

T
621.312134
M152



BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica

"Coordinación Hidrotérmica Usando
Multiplicadores de Lagrange"

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización:

P O T E N C I A

Presentada Por:

Jaime Enrique Macías Romero



Guayaquil - Ecuador

1988

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. JORGE FLORES MACIAS,
Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración para
la realización de este traba
bajo.

D E D I C A T O R I A

- A MIS PADRES
- A MI ESPOSA
- A MI HIJO

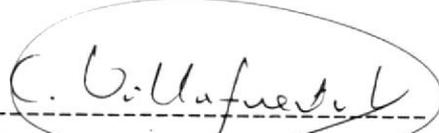
DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



JAIME ENRIQUE MACIAS ROMERO



ING. CARLOS VILLAFUERTE
SUB-DECANO DE LA FACULTAD



ING. JORGE FLORES M.
DIRECTOR DE TESIS



ING. EDUARDO LEON CASTRO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. LEO SALOMON
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

R E S U M E N

En la presente tesis se expone básicamente el despacho económico de un sistema hidrotérmico mediante la técnica de los multiplicadores de Lagrange, los cuales mejoran el funcionamiento del sistema desde el punto de vista económico y también en lo que tiene que ver con las pérdidas del sistema.

En el Capítulo I, se dan breves definiciones de las unidades que constituyen un sistema eléctrico de potencia, como clasificaciones de las unidades hidro y térmicas, así como también de los diversos factores de servicio de las unidades.

En el Capítulo II, se enuncian las características entrada - salida de las unidades de generación tanto térmicas como hidráulicas, así como también la repartición de carga de acuerdo a las características propias de las diversas unidades.

En el Capítulo III, se presenta la formulación del problema

ma de despacho económico de un sistema hidrotérmico como un problema de optimización y se describe brevemente algunos métodos disponibles para resolver el problema.

En el Capítulo IV, se presenta un método para planificar el despacho económico óptimo a corto plazo, considerando los efectos de pérdidas de transmisión, la técnica usada es una extensión de la formulación del método de Lagrange y se plantean las ecuaciones de coordinación.

Finalmente se aplica el método de multiplicadores de Lagrange en el despacho económico de un sistema hidrotérmico sin considerar las pérdidas, también se incluye la estructura del programa principal y de la subrutina - principal y como Apéndice tenemos el Manual del Usuario.



INDICE GENERAL

BIBLIOTECA

Pág.

RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XII
INTRODUCCION -----	XV
CAPITULO I	
GENERALIDADES -----	17
1.1. UNIDADES CONSTITUTIVAS DE UN SISTEMA DE POTENCIA -----	19
1.1.1. Generalidades de una Central Térmica ----	21
1.1.2. Generalidades de una Central Hidráulica	23
1.2. CLASIFICACION DE LAS CENTRALES HIDRAULICAS Y TERMICAS -----	29
1.2.1. Centrales Hidráulicas -----	29
1.2.2. Centrales Térmicas -----	35
1.3. INFLUENCIA DE LA VARIACION DE CONSUMO SOBRE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS -----	40
1.3.1. Factor de Carga -----	41
1.3.2. Factor de Utilización -----	43
1.3.3. Factor de Reserva -----	44
1.4. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE UTILIZACION SOBRE EL PRECIO DEL KWH -----	47

CAPITULO II

CARACTERISTICAS Y REPARTO DE CARGA EN LAS CENTRALES ELECTRICAS -----	52
2.1. CURVAS ENTRADA - SALIDA DE LAS CENTRALES ELECTRICAS	52
2.2. REPARTICION GENERAL DE CARGA -----	59
2.3. REPARTICION DE CARGA DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS PROPIAS DE LAS DIVERSAS CENTRALES -----	65
2.3.1. Centrales Hidroeléctricas -----	65
2.3.2. Centrales Térmicas -----	65
2.4. REPARTICION DE LA POTENCIA HORARIA ENTRE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS REGULABLES -----	67
2.5. REPARTICION DE LA POTENCIA HORARIA ENTRE LAS CENTRALES TERMICAS -----	69

CAPITULO III

METODOS APLICADOS A LA COORDINACION HIDROTERMICA -----	79
3.1. OBJETIVO DE LA COORDINACION HIDROTERMICA -----	80
3.2. METODO DE LOS MULTIPLICADORES DE LAGRANGE -----	83
3.2.1. Condiciones de Kunh - Tucker -----	86
3.3. METODO DE LA PROGRAMACION DINAMICA -----	94
3.3.1. Objetivo de la Programación Dinámica -----	94
3.3.2. Características de los problemas de Programación Dinámica. -----	95



	<u>Pág.</u>
3.3.3. Solución al problema de despacho hidro térnico por Programación Dinámica -----	100
3.4. METODO DE LA PROGRAMACION LINEAL -----	105
3.4.1. Objetivo de la Programación Lineal ----	105
3.4.2. Característica y estructura de la Pro - gramación Lineal -----	106
3.4.3. Método Simplex -----	108
 CAPITULO IV	
RESOLUCION MATEMATICA DEL PROBLEMA -----	112
4.1. ECUACIONES DE COORDINACION - FACTOR DE PENALI- ZACION Y PERDIDAS INEXISTENTES -----	112
4.2. CONSIDERACIONES DEL METODO SIN PERDIDAS EN LI- NEAS DE TRANSMISION -----	115
4.3. PERDIDAS DE TRANSMISION -----	119
4.3.1. Determinación de la Fórmula de Pérdi- das -----	119
4.3.2. Consideración del método con pérdidas - en línea de transmisión -----	123
 CAPITULO V	
PROGRAMA DE COMPUTACION -----	126
5.1. PROGRAMA DESOPT -----	126
5.1.1. Objetivo -----	126

	<u>Pág.</u>
5.1.2. Generalidades -----	126
5.1.3. Diagrama de Flujo de la Subrutina Gauss	132
5.2. DESCRIPCION DE LOS ALGORITMOS Y VARIABLES UTILIZABLES -----	132
5.2.1. Algoritmo de Gauss - Jordán -----	133
5.2.2. Algoritmo de Newton - Raphson -----	134
5.2.3. Variables utilizadas en el programa principal	136
5.3. LECTURA DE DATOS	139
5.3.1. Ajuste de Lambda -----	140
5.3.2. Ajuste de Gamma -----	141
5.4. EJERCICIOS DE APLICACION DEL PROGRAMA A UN SISTEMA DE POTENCIA -----	142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	158
APENDICES -----	161
BIBLIOGRAFIA -----	197

INDICE DE FIGURAS

No.		<u>Pág.</u>
CAPITULO I		
1.1.	INSTALACION DE UNA CENTRAL TERMICA DE CON DENSACION -----	22
1.2.	PERFIL LONGITUDINAL DE UN SALTO CON TUBE- RIA FORZADA -----	25
1.3.	REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA CENTRAL DE CAUDAL LIBRE-----	30
1.4.	REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA CENTRAL EMBALSE -----	31
1.5.	REPRESENTACION ESQUEMATICA CON CAMARA DE CARGA-----	32
1.6.	CENTRAL DE ACUMULACION -----	34
1.7.	CENTRAL TERMICA DE VAPOR -----	36
1.8.	CENTRAL TERMICA A GAS -----	37
1.9.	CENTRAL A DIESEL -----	39
1.10.	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA -----	39
1.11.	CONSUMO DE CARGA DURANTE EL TIEMPO T_0 ---	41
1.12.	MAGNITUDES DE P_{med} , P_{max} Y $P_{inst.}$ - -	46

XIII

No.		<u>pág.</u>
CAPITULO II		
2.1.	DIAGRAMA DE UNA CENTRAL ELECTRICA -----	52
2.2.	COSTO DE GENERACION DE UNA CIERTA POTENCIA - POR HORA -----	53
2.3.	RAZON NETA DE CALOR -----	54
2.4.	CARACTERISTICAS DE COSTO INCREMENTAL -----	56
2.5.	CARACTERISTICAS DE UNA UNIDAD TERMICA -----	57
2.6.	CURVA ENTRADA-SALIDA DE UNA UNIDAD HIDRAULI CA -----	58
2.7.a.	CURVAS ENTRADA - SALIDA - UNIDADES HIDRO -	58
2.7.b.	CURVAS INCREMENTALES UNIDADES HIDRO -----	58
2.8.	REPARTICION DE RECURSOS ENERGETICOS -----	60
2.8.a.	CURVA DE CONSUMOS ESPECIFICOS DE UNA CENTRAL TERMICA -----	70
2.9.	CURVA DE LOS CONSUMOS POR HORA PARA UNA UNI- DAD TERMICA GENERICA -----	71
2.10.	CONSUMO INCREMENTAL DEL GRUPO TERMICO -----	72
2.11.	CURVAS DE CONSUMOS Y CONSUMOS INCREMENTALES DE UN EJEMPLO DIDACTICO -----	74
2.12.	VARIACION DE LOS CONSUMOS ENTRE LAS UNIDADES QUE CONSIDERAMOS -----	76
CAPITULO III		
3.1.	SISTEMA DE CAMINOS PARA EL PROBLEMA DE LA -- PROGRAMACION DINAMICA -----	96
3.2.	DISTANCIA MINIMA PARA EL MEJOR CAMINO -----	96
3.3.	SISTEMA DE GENERACION HIDROTERMICA -----	101

XIV

No.		<u>Págs</u>
3.4.	ESTADOS DE VOLUMENES DE LA PROGRAMACION DINAMICA -----	104
3.5.	TABLA PARA APLICAR EL METODO SIMPLEX --	105
CAPITULO IV		
4.1.	SISTEMA HIDROTERMICO -----	113
4.2.	DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROCESO SIN PERDIDAS	117
4.3.	DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROCESO CON PERDIDAS	125
CAPITULO V		
5.1.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL	127
5.2.	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA GAUSS	132
5.3.	SISTEMA DE GENERACION TERMICA -----	143
5.4.	SISTEMA DE GENERACION HIDROTERMICA-----	150

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

El presente trabajo pretende proporcionar una herramienta analítica para desarrollar un programa para despacho económico por medio de los multiplicadores de Lagrange, aplicado a sistemas hidrotérmicos.

