

Distr.  
RESTRINGIDA

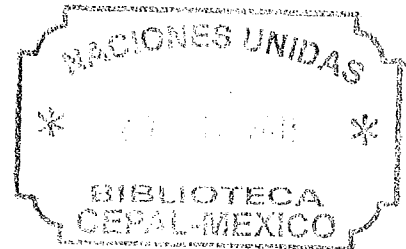
LC/MEX/R.302 (SEM.45/1)  
14 de junio de 1991

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe  
Seminario de la Operación Coordinada de los Sistemas  
Eléctricos del Istmo Centroamericano  
Guatemala, Guatemala, 17 y 18 de junio de 1991



**SIMULADOR DE LA OPERACION COORDINADA DE LOS SISTEMAS  
ELECTRICOS DEL ISTMO CENTROAMERICANO**

**(Manuales del usuario, técnico y del programador)**

---

Este documento no ha sido sometido a revisión editorial.

91-6-85

# INDICE

	Página
PRESENTACION . . . . .	1
I. MANUAL DEL USUARIO	
1. ¿QUÉ ES SOSEICA? . . . . .	I-1
2. REQUERIMIENTOS BASICOS . . . . .	I-1
3. PROCESO DE INSTALACION. . . . .	I-2
4. DESCRIPCION Y ALCANCE DEL SISTEMA. . . . .	I-2
5. MANEJO DE DATOS. . . . .	I-2
5.1 Datos del Archivo Catálogo de Centrales. . . . .	I-4
5.2 Datos del Archivo de Costos . . . . .	I-5
5.3 Datos del Archivo de Demandas . . . . .	I-5
5.4 Datos del Archivo de Factores . . . . .	I-5
6. SIMULACIONES . . . . .	I-6
7. REPORTEES . . . . .	I-6
8. INTERFACES . . . . .	I-7
9. EJECUCION DE SOSEICA . . . . .	I-7
9.1 Explicación General de Menús . . . . .	I-7
9.2 Manejo de Datos Básicos . . . . .	I-8
9.3 Simulaciones . . . . .	I-12
9.4 Reportes . . . . .	I-14
9.5 Edición de Datos . . . . .	I-15
II. MANUAL TECNICO DEL SIMULADOR	
1. OBJETIVO Y ESTRUCTURA . . . . .	II-1
2. MANEJO DE DATOS BASICOS . . . . .	II-1
3. SIMULACIONES . . . . .	II-2
4. ENERGIAS GENERABLES HIDRO . . . . .	II-4
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODO DE SOLUCION . . . . .	II-4
5.1 La Representación de la Demanda . . . . .	II-5
5.2 Sistema puramente térmico . . . . .	II-7
5.3 Sistema Hidrotérmico . . . . .	II-10
5.4 Sistema real . . . . .	II-15
5.5 Caso de varios sistemas interconectados . . . . .	II-17

5.6	Restricciones suplementarias . . . . .	II-20
5.7	Prioridad de los sistemas para el uso de las propias centrales . . . . .	II-23
6.	PROCESO DE SIMULACION . . . . .	II-25
6.1	Sistemas hidrotérmicos . . . . .	II-26
6.2	Sistemas Reales . . . . .	II-32
7.	OPERACIONES PRINCIPALES . . . . .	II-33
7.1	Colocación de una central en la curva de carga	II-33

### III. MANUAL DEL PROGRAMADOR

1.	DEFINICION DE ARCHIVOS . . . . .	III-1
1.1	Archivo costos.bin . . . . .	III-2
1.2	Archivo dem1.bin . . . . .	III-3
1.3	Archivo catcen.bin . . . . .	III-3
1.4	Archivo factores.bin . . . . .	III-5

## PRESENTACION

Estudios recientes<sup>1</sup> efectuados en la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) indican que durante el decenio 1990 los excedentes de energía hidroeléctrica serán mínimos. El uso de combustibles derivados del petróleo serán crecientes en ese período.

Dichos estudios también ponen de manifiesto que se podrían lograr ahorros significativos si los sistemas eléctricos interconectados se operaran de manera coordinada. Los ahorros provendrían de reemplazar la energía eléctrica que generaría un país utilizando diesel por la de otro producida con bunker.

Con el propósito de cuantificar los beneficios económicos que se podrían obtener al operar de manera coordinada los sistemas eléctricos del Istmo Centroamericano, la CEPAL desarrolló un simulador ad hoc para los seis sistemas eléctricos de América Central denominado "Simulador de la operación de los sistemas eléctricos del Istmo Centroamericano (SOSEICA)". Este simulador se desarrolló en el marco de la fase II del proyecto Desarrollo Institucional e Integración Eléctrica del Istmo Centroamericano (DIEICA).

Este documento integra los tres manuales del SOSEICA: a) del usuario, b) técnico, y c) del programador; se utilizará en el seminario que se efectuará en Guatemala los días 17 y 18 de junio de 1991. En dicho seminario se transferirá el simulador a las seis empresas eléctricas de América Central y se aplicará a casos de estudio.

---

<sup>1</sup> Véase por ejemplo, CEPAL, Istmo Centroamericano: Evolución y perspectivas del subsector eléctrico y posibilidades para lograr una mayor integración (1980-2000) (LC/MEX/L.144) (CCE/SC.5/GRIE/XIV/4), Volúmenes I y II, 24 de octubre de 1990.

## MANUAL DEL USUARIO

### 1. ¿QUÉ ES SOSEICA?

SOSEICA es un paquete de programas interactivos implementados en lenguaje C, bajo el sistema operativo MS-DOS cargado en una PC IBM ó compatible. Cuenta con diferentes actividades que permite al usuario leer, crear y modificar archivos de datos en forma fácil y eficaz; así como resolver el problema de la operación a largo plazo por medio de las técnicas de simulación y programación lineal las cuales involucran el manejo de una gran cantidad de datos, con pocos recursos de memoria RAM en una PC.

### 2. REQUERIMIENTOS BASICOS

Los requerimientos mínimos para el buen funcionamiento de SOSEICA son los que a continuación se indican:

#### - HARDWARE

- o PC XT, AT o mayor compatible 100% con IBM.
- o 640 KB en RAM.
- o Disco duro con el 6 MB de espacio libre.
- o 1 Drive de 5 1/4 de 360 KB.
- o Monitor de color con tarjeta CGA, EGA, VGA.

#### - SOFTWARE

- o Sistema operativo MS-DOS 3.3 o mayor.
- o Compilador turbo C++.
- o Sistema SOSEICA Versión 1.0.

3. PROCESO DE INSTALACION.

La instalación es muy simple de efectuar, únicamente coloque la media de distribución en el Drive indicado y ejecute el archivo INSTALL, el cual automáticamente genera el ambiente operativo necesario para el buen funcionamiento del sistema SOSEICA.

4. DESCRIPCION Y ALCANCE DEL SISTEMA.

El sistema SOSEICA como cualquier proceso, admite información, la procesa y genera reportes. Para tal efecto, se han estructurado y jerarquizado las actividades y/o los procesos correspondientes como se indica en las figuras 1 y 2.

5. MANEJO DE DATOS.

Dentro de este proceso se manejan los archivos para los datos referentes a costos, demandas, factores y catálogo de las centrales; realizando en cualquiera de ellos las operaciones básicas a nivel registro las cuales se describen de la manera siguiente:

<u>OPERACION</u>	<u>DESCRIPCION</u>
ALTAS	- Crea por primera vez el registro.
BAJAS	- Elimina del archivo un registro dado de alta previamente.
CAMBIOS	- Modifica uno o mas campos de un registro dado de alta previamente.
CONSULTAS	- Despliega en pantalla un registro dado de alta previamente.

# MANUAL DEL USUARIO

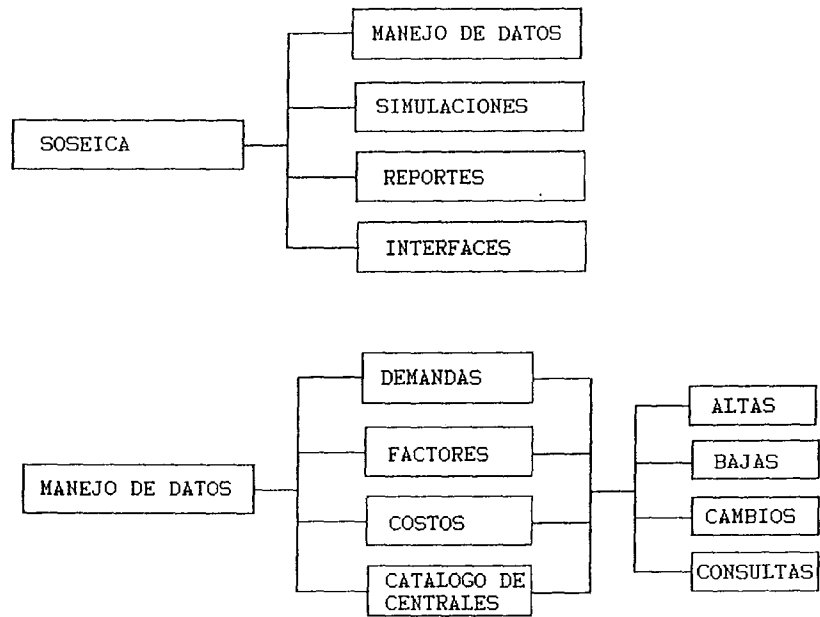


FIG. 1 ESTRUCTURA JERARQUICA DE ACTIVIDADES

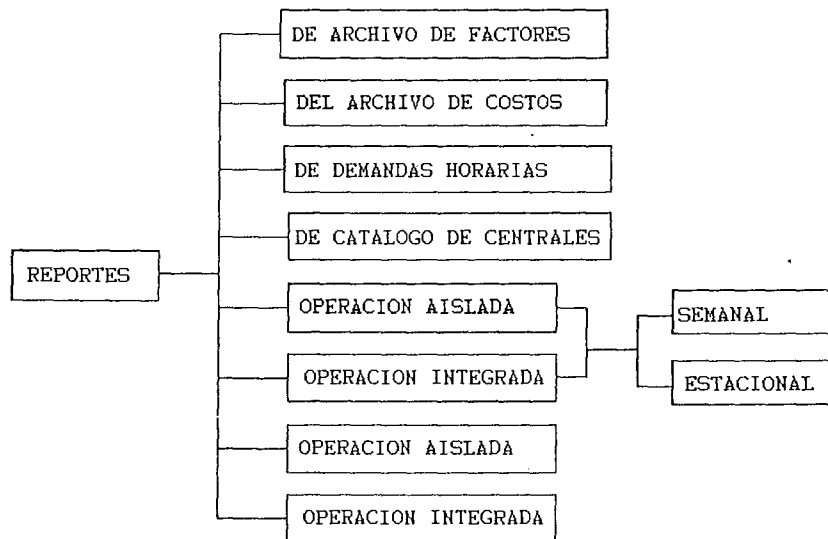


FIG. 2 REPORTES IMPLEMENTADOS EN EL SISTEMA

5.1 Datos del Archivo Catálogo de Centrales.

El archivo del catálogo de centrales contiene la información considerada como básica para los análisis de planeación a mediano y largo plazo, la cual puede actualizarse cada vez que el usuario lo desee. La información que el archivo contiene y que el usuario puede acceder para cada registro es:

- País al que pertenece:
  - 0 Guatemala
  - 1 El Salvador
  - 2 Honduras
  - 3 Nicaragua
  - 4 Costa Rica
  - 5 Panamá
  
- Clave de la central
- Nombre de la central
- Clase o tipo de central a considerar:
  - 0 Geotérmico
  - 1 Térmico base obligatorio
  - 2 Filo de agua
  - 3 Hidro de regulación
  - 4 Térmico
  
- Año de entrada en operación de la central.
- Año en que la central saldrá de operación.
- Energía generable en estación seca en GWh.
- Energía generable en estación lluviosa en GWh.
- Factor de planta en por ciento.
- Factor de disponibilidad en por ciento.
- Tipo de motor primario.
- Tipo de combustible.
- Potencia máxima de operación en MW.
- Potencia mínima de operación en MW.



- Rendimiento o consumo específico en unidades adecuadas para las diferentes clases de centrales.
- Costo unitario de producción.

## 5.2 Datos del Archivo de Costos

El archivo de costos contiene la información relacionada con el costo del flete en el propio país, pérdidas de transmisión entre países y el costo del peaje o servicio por el uso de las líneas de transmisión para transportar energía entre países.

## 5.3 Datos del Archivo de Demandas

Este archivo tiene las demandas horarias del año 1987 para los seis países, éstas pueden accesarse en forma horaria, diaria, semanal y mensual; aunque lo más recomendable es accederlas en forma diaria esto es, presentar los veinticuatro valores de demanda correspondientes al día deseado ya que por restricciones del monitor no se pueden presentar más de veinticinco líneas en la pantalla.

## 5.4 Datos del Archivo de Factores

En este archivo se almacenan los factores por los cuales se debe multiplicar la demanda histórica de 1987 para generar la demanda estimada para los años 1991 a 2000.

## 6. SIMULACIONES

Las simulaciones que contempla el sistema SOSEICA se puede subdividir en dos categorías:

- Para energía: El período de estudio es de un año subdividido en estaciones (estación seca, estación lluviosa).
- Para potencia: El período de estudio es para una semana obteniéndose en forma detallada el despacho de las centrales.

En ambos casos, se simula la operación aislada y la operación integrada.

## 7. REPORTE

En esta opción es donde se manejan todos los reportes posibles que se obtienen de las simulaciones, así como aquellos que se generan de los archivos básicos y otros que se pueden generar de las interfaces que se han utilizado en la conversión de información. Actualmente se han contemplado los siguientes:

- Reporte de datos del archivo de factores.
- Reporte de datos del archivo de costos.
- Reporte de demandas horarias.
- Reporte de características de centrales.
- Reporte semanal de la operación aislada.
- Reporte semanal de la operación integrada.
- Reporte anual de la operación aislada.
- Reporte anual de la operación integrada.

## 8. INTERFACES

Se ha pensado que en esta opción pudieran generarse ciertos archivos en la estructura adecuada para ser utilizados en HARDVARD, LOTUS, etc. y en forma inversa, generar algunos archivos de HARVARD, LOTUS, etc. para ser utilizados en el sistema SOSEICA.

## 9. EJECUCION DE SOSEICA

A continuación se describe la manera de ejecutar el sistema SOSEICA, explicando detalladamente cada elemento de los que integran los diferentes menús.

