneas de comunicación que corren paralelo a ella. Esto tendrá que ser resuelto en forma aislada y en función de la potencia, tensión y distancia entre ellas.

Los esfuerzos excepcionales que aparecen y someten a los soportes por causas ajenas al comportamiento normal de la línea, el cual implica tener un gasto de reserva para contrarrestarlo. Este gasto de reserva debe ser dado por el diseñador después de tener la ubicación óptima de los soportes y el estudio mecánico de los mismos en forma independiente.

- Los soportes rompetrechos, quienes deben ser fijados por el diseñador después de tener la distribución óptima de soportes en el perfil.
 - Los cambios de estado que afectan tanto al conductor y cable de guarda como al soporte. Sólo se ha considerado un tiro horizontal de tendido en frío y en caliente, quien debe ser representativo para las hipótesis extremas de los estados considerados y calculados por el diseñador para tal efecto. Es obvio también que ésta debe cubrir el efecto de la no consideración de la longitud de los vanos adyacentes al soporte afectado. Es decir se consideran constantes estos tiros horizontales para el cálculo de esfuerzos (en frío) y chequeo del claro mínimo (en caliente).
 - Relación vano-desnivel que en muchos casos resulta importante especialmente en el método manual donde las plantillas son construidas para un vano característico. Se sabe que esta consideración es importante cuando hay cambio de estado pero como nosotros no consideramos este aspecto, podemos remediar en forma gruesa con la determinación mas o menos severa de los tiros horizontales en frío y en caliente quienes cubran la deficiencia.
- En el análisis de tiros sobre el soporte no se emplean los conceptos de "vano peso" y "vano viento" porque el parámetro Z cumple con incluirlos. Además los tiros verticales ascendentes no son restringidos en el caso de soportes en anclaje lo cual debe ser analizado después del tendido y modificar el tipo de soporte en estos casos para soportar estos tiros.

Estos aspectos, si bien es cierto, son muy importantes en el proyecto de líneas, se ven reducidas con un buen levantamiento

topográfico y dándole un coeficiente de seguridad a los soportes y conductor en cuanto al gasto disponible.

7.2 CONCLUSIONES

La utilización del computador digital para la ubicación y selección de soportes de líneas de transmisión sobre cualquier perfil topográfico es práctico y económico por lo siguiente:

- Se tiene mayor confiabilidad puesto que en todas las fases de un proyecto de ubicación y selección de soportes hay muchísimo menos oportunidades de error considerable y la precisión lograda mejor que obtenido manualmente.

- La solución obtenida por computadora arroja un ahorro por kilómetro hasta del 10 % del costo total de los soportes.

El tiempo y costo de diseño por kilómetro por computadora, disminuye hasta en un 80 % respecto del método manual. Los ahorros en tiempo y costo de diseño se deben a la gran velocidad con el que la computadora evalúa todas las combinaciones posibles para determinar la ubicación, altura y tipo de soporte, lo cual es imposible si se intentara hacer manualmente.

- El método de optimización empleado, Programación Matemática Dinámica del tipo determinístico, ha sido factible gracias al modelo matemático construido y a la concepción de la mecánica programática de solución al problema del tendido.

- La mecanización del proceso de optimización mediante Programas Digitales para su ejecución en computadoras es facilitada en su diseño e implementación cuando se tiene definido los datos existentes, los resultados deseados y el método de solución.

En general estos Programas serán específicos y versátiles en función de las consideraciones en el diseño e implementación.

- La influencia del número de alturas de soportes, número de estaciones influenciado por la longitud de la ruta, distancia media entre estaciones, en el tiempo de proceso es en forma cuadrática para el número de alturas y lineal para el número de estaciones - influenciados por el número de soportes fijos y estaciones en ángulo, quienes disminuyen en forma lineal el tiempo de proceso.

7.3 RECOMENDACIONES PARA CONTINUAR EL TRABAJO

Como se indicó en el Capítulo I, se puede extender el alcance de la presente Tesis para las consideraciones siguientes:

- Seleccionar la ruta óptima de la línea en una franja de terreno, para el cual se necesitará refinar el modelo matemático del perfil utilizando conceptos de FOTOGRAMETRIA.
- Sofisticar el modelo del soporte considerando los cambios de estado, los vanos adyacentes y las condiciones excepcionales dados por las normas. Esto obligará inclusive a considerar las dimensiones de la cabeza del soporte y el cálculo de esfuerzos será expresado en momentos el cual influirá sobre el tipo de fundación a ser empleado.
- La mecanización del proceso de optimización sea interactiva, es decir implementarlo en computadores con facilidad conversacional a través de terminales de video y teclado.