Para ello se enuncian las características de las unidades de generación tanto térmicas como hidráulicas para su posterior aplicación en el despacho económico. El modelo del sistema debe permitir obtener una adecuada operación con miras a contestar el problema del despacho económico de carga que es el de encontrar el costo mínimo de generación, dadas las cargas y la red de transmisión y sujeto a restricciones como la capacidad de generación y los límites de generación reactiva.

Obviamente, la cantidad de variables y restricciones que representan un sistema para una adecuada simulación, supone la utilización de un programa de computación que manipule gran cantidad de variables y un volumen apreciable de datos; además, que sea muy eficiente en relación a tiempos de solución y almacena-

mientos de datos. Los métodos de programación matemática generalmente empleados para la solución de este problema son:

- a. Técnicas de programación lineal
- b. Técnicas de programación dinámica
- c. Técnica de los multiplicadores de Lagrange.

De los tres métodos se pondrá mayor énfasis en este último. Luego se analizarán las características a una coordinación de unidades térmicas e hidráulicas, observándose las diferencias con relación a la coordinación de unidades térmicas únicamente.

Como resultado de todo esto, se desarrolla un programa para despacho económico de unidades termo-hidráulicas y de ser posible aplicarlo al sistema interconectado.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

El sistema eléctrico ecuatoriano constituye en la actualidad un sistema interconectado, haciendo que los modelos matemáticos sean una herramienta indispensable en el despacho económico de operación.

El objetivo del despacho económico de un sistema constituido por unidades hidráulicas y térmicas puede resumirse en los siguientes puntos:

- a. Atender la demanda al menor costo posible. Esto es, minimizar los gastos de combustible, debido a que este es el componente básico del costo variable de operación.
- b. Maximizar la eficiencia de las centrales hidráulicas, controlando el vertimiento, de manera que se pueda satisfacer la demanda en el período actual y mantener un almacenamiento de agua en los reservorios del sistema, para satisfacer la deman-

da en los períodos futuros.

El desarrollo de fuentes de energía para ejecutar trabajos útiles es la clave del progreso industrial y esencial para el mejoramiento continuo del nivel de vida de un país.

De allí que el nivel de desarrollo de un país puede ser medido - a partir de su desarrollo eléctrico, y es por esta razón que en el Ecuador no fue sino hasta que empezó la explotación petrolera que se incrementó notablemente la generación eléctrica y se crearon organismos y programas con la finalidad de electrificar al país.

La política a nivel mundial es la de producir energía eléctrica utilizando al máximo los recursos renovables debido a dos hechos fundamentales, el primero que se refiere al incremento del costo del petróleo en el mercado mundial, que trae como consecuencia altos costos de generación de energía térmica y por otro lado la segunda circunstancia es la del cercano agotamiento del petróleo por ser la fuente de energía de mayor uso en el mundo actual.

Lo anterior exige un conocimiento cabal de los recursos hidroeléctricos que tenemos en nuestro país, ya que con el aumento de divisas fue factible; entonces, pensar en obras de grandes

envergaduras y fuerte inversión, con ganancias (resultados) a largo plazo, como son las Centrales Hidráulicas.

Es por tanto, en este decenio de 1.980 - 1.990, que en nuestro país, la mayoría de estas obras entrarían en operación exigiendo en consecuencia, un método de planificación de su funcionamiento que optimice la programación económica de estas Centrales Hidrotérmicas.

1.1. UNIDADES CONSTITUTIVAS DE UN SISTEMA DE POTENCIA

Un sistema de potencia, es un elemento que convierte y transporta energía y se compone de tres partes principales: las Centrales generadoras, las líneas de transmisión y las redes de distribución.

Las Centrales Eléctricas son instalaciones energéticas que sirven para transformar la energía natural en energía eléctrica. El tipo de central eléctrica se determina ante todo por la especie de energía natural. Estas centrales están constituidas por las máquinas motrices (turbinas), generadores, sistema de control, comando y protección, que todos en conjunto sirven para producir energía eléctrica.

Las líneas de transmisión constituyen los eslabones de conexión entre las centrales generadoras y las redes de distri-

bución y conducen a otros sistemas por medio de interconexiones.

Las redes de distribución conectan las cargas aisladas que pueden ser residencial, industrial, comercial de una zona determinada con las líneas de transmisión.

Ahora no siempre es necesario ni conveniente, el que cada región haya de poseer su propia central de energía eléctrica. Más bien lo razonable es construir centrales en aquellos lugares - que reúnan óptimas condiciones para ello.

La energía eléctrica en lo esencial se genera en centrales térmicas y en hidráulicas; así se atribuye especial valor tratándose de una central térmica, a que existan las más favorables condiciones posibles para transporte de combustible y grandes disponibilidades de agua para la condensación del vapor.

De igual manera, si se dispone de una central hidráulica, ésta debe establecerse imprescindiblemente allí donde el aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas sea más ventajoso.

En todo caso se construyen centrales que trabajen con el máximo de economía, uniendo éstas entre sí y hacer el tendido de estas líneas de tal modo que el suministro interurbano o regional no requiera centrales especiales.

1.1.1. Generalidades de una central térmica

Estas centrales utilizan la energía térmica que se libera al quemar combustible como carbón, petróleo, gas y otros para producir energía eléctrica. El calor engendrado por la combustión se transfiere al medio operador sea vapor, aire caliente o gas refrigerado, cuando la combustión no se ejerce directamente sobre el mismo medio de trabajo, como ocurre en el proceso abierto de las turbinas de gas.

El costo de instalación de estas centrales no se da de un modo general, sino que ha de calcularse en las distintas circunstancias que se presenten; lo que si requieren es de alto costo de operación y mantenimiento.

Ahora dentro de las centrales térmicas las más importantes son sin duda alguna, las centrales a vapor que utilizan como medio de trabajo, circulación de agua o de vapor de agua.

Los elementos que intervienen en una central a vapor son: caldera, turbina, generador, condensador, pre-calentador, y bombas de alimentación.

En la figura N° 1.1, se dan los elementos característici

cos de esta instalación y corresponde a la llamada Central de Condensación.

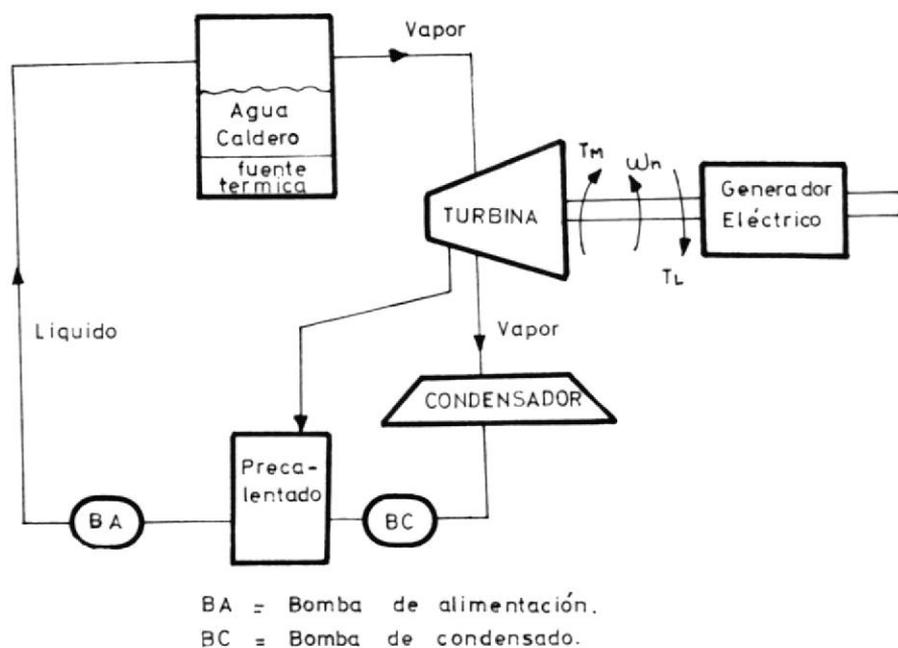


FIGURA N°1.1. INSTALACION DE UNA CENTRAL TERMICA DE CONDENSACION

En este tipo de centrales se producen varias conversiones de energía, las cuales se producen en los diferentes elementos:

La caldera es un recipiente herméticamente cerrado, en el cual el agua se transforma en vapor debido al calor -cedido por la fuente térmica o combustible, este vapor es producido a altas presiones y alta temperatura.

En la turbina a vapor, la energía potencial del vapor se transforma en energía mecánica, que impulsa a un generador, aquí esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica; estos generadores son de alta velocidad y las tensiones de éstos son generalmente de 13.8 KV, 20 KV y llegan hasta 25 KV en aquellas centrales de gran capacidad.

El condensador sirve para aumentar el rendimiento en el ciclo de la central y hace que el vapor regrese en forma de líquido a la caldera. Entre las bombas de alimentación tenemos la de condensado y de circulación que son sistemas auxiliares del condensador.

Los tipos de turbina que se usan en estas centrales dependen de la dirección de la corriente de vapor con respecto al eje de la turbina; distinguiremos turbinas axiales y radiales.

1.1.2. Generalidades de una central hidráulica

Una central hidráulica o hidroeléctrica es una instalación donde se utiliza la energía hidráulica disponible en los saltos de agua para generar energía eléctrica - por medio de uno o más grupos turbina-generador. Una

instalación de esta índole es mucho más cara en sí que una Central Térmica, porque requiere de grandes gastos básicos en las obras hidrotécnicas, pero pequeños gastos de explotación; de aquí que sólo se explotan esas fuerzas hidráulicas en aquellos lugares de situación muy favorable, donde pueda contarse con moderados gastos de instalación.

El aprovechamiento de los saltos de agua tiene lugar, no por la velocidad de ésta, sino por la presión que puede obtenerse conduciéndola a un punto elevado en relación con la altura de la toma de agua, y desde donde desciende para obtener en su caída el trabajo aprovechable.

Este aprovechamiento puede obtenerse, según las circunstancias del terreno:

- a. Por instalaciones en el propio cauce del río.
- b. Por instalación en un canal especial
- c. Por canales y tuberías.

A continuación se expondrán los elementos de que consta un aprovechamiento hidráulico, cuya disposición es la siguiente: presa, embalse, canal de derivación, chimenea, tubería de presión, tubería de aspiración, casa de

máquinas (turbinas - generador) y tubería de desagüe; cuyo esquema se observa claramente en la figura N° 1.2.