Para ejecutar el sistema, sólo teclee a nivel de sistema operativo las siglas SOSEICA y en la pantalla se irá desplegando en forma de menús las opciones y/o actividades de las cuales el usuario debe seleccionar una o varias de ellas.

En algunos casos será suficiente presionar la tecla RETURN, INTRO, ENTER...etc. para que la opción donde se encuentra colocado el cursor quede seleccionada, en otras será necesario teclear un valor numérico o ASCII. Si el usuario no sabe que teclear solicite la ayuda necesaria presionando la tecla [F1] del teclado de funciones.

### 9.1 Explicación General de Menús

- Para moverse dentro del menú utilice las flechas:  
flecha hacia abajo [ ↓ ] o flecha hacia arriba

- [ ] únicamente.
- Para seleccionar una opción de cualquier menú presione la tecla RETURN, INTRO o ENTER según su tipo de teclado ó la letra marcada en color rojo.
  - Para salir de cualquier menú, presione la tecla [ESC]

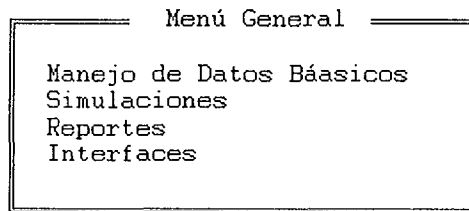


FIG. 3 Menú General

## 9.2 Manejo de Datos Básicos

Suponiendo que se selecciona la opción Manejo de Datos Básicos, aparecerá el siguiente menú, en el cual se indican las posibles opciones referentes a la creación y actualización de datos primarios.

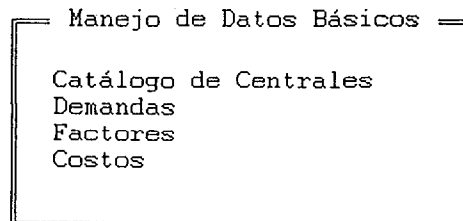


FIG. 4 Manejo de Datos

a) Catálogo de Centrales

Al seleccionar la nueva opción catálogo de centrales, nuevamente aparece en la pantalla un nuevo menú en el cual se contemplan las cuatro operaciones básicas a realizar en los registros de cualquier archivo del sistema SOSEICA.

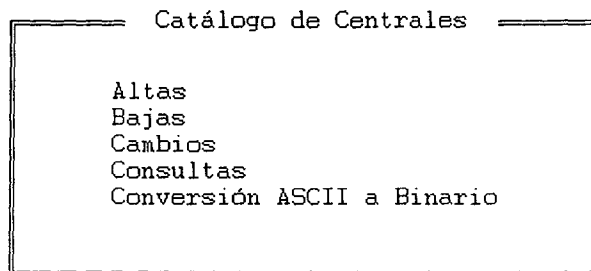


FIG. 5 Operaciones en los registros  
Del Archivo Catálogo de  
Centrales

- i) Altas. Al seleccionar esta opción aparece una pantalla en la que se indicarán los campos del registro del catálogo de centrales los cuales deben llenarse con la información solicitada y de conformidad con lo expuesto en la sección MANEJO DE DATOS DEL CATALOGO DE CENTRALES.

Como se puede ver, es muy sencillo utilizar el sistema SOSEICA, pues basta con ir eligiendo una ó varias actividades del menú desplegado en la pantalla. El resto de las operaciones es similar, la única diferencia que existe es referente a los campos variables (datos); en el caso de CONSULTAS, el desplegado anterior aparece con los campos llenos, para los CAMBIOS aparece

Altas	
País al qu pertenece	[9]
Clave de la central	[999]
Nombre de la Central	[AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA]
Clase de central	[9]
Año de entrada	[9999]
Año de retiro	[9999]
Energía generable en estación seca	[9999]
Energía generable en estación lluv.	[9999]
Factor de planta	[999]
Factor de disponibilidad	[999]
Tipo de motor primario	[9]
Tipo de combustible	[9]
Potencia máxima de operación	[9999.99]
Potencia mínima de operación	[9999.99]
Rendimiento	[999.9999]
Costo unitario de producción	[999.9999]

FIG. 6 Pantalla de captura para dar de ALTA una central en el catálogo de centrales

el desplegado con sus campos variables completamente llenos y se acepta la información para modificar el campo deseado; en el caso de BAJAS, como es una operación que elimina la información en disco hay que proporcionar el nombre del registro a dar de baja y posteriormente hay que confirmar que se desea realizar esta operación. Cualquier duda al respecto la puede aclarar en la sección EDICION DE DATOS.

- ii) Bajas. En esta opción será necesario proporcionar el número del país y la clave de la central para poder acceder el registro, despues de esto aparecerá en la pantalla toda la información correspondiente a la clave de la

central proporcionada.

Como ésta es una operación que elimina la información del disco se le pedirá la confirmación la cual se indicará con S ó N.

Bajas	
País al qu pertenece	[ 1 ]
Clave de la central	[ 001 ]
Nombre de la Central	[ ESTE ES UN EJEMPLO ]
Clase de central	[ 0 ]
Año de entrada	[ 1987 ]
Año de retiro	[ 1993 ]
Energía generable en estación seca	[ 40 ]
Energía generable en estación lluv.	[ 40 ]
Factor de planta	[ 80 ]
Factor de disponibilidad	[ 75 ]
Tipo de motor primario	[ 0 ]
Tipo de combustible	[ 0 ]
Potencia máxima de operación	[ 32.5 ]
Potencia mínima de operación	[ 12.0 ]
Rendimiento	[ 2.4567 ]
Costo unitario de producción	[ 8.450 ]

FIG. 7 Ventana de captura para dar de BAJA una central del catálogo de centrales

- iii) Cambios. Para realizar los cambios sólo proporcione la clave de la central y después colóquese en el campo deseado y realice la modificación (use el menú de comandos).

Cambios	
País al que pertenece	[ 1 ]
Clave de la central	[ 001 ]
Nombre de la Central	[ ESTE ES UN EJEMPLO ]
Clase de central	[ 0 ]
Año de entrada	[ 1987 ]
Año de retiro	[ 1993 ]
Energía generable en estación seca	[ 40 ]
Energía generable en estación lluv.	[ 40 ]
Factor de planta	[ 80 ]
Factor de disponibilidad	[ 75 ]
Tipo de motor primario	[ 0 ]
Tipo de combustible	[ 0 ]
Potencia máxima de operación	[ 32.5 ]
Potencia mínima de operación	[ 12.0 ]
Rendimiento	[ 2.4567 ]
Costo unitario de producción	[ 8.450 ]

FIG. 8 Pantalla de captura para realizar MODIFICACIONES en la información del catálogo de centrales

- iv) Consultas. La actividad de consultas es la más simple de todas pues aquí sólo se permite ver la información en la pantalla, para ello es necesario proporcionar la clave de la central deseada.

### 9.3 Simulaciones

La simulación de la operación de los sistemas eléctricos del Istmo Centroamericano se realiza mediante modelos matemáticos que se acercan lo más posible a la realidad orientado a la planeación de la operación y optimizado con



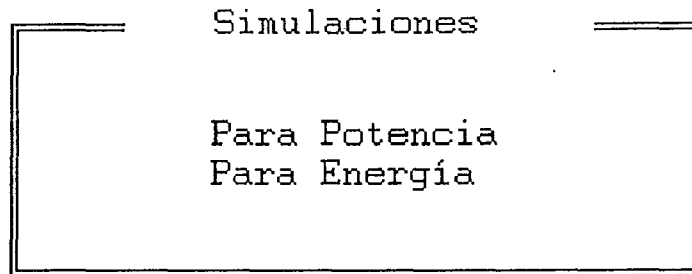
Consultas	
País al qu pertenece	[ 1 ]
Clave de la central	[ 001 ]
Nombre de la Central	[ ESTE ES UN EJEMPLO ]
Clase de central	[ 0 ]
Año de entrada	[ 1987 ]
Año de retiro	[ 1993 ]
Energía generable en estación seca	[ 40 ]
Energía generable en estación lluv.	[ 40 ]
Factor de planta	[ 80 ]
Factor de disponibilidad	[ 75 ]
Tipo de motor primario	[ 0 ]
Tipo de combustible	[ 0 ]
Potencia máxima de operación	[ 32.5 ]
Potencia mínima de operación	[ 12.0 ]
Rendimiento	[ 2.4567 ]
Costo unitario de producción	[ 8.450 ]

FIG. 9 Pantalla de captura para hacer CONSULTAS de información en el catálogo de centrales

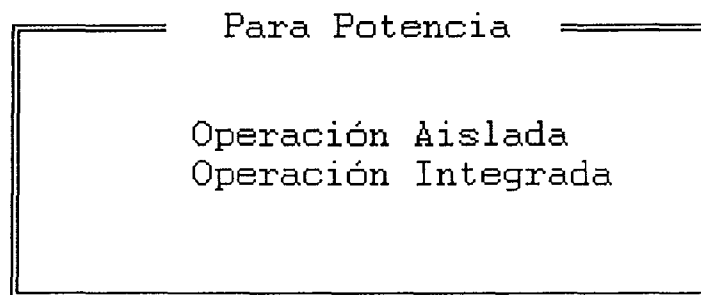
programación lineal, ya que el objetivo principal es el ahorro de energía, combustible y pérdidas de transmisión así como minimizar el costo de combustible utilizado en las centrales térmicas.

El modelo utilizado para la simulación contempla dos objetivos: a) simulación por potencia, y b) simulación por energía. En el primer objetivo se hace un despacho horario para un período de una semana incluyendo la operación aislada y la operación integrada con el objeto de evaluar los ahorros de combustible. Para el segundo objetivo se realiza el despacho para un período correspondiente a la estación seca y la estación lluviosa, ambas simulaciones también incluyen la operación aislada e integrada.

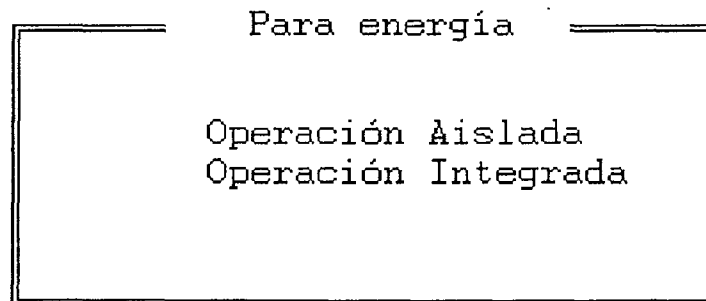
El menú que despliega para este proceso es el que se muestra en la figura 10.



a)



b)



c)

FIG. 10 Menús utilizados en la actividad de simulaciones.

#### 9.4 Reportes

Los reportes pueden ser de los resultados de las simulaciones, pero también algunos se obtienen directamente de los datos básicos; por ejemplo: balances estacionales de energía por país para el decenio, cuadro de evolución de la capacidad instalada de generación, etc.

Desde el punto de vista informativo, los reportes que pueden generarse tanto de los datos básicos como de las simulaciones pueden ser muy variados, pues es de suponerse que cada usuario tendrá sus propias necesidades para presentar la información, por tal motivo se ha limitado este proceso a los tipos que se muestran.

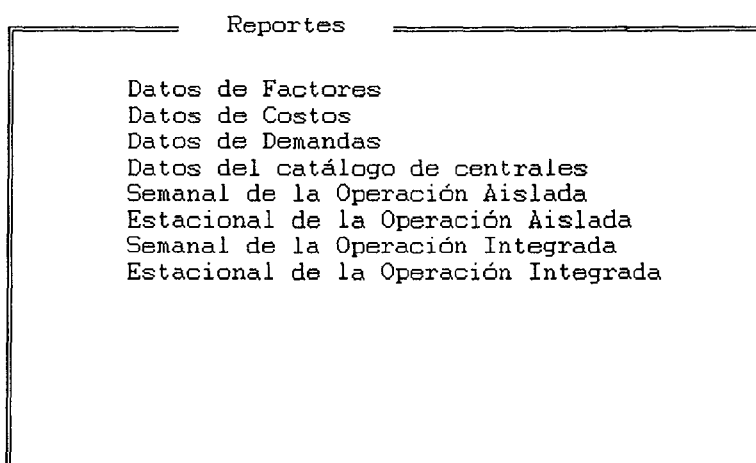


FIG. 11 Menú para Obtener los diferentes tipos de reportes.

### 9.5 Edición de Datos

La edición de los datos de un registro se realiza en una pantalla de captura que consta de campos fijos y campos variables. Los campos fijos son la descripción de aquéllo que se va a capturar y los campos variables son los que contienen el valor del dato solicitado. En la pantalla de captura se puede hacer una serie de actividades para manipular la información del

registro por medio de ciertas teclas o caracteres de control previamente definidos para tal propósito, éstos se presentan en la pantalla que se muestra en la figura 12 y puede accesarse desde la pantalla de captura presionando la tecla <F2>.

←	Retrocede una posición	
→	Avanza una posición	DEL Borra información
↑	Se mueve a campo previo	
↓	Se mueve a campo siguiente	
⌞	Se mueve a campo siguiente	
⌟	Se mueve a campo previo	
ESC	Menú precio	ENTER Avanza al campo siguiente
P <sub>q</sub> UP	Página previa	F1 Ayuda en línea
P <sub>g</sub> DW	Página siguiente	F2 Despliega esta página
		F3 Graba información

FIG. 12 Comandos para la edición de datos en la pantalla de captura.

II. MANUAL TECNICO DEL SIMULADOR

1. OBJETIVO Y ESTRUCTURA

El modelo sirve para calcular, en un período especificado, valores de potencia y energía generadas en cada uno de los sistemas eléctricos, así como las transferencias de potencia y energía entre países en caso de operación integrada. Todo ello bajo el criterio de una operación de menor costo, sujeto a una serie de restricciones.

2. MANEJO DE DATOS BASICOS

Los datos básicos son:

- i) Demandas horarias de 1987 para los seis países. Los datos fuente sobre la demanda son, por una parte, los 8,760 valores de potencia horaria registrados en los seis sistemas del Istmo Centroamericano durante el año 1987.
- ii) Factores de crecimiento de la demanda para el período 1991-2000, para los seis países: uno por año del período de estudio y por sistema, que multiplicados por los valores horarios de potencia permiten obtener las demandas del año correspondiente. Se dispone de los factores para los años del período 1991-2000.

Cada factor se obtuvo dividiendo la demanda de energía proyectada por el sistema considerado para el año de interés entre la demanda de energía de ese sistema en 1987, calculada como la suma de las potencias horarias.