En esta consideración es necesario estructurar un monitor que entregue los resultados y decida la continuación del proceso bajo el control del diseñador frente al terminal, permitiendo cambiar

los parámetros del tendido, conductores, soportes, etc. en tiempo real y en línea con el computador.

Lo presentado constituye una contribución a la modernización de los proyectos de construcción de líneas de transmisión y a la reducción del tiempo empleado en culminarlo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

A. LIBROS

1. LA PROGRAMACION DINAMICA
A. Kaufmann, R. Cruon.
Cía. Editorial Continental S.A., México, 1967
2. REDES ELECTRICAS DE ALTA Y BAJA TENSION
Gaudencio Zoppetti Júdez.
Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona - 1972
3. MANUAL DEL INGENIERO MECANICO DE MARKS
Lionel S. Marks, Theodore Baumeister
Unión Tipográfica Editorial Hispano América, México - 1960
4. METODOS DE OPTIMIZACION
Francisco J. Jauffred M., Alberto Moreno Bonett, J. Jesús Acosta F.
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México - 1974
5. WATFIV: FORTRAN PROGRAMMING WITH THE WATFIV COMPILER
John B. Morre
Reston Publishing Company, Inc. Reston, Virginia, 1975
6. ASSEMBLER LANGUAGE FOR FORTRAN, COBOL, AND PL/1 PROGRAMMERS
Shan S. Kuo
Addison - Wesley Publishing Company, 1974
7. CONSTRUCTION DES LIGNES AERIENNES A HAUTE TENSION
Charles Avril
Editions Eyrolles, 1974
8. LINEAS DE TRANSMISION DE POTENCIA ELECTRICA
José María Checa
Editorial Marcombo, Barcelona, 1974
9. CODIGO ELECTRICO DEL PERU
A. E. P. 1974
10. OPTIMIZACION EN EL TRAZADO DE UNA LINEA DE TRANSMISION ELECTRICA
Rolando Celi Rivera
Tesis de Grado, UNI, 1970

B. ARTICULOS Y POLICOPIAS

1. APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS IN POWER SYSTEM ENGINEERING
A. J. Wood (IEEE Tutorial Course) 76CH1107-2-PWR
2. METODOS DE OPTIMIZACION APLICADOS A SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA
Eduardo Zolezzi Chacón
Seminario Profesional, Asociación Electrotécnica Peruana, 1978.

3. CALCULO MECANICO DE LINEAS DE TRANSMISION DE POTENCIA
Giovanni Barera
Compactos y Abacos. UNI, 1975
 4. OPTIMIZACION EN EL TRATADO DE UNA LINEA
Rolando Celi Rivera
I Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines, Lima 1971.
 5. ON RTH BEST POLICIES
Richard Bellman, Robert Kalaba
Journal Society Industrial Applied Math.
Vol. 8, N°4, Dec. 1960, pp. 582 - 588
 6. OPTIMIZED TRANSMISSION TOWER SPOTTING ON DIGITAL COMPUTER
V. Converti, E.J. Hyland, D.E. Tickle
AIEE. Trans. PAS, VOL81, April 1962, pp. 55 - 63
 7. ELECTRONIC COMPUTER PROGRAM PERMITS OPTIMIZED SPOTTING OF ELECTRIC TRANSMISSION TOWERS
R.E. Popp, C.J. Dabekis, F.M. Fullerton
AIEE. Trans. PAS, Vol. 82, June 1963, pp. 360 - 365
 8. THE ROUTE OF A TRANSMISSION LINE AS THE RESULT OF OPTIMIZING THE CHOICE AND SITE OF TOWERS.
L. Ojbrycht.
IEEE-PES Summer Meeting, México City, Mex. July 17-22, 1977
A77 542 - 7
 9. USO DE COMPUTADORAS PARA PROYECTOS DE LINEAS DE TRANSMISION
J. Gutierrez Z.
Mexicon - 76. Conferencia Internacional y Exposición sobre Investigación, Desarrollo y Aplicación de la Ingeniería Eléctrica y Electrónica, México. D.F. Julio 7 - 10, 1976.
 10. A COMPUTER TECHNIQUE FOR OPTIMIZING THE SITES AND HEIGHTS OF TRANSMISSION LINE TOWERS - A DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH.
G. Mitra, K. Wolfenden.
Computer Journal, Vol. 10, N°4, 1968, pp. 347 - 351
 11. DYNAMIC PROGRAMMING - TRANSMISION LINE DESIGN
G. W. Stagg, M. Watson
International Convention Record of the IRE - IEEE.
Vol. 12, pt. 3, 1964, pp. 55 - 61
- C. MANUALES
1. UTILITIES
Manual IBM S/360 OS GC28-6586
 2. FORTRAN IV LANGUAGE
Manual IBM S/360 OS GC28-6515