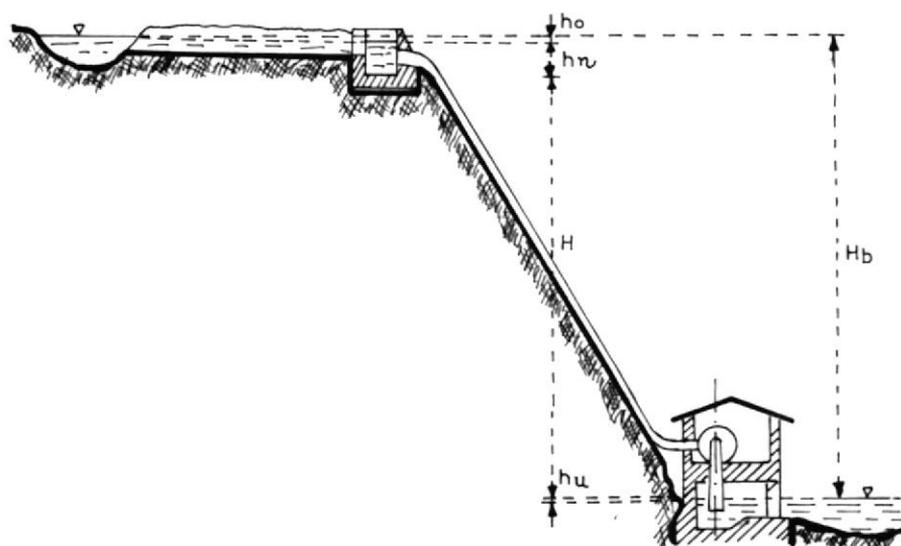


FIGURA N° 1.2. PERFIL LONGITUDINAL DE UN SALTO CON TUBERIA FORZADA

La manera de utilizar mejor la potencia teórica del Salto de agua, es aprovechando la altura del recurso, para así evitar toda pérdida inútil de energía.

Para determinar la altura neta del salto de agua, hay que considerar la cota máxima y la cota mínima del recurso ,

además las pérdidas de altura que se tiene en los diferentes elementos que conforman la obra hidráulica.

Por tanto la altura neta H_n

$$H_n = H_b - (h_o + h_u + h_w)$$

en donde:

H_b : altura bruta o total

H_o : pérdida de altura en el canal de conducción.

H_u : pérdida de altura en el canal de desagüe

H_w : pérdida de altura por rozamiento del agua en la tubería.

La altura bruta H_b debe medirse por medio de una nivelación, obteniéndolo como diferencia de cotas entre el nivel de agua embalsada por la presa y el nivel del río en el extremo de la concesión.

Simultáneamente con esta nivelación debe emprenderse la determinación del caudal disponible por segundo.

Luego la potencia teórica del recurso viene dada por:

$$P_t = Q \cdot H_b \cdot 9,81 \text{ (Kw)}$$

Donde:

Q : caudal en m³/s.

H_b : altura bruta en metros

9,81: factor de conversión

Para determinar la potencia neta, utilizamos la altura -
neta:

$$P_n = 9,81 \cdot H_n \cdot Q$$

Luego, si disponemos de un caudal de agua Q (m³/seg) y la altura aprovechable del salto es H_n (metros), si de signamos por N el rendimiento de la máquina hidráulica, la potencia obtenida es:

$$P = Q \cdot H_n \cdot N \text{ (Kw)}$$

Para cálculos de tanteo se parte a menudo de N = 0,75, con lo cual si deseamos obtener P en CV, se expresa Q en (Kg/seg), H_n en metros, y se divide el resultado por 75, esto nos dá:

$$P = 10 Q \cdot H_n \text{ (CV)}$$

Con esta sencilla relación se puede evaluar, aproximadamente, la potencia de cualquier salto. Empleando máquinas modernas de perfecta construcción como las turbinas Francis, Pelton o Kaplan se obtienen mejores rendimientos, alcanzando hasta el 85 % y en algunos casos el 90% y más, con lo cual la potencia aprovechable será mayor que la indicada por la fórmula abreviada. Ahora como las turbinas tienen un rendimiento variable en función del caudal, ya que la altura neta del salto permanece constante, se pueden emplear de distintas clases según las exigencias del caso.

Para saltos de altura grande (aproximadamente de 100 a 2000 m), se usan las turbinas Pelton, ya que presentan un buen rendimiento, 30 - 100 % de carga, es decir un rango amplio de la variación de carga.

En casos de altura media (de unos 60 a 600 m), se emplean turbinas Francis, tienen un buen rendimiento de carga entre el 60 - 100 %. Cuando la carga es menor del 60 % el rendimiento cae rápidamente.

Para caídas pequeñas, entre 2 y 80 m., la turbina de hélice o Kaplan se ha acreditado como la mejor, presentan un buen rendimiento y es conveniente que trabajen con

el 100 % de carga. Cuando la carga disminuye su rendimiento cae bruscamente.

A continuación se hablará sobre las características que presentan las centrales térmicas e hidráulicas.

1.2. CLASIFICACION DE LAS CENTRALES HIDRAULICAS Y TERMICAS

1.2.1. Centrales Hidráulicas

En las instalaciones de fuerza hidráulica, el aprovechamiento de la energía hidráulica puede obtenerse de acuerdo a la circunstancia del terreno del recurso, de allí que se clasifican estas centrales hidráulicas en:

- Caudal libre,
- Embalse ; y,
- Embalse con bombeo.

a. Central de caudal:

La central de caudal, es aquella que utiliza el agua que se encuentra disponible en el recurso; el caudal de agua disponible oscila con las estaciones del año. Además hay que contar con años de escasés y años de abundancia de agua. Sus turbinas se dimensionan relativamente al caudal, partiendo de consideraciones econó

micas. En general estas instalaciones resultan sencillas y se presentan no sólo en los ríos, sino también en canales de navegación, instalándose la central hidráulica junto a las esclusas.

La manera más sencilla de establecer una central de caudal consiste en remansar, en un sitio adecuado, un río de bastante caudal y de poca caída. En la figura N° 1.3., podemos ver la representación esquemática de una central de esta clase. La central se observa que está construída transversalmente, formando presa, sobre el mismo río. A estas centrales también se las conoce con el nombre de Central de Agua Fluyente.

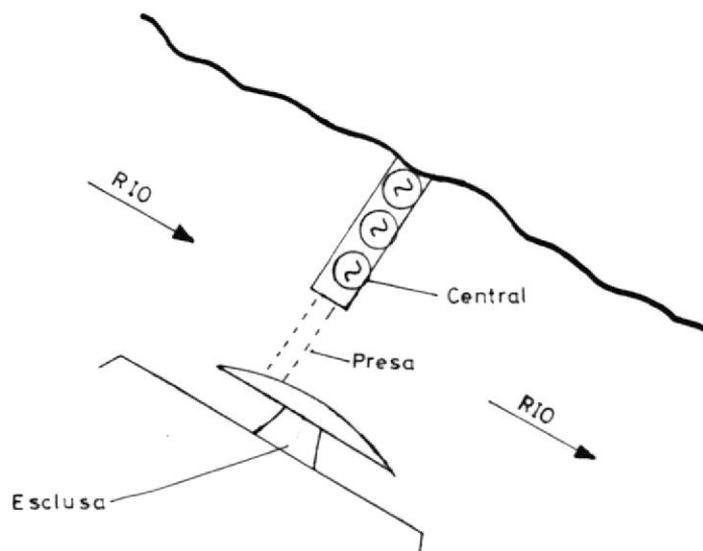


FIGURA N° 1.3. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA CENTRAL DE CAUDAL LIBRE.

b. Central de caída:

Estas centrales utilizan las presas para retener una cantidad apreciable de agua y formar el embalse. La presa es un muro de construcción que se erige en el lugar más adecuado del río, donde el agua se encauza lateralmente por un canal construido con la mínima pendiente posible. En el extremo de este canal - está la central, la cual aprovecha el desnivel existente entre los canales superior y de desagüe en la forma más aprovechable. La figura N°1.4., representa esquemáticamente este tipo de central.

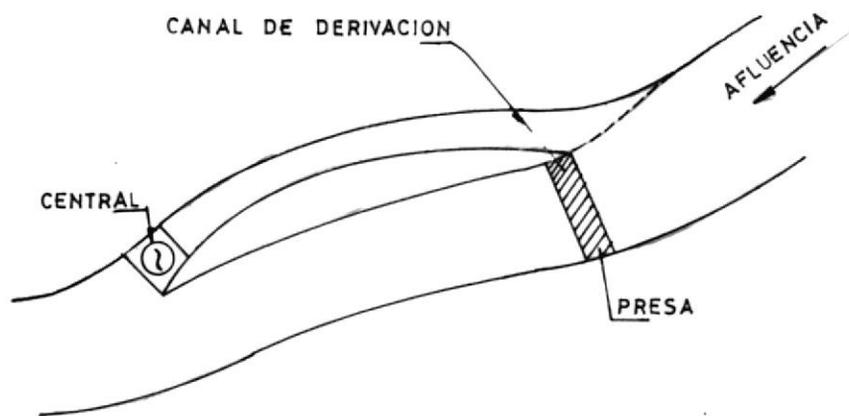


FIGURA N° 1.4. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA CENTRAL EMBALSE

Para aprovechar la fuerza hidráulica de un río de montaña, no siempre es conveniente ni posible construir la

central en el río ni habilitar un canal. En este caso por lo común se lleva a través del monte una galería - que termina en una Cámara de carga. Desde aquí el agua se conduce a la central por tuberías. Una representación esquemática se muestra en la figura N^o 1.5.