- iii) Costos. Precio internacional promedio del petróleo, flete promedio a cada uno de los países, pérdidas de transmisión promedio para transferencias entre cada par de países y peaje entre cada par de países.
- iv) Datos sobre la generación. Características de las centrales y energía hidro generable por período.

El manejo de estos datos incluye:

- a) Creación de los archivos
- b) Edición
- c) Despliegue en pantalla
- d) Creación de archivos preprocesados para ser usados como datos por los programas de simulación.

### 3. SIMULACIONES

Cuando se hacen los cálculos para un período anual, se obtienen, para el total del año y para cada una de las estaciones, valores de energía generada en cada sistema, clasificada en geotérmica, hidroeléctrica, térmica diesel y térmica bunker, así como los correspondientes volúmenes de combustible utilizado, clasificados en bunker y diesel. En el caso de la operación integrada se obtienen, además, los valores del intercambio neto por país, positivos si se trata de exportación y negativos si es importación. También se obtienen para los mismos períodos los

resultados de energía generada por cada central.

La simulación de la operación integrada para un período semanal permite tener una visión más detallada de la operación. Además de los valores de energía para el período se obtienen, en este caso, valores de potencia horaria: generada en cada central, de intercambio neto por país, y transmitida en cada una de las líneas de interconexión.

Hay ciertas transferencias de información entre los distintos programas de simulación que obligan a correrlos en una determinada secuencia:

- El módulo de operación aislada graba en un archivo de trabajo la información sobre el costo de la generación térmica en la base y en el pico, usada por cada sistema en cada una de las estaciones. Esta información es utilizada por el módulo de operación integrada para decidir la distribución de excedentes geo e hidro, en caso de haberlos.
- El módulo de operación integrada graba en un archivo de trabajo auxiliar la energía generada por cada central durante el período de estudio.

La idea para la aplicación del modelo, es que permita conocer los volúmenes de energía que pueden ser intercambiados, y que la comparación de sus resultados entre la operación aislada con la operación integrada haga posible una evaluación de los beneficios por reducción del uso de combustibles.

Luego, una vez identificados los años en que ocurren las mayores transferencias, obtener los valores de potencia horaria generada por planta, que pueden usarse como datos para análisis de redes.

#### 4. ENERGIAS GENERABLES HIDRO

Aunque los valores de energía generable por estación se incluyen en el archivo del catálogo de centrales, se dispone además, para las centrales de filo de agua, de dos archivos de acceso directo denominados HIDRMENS y FILOSEM donde están almacenados los valores de energía generable por mes y por semana, respectivamente para cada central.

Los datos mensuales fueron proporcionados en su gran mayoría por las empresas eléctricas. Sólo en unos pocos casos fue necesario distribuir un valor estacional o anual entre los meses, usando como patrón la distribución para otra central de la misma región para la cual se contaba con los datos mensuales.

#### 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODO DE SOLUCION

El problema consiste en asignar hora a hora, para un período dado, a cada una de las centrales generadoras de la región un valor de potencia a generar, de forma tal que se satisfaga la demanda de potencia eléctrica de toda la región en esa hora, y que ello se logre para el total del período al costo más bajo posible, sujeto a una serie de restricciones.

Para describir la forma como se resuelve este problema procederemos por etapas abordando casos hipotéticos de complejidad creciente hasta llegar al caso real. Sin embargo, previamente es necesario tratar la forma como se presentan los datos sobre la demanda.



### 5.1 La Representación de la Demanda

Los datos fuente sobre la demanda consisten en los 8,760 valores de potencia horaria registrados en los seis sistemas durante el año de 1987, y corresponden a la suma de las potencias netas generadas en las centrales. Es decir, son valores que representan el requerimiento total de potencia: demanda más pérdidas. Estos datos de potencia están dados en orden cronológico.

Es habitual otra representación de la demanda eléctrica, que consistiría en nuestro caso en ordenar los valores de potencia horaria de mayor a menor, y agrupar en "barras horarias" de la misma altura todos los valores repetidos de una misma potencia. Se obtendría así una curva decreciente en escalones, la cual se designa como "curva de duración de carga" o "monótona de cargas". Cada barra se identifica por un valor de potencia y un "ancho" en horas (véase la figura 1).

En esta representación de la demanda, a veces se sustituye la curva en escalones por una curva que se puede representar analíticamente mediante un polinomio, o incluso, cuando no se necesita mucha precisión, por una línea recta.

La ventaja de usar una curva de duración de carga es que simplifica los cálculos necesarios para la simulación. Pero tiene la desventaja de que en esta representación las diferentes demandas horarias pierden su identidad. Es decir, no se puede saber a partir de esta curva en qué momento en el tiempo se produjo una determinada demanda. La abscisa, en efecto, representa en este caso sólo el número de horas que la demanda estuvo arriba del correspondiente valor de potencia.

Por esa razón no se utiliza esa representación en el

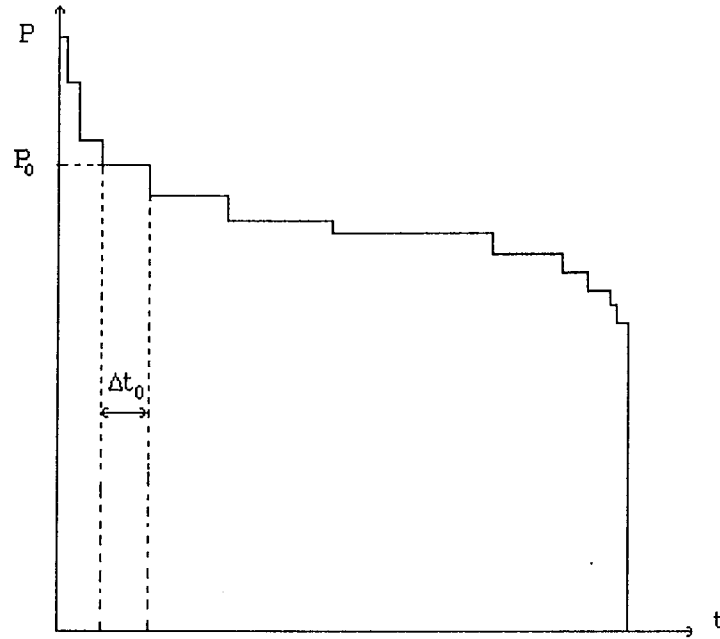


FIG. 1 Monótona decreciente.

presente modelo, ya que en el problema que se desea resolver es muy importante la correspondencia de las demandas con las horas de la secuencia cronológica. Esta correspondencia provee la información sobre la simultaneidad de las demandas en los seis países y permite determinar si la capacidad sobrante en un país puede ser aprovechada en otro.

Así pues, se usa en el presente caso la secuencia cronológica de valores horarios de potencia para el período especificado. Pese a ello, para ilustrar los procedimientos de solución en los incisos siguientes, usaremos indistintamente una u otra representación.

5.2 Sistema puramente térmico

Si en este caso la demanda se representa por valores discretos de potencia, sea que correspondan a la secuencia cronológica o a las barras horarias de una curva de duración, y si se supone, además, que las centrales no están sujetas a una restricción de potencia mínima, entonces el problema de optimización para un período dado se puede descomponer en problemas de optimización separados, independientes, correspondientes a cada hora o barra horaria.

El problema puede plantearse entonces en términos matemáticos como un problema de programación lineal. Para una hora dada:

Minimizar:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i p_i + m p_F \quad (1)$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n p_i + p_F = D \quad (2)$$

$$p_i \leq P_{max_i}, \quad p_i \geq 0, \quad p_F \geq 0$$

donde:

n = número de centrales

$c_i$  = costo unitario de producción de la central i

$p_i$  = potencia generada por la central i

$p_F$  = potencia de falla (potencia faltante)

m = costo de la falla (mucho mayor que el mayor de los  $c_i$ )

D = demanda en la hora considerada

Si se despeja  $p_F$  de (2) y se sustituye en (1) se puede expresar la función objetivo en una forma más conveniente, como:

$$C = mD - \sum_{i=1}^n (m - c_i)p_i \quad (3)$$

En esta ecuación  $mD$  representa el costo de no satisfacer la demanda y  $(m - c_i)$  es el ahorro que se obtiene al sustituir un kWh de falla por un kWh generado con la central  $i$ .

El problema se plantea entonces como:

minimizar:

$$C = mD - \sum_{i=1}^n (m - c_i)p_i \quad (4)$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n p_i + p_F = D \quad (5)$$

$$p_i \leq p_{max_i} \quad \text{para toda } i \quad (6)$$

$$p_i \geq 0 \quad \text{para toda } i$$

$$p_F \geq 0$$

y se puede resolver aplicando el algoritmo del método simplex:

a) introducción de variables de holgura:

$$p_i + u_i = p_{max_i} \quad \text{para toda } i \quad (7)$$

b) seleccionar como solución inicial

$$u_i \neq 0 \text{ y } p_i = 0 \quad \text{para toda } i$$

el costo total es entonces el más alto posible, igual a mD;

c) seleccionar una  $p_i$  que se hará diferente de cero.

Debe decidirse:

- cuál  $p_i$
- hasta dónde puede llevarse su valor

Se escoge la  $p_i$  que produzca la mayor reducción de C, es decir la que tiene el mayor valor de  $(m - c_i)$ . Esto es, la que tiene el menor  $c_i$ .

Para saber hasta dónde puede llevarse su valor hay que considerar las restricciones funcionales en que interviene esa  $p_i$ . Normalmente será la (6) la que limitará su valor, que puede entonces llegar hasta  $p_{max_i}$  ( $u_i$  se hace cero).

d) se continúa de ese modo hasta que ocurra uno de dos eventos:

- no hay más centrales y la demanda aún por satisfacer se cubre con falla ( $p_F > 0$ )
- hay una central para la cual el valor de  $p_i$  queda limitado por la restricción (5) (en ese caso  $p_F = 0$  y  $u_i = 0$ ).

En el procedimiento de simulación, entonces se puede proceder así:

- a) Se toman las centrales en orden de costo unitario creciente.
- b) Se compara la demanda para cada hora con  $p_{max_i}$ .
- c) Si  $D > p_{max_i}$  se hace, para esa hora,  $p_i = p_{max_i}$  y  $D = D - p_{max_i}$ . En caso contrario se hace  $p_i = D$  y  $D = 0$ .

### 5.3 Sistema Hidrotérmico

También aquí, si la demanda se representa como valores discretos de potencia, si la potencia mínima de las centrales se puede tomar igual a cero, y si el hidro se agrupa en una sola central, el problema se plantea como uno de programación lineal:

minimizar:

$$C = m \sum_{t=1}^T D_t - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (m - c_i) p_{it}$$

sujeto a:

$$ph_t + \sum p_i + p_F = D_t \quad \text{para toda } t$$

$$ph_t \leq PH_{max}$$

$$p_{it} \leq P_{max_i}, \quad \text{para toda } i \text{ y toda } t$$

Esta última restricción establece aquí una ligazón entre

$$ph_t \geq 0, \quad p_i \geq 0, \quad p_F \geq 0$$

$$\sum_{t=1}^T ph_t \leq Wmax, \quad \text{con } Wmax, \quad ph_t T$$

las horas, de modo que el problema ya no se puede separar como antes en problemas independientes para cada hora del período. Sin embargo, se puede en un primer paso volver al problema anterior si se toma la potencia horaria hidráulica como constante:

$$ph_t = \frac{Wmax}{T} \quad \text{para toda } T$$

valor que supondremos por simplicidad menor que la demanda mínima (véase la figura 2).

Después de encontrada la solución óptima para este valor de  $ph$  por el proceso descrito en el inciso anterior, se pasaría a una segunda etapa en la cual se decidirían transferencias de energía y potencia hidro de una hora a otra, de manera tal que se reduzca el valor de  $C$  como se puede observar en la figura 2.

donde  $DT_t$  representa la demanda a ser satisfecha con térmico en la hora  $t$ .

Si en una hora determinada se incrementa la potencia hidro generada, se reduce para esa hora en la misma cantidad la potencia térmica. Tal reducción se haría disminuyendo  $p_i$  de la central con el más alto  $c_i$  entre las que generan en esa hora. A la inversa, si se reduce  $ph$  habrá que incrementar la generación térmica, y como para todas las centrales térmicas que generan en esa hora excepto la de más alto  $c_i$  se tiene  $p_i = p_{max_i}$ , entonces hay que incrementar  $p_i$  de la central más cara.

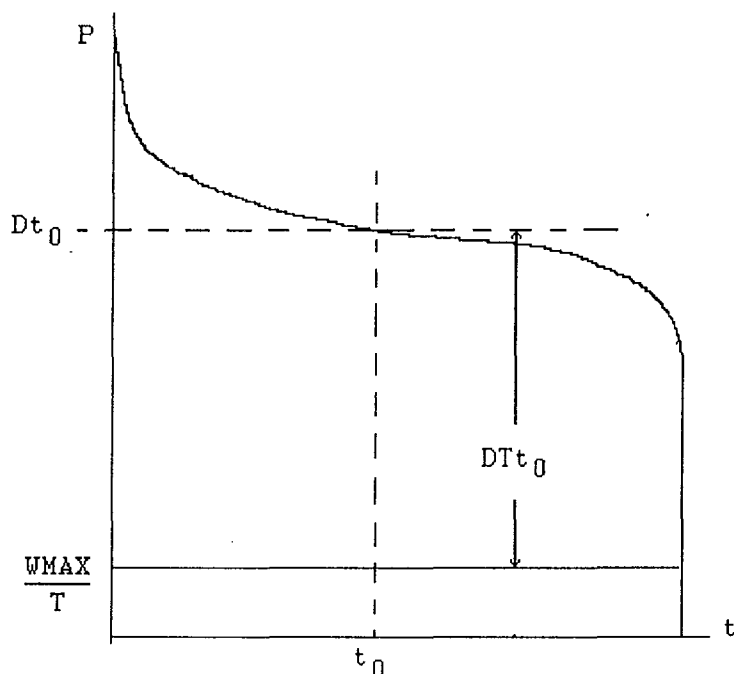


FIG. 2 Monótona decreciente continúa.

La idea consiste entonces en seleccionar una pareja de horas  $t_1$  y  $t_2$  tal que para la primera el más grande  $c_i$  sea el máximo de todo el período y para la otra el más grande  $c_i$  sea el más pequeño del período. Para la primera se debe aumentar  $p_h$  y para la segunda reducirla en la misma cantidad, de modo que no cambie la energía hidro generada en el período. Lógicamente, la primera pareja de horas a escoger estará formada por la hora de la demanda máxima y la de la demanda mínima.