3. FORTRAN IV PROGRAMMER'S GUIDE
Manual IBM S/360 OS GC28-6817
4. LINKAGE EDITOR AND LOADER
Manual IBM S/360 OS GC28-6538
5. PRINCIPLES OF OPERATION
Manual IBM S/360 GA22-6821
6. JOB CONTROL LANGUAGE USER'S GUIDE
Manual IBM S/360 OS GC28-6703

A N E X O A

UTILIZACION DEL PARAMETRO Z

Este parámetro se refiere a la distancia entre el punto de sujeción del conductor en el soporte B y la intersección de la recta que une los puntos de sujeción del conductor en los soportes A y C, y el soporte B, ver Fig. A.1

La utilización principal de este parámetro es en el cálculo de la carga vertical soportado por el punto de sujeción de un soporte cualquiera, que deducimos a continuación.

Calculamos inicialmente la distancia horizontal del punto de sujeción al punto que determina la saeta, para el efecto utilizamos la catenaria mostrada en la Fig. A.2, donde:

$$Y_1 = a \left(\cosh \frac{x_1}{a} - 1 \right) \quad (A.1)$$

cambiando de coordenadas:

$$Y = a \left(\cosh \frac{x - x_1}{a} - 1 \right) - Y_1$$
$$Y = a \left(\cosh \frac{x - x_1}{a} - \cosh \frac{x_1}{a} \right) \quad (A.2)$$

sabemos que:

$$\cosh \frac{x - x_1}{a} = 1 + \frac{(x - x_1)^2}{2! a^2} + \frac{(x - x_1)^4}{4! a^4} + \dots$$

$$\cosh \frac{x_1}{a} = 1 + \frac{x_1^2}{2! a^2} + \frac{x_1^4}{4! a^4} + \dots \quad (A.3)$$

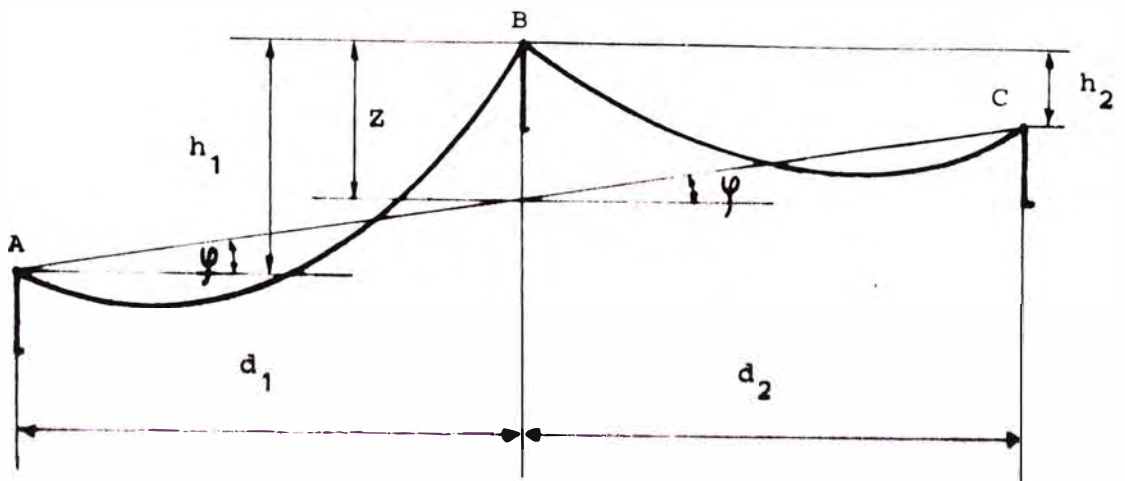


Fig. A - 1.