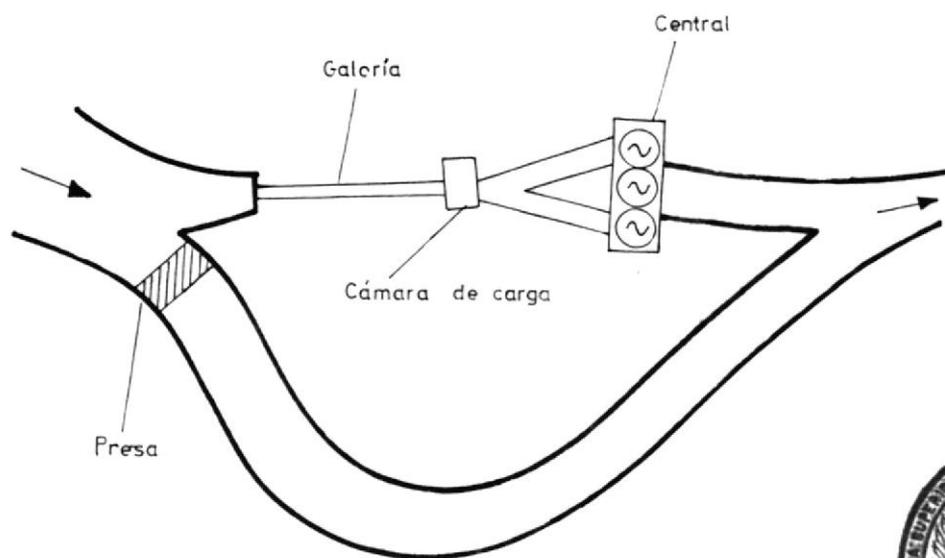


FIGURA N^o 1.5. REPRESENTACION ESQUEMATICA CON CAMARA DE CARGA

c. Central de embalse y bombeo:

También se la conoce con el nombre de Central de Acumulación. Como es natural, los embalses no pueden tener una cabida excepcional que permite almacenar la mayor parte del agua que circula por el río, ya

que la capacidad viene limitada económicamente y depende de una serie de factores. Al contrario que en una Central de Caudal Libre, aquí el agua circulante no se utiliza de una manera inmediata, antes bien, en tiempos de poca carga se almacenará en el lago de acumulación. Este tipo de central requiere de dos embalses, uno superior y otro inferior. Para acumular energía elevando el agua desde un embalse a otro de mayor altura se necesita de turbina y una bomba. La disposición de las maquinarias puede ser de dos tipos: Generador, turbina y bomba o turbina, generador y bomba.

Como podemos ver, la máquina síncrona funciona como motor y como generador. Así, en tiempos de gran demanda de energía, podremos tomar más agua de la que corresponde a su circulación normal. Según la magnitud de la cuenca se distingue entre embalses de regulación - anual, semanal, mensual y diaria.

Como estas instalaciones ofrecen gran libertad sobre el gasto de agua, se prestan muy bien para cubrir las puntas de consumo, es decir se aprovecha el agua que se tiene en el embalse superior en las horas de mayor demanda y se dirige hacia el embalse inferior; en este caso la máquina trabaja como generador. Mientras que

en horas de menor demanda, se envía agua del embalse inferior al embalse superior; y se requiere de un bombeo; en este caso la máquina trabaja como motor. Esto se lo hace desde el punto de vista económico.

La figura N^o 1.6. , representa esquemáticamente una central de acumulación.

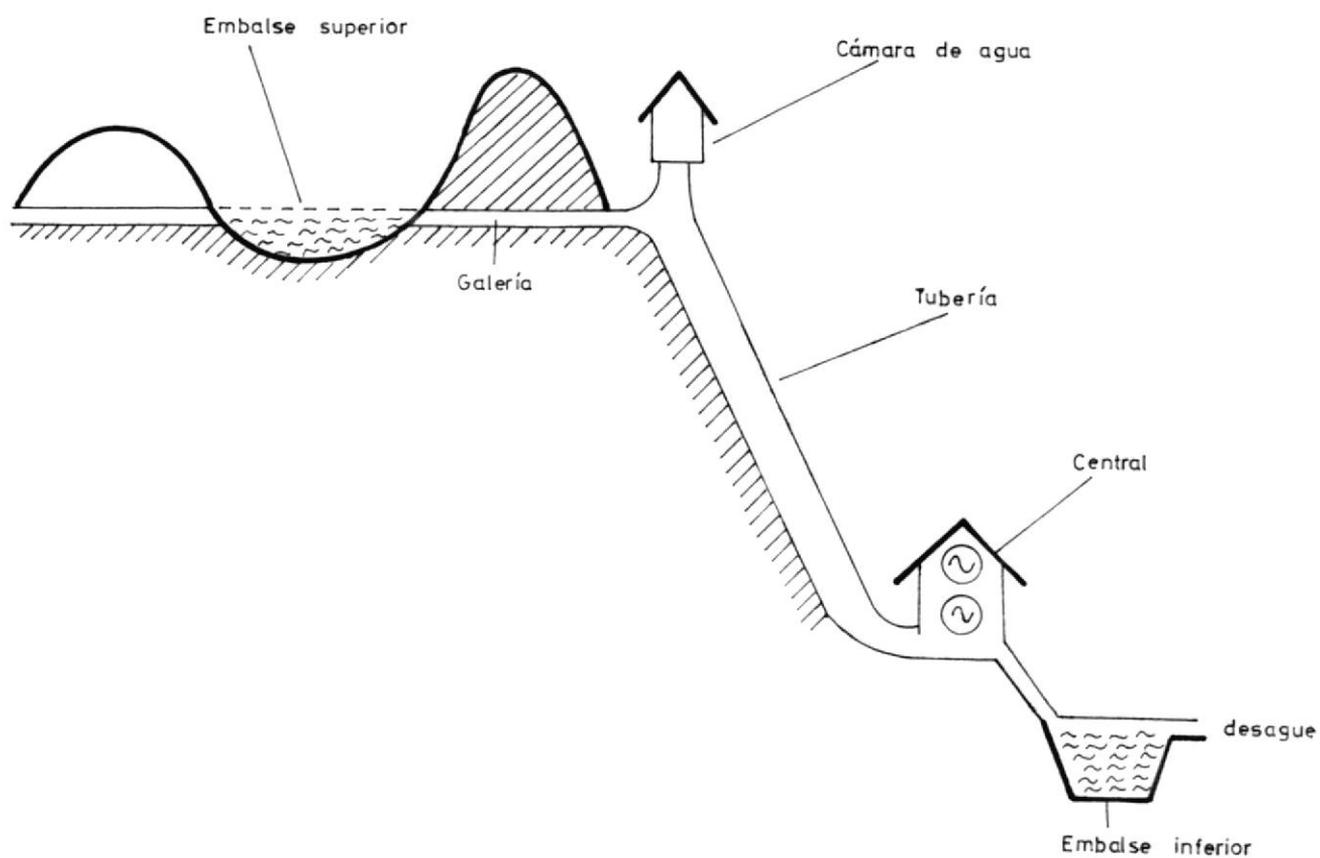


FIGURA N^o 1.6.

CENTRAL DE ACUMULACION

1.2.2. Centrales térmicas

Basándose en la clase de combustible y en el punto donde tiene lugar la combustión, las centrales térmicas se clasifican en tres grupos: centrales de vapor, centrales de motores de combustión interna y centrales de turbinas de gas. Cada grupo requiere para su buen funcionamiento un equipo apropiado.

a. Centrales térmicas de vapor:

Estas centrales emplean turbinas o máquinas de pistón, o ambas cosas a la vez, no solamente con máquinas motrices, sino también para mover los equipos auxiliares. El medio de trabajo es el vapor, el cual es conducido por medio de canalizaciones, y se produce en la caldera quemando el combustible. en los hogares, que son parte integrante de la propia caldera. Las máquinas motrices de estas centrales de vapor pueden trabajar sin condensador o con condensador.

En este tipo de centrales con condensador como se observa en la figura N^o 1.7., las máquinas motrices descargan el vapor en condensadores, en el interior de los cuales la presión es inferior a la atmosférica y en donde el vapor es transformado en agua. En estas centrales el rendimiento total, o la relación en

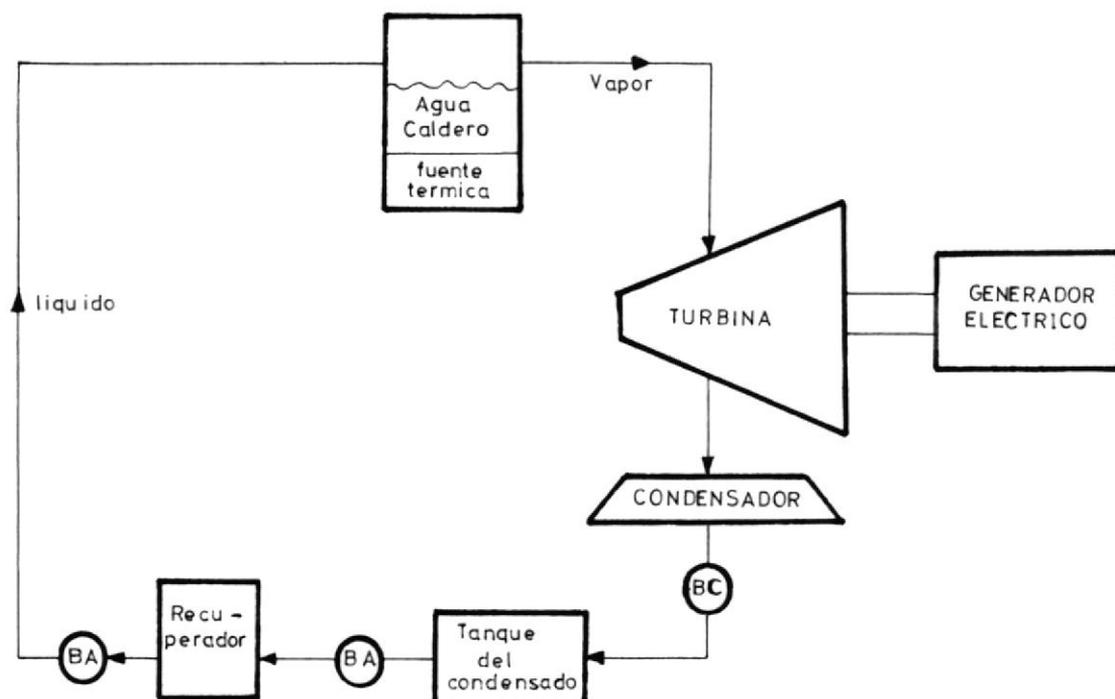


FIGURA N^o 1.7. CENTRAL TERMICA DE VAPOR

tre la energía útil y la contenida en el combustible utilizado, se halla comprendido entre 7 y 36 - por ciento.

b. Central térmica a gas:

Esta central a gas, no es otra cosa que las turbinas a gas, y utiliza directamente la energía librada o producida en la combustión, es decir que los gases productos de la combustión se expanden en sus turbinas en forma similar como en la central a vapor. La figura N^o

1.8., representa esquemáticamente una central a gas.