La transferencia de potencia hidro de una hora a otra termina cuando se presenta una de las siguientes condiciones:

A partir de ese evento hay que seleccionar una o dos nuevas horas y recomenzar el proceso.



$$ph_{t1} = PHMAX$$

$$ph_{t2} = 0$$

$$D_{t1} = D_{t2}$$

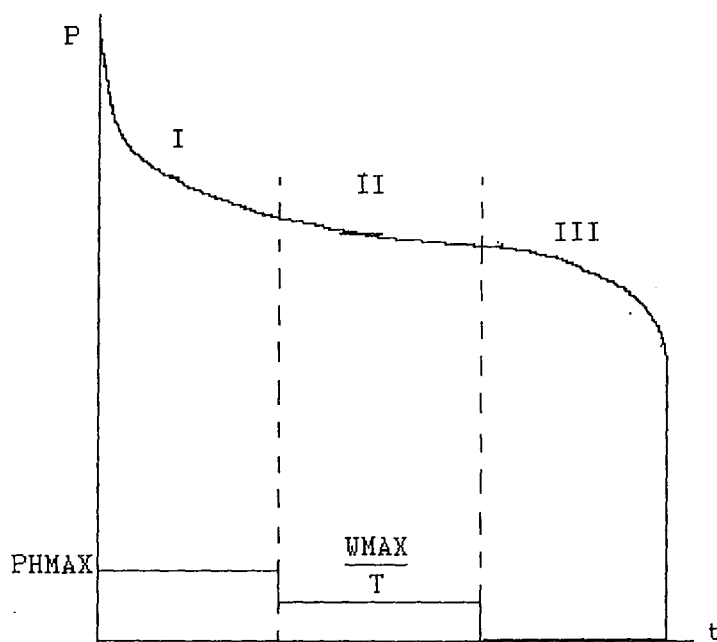


Figura 3

Después de un tiempo de iniciado este proceso el diagrama de despacho tendrá la forma de la figura 3.

A partir de esa situación, como ya la diferencia de las potencias horarias en la región II es pequeña, los procesos de transferencia de energía hidro entre horas cesarán porque se producirá la condición (6).

Al concluir todo el proceso es necesario que todos los valores de  $Dt$  en la región II sean iguales (véase la figura 4).

Es decir, la línea  $ph_t$  en esta región es paralela a  $Dt$ .

De aquí se deduce la regla para encontrar la operación de costo mínimo en el proceso de simulación para un sistema hidrotérmico:

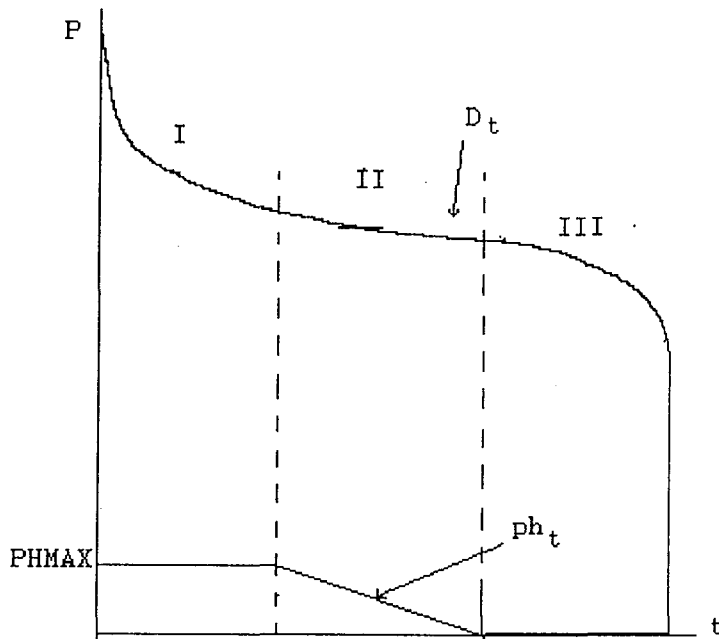


Figura 4

- a) Para el hidro, encontrar la posición de una banda horizontal de ancho  $PH_{max}$  tal que el área encerrada sea igual a  $W_{max}$  (véase la figura 5).

- b) calcular para cada hora el valor de potencia hidro generada,  $ph_t$ ;

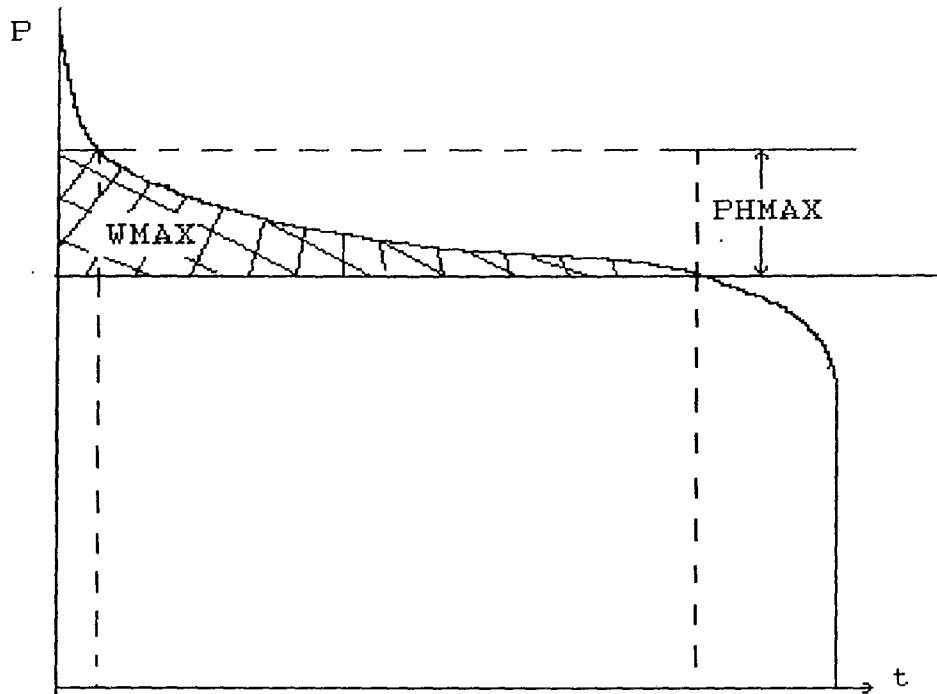


Figura 5

- c) calcular para cada hora el valor de demanda a ser satisfecha por térmico:

$$DT_t = D_t - ph_t$$

- d) aplicar a los valores de demanda  $DT_t$  el método del inciso 3.2.1 para colocar el térmico.

#### 5.4 Sistema real

Los sistemas eléctricos reales del Istmo se desvían del caso ideal arriba tratado principalmente en lo siguiente:

- a) Tienen centrales geotérmicas. Estas pueden considerarse equivalentes a centrales hidroeléctricas de filo de agua, excepto que no hay una limitación directa sobre la energía generable. Es decir toda su potencia disponible puede usarse en todas las horas del período.
- b) Todas las centrales, pero principalmente las de vapor, están sujetas a una restricción de potencia mínima mayor que cero:  $p_i > P_{min_i}$ .
- c) Las centrales geotérmicas y las de vapor no pueden hacer variar su potencia rápidamente de hora a hora, y por ello no son aptas para satisfacer demanda pico.
- d) Algunos de los sistemas, por razones de soporte de voltaje, necesitan mantener generando centrales térmicas aun cuando esa operación no corresponda con la solución de menor costo.

Para tener en cuenta estas particularidades, la simulación de la operación para un sistema aislado procede de la manera siguiente:

- a) Se toman una tras otra las centrales geotérmicas. Para cada una de ellas y para cada hora del período se hace:

$$D_t = D_t - P_{max_i}$$

- b) Se toman una tras otra:
  - i) las centrales térmicas que deben generar en la base por razones de soporte de voltaje, y
  - ii) la suma de las potencias mínimas de las centrales

de vapor que se sabe de antemano que generan en el período especificado; esta suma se hace igual a Pmax de una central ficticia.

Para cada una y para cada hora del período se hace:

$$D_t = D_t - P_{max_i}$$

- c) Se colocan una tras otra las centrales hidro en la manera expuesta y se resta cada vez de las demandas horarias las correspondientes  $ph_{ti}$ . Al final queda la demanda a ser satisfecha con térmico.
- d) Se define un valor de demanda "techo" arriba del cual no se permitirá la operación de centrales de vapor.
- e) Se calculan los  $p_i$  horarios para las térmicas en la forma descrita en 2.2.

### 5.5 Caso de varios sistemas interconectados

En el caso multi-sistemas, el problema de la colocación del térmico puede plantearse también en forma independiente para cada hora, como un problema de programación lineal. Para una hora dada se trataría de:

minimizar:

$$C = \sum_{s=1}^{NS} C_s$$

con:

$$C_s = m_s p_F + \sum_{i=1}^n C_i p_{is} \quad (8)$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n (1 - l_{is}) + p_{F_s} = D_s \quad \text{para toda } s \quad (9)$$

$$\sum_{s=1}^{NS} p_{is} \leq P_{MAX_i} \quad \text{para toda } i \quad (10)$$

$$p_{F_s} \geq 0 \quad \text{para toda } s \quad (11)$$

$$p_{is} \geq 0 \quad \text{para toda } i \text{ y para toda } s \quad (12)$$

donde:

- C = costo total en la hora considerada
- C<sub>s</sub> = costo de satisfacer la demanda del sistema s en la hora considerada
- NS = número de sistemas
- m<sub>s</sub> = costo unitario de la falla (potencia faltante) en el sistema s
- p<sub>F<sub>s</sub></sub> = potencia de falla, o potencia faltante, en el sistema s en la hora considerada
- C<sub>i</sub> = costo unitario de la energía producida en la central i
- p<sub>is</sub> = potencia generada por la central i, destinada a satisfacer demanda en el sistema s
- n = número total de centrales térmicas
- l<sub>is</sub> = tasa de pérdidas, en p.u., aplicable a la energía generada en la central i, destinada

a satisfacer demanda del sistema s (si la central i pertenece al sistema s, entonces  $l_{is} = 0$ )

$P_{MAX_i}$  = valor máximo que puede tomar la potencia  $p_i$

$D_s$  = demanda del sistema s en la hora considerada

También aquí se puede expresar el costo de un sistema cualquiera de manera más conveniente si se sustituye en (8)  $P_{FS}$  despejado de (9). Se obtiene:

$$C_s = m_s D_s - \sum_{i=1}^n [(1 - l_{is}) m_s - c_i] p_{is} \quad (13)$$

De manera similar al caso de un sistema único,  $m_s D_s$  representa el costo de la opción más cara para "satisfacer" la demanda del sistema s: el racionamiento total. El coeficiente  $((1 - l_{is}) m_s - c_i)$  representa el ahorro que se obtiene al sustituir racionamiento en el sistema s con energía proveniente de un kWh generado por la central i. El factor  $(1 - l_{is})$  significa que, por cada kWh generado, sólo se puede eliminar  $(1 - l_{is})$  kWh de racionamiento debido a las pérdidas de transmisión de un sistema a otro. (La reducción del racionamiento sería de un kWh por cada kWh generado, sólo si la central i pertenece al sistema s como ya se indicó.)

Por similitud con el caso de un sistema único, se ve que aquí las variables  $p_{is}$  (que corresponden a parejas planta-demanda) deberán tomarse sucesivamente en orden creciente del coeficiente  $((1 - l_{is}) m_s - c_i)$ .

5.6 Restricciones suplementarias

Como una transferencia internacional de energía de origen térmico no se realizará en la práctica a menos que el ahorro a que da lugar sea suficientemente atractivo para todas las partes involucradas, se debe introducir una restricción suplementaria que establezca que el ahorro obtenido en el sistema  $s$  en una hora determinada al utilizar potencia importada, producida en una central particular de otro sistema, debe ser igual o mayor que un valor prefijado por cada kWh importado de aquella central (véase la figura 6).

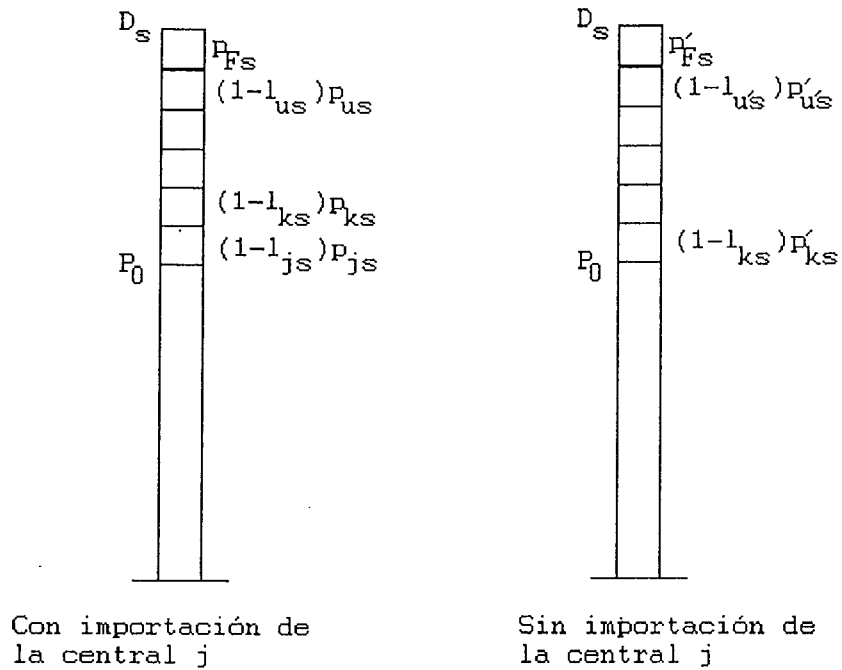


FIG. 6 Satisfacción de la demanda del sistema  $s$  en una hora determinada.

La satisfacción de la demanda hasta la potencia  $P_0$  se hace exactamente de la misma manera en ambos casos, pero es diferente



de allí en adelante. La decisión que origina las diferencias es la no utilización de la central  $j$ , perteneciente a un sistema diferente del  $s$ . Esa decisión puede causar que cambien también los valores individuales  $p_{is}$  de las centrales propias y externas utilizadas a partir de ese punto. Se han utilizado dos índices  $u$  y  $u'$  para identificar la última central usada en cada caso. También se supone, por generalidad, que habrá potencia faltante o de falla.