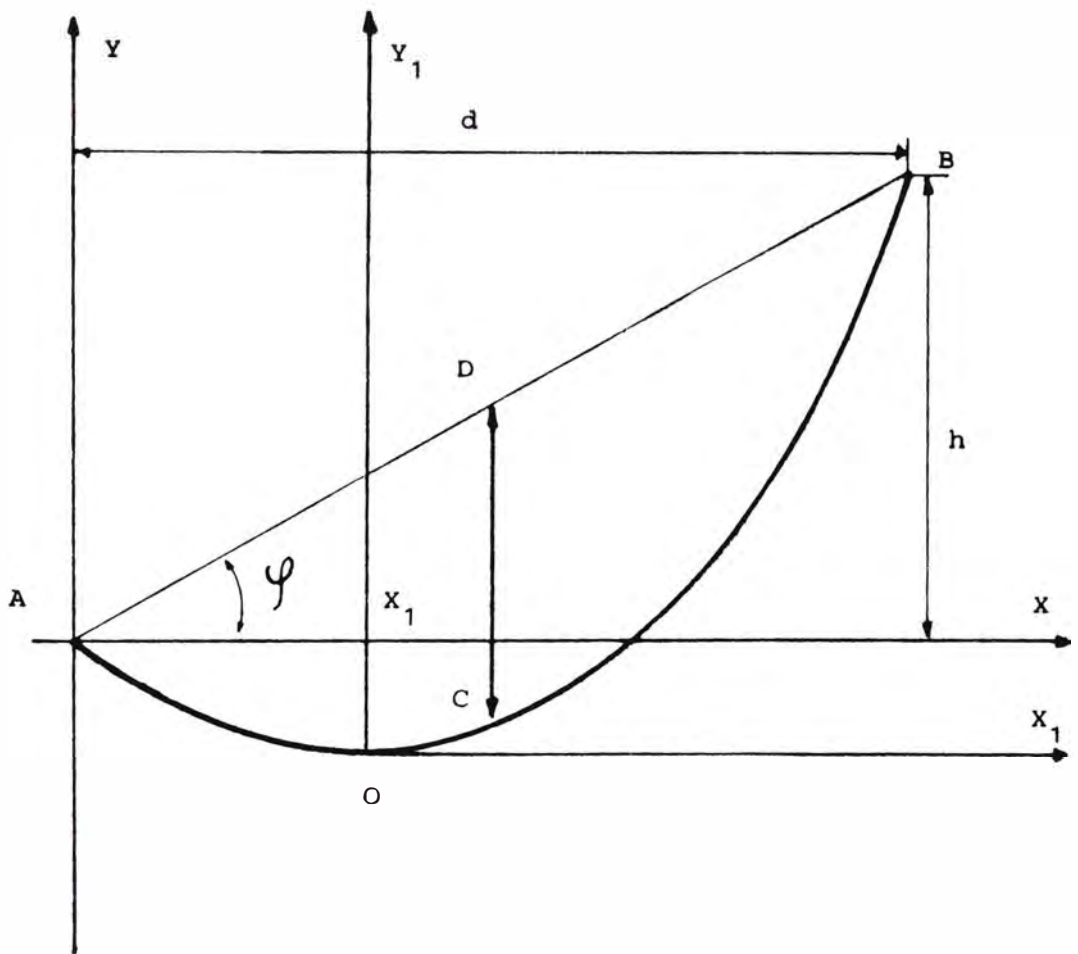


Fig. A - 2.

de donde, considerando sólo el término cuadrático (aproximación para bólica), tenemos

$$y = \frac{x^2}{2a} - \frac{x \cdot x_1}{a} \quad (\text{A.4})$$

esta parábola pasa por el punto B (d, h), quien nos permite calcular

$$x_1 = \frac{d}{2} - a \frac{h}{d} \quad (\text{A.5})$$

que representa la distancia horizontal del punto más bajo de la parábola y el punto de sujeción más bajo A. Entonces refiriendonos a la carga vertical transmitida al soporte, consideramos que la curva tomada por los cables es una parábola, el cual permite considerar que la carga lineal del conductor es distribuida en forma horizontal, luego:

$$P_A = x_1 \cdot W, \text{ es la carga vertical}$$

transmitida por la parte x_1 al soporte A. Haciendo una extensión de este concepto al soporte B de la Fig. A.1, tenemos:

$$P_1 = W \left(\frac{d_1}{2} + a \frac{h_1}{d_1} \right); \quad P_2 = W \left(\frac{d_2}{2} + a \frac{h_2}{d_2} \right) \quad (\text{A.6})$$

y por otra parte podemos escribir las relaciones:

$$h_1 = d_1 \operatorname{tg} \varphi + z; \quad h_2 = -d_2 \operatorname{tg} \varphi + z \quad (\text{A.7})$$

luego:

$$P_B = P_1 + P_2 = W \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) + W_a \left(\frac{z}{d_1} + \frac{z}{d_2} \right)$$

$$\therefore P_B = M W_o \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) + T_o \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right) z \quad (\text{A.8})$$

donde se ha eliminado el término $\operatorname{tg} \varphi$ y se ha considerado que Z tiene un valor positivo.

Se puede relacionar, además, al parámetro Z con el tipo o característica del tipo vertical en el soporte B, esto es, cuando $Z > 0$ implica la presencia de un tiro mayor que para $Z = 0$ y éste mayor que para $Z < 0$. Habrá un Z negativo cuyo valor hace que el tiro sea cero, esto es, de la relación (A. 8) tendremos el valor absoluto de Z_{lim} ,

$$Z_{\text{lim}} = M W_0 \frac{d_1 d_2}{2 T_0} \quad (\text{A } 9)$$

Cuando se tenga valores de $Z < -Z_{\text{lim}}$, se presentará el caso de que el tiro vertical es hacia arriba y para ser contrarrestada necesitará de la colocación de contrapesos de tal manera de mantener las cadenas de aisladores en forma vertical. Si no se cuenta con contrapesos que contrarresten el tiro vertical ascendente será necesario que el soporte sea de anclaje.

A N E X O B

MENSAJES DE LA RUTINA "INPUT" DEL PROGRAMA "OPTOWD03"

Estos mensajes están relacionados con el valor del identificador KILL, durante el proceso de asimilación de datos de control. Mostramos las equivalencias entre el valor de KILL y su significado.

<u>KILL</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
1	La clave del grupo de datos no es igual a ninguna de las claves dadas en los 2 primeros registros.
2	No se entregan datos de control del proceso, se asumen los default.
3	No se entregan datos de control de memoria, se asume los default.
4	Los datos del conductor y/o cable de guarda no tienen "C" o "T" en la primera columna respectivamente.
5	No se entregan los datos de los contrapesos, se consideran los default.
6	No se entregan los datos de los aisladores.
7	No se entregan los datos del tendido.
8	No se entregan datos geológicos concernientes al costo de fundación, se asumen los default.
9	No se entregan datos de los objetos cruzados que influyen sobre el claro mínimo, se asumen los default.
10	No se entregan datos de los soportes.
11	No se entregan datos de soportes emplazados a priori, se asumen los default.

- 12 No se entregan datos de cambios del "ruling span", se asumen los default.
- 13 No se entregan datos geológicos concernientes a la puesta a tierra de los soportes, se asumen los default.

Para los casos de KILL = 4, 6, 7, 10 se cancela el proceso de optimización porque faltan los datos esenciales mínimos para su ejecución.

CAMBIOS SOBRE LAS TARJETAS DE CONTROL DE
EJECUCION DEL PROGRAMA "OPTOWD03"

Para el efecto, referirse a la Fig. 6.4

- * El archivo FT05F001 se puede cambiar por:

```
//FT05F001 DD DSN=CONTROL,DISP=OLD,UNIT=2311,VOL=SER=OS1001
ó
//FT05F001 DD DSN=TORRES(GRUPO01),DISP=OLD,UNIT=2311,
// VOL=SER=OS1001
```

Considerando la Fig. 6.6

- * El número de estaciones para FT09F001 calculado es de 2800, si se quiere cambiar este número, cambiar a FTXXF001, donde XX=10, 11, 12, 13 y 14; con capacidades: 4200, 5600, 7000, 8400 y 9800 estaciones respectivamente. Para mayores requerimientos será necesario modificar las sentencias DEFINE FILE de las rutinas y generar nuevamente.