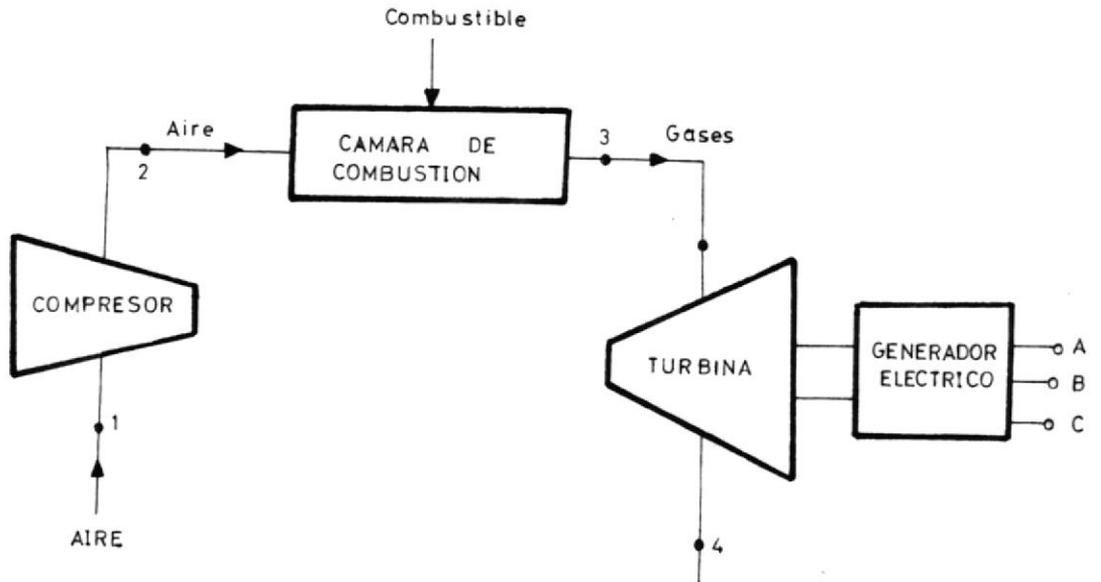


FIGURA N^o 1.8. CENTRAL TERMICA A GAS

El mecanismo de estas centrales y de acuerdo a lo que se observa en el esquema, la fuente térmica que es el combustible ingresa a la Cámara de Combustión, en el compresor ingresa el aire a presión atmosférica y se comprime el aire hasta una presión adecuada o conveniente de acuerdo a la unidad; luego ese aire comprimido ingresa a la cámara de combustión; en ella

se suministra el combustible en forma continua a través de una bomba y con el aire comprimido que ingresa se obtiene a la salida los gases productos de la combustión y éstos ingresan en la turbina, se expanden y producen trabajo, una vez expandidos los gases son expulsados hacia la atmósfera.

Estas centrales son más económicas en la instalación que las de vapor. El rendimiento de la turbina a gas está dado por:

$$N = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1}$$

Q_1 : calor total que se tiene en la combustión

Q_2 : calor que va hacia la atmósfera

W : parte de calor que se transforma en trabajo.

c. Central de motores de combustión interna:

Utilizan el motor de combustión interna . Cuando el combustible se quema en un extremo de cada uno de los cilindros de un motor de combustión interna; se dice que éste es de simple efecto.

La figura N^o 1.9., representa esquemáticamente una central a diesel.

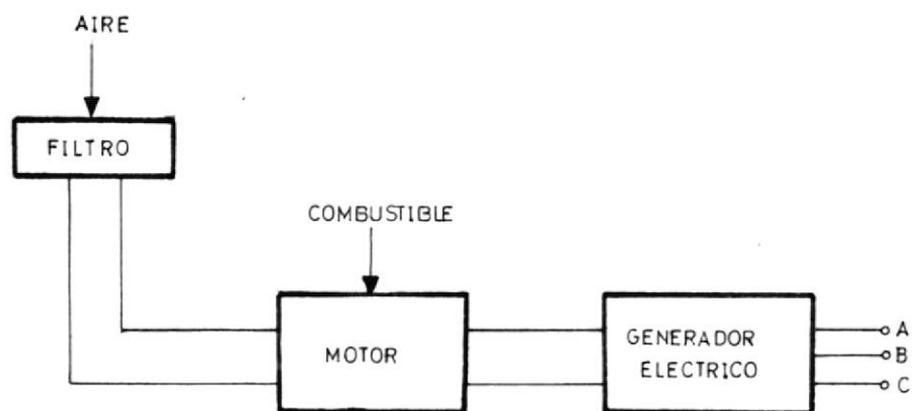


FIGURA N^o 1.9. CENTRAL A DIESEL

De la figura se observa que al motor de combustión interna ingresa el combustible y el aire. Haciendo un esquema general de lo que es un motor de combustión interna se muestra en la figura N^o 1.10.

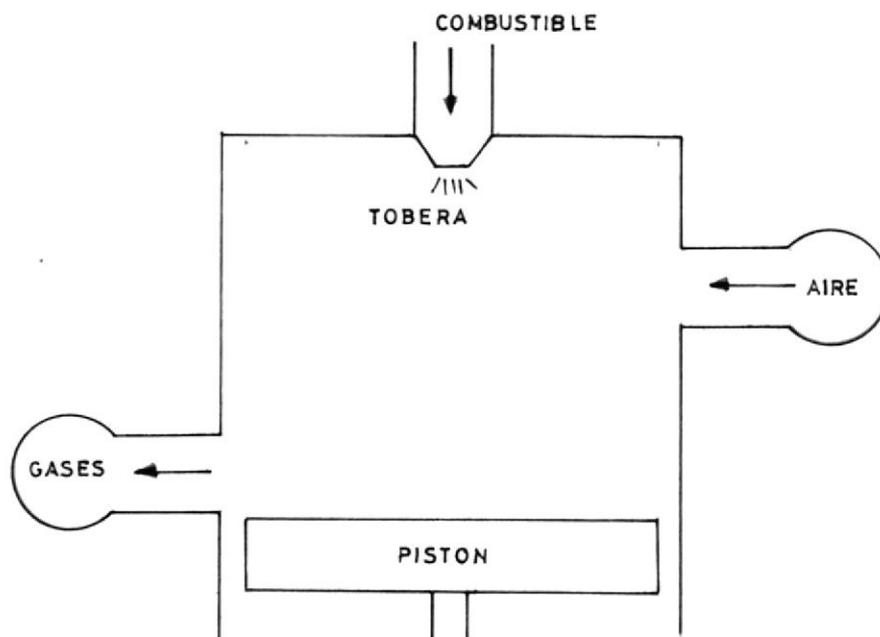


FIGURA N^o 1.10. MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

Si el proceso se realiza en los dos extremos de cada uno de los conductos, el motor es de doble efecto. Una clasificación involucra el número de emboladas requeridas para completar un ciclo en cada extremo del conducto. Según esto un motor puede ser de 2 y 4 tiempos.

Los de 4 tiempos: aspiración, combustión, compresión y escape.

Los motores de combustión interna actuales y que se utilizan para la producción de energía interna son de dos tiempos. Primer tiempo: Aspiración y compresión ; y Segundo tiempo: Combustión y escape.

Los combustibles corrientemente empleados en los motores de combustión interna son gases y destilados de petróleo de diversas densidades.

1.3. INFLUENCIA DE LA VARIACION DE CONSUMO SOBRE LAS CENTRALES HIDRO-ELECTRICAS

1.3.1. El factor de carga

Si se analiza el consumo de energía eléctrica de una región dada, encontraremos que no es constante sino que

sufre fuertes oscilaciones. Si registramos durante un día el consumo de kilovatios en función del tiempo, obtendremos un diagrama de potencia semejante al de la figura N^o 1.11.

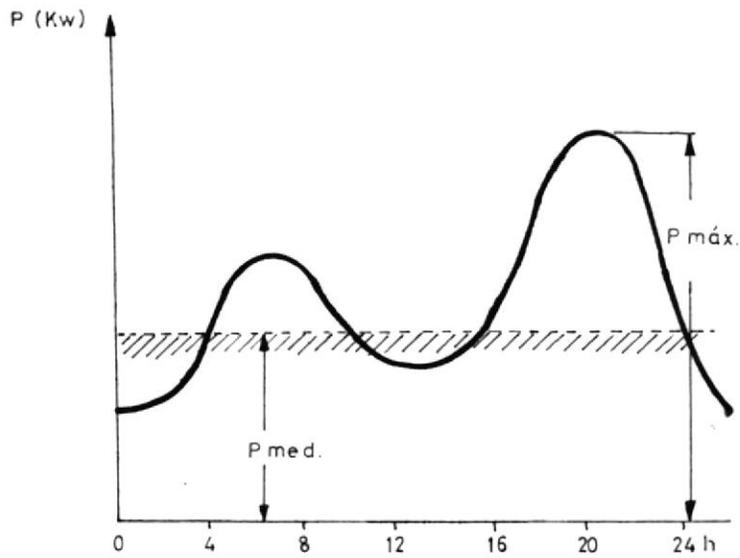


FIGURA N^o 1.11. CONSUMO DE CARGA DURANTE EL TIEMPO T_0

Del gráfico, la máxima punta de potencia $P_{m\acute{a}x}$ es muy superior a la carga media P_{media} de la central.

La cantidad total de energía o trabajo eléctrico en kilovatios - hora suministrados en el tiempo T_0 es $A(kwh)$, igual a la medida de la superficie limitada por la curva

de potencia.

La potencia media suministrada P_{med} , es por consiguiente:

$$P_{med} = \frac{A}{T_o}$$

Es decir, igual al número total de kilovatios hora suministrados, divididos por el tiempo en horas. Una medida para la clase de carga la constituye el llamado factor de carga m , el cual se deduce de la relación.

$$m = \frac{A}{P_{m\acute{a}x} \cdot T_o} \quad \text{pero:} \quad A = P_{med} \cdot T_o$$

$$m = \frac{P_{med} \cdot T_o}{P_{m\acute{a}x} \cdot T_o} = \frac{P_{med}}{P_{m\acute{a}x}} = \frac{T_m}{T_o}$$

En cuyas fórmulas:

A : representa la energía total en el tiempo considerado T_o .