La diferencia de costo está dada por:

$$\Delta C_{js} = \sum_{i=k}^{u'} c_i p'_{is} + m_s p'_{Fs} - c_j p_{js} - \sum_{i=k}^u c_i p_{is} - m_s p_{Fs}$$

$$\Delta C_{js} - \sum_{i=k}^{u'} c_i p'_{is} - \sum_{i=k}^u c_i p_{is} - c_j p_{js} + m_s (p'_{Fs} - p_{Fs}) \quad (14)$$

se desea que:

$$\Delta C_{js} \geq b_{js} p_{js}$$

donde  $b_{js}$  es un valor prefijado con unidades de MILS/kWh.

La igualdad de la suma de las potencias arriba del valor  $P_0$  se expresa como:

$$(1 - l_{js}) p_{js} + \sum_{i=k}^u (1 - l_{is}) p_{is} + p_{Fs} = \sum_{i=k}^{u'} (1 - l_{is}) p'_{is} + p'_{Fs}$$

de donde se deduce:

$$p'_{Fs} - p_{Fs} = (1 - l_{js}) p_{js} + \sum_{i=k}^u (1 - l_{is}) p_{is} + \sum_{i=k}^{u'} (1 - l_{is}) p'_{is} \quad ($$

sustituyendo (15) en (14) y simplificando se llega a:

$$((1 - l_{js})m_s - c_j - b_{js})p_{js} + \sum_{i=1}^u ((1 - l_{is})m_s - c_i)p_{is} + \sum_{i=1}^{u'} (1 - l_{is})p_{is} + \sum_{i=1}^{u'} ((1 -$$

En esta expresión, los coeficientes de las variables  $p_{js}$  representan el ahorro obtenido al sustituir un kWh de racionamiento en el sistema s con un kWh generado en la central i.

Se puede ver que el efecto de la restricción impuesta a la importación por el sistema s de potencia generada en la central j, se traduce en un incremento del costo aplicable a la potencia  $p_{js}$ . En efecto, se puede definir un costo:

$$c_{js} = c_j + b_{js}$$

El valor  $b_{js}$  representa el beneficio global logrado en la transacción, el cual debe repartirse entre exportador, importador e intermediarios. Estos últimos recibirán un pago por el servicio de peaje. Se puede entonces expresar  $b_{js}$  como:

$$b_{js} = b_0 + w_{js}$$

donde  $w_{js}$  representa el cargo total por peaje que debe pagarse a los intermediarios por transportar la energía de la central j hasta el sistema s, y  $b_0$  es una utilidad global que se repartirán el exportador y el importador.

Como los resultados deducidos para la central j son aplicables a todas las centrales que generan para exportación, se puede generalizar el concepto de costo unitario mediante la siguiente definición:

$$C_{is} = C_i + b_0 + w_{is} \quad \text{cuando la central } i \text{ no pertenece a } s$$

$$C_{is} = C_i \quad \text{cuando la central } i \text{ pertenece a } s$$

de modo que la función (13) se escribirá:

$$C_s = m_s D_s - \sum_{i=1}^n ((1 - l_{is})m_s - C_{is})p_{is}$$

El orden en que las variables de decisión  $p_{is}$  van entrando en la solución, de acuerdo con el algoritmo del método simplex, queda entonces influido por los valores  $C_{is}$  que incorporan el efecto de la restricción de una utilidad mínima impuesta a las transferencias.

Asignando a  $b$  un valor lo suficientemente elevado, se pueden bloquear todas las transferencias de origen térmico excepto aquellas destinadas a sustituir racionamiento.

### 5.7 Prioridad de los sistemas para el uso de las propias centrales

Ya se ha dicho que las variables  $p_{is}$  van entrando en la solución en orden decreciente del coeficiente  $((1 - l_{is}) m_s - C_{is})$ . Esto significa que una central  $i$  se pondrá a generar para satisfacer demanda en el sistema  $s$  tanto más temprano como menor sea el coeficiente de pérdidas  $l_{is}$ , cuanto menor sea el costo unitario  $C_{is}$  y cuanto mayor sea el valor  $m_s$  de la energía no suministrada en ese sistema.

Si se asigna al costo unitario  $m_s$  de la energía no suministrada en el sistema  $s$  un valor lo suficientemente

elevado, se puede lograr que todas las centrales generen para él, antes que para sus propios sistemas. Inversamente, si el valor asignado a  $m_s$  es lo suficientemente bajo, las centrales del sistema  $s$  generarán para los otros sistemas antes que para el propio.

Como esa operación no se dará en la práctica, es necesario introducir una nueva restricción que afectará los valores  $m_s$ .

Para garantizar que ninguna central  $i$ , perteneciente al sistema  $s$ , genera para otro sistema  $r$  antes que para el propio es necesario que:

$$(m_s - c_i) > ((1 - l_{ir})m_r - c_i - b_0 - w_{ir})$$

o sea,

$$m_s > (1 - l_{ir})m_r - b_0 - w_{ir}$$

Para garantizar que ninguna central  $j$ , perteneciente a un sistema  $t$ , genera para  $s$  antes que para su propio sistema, es necesario que:

$$(m_t - c_j) > (1 - l_{js})m_r - c_i - b_0 - w_{js}$$

o sea,

$$m_s < \frac{m_t + b_0 + w_{js}}{1 - l_{js}}$$

Estas restricciones traducen el principio de que todo sistema tiene un derecho prioritario para el uso de sus propias

centrales y que, para exportar, usará sólo aquella capacidad que le sobre después de satisfecha su propia demanda.

Ambas restricciones quedan satisfechas si el valor asignado al kWh no suministrado es el mismo para todos los sistemas. Sin embargo, el valor de  $m_g$  puede utilizarse para favorecer las transferencias hacia los sistemas que en la operación aislada tienen el costo térmico promedio más elevado. Esto requiere que se eleven los correspondientes valores de  $m_g$  tanto como sea posible sin que se violen las restricciones.

Para ello, se puede comenzar asignando valores iguales a todos los sistemas y proceder enseguida a encontrar un valor lo más alto posible para el sistema con el térmico más caro, luego para el que tiene el siguiente térmico más caro, etc.

Así pues, finalmente las centrales se harán generar para los distintos sistemas en orden decreciente del coeficiente  $((1 - l_{is}) m_g - C_i - b_0 - w_{is})$ . O sea que, en la secuencia de solución, la central  $i$  entrará a generar para satisfacer demanda en el sistema  $s$  tanto más temprano cuanto menores sean las pérdidas, mayor sea el valor de la energía no suministrada en  $s$ , menor sea el costo unitario de producción de la central  $i$ , menor sea la utilidad global requerida para exportador e importador y menor sea el cargo global por peaje.

## 6. PROCESO DE SIMULACION

En la simulación se van tomando las parejas planta-demanda en orden decreciente de  $((1 - l_{is}) m_g - C_{is})$  y se procede para cada hora del período como sigue:

- a) se calcula la potencia disponible en la central  $i$  como  $PDISP = PMAX_i - p_i$ , donde  $p_i$  es la potencia ya generada

por la central  $i$  en la hora considerada, para satisfacer demanda en otros sistemas.

b) Si  $PDISP < D_s$  se hace  $p_{is} = PDISP$ ,  $D_s = D_s - PDISP$ ;

Si  $PDISP > D_s$  se hace  $p_{is} = D_s$ ,  $D_s = 0$

c) Finalmente, se hace  $p_i = p_i + p_{is}$ .

### 6.1 Sistemas hidrotérmicos

La colocación óptima de cada central hidro se hace aplicando la misma regla que para el caso de un sistema único. Ello requiere que se defina la curva de carga que se utilizará en esa operación.

Con base en el principio de que cada sistema tiene un derecho prioritario para el uso de sus propias centrales, cada central hidro se trata de ubicar en forma óptima utilizando en primera instancia la curva de carga del sistema al cual pertenece. Sólo en caso de que no sea posible encontrar una posición para la cual la energía generada sea igual a la generable, es decir, cuando la central tiene excedentes, se utilizará la curva de carga regional, obtenida sumando los valores de demanda horaria aún por satisfacer de todos los sistemas.

En tal caso, la regla de colocación óptima puede entrar en conflicto con el principio de que todo sistema tiene el derecho prioritario para el uso de sus centrales. En efecto, en el momento en que se encuentra que una central hidro tiene un valor de energía generable que excede la demanda aún por satisfacer en su propio sistema, es probable que la curva de carga de éste sea ya completamente plana.

Si a continuación se obtiene la curva regional y se ubica allí esa central, puede ocurrir que ella quede colocada en el pico, lo cual significa que su producción no puede destinarse a satisfacer la demanda, puramente base, del sistema al cual pertenece.

Para resolver el conflicto se ha decidido subordinar en tales casos la prioridad para el uso de las propias centrales a la regla de colocación óptima del hidro.

En la simulación se procede entonces como sigue:

- a) Se toman las centrales en orden creciente de su factor de planta;
- b) Para cada planta, se toma la curva de demanda del sistema  $s$  al cual pertenece la central;
- c) Se busca la ubicación óptima de la central en esa curva;
- d) Si se encuentra una posición de la banda representativa de la central para la cual la energía generada es igual a la energía generable, se calculan los valores  $p_{is} = p_i$ , y se modifican las demandas del sistema  $s$  para cada hora del período, en la misma forma que se indicó para el sistema aislado.

En este caso, todos los valores  $p_{ir}$ , con  $r=s$ , son cero para todas las horas del período;

- e) Si la central tiene excedentes, es decir, si en la búsqueda de la posición óptima se llega a la posición más baja posible y la energía generada es todavía menor que la generable, entonces se debe buscar la ubicación óptima de esa central en una curva de carga regional. Sin embargo, se ha

decidido establecer el principio de que el uso por cualquier sistema de potencia hidro importada se hará sólo después de utilizadas las disponibilidades hidro propias. Por tal razón, cuando se encuentra una central con excedentes se la deja pendiente para colocación posterior, y se procede a tomar la siguiente central para tratar de colocarla en la curva de carga del sistema al cual pertenece.

f) Cuando se ha concluido la colocación de todas las centrales cuya energía generable se puede aprovechar completamente en sus propios sistemas, se verifica si quedaron pendientes de colocar centrales con excedentes. En caso afirmativo, se procede a:

- sumar las demandas horarias aun por satisfacer de todos los sistemas para tener la curva de carga regional (la región se identifica con el índice cero);
- tomar las centrales con excedentes en orden creciente de su factor de planta;
- buscar para cada central su ubicación óptima en la curva de demanda regional;
- calcular los valores  $p_{i0} = p_i$ , y modificar las demandas horarias de la región, para cada hora del período, en la misma forma que para un sistema aislado;

g) Una vez concluida la operación anterior, se tienen los valores  $p_i$  de potencia total generada



por la central en cada hora. La siguiente operación consiste en determinar para cada hora del período los valores  $p_{is}$  tales que:

$$\sum_{s=1}^{NS} p_{is} = P_i$$

La posición óptima de una central hidro en la curva de carga determina para cada hora, no sólo la potencia generada, sino también la porción de esa potencia destinada a satisfacer demanda base y la porción destinada a satisfacer demanda pico (véase la figura 7).

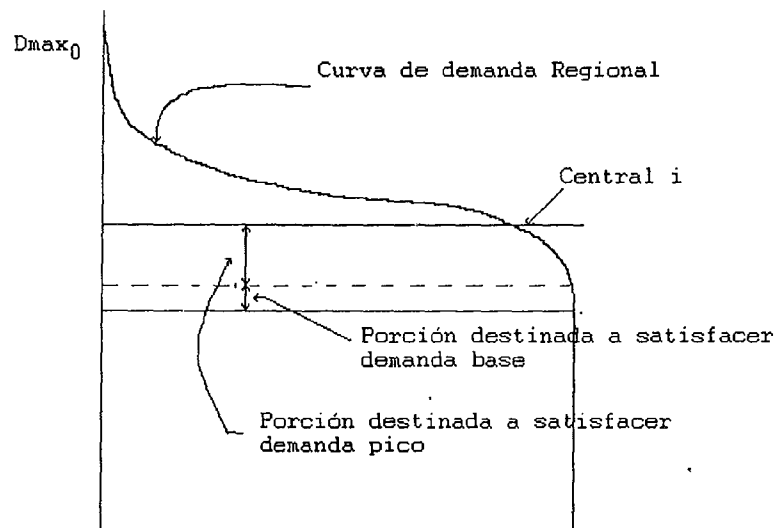


Figura 7

Ello conduce a repartir separadamente ambos tipos de potencia generada, y, por lo tanto, a considerar también por separado las demandas base y pico de los sistemas.

Si consideramos la aplicación de la potencia

de excedentes hidro a la satisfacción de la demanda de cualquiera de esos tipos, del sistema s, en una hora dada, tendremos (véase la figura 8).

La potencia hidro  $(1 - l_{is}) p_{is}$  reduce el valor de la demanda  $DT_s$  a ser satisfecha con térmico y da lugar, en consecuencia, a un ahorro:

$$A_s = (1 - l_{is}) p_{is} CT_s$$

donde  $CT_s$  es el costo unitario de la energía térmica desplazada.

En vista de que no se puede conocer de antemano el valor de  $CT_s$ , se ha decidido adoptar un valor aproximado igual al costo promedio del térmico usado en el sistema s para satisfacer el tipo de demanda de que se trate (base o pico) en el caso de operación aislada.

Considerando todo lo anterior, además de la preferencia que tiene el sistema al cual pertenece la central para el uso de la potencia generada por ésta, la repartición del valor  $p_i$  se hace, separadamente para la porción de  $p_i$  que es generación base --GBASE-- y la que es generación pico --GENPIC--, como sigue:

- Se toman los sistemas en el orden siguiente: primero, el que es dueño de la central; enseguida los otros, en orden decreciente del ahorro  $A_s$  por desplazamiento de generación térmica de base, y se va

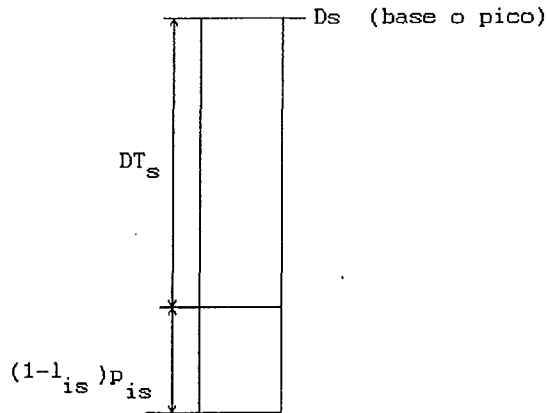


Figura 8

asignando a cada uno tanto potencia generada base como su demanda le permita absorber.