$P_{m\acute{a}x}$: carga máxima en ese mismo tiempo T_o .

T_m : las horas equivalentes de utilización de dicha -
carga máxima durante el período.

1.3.2. Factor de utilización

Otro factor que se considera también en las centrales es el factor de utilización N , el cual se deduce de la relación.

$$N = \frac{A}{P_e \cdot T_o} = \frac{P_{med} \cdot T_o}{P_e \cdot T_o} = \frac{P_{med}}{P_e} = \frac{T_n}{T_o}$$

Siendo P_e la potencia instalada de una central, es decir la limitada por el órgano de la instalación de potencia más débil y por consiguiente, la más viable, siendo T_n las horas de aprovechamiento.

El factor de utilización, se refiere así a la potencia nominal instalada P_{ins} de las z máquinas existentes, y entonces se escribe:

$$N = \frac{A}{\sum P_n \cdot z \cdot T_o} = \frac{A}{P_{ins} \cdot T_o}$$

No basta construir una central para la carga máxima $P_{m\acute{a}x}$ que

pueda presentarse en el año, sino que debe tenerse en cuenta que, por revisión o reparación, tal vez haya que prescindir de algún grupo de máquinas, lo cual exige disponer de una reserva.

1.3.3. Factor de reserva

A la relación entre la potencia instalada y la carga máxima prevista se le llama factor de reserva previsto r expresado por:

$$r = \frac{P \text{ instalada}}{P \text{ max. prevista}}$$

y el factor de reserva efectivo es la relación entre la potencia disponible y la carga máxima viable.

$$r_e = \frac{\text{potencia disponible}}{\text{carga máxima viable}}$$

en donde la potencia disponible se obtiene de la potencia instalada disminuyéndola en la potencia de los órganos en reparación y descanso, en tanto en cuanto rebajen la potencia instalada, así como deduciendo la disminución de potencia por - condiciones defectuosas de funcionamiento.

No es necesario que toda central posea su propia reserva, pues

si varias de ellas están unidas por las líneas será posible que una funcione completamente sin reserva, siempre que en caso de averías en sus máquinas la falta de potencia que se origine sea compensada por otra central. De este modo se procede en las centrales hidráulicas, así como en las de vapor de costo elevado, o sea en las de cualquier clase, con fuertes gastos de implantación. Por lo general las centrales antiguas, que no trabajan tan económicamente como las modernas, suelen utilizarse para este servicio de reserva.

Partiendo del factor de carga m y del factor de reserva previsto r tenemos:

$$N = \frac{m}{r}$$

Se debe notar que el factor de carga m suele referirse a la potencia conectada P_{con} , es decir la suma de las potencias nominales de los aparatos de consumo eléctrico conectados por los abonados es sensacionalmente superior a la potencia instalada de la central, pues estos aparatos como lámparas, motores, etc., establecidos, no están nunca conectados simultáneamente. En las puntas, apenas un 20 o un 30 % de la potencia de consumo instalada participa en la toma de corriente.

Este hecho se refleja en el factor de consumo o de diver-

alidad

$$V_i = \frac{P_{\text{m}\acute{a}\text{x}}}{P_{\text{con}}}$$

La figura N^o 1.12., representa las magnitudes de P_{med} , $P_{\text{m}\acute{a}\text{x}}$ y $P_{\text{inst.}}$, comparadas con la magnitud de la potencia conectada $P_{\text{con.}}$.

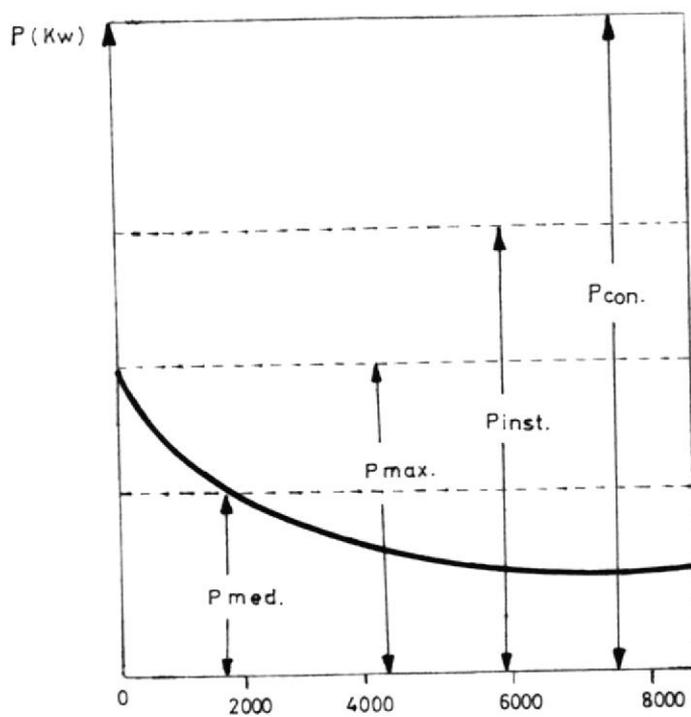


FIGURA N^o 1.12. MAGNITUDES DE P_{med} , P_{max} Y $P_{\text{inst.}}$.

1.3.2. Influencia del tiempo de utilización sobre el precio del KWH

Para determinar la influencia del tiempo de utilización de una central sobre el precio del KWH hay que proceder a hacer un pequeño cálculo.

El precio de la corriente en líneas de salida de la central está determinado por el gasto necesario para su producción. Ese costo se compone de una parte fija, independiente de la carga de la central, y una parte variable que depende de esa carga.

En los costos fijos se incluyen ante todo los gastos por rédito de capital, por vigilancia de la central, y por amortización de edificios y máquinas. En los costos variables intervienen en primera línea los gastos de combustible.

Supongamos que i sures representa los gastos de instalación por kilovatio de potencia instalada. Si la central se ha construido para la potencia en punta $P_{\text{máx}}$ (en este caso prescindimos de la reserva), el costo de la central será $P_{\text{máx}} i$ sures. A este importe se le atribuyen los coeficientes de interés y amortización; y, además se debe tomar en cuenta los gastos de reparaciones y de servicio.

Los gastos de esta clase que corresponden a un año se suponen proporcionales al capital de instalación, designando el factor de proporcionalidad por p ., por lo tanto los gastos fijos anuales serán:

$$G_f = P_{\text{máx}} \cdot i \cdot p.$$

Para producir 1 KWH se requiere un gasto c sucres de combustible. Si la duración de aprovechamiento de la central durante el año es de h horas, los gastos variables anuales estarán representados por:

$$G_v = c \cdot h \cdot P_{\text{máx}}.$$

Así pues, el total de gastos durante un año será:

$$G = G_f + G_v = P_{\text{máx}} \cdot i \cdot p + c \cdot h \cdot P_{\text{máx}}$$

Si los gastos se refieren a 1 KW de potencia instalada, resulta el gasto anual.

$$\frac{G}{P_{\text{máx}}} = ip + c \cdot h.$$

Como al año se producen $h P_{\text{máx}}$ KWH, el gasto de producción - por KWH suministrado es:

$$g = \frac{ip}{h P_{\text{máx}}} + c$$

Esta fórmula demuestra que el gasto por KWH es tanto más bajo cuanto mayor es el tiempo de utilización h de la central.

Consideremos ahora una zona de suministro, cuya punta en kilovatios sea P máx y el tiempo de utilización h horas, para lo cual queremos construir una central. Podemos elegir entre construir una en la cual el costo de energía sea el menor posible, pero con elevado gasto de instalación, o una de barato establecimiento, pero donde los gastos por energía serán en general, elevados. Para obtener cifras - redondas, se analiza una central térmica con las fórmulas anteriores y después una central hidráulica. Para ver bajo que circunstancias será preferible una u otra clase de central. Para ello en las figuras N^o 1.11. y N^o 1.12. ., se representa una comparación de los gastos - anuales por kilovatios de potencia instalada y el precio por kilovatio - hora producido en función de la duración - de la carga, para una central térmica e hidráulica.

Luego para determinar cual de las dos centrales es más ventajosa el tiempo de utilización h o que suele llamarse tiempo límite económico de ambas centrales.

Para esto consideramos que el factor p es más bajo en caso - de central hidráulica que en el de la térmica de vapor, por que la vida de aquella es muy superior a la de ésta; no son de tomar en consideración los gastos variables, supuesto que la fuerza del agua es gratuita. Para encontrar el valor lí mite ho, al llegar al cual ambas centrales se igualan des de el punto económico, haremos:

$$g_1 = g_2 \text{ y tendremos:}$$

con la central I:

$$\frac{i_1 P_1}{ho} + c_1 = g_1$$

y con la central II:

$$\frac{i_2 P_2}{h} + c_2 = g_2$$

$$\frac{i_1 P_1}{ho} + c_1 = \frac{i_2 P_2}{ho} + c_2$$

de donde, mediante una transformación obtenemos el tiempo lí mite.

$$ho = \frac{i_1 P_1 - i_2 P_2}{c_2 - c_1}$$

Si el aprovechamiento anual de la zona de suministros es ma
yor, entonces la figura nos dice que la central hidráulica -
es la preferible, mientras que si es menor, la prefe-
rible es la de vapor.

C A P I T U L O I I

CARACTERISTICAS Y REPARTICION DE CARGA DE LAS CENTRALES ELECTRICAS

2.1. CURVAS ENTRADA - SALIDA DE LAS CENTRALES ELECTRICAS

Para determinar la distribución económica de la carga entre las diversas centrales formadas por una caldera, una turbina y un generador, el costo de operación de la central debe expresarse en términos de la salida de potencia y es así que las curvas de entrada - salida establecen las relaciones entre la energía de entrada impulsada al sistema y la energía neta de salida del generador eléctrico.