- Enseguida, para cada hora del período, se toman los sistemas comenzando con el que es dueño de la central y siguiendo con los otros en orden decreciente del ahorro  $A_g$  por desplazamiento de generación térmica pico, y se les va asignando tanto de la generación pico como lo permiten sus respectivas demandas. Esta operación concluye restando de cada demanda horaria la potencia total asignada, tanto base como pico.
- h) Una vez concluida la colocación del hidro se procede a la colocación del térmico como ya se indicó.

## 6.2 Sistemas Reales

Para los sistemas reales, que incluyen centrales geotérmicas y centrales térmicas de base que deben mantenerse generando por soporte de voltaje, se procede como se explicó para el caso del sistema aislado, esto es, para cada central se resta su  $PMAX_i$  de cada una de las potencias horarias del sistema al cual pertenece, para dejar finalmente la demanda a ser satisfecha con generación hidroeléctrica y térmica.

En los raros casos en que hay excedentes geo o, incluso, de térmico base obligatorio (en horas de muy baja demanda), se distribuyen esos excedentes exactamente en la misma forma que se describió para el hidro.

Una central geotérmica o térmica de base obligatoria, tiene excedentes cuando su potencia disponible  $PMAX_i$  excede la demanda del sistema propio en al menos una hora, es decir, cuando  $PMAX_i > DMIN_g$ .

Para el despacho de las centrales de vapor se aplica el mismo procedimiento descrito para el sistema único:

- cuando se sabe de antemano qué centrales de vapor generarán en el período de estudio, se coloca desde el inicio del despacho su potencia mínima en la base de la curva de demanda del sistema propio (esto es aplicable sólo para el programa de simulación semanal).
- no se permite que las centrales de vapor satisfagan demanda arriba de una potencia techo prefijada, es decir, no se pueden utilizar para satisfacer demanda pico.

## 7. OPERACIONES PRINCIPALES

Hay un conjunto de subrutinas que realizan lo que se puede considerar como las operaciones básicas para los diferentes programas de simulación.

Tales operaciones básicas son:

- Colocar una central en una curva de carga
- Encontrar la ubicación óptima de una central hidro en una curva de demanda
- Distribuir excedentes de potencia hidro hora a hora entre los sistemas
- Colocación secuencial de centrales térmicas para satisfacer demanda en un sistema específico.

A continuación se describe la manera cómo se realiza cada una de ellas.

### 7.1 Colocación de una central en la curva de carga

La descripción del proceso de colocación de una central bajo la curva de carga se hará con referencia a la figura 9. En ella  $P_{dem}(t)$  representa la demanda de potencia. La banda horizontal definida por las líneas punteadas representa la central a colocar, con potencia efectiva  $P_{max}$ . La posición en el sentido vertical de esa central en la figura está definida por el valor de potencia  $P_2$ , correspondiente al límite inferior de la banda. El área hachurada representa la energía  $W$  generada por la central.

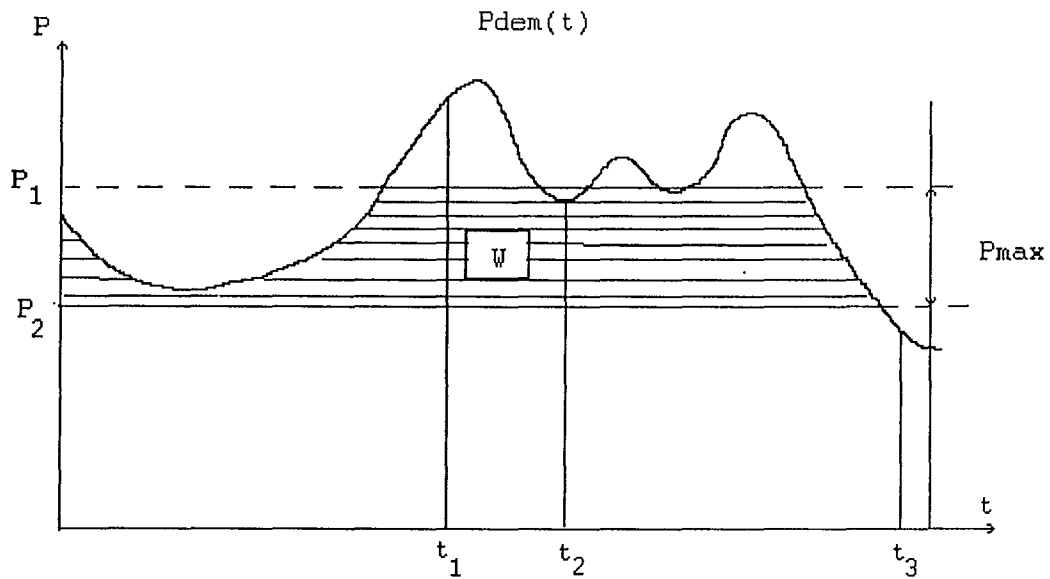


FIG. 9 Colocación de una central

La operación de "colocación" o "despacho" de la central consiste en:

- a) la determinación de la potencia  $P_2$  que define la posición vertical de la banda representativa de la central a colocar. Este valor es siempre igual a cero para las centrales geotérmicas y térmicas. Para las hidroeléctricas debe calcularse por medio de la subrutina AJUSTEN;
- b) el cálculo, para todas las barras horarias del período (para todos los valores discretos de  $t$ ) de la potencia generada  $P_{gen}(t)$ :

Si  $P_{dem}(t) \geq P_1$ ,  $P_{gen}(t) = P_{max}$  (caso para  $t = t_1$ )

Si  $P_2 \leq P_{dem}(t) < P_1$ ,  $P_{gen}(t) = P_{dem} - P_2$  (caso para

$t = t_2)$

Si  $P_{dem}(t) \leq P_2$ ,  $P_{gen}(t) = 0$  (caso para  $t = t_3$ )

- c) la acumulación de los valores de  $P_{gen}$  para tener el valor  $W$  de la energía generada en el período;
- d) la modificación de la curva de demanda, consistente en restar de cada valor de demanda horaria el correspondiente valor de  $P_{gen}$ . La curva modificada, que se muestra en la figura 10, es la curva de demanda donde se colocará la siguiente central.

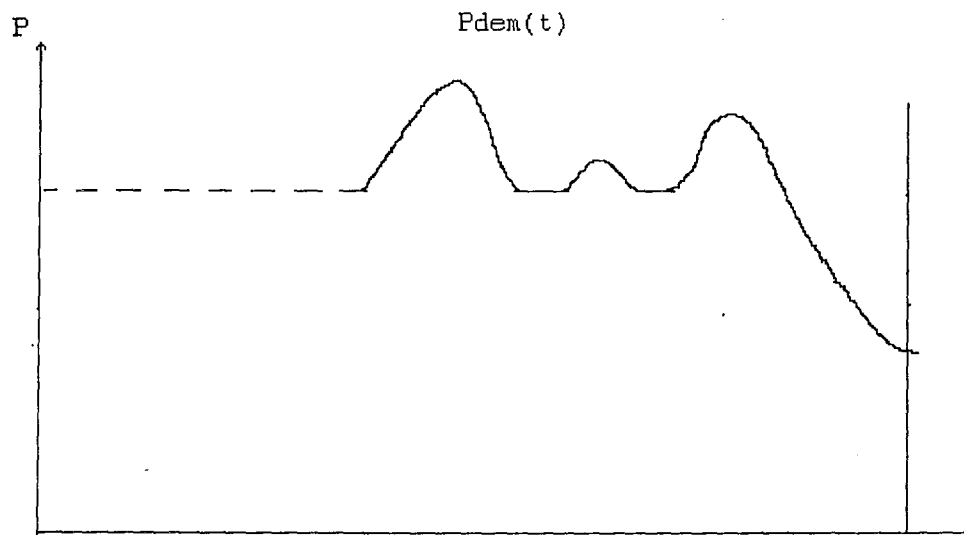


Figura 10

Con referencia a la figura 11 se pueden distinguir en la generación de la central dos clases de energía: aquella

destinada a satisfacer demanda base y aquélla que satisface demanda de pico.

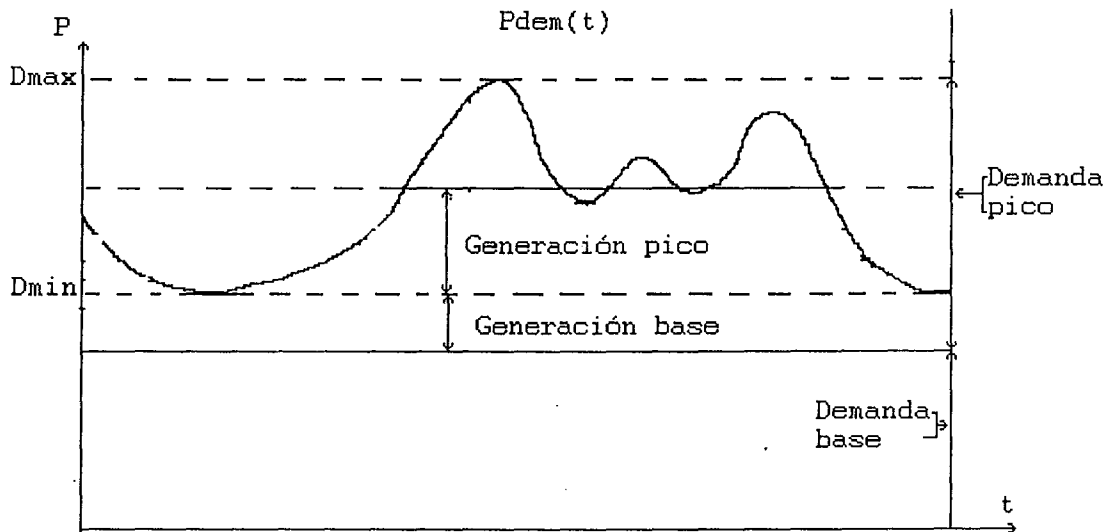


Figura 11

Esta distinción es importante cuando se despachan centrales con excedentes en el período como se explicó antes.

Ubicación óptima del hidro en la curva de carga

En páginas anteriores se justificó la regla aplicada para encontrar la colocación óptima de las centrales hidro en la curva de carga: buscar la posición vertical de la banda de ancho  $P_{max}$  para la cual el área encerrada, que representa la energía generada, sea igual a la energía generable especificada para el período.



Si se grafica el valor de la energía generada en función de la posición de la banda representativa de la central, posición que es medida por la variable  $P_2$ , se obtiene una función decreciente (véase la figura 12).

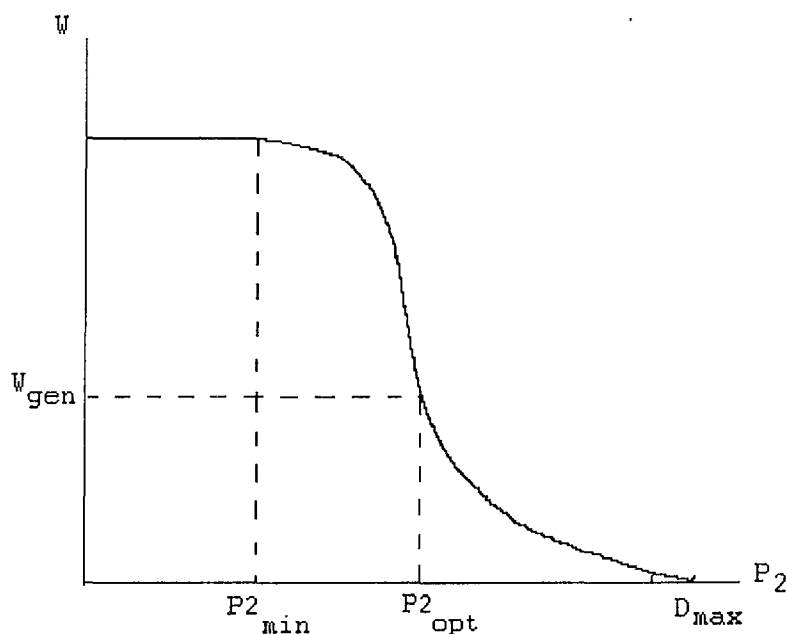


Figura 12

Si se consideran sólo las posiciones a partir de  $P_2_{min}$  se obtiene la curva mostrada en la figura 13.

El problema consiste en encontrar  $P2_{opt}$ , dado  $W_{generable}$  sin contar con una expresión analítica de  $W_{gen}$ .

En principio, AJUSTEN aplica un método de Newton-Raphson, donde el valor  $dw/dP_2$  de la derivada se aproxima por

$$\frac{\Delta W}{\Delta P_2} = \frac{W_{anterior} - W_{actual}}{P_{2anterior} - P_{2actual}}$$

Después de la primera iteración --cuando se va a calcular por primera vez un siguiente valor de  $P_2$  a ensayar-- se usan las coordenadas del punto  $(D_{max}, 0)$  como valores de  $P_{2anterior}$  Y  $W_{anterior}$ .

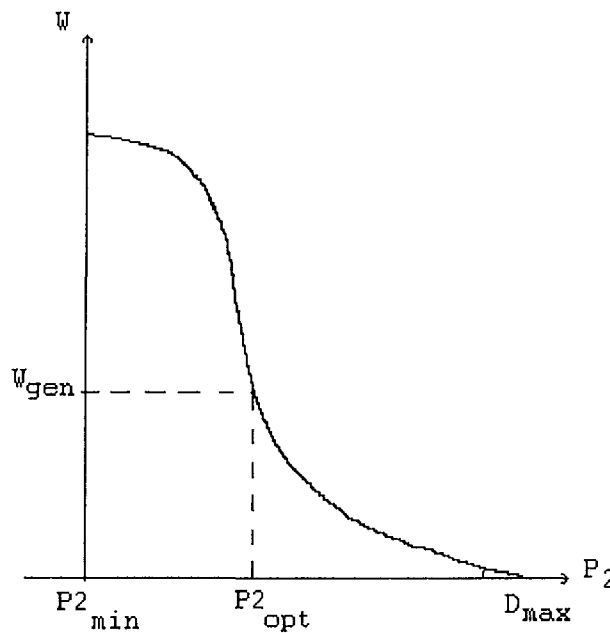


Figura 13

Sin embargo, este método falla en el caso general porque la curva  $W(P_2)$  para la representación de la demanda que aquí se utiliza está compuesta por segmentos rectilíneos y presenta a menudo tramos horizontales (véase la figura 14).