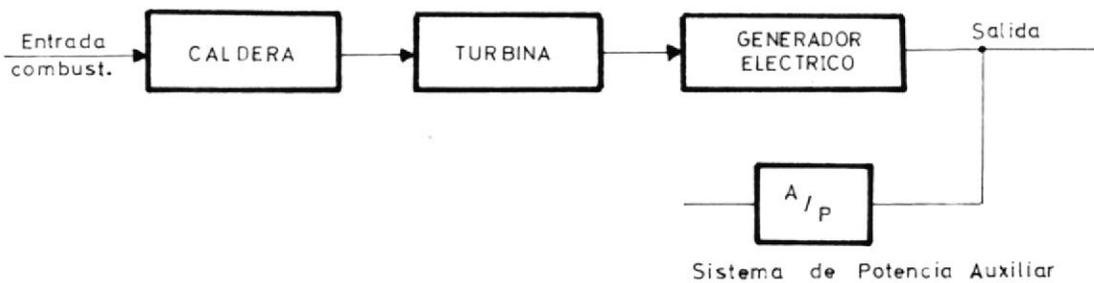


FIGURA Nº 2.1. DIAGRAMA DE UNA CENTRAL ELECTRICA

La entrada en la unidad térmica generalmente es medida en BTU/hora; si la entrada se representa en costo se usa (sucesos/hora), mientras que la entrada en la unidad hidráulica es medida en m^3/seg . La potencia para ambos tipos de unidades es medida en kilovatios o megavatios.

Una curva entrada - salida representa el costo de generación de una cierta potencia por hora, como se observa en la figura N^o 2.2.

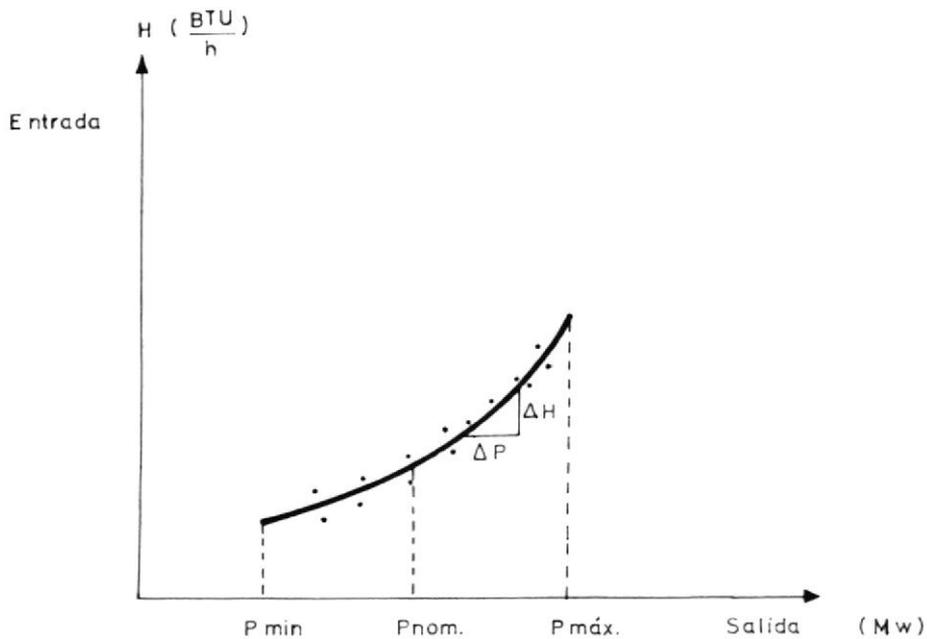


FIGURA N^o 2.2.- COSTO DE GENERACION DE UNA CIERTA POTENCIA POR HORA

Existen varios métodos para establecer estas curvas de entrada - salida, siendo ellos los siguientes: pruebas de ope

ración, determinación de los registros de operación y uso de datos de garantía del fabricante ajustado a las condiciones de operación actual. Siendo el método más practicable el de los registros de operación.

Estas curvas dependerán del tipo de aproximación que se haga (puede ser una recta, una parábola, etc.), y para aquellos puntos de potencia mayores al valor nominal, la curva sube más porque la eficiencia se reduce. Las unidades tienen valores límites que son P_{\min} y P_{\max} ; fuera de estos límites se producen efectos térmicos.

Si se divide la entrada para la correspondiente salida, punto - por punto (H/P) se obtiene otra curva denominada la razón neta de calor, como se observa en la figura N° 2.3.

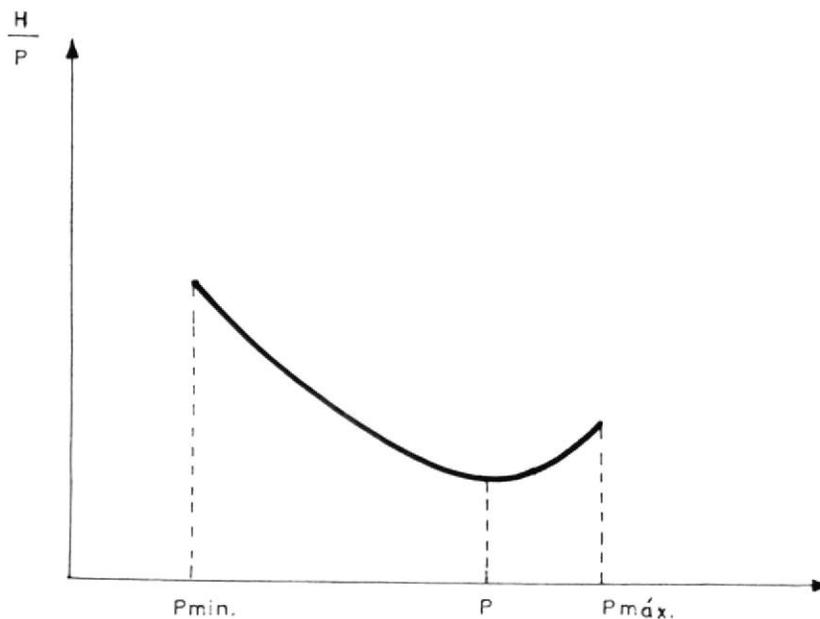


FIGURA N° 2.3. RAZON NETA DE CALOR

Esta curva representa la cantidad de combustible por unidad de potencia para generar una determinada potencia. El punto mínimo de la curva es el más eficiente ya que la unidad está diseñada para valores nominales.

También podemos determinar otra característica tomando los incrementos de potencia y se determina a su vez los incrementos en costos, haciendo cada vez a estos más pequeños.

$$\frac{\Delta H}{\Delta P} \rightarrow \frac{\partial H}{\partial P}$$

graficando $\frac{dH}{dp}$ Vs. P se obtiene la característica de calor incremental y con $\frac{dF}{dP}$ Vs. P, obtenemos la característica de costo incremental cuyas unidades serían $\frac{MBTU}{KW-H}$ o $\frac{M \text{ sucres}}{Kw - H}$.

Esta característica de calor o costo incremental (ver figura N° 2.4.), es la que más se utiliza en el despacho económico. En otras palabras la derivada de la curva entrada - salida corresponde a la característica de costo incremental.

Graficando para una unidad térmica, diferentes tipos de



BIBLIOTECA

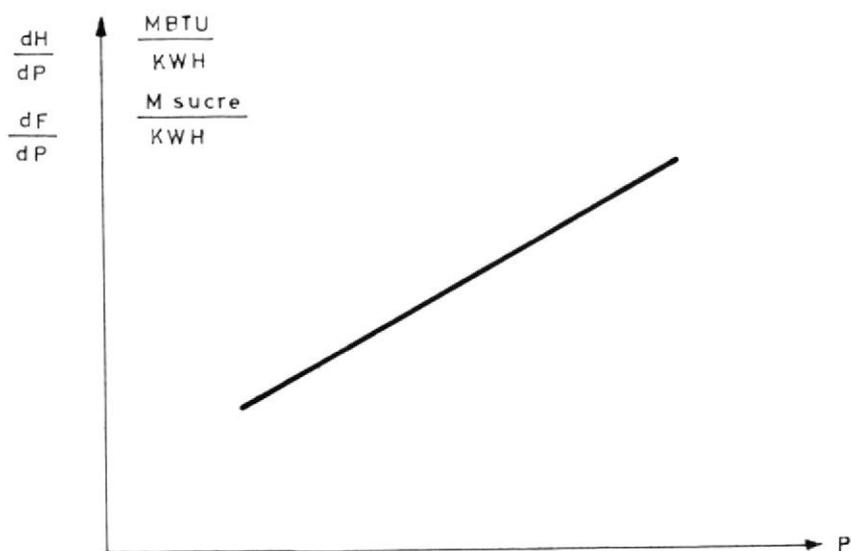


FIGURA Nº 2.4. CARACTERISTICAS DE COSTO INCREMENTAL

curvas entrada - salida se obtiene distintas curvas de costos incrementales como se puede observar en la figura Nº 2.5.

Para las unidades hidráulicas las curvas entrada - salida son similares a las térmicas lo único que cambia es la entrada ya que en ésta influye el problema de la altura neta, es decir, si se tiene mayor altura neta se necesita menos caudal para generar determinada potencia y por lo tanto también va a depender del tipo de turbina a utilizarar se. Ver figura Nº 2.6.