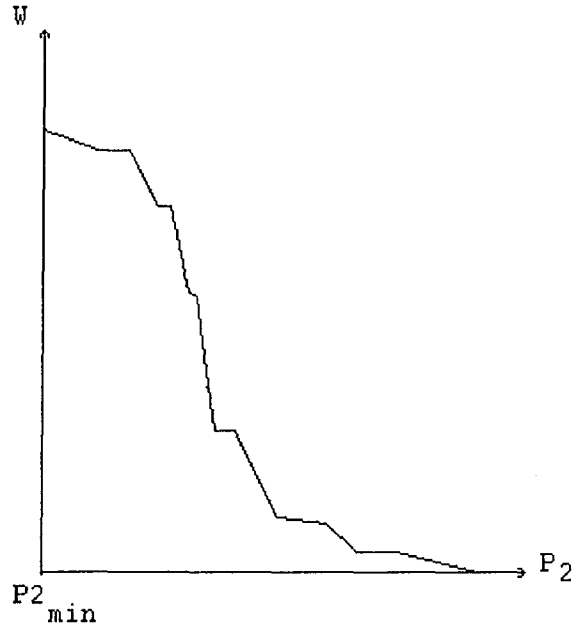


Figura 14

Cuando dos puntos sucesivos caen en uno de ellos, la derivada vale cero y, como su valor aparece en el denominador, da lugar a una división por cero. Por esa razón se ha combinado el método de Newton-Raphson con el algoritmo conocido como de "búsqueda binaria" (binary search), en el cual se reduce en cada paso a la mitad la zona donde debe buscarse la solución.

El proceso requiere entonces que, previamente al cálculo de la derivada, se verifique si  $W_{anterior} = W_{actual}$ . Cuando se presenta esa condición, el siguiente valor de  $P_2$  a ensayar se calcula de acuerdo con el algoritmo de búsqueda binaria, como el valor medio de la zona donde debe concentrarse la búsqueda. En todos los pasos, cualquiera que sea el método para calcular el siguiente valor de  $P_2$ , se corren los límites de la zona de búsqueda de acuerdo con el algoritmo de búsqueda binaria.

Para cada valor sucesivo de  $P_2$  a ensayar es necesario calcular la energía como la suma de las potencias correspondientes a todas las barras de la curva de demanda con el algoritmo descrito en la sección anterior.

El cálculo termina cuando la energía  $W$  así calculada y el valor dado de energía generable no difieren en más del valor especificado de tolerancia, o bien, en el caso de excedente hidro, cuando el último valor ensayado de  $P_2$  es cero y  $W < W$  generable.

Método de las tangentes (Newton-Raphson)

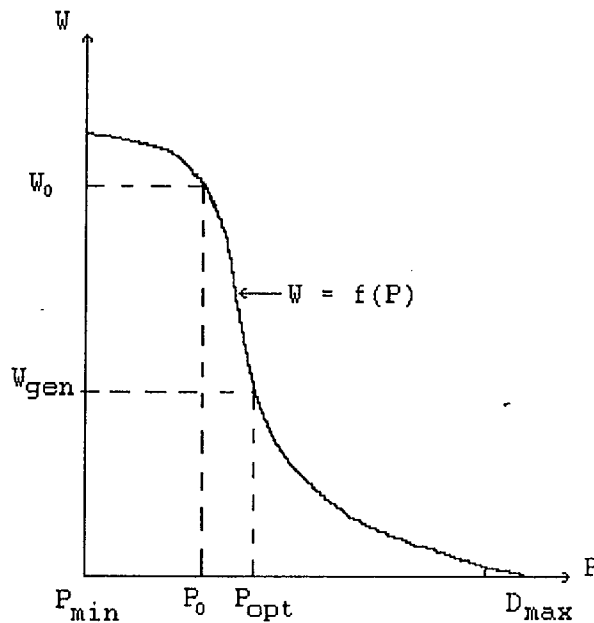


Figura 15

Dado el valor de energía generable,  $W_{gen}$ , se debe determinar

el correspondiente valor de  $P$ , es decir,  $P_{opt}$ . Si se contara con la expresión analítica  $f(P)$  de la curva, el problema consistiría en hallar la raíz de la ecuación:

$$F(P) = W_{gen} - f(p) = 0$$

Esa solución se puede hallar por aproximaciones sucesivas aplicando el método de las tangentes de Newton-Raphson. Hay que desarrollar  $F(P)$  en serie de Taylor hasta el término lineal en  $P$ :

$$F(P) = F(P_0) + f'(P_0) (P - P_0) = 0$$

donde  $P_0$  es un valor inicial adecuadamente escogido,

$$F(P) = W_{gen} - f(P_0) - f'(P_0) (P - P_0) = 0$$

Entonces

$$(P - P_0) = \frac{1}{f'(P_0)} (W_{gen} - W_0)$$

donde  $W_0 = f(P_0)$

$$(P - P_0) = -\frac{1}{f'(P_0)} (W_0 - W_{gen})$$

La derivada  $f'(P_0)$  se aproxima como

$$f'(P_0) = \frac{W_0 - W_{ant}}{P_0 - P_{ant}}$$

donde  $W_{ant}$  y  $P_{ant}$  son los valores correspondientes al ensayo anterior al último.

Resulta entonces que

$$P - P_0 = \frac{P_{ant} - P_0}{W_0 - W_{ant}} (W_0 - W_{gen})$$

y el nuevo valor a ensayar es

$$P = P_0 + \frac{P_{ant} - P_0}{W_0 - W_{ant}} (W_0 - W_{gen})$$

o, en términos de la notación del programa,

$$P_2 = P_2 + \Delta P$$

$$\text{con } \Delta P = \frac{P_{ant} - P_2}{W - W_{ant}} EXCESW$$

Evidentemente no se puede aplicar el método si para dos puntos sucesivos se obtiene el mismo valor de  $W$ , ya que entonces habría una división por cero. Por eso es necesario proveer un escape cuando se presenta esa situación, lo que se logra recurriendo al algoritmo de búsqueda binaria.

III. MANUAL DEL PROGRAMADOR

1. DEFINICION DE ARCHIVOS

Como es del conocimiento de todo programador o diseñador de sistemas, siempre es necesario tener un buen diseño de los registros que integran un archivo cualquiera, siendo primordial y de gran importancia traer a memoria en un solo acceso tantos datos como lo permita el buffer de I/O del sistema pues de ello depende lo rápido o lento de la realización del proceso; bajo estas circunstancias se deben evaluar cada uno de los factores que el usuario solicita en un requerimiento. Como es de suponer, no en todos los casos se pueden cumplir al 100% todas las especificaciones sino que es necesario sacrificar algunas de ellas, poniendo unas a más del 100% y otras menor al 100% de tal forma que siempre haya un equilibrio con lo especificado. Esto se logra jerarquizando y asignándoles prioridad para su implementación.

Ejemplo: Suponga que tiene 100 valores homogéneos almacenados en forma de columna de tal manera que ocupan 100 registros en el archivo. Si se desea acceder los 100 valores es necesario acceder el archivo un número de veces igual a la cantidad de valores registrados, provocando con esto retardos en la ejecución del proceso.

Por otro lado y con un buen diseño, este mismo caso se puede acelerar diseñando el archivo con un número menor de registros, pudiera ser 10 registros con 10 campos, 2 registros con 50 campos o 1 registro con 100 campos; aunque la disminución de tiempo no

es proporcional hay una reducción considerable en la ejecución del proceso.

Así como este ejemplo, hay muchos más debiéndose dar especial atención a la memoria en RAM, rapidez, espacio disponible en disco, velocidad de acceso al disco, procesador central e intérprete o compilador por mencionar algunos.

### 1.1 Archivo costos.bin

Este archivo contiene la información del precio internacional del petróleo importado por los países del Istmo en USD/barril, valor promedio del flete por transporte del petróleo hasta cada uno de los países, en USD/barril, valor promedio estimado de las pérdidas de transmisión en % aplicables a las transferencias internacionales de energía entre cada pareja de países, considerando la dirección de la transferencia, por último, el valor estimado del cargo total por peaje aplicable a transferencias de energía entre cada pareja de países en US MILS/KWh.

#### Area de MAPEO

	Campo	Byte	ele- mentos	total bytes
0	-----			
	Precio del crudo	4	1	4
1	-----			
	Costo del flete	4	1	4
	Pérdidas de Trans.	4	6	24
	Cargos de Peaje	4	6	24
	-----			

La definición 1 se repite seis veces por ser seis países.



1.2 Archivo dem1.bin

Las demandas horarias de 1987 están almacenadas en este archivo de acceso directo (random access file). Está dividido en seis bloques de 8,760 datos por registro para cada país, tomados en el orden geográfico, de Guatemala a Panamá. Cada campo del registro corresponde a un valor de demanda horaria.

La información se encuentra almacenada en forma binaria de acuerdo al área de mapeo mostrada a continuación:

Area de MAPEO

Campo	Bytes	elem- mentos	total bytes
0	-----	-----	-----
Demandas horarias	2	8760	17520
	-----	-----	-----

Este mapeo es por país, lo que indica que tendrá un total de 105,120 bytes y se puede acceder en forma seccionada o en forma total si su buffer de I/O lo permite.

1.3 Archivo catcen.bin

Este archivo es el que contiene la información característica de cada central y esta dividido en seis secciones, una por país en cada una de las cuales se le ha previsto espacio para treinta centrales identificando los registros libres con la descripción en el nombre de central

como "vacante" y en la variable Clase de centrales con -1.

Area de MAPEO

Campo	Bytes	elem- mentos	total bytes
País al que pertenece	2	1	2
Nombre de la central	21	1	21
Clase de central	2	1	2
Año de entrada en Oper.	2	1	2
Año de retiro de Oper.	2	1	2
Energía Generable E. S.	4	1	4
Energía Generable E. L.	4	1	4
Factor de Disponibilidad	2	1	2
Tipo de motor primario	2	1	2
Tipo de combustible	2	1	2
Potencia Máxima	4	1	4
Potencia Mínima	4	1	4
Rendimiento	4	1	4
Costo Unitario de Prod.	4	1	4

E.S. = Estación seca  
E.L. = Estación lluviosa

Cada país tiene espacio reservado para 30 centrales, por lo tanto existen 180 registros en el archivo.

1.4 Archivo factores.bin

El archivo factores esta dividido en seis secciones, una por país. Cada sección contiene diez valores, uno para cada año del periodo 1991 a 2000. Estos valores son el resultado de dividir la demanda de energía proyectada por el país del que se trate para el año respectivo entre la demanda de energía registrada en ese país en el año de 1987.

Area de MAPEO

Campo	Bytes	elem- mentos	total bytes
0	-----		
Factor de crecimiento	4	10	40
	-----		

El área de mapeo se repite seis veces, una por país lo que indica que el archivo contiene seis registros para dar un total de 240 bytes.

DESCRIPCION DE MODULOS

CalculaEnergia

proceso: Calcula la energía de la central despachada para un período considerado.

parámetros:

de entrada:

p[] Arreglo de demandas del sistema  
ht Horas del periodo de estudio  
pmax Potencia maxima de la central  
p1 Límite superior donde se coloca la central  
p2 Límite inferior donde se coloca la central.

regresa: La energía calculada en el período en una variable de punto flotante.

prototipo:

```
float    CalculaEnergia( p, ht, p1, p2 )  
float    p[];  
int      ht;  
float    p1,p2;
```

#### CalculaPGenerada

proceso: Calcula la potencia generada horaria en el período de estudio para la central

parámetros:

de entrada: Demanda, ht, LimiteUpper, limiteLow  
de salida: PGenerada, WGenerada

regresa: 0 cuando no cabe la central  
1 cuando si se coloca

prototipo:

```
CalculaPyWGenerada( Demanda, ht, LimiteUpper,
```

LimiteLow, PGenerada, WGenerada)

float	Demanda[];	Demanda del sistema
int	ht;	Horas del período
float	LimiteUpper,	Potencia máxima de la central
	LimiteLow,	Potencia mínima de la central
	PGenerada[],	Potencia despachada cada hora
	*WGenerada;	Energía generada en el período.

#### DisminuyeDemanda

proceso: Disminuye la demanda del sistema de acuerdo al arreglo de Potencia Generada.

parametros: Dem, Período, PGenerada  
de salida: Dem demanda modificada.

regresa: 0

prototipo:

DisminuyeDemanda( Dem, Período, PGenerada )

float	Dem[];	Demanda del sistema
int	Período;	Período de estudio
float	PGenerada[];	Potencia generada de la central

MaximoMinimo

proceso: Actualiza el valor mínimo y máximo de la demanda.

parámetros:

de entrada: Demax, DeMin, UperLevel, LowLevel

de salda: DeMax, DeMin modificados

regresa: 0

prototipo:

MaximoMinimo( DeMax, DeMin, UpperLevel, LowLevel )

float \*DeMax, Valor máximo d demanda  
\*DeMin, Valor mínimo d demanda  
UpperLevel, Límite Superior en la curva  
de duración de carga.  
LowLevel; Límite inferior en la curva de  
duración de carga.

ColocaLaCentral

proceso: Coloca las centrales contenidas en la lista de Centrales en la curva de duración de carga utilizando el método de Newton Rhapsion y si no converge en n iteraciones utiliza el método de Binary Searh.

parámetros:

de entrada: p, ht, Centrale, Tipp

de salida: PGen

regresa: 0

prototipo:

```
ColocaLaCentral(p, ht, Centrale, Tipp, PGen )
float    p[];           Demandas del sistema
int      ht;           Período de estudio
DATA_GEN Centrale[];   Arreglo de centrales
int      Tipp[];       Número de centrales de cada
                        tipo.
VECTOR   PGen[];       Estructura para potencias
                        generadas
```

### SwapGeneracion

proceso: Asigna la generación de la central a la estructura de salida.

parametros:

de entrada: Generación, ht  
de salida: ResultadosGrales

regresa: 0

prototipo:

```
SwapGeneracion( ResultadosGrales, Generacion, ht)
```

```
VECTOR *ResultadosGrales;   Structura con 168
                             valores de generación.

float   Generacion[];       GGeneración horaria
                             despachada.
```

int ht; Horas del período.

entda

proceso: Hace la captura de información

parámetros:

de entrada: xC, yR, Tipo, Prompt, Dfl, Longitud, UpL

de salida: Dato

regresa: 0

prototipo:

entda( xC, yR, Tipo, Prompt, Dfl, Longitud, Dato, UpL)

```

int xC, Número de Columna
    yR, Número de renglon
    Tipo; Tipo de dato a leer
        (-1=string,0=entero,1=real)
char *Prompt, Descripción de solicitud
    *Dfl; dato para en caso de teclear return
int Longitud; Número de caracteres a leer
DATOS *Dato; Structura en la cual regresa los
    datos: string, entero ó real.
int UpL; 0 = minúsculas, 1 = mayúsculas
    
```

especifs

proceso: Pide los datos interactivos que se requieren para la simulacion del despacho.



parámetros:

de entrada: Ninguno

de salida: year, sem, e1, der, SisTe

regresa: El número de sistemas que intervienen en la simulación.

prototipo:

```
especifs( year, sem, e1, der, SisTe)
int *year,    año de estudio
    *sem,     numero de semana
    *e1,     indica 0=seca 1 = ll
    der[],   sistemas derramando
    SisTe[]; arreglo de sistemas
```

### MenusGrales

proceso: Despliega una lista de opciones para elegir ninguna o varias de ellas regresando en un arreglo de enteros las posiciones de las opciones elegidas.

parametros:

entrada:

x1, y1, Coordenadas donde inicia el desplegado del menú.

\*Head Encabezado del menú.

\*Menus[] Arreglo que contiene la descripción de las opciones del menú.

Nut            Número total de opciones.

regresa:      Número de opciones seleccionadas.

prototipo:

```
MenusGrales( int x1, int y1, char *Head, char
              Menus[], int NuT, int Noptions, int
              opciones[] )
```

getkey

proceso: Lee un caracter del teclado regresando el código correspondiente a la tecla presionada.

parámetros: Ninguno.

regresa: El código del caracter presionado.

prototipo:

```
int getkey(void)
```

SetWindow

proceso: Genera una ventana en las coordenadas y con los colores especificados.

parámetros:

de entrada:

x1           Columna de la esquina superior izquierda.  
y1           Ren glón de la esquina superior izquierda.  
x2           Columna de la esquina inferior derecha.  
y2           Ren glón de la esquina inferior derecha.  
fcolor       Color de los caracteres.  
bcolor       Color del fondo.  
txt          Título de la ventana.

de salida:   Ninguno.

regresa:     0

prototipo:

```
SetWindow( int x1, int y1, int x2, int y2, int fcolor,  
          int bcolor, char *txt)
```

linh

proceso:     Dibuja una línea horizontal

parámetros:

de entrada:

x, y,        Coordenadas donde inicia la línea.  
nc           Longitud de la línea.  
text         Caracter ASCII para definir la línea.

regresa:     0

prototipo:

```
linh( int x, int y, int nc, int text )
```

linv

proceso: Dibuja una línea vertical.

parámetros:

de entrada:

x, y,	Coordenadas donde inicia la línea.
nc	Longitud de la línea.
text	Caracter ASCII para definir la línea.

regresa: 0

prototipo:

```
linv( int x, int y, int nc, int text )
```

tnou

proceso: Despliega un texto en las coordenadas indicadas.

parámetros:

de entrada:

x, y,	Coordenadas donde se pondrá el texto.
T_text	Texto a desplegar.

de salida: ninguno.

regresa: 0

prototipo:

```
tnou( x, y, t_text )
    int x, y;      coordenadas de la ventana.
    char *t_text; apuntador al texto.
```

tnoua

proceso: Despliega un texto en las coordenadas indicadas  
agregandole el cr lf

parámetros:

de entrada:

```
x, y,      coordenadas donde se pondrá el texto.
T_text     texto a desplegar.
```

de salida: ninguno.

regresa: 0

prototipo:

```
tnoua( x, y, t_text )
    int x, y;      coordenadas de la ventana.
    char *t_text; apuntador al texto.
```

WindowStatus

proceso: Escribe una línea en la ventana de estados.

parametros: una línea indicando el error.

regresa: 0

prototipo:

```
WindowStatus( ErrorLine )  
char *ErrorLine;
```

### Rect1

proceso: Dibuja un rectángulo de caracteres gráficos de doble línea.

parámetros:

de entrada:

x1, y1      coordenadas de la esquina superior  
                                 izquierda.

largo,

ancho      largo y ancho del rectangulo.

regresa: 0

prototipo:

```
Rect1( int x1, int y1, int Largo, int Ancho )
```

### BinarySearch

proceso: Coloca óptimamente la energía de la central en la curva de duración de carga, calculando la energía

## MANUAL DEL PROGRAMADOR

asociada a las ordenadas p1, p2.

parametros:

de entrada:

p, ht, demin, demax, pmax, pmin, wmax

de salida:

p1, p2

regresa: 1 si la central se colocó.  
-1 si no converge en n iteraciones.  
2 la central no se pudo colocar por tener excedentes.

prototipo:

```
BinarySearch( p, ht, demin, demax, pmax, pmin, wmax, p1,  
              p2 )
```

```
float p[];    demandas del país considerado  
int ht;      horas del período  
float demin,  demanda mínima de la cdc  
          demax,  demanda máxima de la cdc  
          pmax,   potencia máxima de operación  
          pmin,   potencia mínima de operación  
          wmax,   energia máxima de la central a colocar  
          *p1,    Límite superior en la cdc  
          *p2;    Límite inferior en la cdc
```

NewtonRaphson

proceso: Hace la colocación de una energía en la curva de

duración de carga por el método de Newton Raphson.

parámetros:

de entrada:

p, ht, demin, demax, pmax, pmin, wmax

de salida:

p1, p2

regresa: 1 si la central se colocó.  
-1 si no converge en n iteraciones.  
2 la central no se pudo colocar por tener excedentes.

prototipo:

```
NewtonRaphson( p, ht, demin, demax, pmax, wmax, p1,  
               p2 )
```

float	p[];	demandas del país considerado.
int	ht;	horas del período.
float	demin,	demanda mínima de la cdc.
	demax,	demanda máxima de la cdc,
	pmax,	potencia máxima de operación.
	wmax,	energía máxima de la central a colocar.
	*p1,	nivel máximo en que se coloca la central.
	*p2;	nivel mínimo en que se coloca la central.

Plantas



proceso: Lee del catálogo de centrales todas aquellas que correspondan al año de estudio, las plantas regresan ordenadas de acuerdo al tipo de central de acuerdo al criterio de ordenamiento, es decir si ordeno por el factor de planta, todas la centrales de tipo n se ordenan de menor a mayor factor.

parámetros

de entrada: fp\_pl, Sist, ns, year, ht, Derr

de salida: Centrale, Tipoo

regresa: La función regresa el número de centrales activas en el año de seleccionado.

prototipo:

Plantas( fp\_pl, Sist, ns, Centrale, year, Tipoo, ht, derr)

FILE	*fp_pl;	decriptor de archiv de plantas
int	Sist[];	arreglo de numerod de sistema
int	ns;	Numero de sistemas en el arreglo sist
DATA_GEN	Centrale[];	arreglo de estructura de trabajo
int	year;	año del estudio
int	Tipoo[];	regresa cuantas centrales hay de cada tipo.
int	ht,	horas del período de estudio.
	derr[];	arreglo de países con derrame.

GetCentralesActivas

## MANUAL DEL PROGRAMADOR

proceso: Lee del catálogo las centrales que pertenecen al año de estudio y al sistema sist.

parametros:

de entrada: canal, sist, apunt, year, ht, der  
de salida: Centrales, apunt

regresa: el número de centrales pertenecientes al año de estudio.

prototipo:

```
GetCentralesActivas( canal, sist, Centrales,
                    apunt, year, ht, der )
FILE *canal; descriptor de archivo de plantas.
int sist; numero del sistema deseado.
DATA_GEN Centrales[]; arreglo para almacenar todas
                    las centrales del sistema
                    deseado.
int *apunt; indica la primera posición libre
           en el arreglo centrales[].
int year; año deseado.
int ht, horas del período.
der; derrame = 1 otro no derrame.
```

### GetCentral

proceso: Trae una central del archivo catpla en una estructura con todos los datos del registro.

parametros:

de entrada: canal, sist, regis

de salida: list

regresa: el stado de la lectura al archivo.

prototipo:

```
GetCentral( canal, sist, regis, list )  
FILE *canal; apuntador al archivo de demandas.  
int sist, numero del sistema de 1 a 6.  
regis; numero del registro solicitado.  
CENTRAL *list; regresa las demandas horarias.
```

### KeyCriterio

proceso: Compara dos estructuras de tipo DATA\_GEN para ser utilizada en la fucion qsort(). el ordenamiento es de acuerdo al Criterio.

parametros:

de entrada: \*p, \*q apuntadores a la estructura  
DATA\_GEN  
de salida \*p, \*q

regresa: 0 cuando las estructuras son iguales  
-1 cuando p < q  
1 cuando p > q

prototipo:

```
KeyCriterio( DATA_GEN *p, DATA_GEN *q)
```

### KeyTipoCentral

proceso: Comparación para hacer el ordenamiento tomando como llave el tipo de generacion

parametros:

de entrada: \*p apuntador al tipo de central (i-1)  
              \*q apuntador al tipo de central (i-2)

de salida: los mismos.

regresa: 1, 0, -1 dependiendo si  $p > q$   $p = q$   $p < q$

se utiliza en la función qsort()

prototipo:

KeyTipoCentral( DATA\_GEN \*p, DATA\_GEN p)

### SwapStruct

proceso: Asigna los valores necesarios a la estructura de trabajo

parametros:

de entrada: Central, dir, sistema  
de salida  Centrale

regresa: 0

prototipo:

SwapStruct( Central, Centrale, dir, sistema, ht, der )

CENTRAL	*Central;	apuntador a los datos de central
DATA_GEN	*Centrale;	apuntador a los datos de trabajo
int	dir;	direccion que ocupa en catalogo
int	sistema;	sistema al que pertenece
int	ht;	horas del período de estudio
int	der;	1 derrame en el sistema

### PlantasU

proceso: Lee del catálogo de centrales todas aquellas que correspondan al año de estudio, las plantas regresan ordenadas de acuerdo al tipo de central y de acuerdo al criterio de ordenamiento, es decir si ordeno por el factor de planta, todas la cntrales de tipo n se ordenan de menor a mayor factor.

#### parametros

de entrada: fp\_pl, Sist, year, ht, Derr  
de salida: Centrale, Tipoo

regresa: La función regresa el número de centrales activas

#### prototipo:

PlantasU(fp\_pl, Sist, Centrale, year, Tipoo, ht, Derr)

FILE	*fp_pl;	decriptor de archiv de plantas
int	Sist;	número de sistema (0,1,2, 3, 4, 5)
DATA_GEN	Centrale[];	arreglo de estructura de trabajo
int	year;	año del estudio
int	Tipoo[];	regresa cuantas centrales hay de

		cada tipo
int	ht,	horas del período de estudio
	Derr;	1 indica sistema con derrame 0 sistema sin derrame

### Factor

proceso: Lee el factor del año n para el sistema indicado el archivo correspondiente debe estar abierto cuando esta fuera del rango permitido (YEAR\_I, YEAR\_S) regresa un cero (0) o el factor en su defecto.

parámetros:

de entrada: canal, sistema, year

de salida: ninguno

regresa: el factor correspondiente al año de estudio

prototipo:

float Factor( canal, sistema, year )

FILE \*canal; descriptor de archivo

int sistema, número del sistema deseado

year; año deseado

### GetDemanda

proceso: Lee n datos de demandas horaria para el registro

y sistema indicados. Este módulo es de propósito general, ya que el archivo contiene 8760 horas de demanda para cada sistema, n\_datos funge como la longitud del registro, es decir si quiero dividir las 8760 entre 24 me quedan 365 registros de 24 datos de damanda, si quiero que los registros sean de 12, 48, 168, 744, 1 datos el numero de registros sera 8760/12, 8760/48, 8760/168, 8760/744 y 8760/1 respectivamente.

parámetros:

de entrada: canal, sistema, registro, n\_datos  
de salida: list

regresa: 0

prototipo:

get\_demandas( canal, sistema, registro, n\_datos, list )

FILE	*canal;	apuntador al archivo de demandas
int	sistema,	número del sistema de 1 a 6
	registro,	número del registro solicitado
	n_datos,	número de datos a leer del archivo
	list[];	regresa las demandas horarias

### OpenFile

proceso: Abre un archivo cualquiera de acuerdo al modo mode y de acuerdo a las reglas de turbo c++ para el acceso de archivos.

## MANUAL DEL PROGRAMADOR

parámetros: file, mode

regresa: un apuntador de tipo FILE.

prototipo:

```
FILE *open_file( file, mode )
```

```
char *file,    nombre del archivo  
      *mode;   modo de apertura
```

### pronostico

proceso: Determina la demanda estimada para un período considerado y es la multiplicación de un factor de crecimiento por la demanda histórica de 1987.

parámetros:

```
de entrada: list, ht, factor  
de salida:  forec
```

regresa: 0

prototipo:

```
pronostico( list, ht, factor, forec )
```

```
int list[],    Arreglo de demandas para el sistema n  
              ht;    Período de estudio  
float factor;  factor por el que se afecta la demanda en el
```



MANUAL DEL PROGRAMADOR

```
    año  
int  forec[]; pronóstico de demanda para el año de estudio
```

Area de MAPEO		pronostico . . . . .	III-26
Archivo catcen.bin	III-4	Rect1 . . . . .	III-16
Archivo Costos.bin	III-2	SetWindow . . . . .	III-12
A r c h i v o		SwapGeneracion . . . . .	III-9
factores.bin	III-5	SwapStruct . . . . .	III-22
Area de MAPEO.		tnou . . . . .	III-14
Archivo dem1.bin .	III-3	tnoua . . . . .	III-15
Binary search . . . . .	II-39	WindowState . . . . .	III-15
Búsqueda binaria . . . . .	II-39	Funciones	
Funció		CalculaPGenerada . . . . .	III-6
OpenFile . . . . .	III-25	DisminuyeDemanda . . . . .	III-7
Función		MaximoMinimo . . . . .	III-8
BinarySearch . . . . .	III-16	Método de las tangentes	
CalculaEnergia . . . . .	III-5	(Newton-Raphson	
CalculaPGenerada . . . . .	III-6	) . . . . .	II-40
ColocaLaCentral . . . . .	III-8	Newton-Raphson . . . . .	II-39
costos . . . . .	III-24	SOSEICA . . . . .	I-1
DisminuyeDemanda . . . . .	III-7		
entda . . . . .	III-10		
especifs . . . . .	III-10		
Factor . . . . .	III-24		
GetCentral . . . . .	III-20		
GetCentralesActivas	III-19		
GetDemanda . . . . .	III-24		
getKey . . . . .	III-12		
KeyCriterio . . . . .	III-21		
KeyTipoCentral . . . . .	III-22		
linh . . . . .	III-13		
linv . . . . .	III-14		
MaximoMinimo . . . . .	III-8		
MenusGrales . . . . .	III-11		
NewtonRaphson . . . . .	III-17		
OpenFile . . . . .	III-25		
Plantas . . . . .	III-18		
PlantasU . . . . .	III-23		