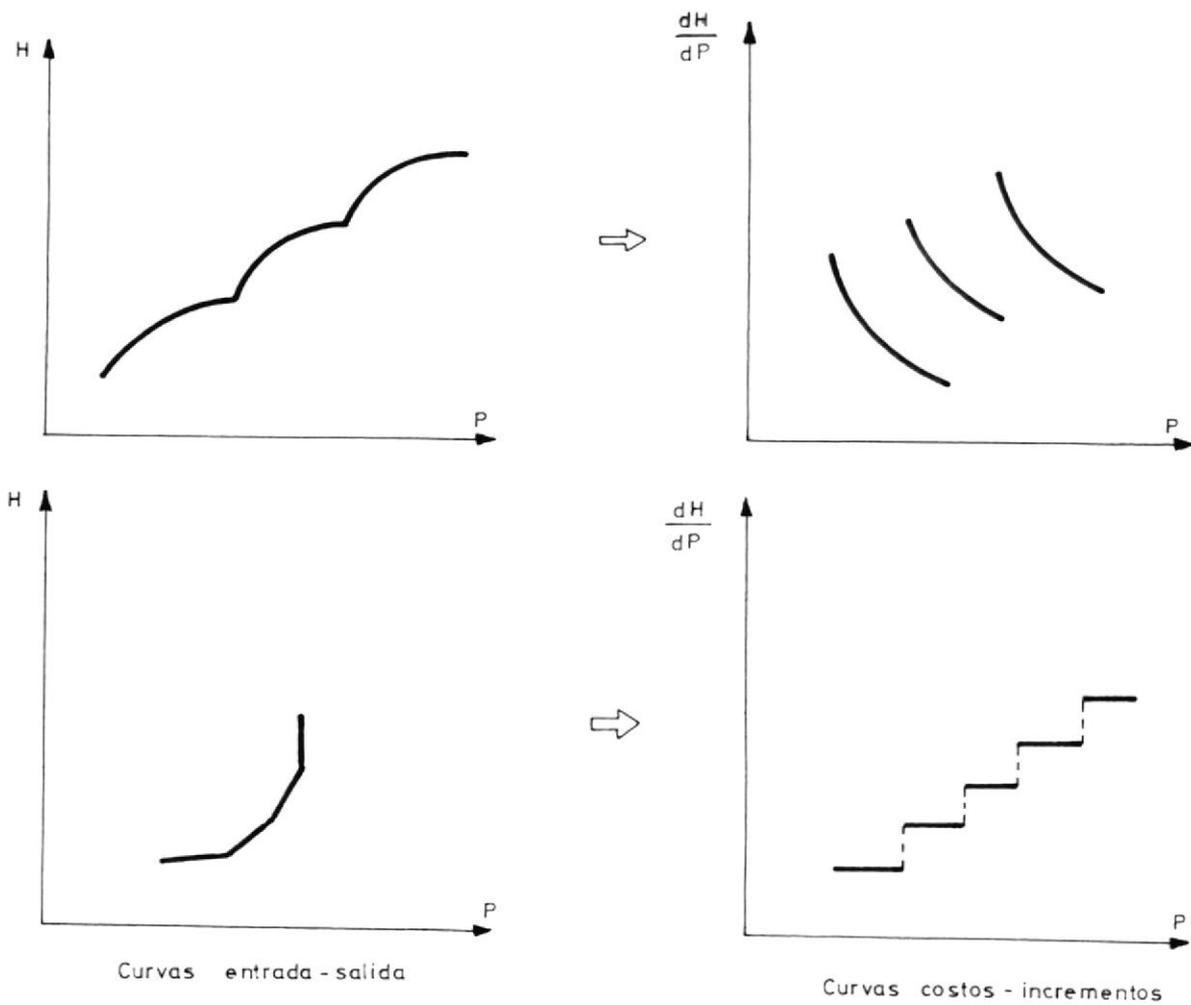


FIGURA Nº 2.5. CARACTERISTICA DE UNA UNIDAD TERMICA

altura neta = cabeza neta

Al igual que en las unidades térmicas también se obtiene la característica de costo incremental en las unidades hidráulicas, utilizando diferentes tipos de turbinas. Ver figura - Nº 2.7.).

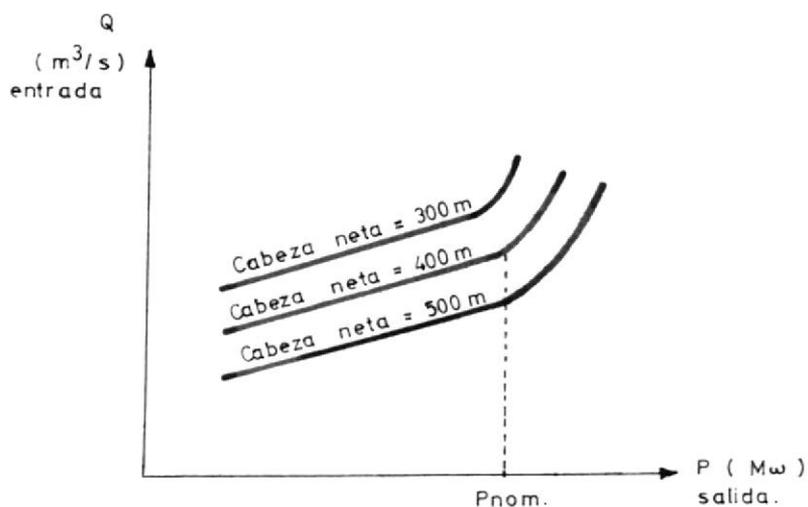


FIGURA Nº 2.6. CURVA ENTRADA - SALIDA DE UNA UNIDAD HIDRAULICA

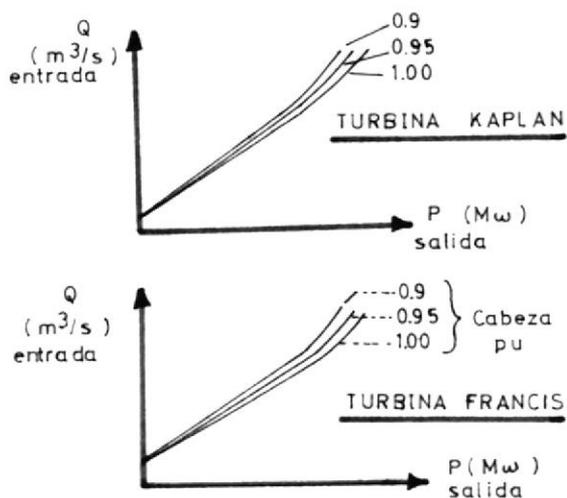


FIGURA Nº 2.7.a. CURVA ENTRADA - SALIDA - UNIDADES HIDRO

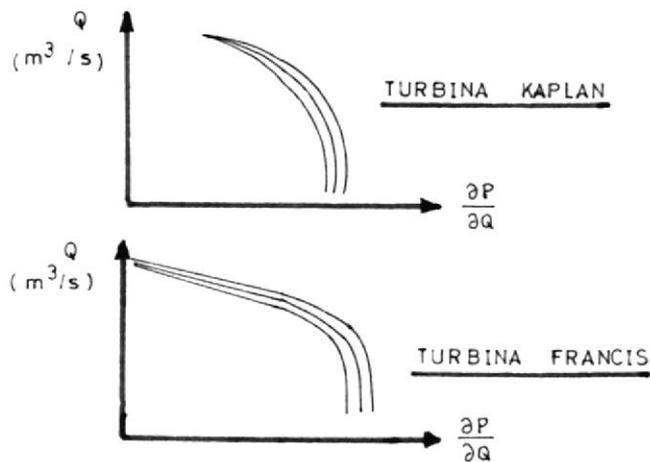


FIGURA Nº 2.7.b. CURVAS INCREMENTABLES - UNIDADES HIDRO

2.2. REPARTICION GENERAL DE CARGA

Vamos a partir del diagrama de carga diario, el mismo que estará formado por n valores P_1, \dots, P_n de potencia que consideramos constante durante el intervalo de tiempo elemental T . Para satisfacer dicho diagrama se dispone de varios recursos que se pueden clasificar como sigue:

Centrales hidroeléctricas de Pasada, que no influyen en las centrales a reservorio, y vamos a suponer que la programación diaria que cubrirán dichas centrales P_{f1}, \dots, P_{fn} , es conocido.

Centrales hidroeléctricas regulables, esto es con reservorios, es precisamente su diagrama de producción P_{m1}, \dots, P_{mn} que se tendrá que determinar.

Centrales térmicas convencionales con su diagrama de funcionamiento P_{t1}, \dots, P_{tn} que también se tendrá que determinar.

Sin embargo, una vez encontrados los diagramas de producción de las centrales hidráulicas, es fácil deducir la energía a producirse por las centrales térmicas (E_t) en la jornada de estudio como

la diferencia entre la energía demandada y la energía producible por los otros recursos hidráulicos.

Una situación ideal de la repartición de los recursos energéticos durante un día se representa en la figura Nº 2.8.

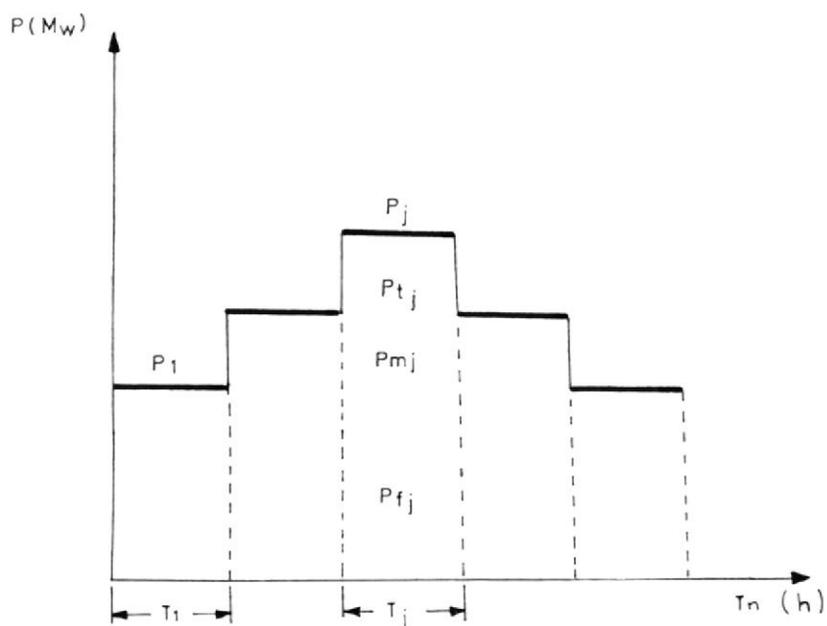


FIGURA Nº 2.8. REPARTICION DE RECURSOS ENERGETICOS

Siguiendo la simbología ya utilizada se puede describir para cada intervalo de tiempo elemental T la siguiente relación:

Donde:

P_j es la carga demandada.

$$P_j = P_{fj} + P_{mj} + P_{tj} \quad J = 1, 2, \dots, n$$

La cual expresa la exigencia de estar frente a la carga requerida instante por instante, generando lo necesario justo para satisfacerla.

Si la carga demandada P_j se le sustrae la demanda base P_{fj} , se obtiene la carga residual r_j .

$$r_j = P_{mj} + P_{tj} \quad J = 1, \dots, n \quad (n = \text{horas})$$

Esta carga residual como podemos ver debe ser cubierta por las centrales térmicas convencionales y las centrales hidráulicas regulables. Por lo tanto son estos dos tipos de centrales los que debemos programar.

El criterio seguido para satisfacer la demanda y repartir las cargas entre la central termoeléctrica y las de reservorio trata de cumplir con la condición de que el diagrama térmico sea lo más nivelado y eso se puede expresar como:

$$P_{tj} = \frac{E_t}{nT} = \text{constante} \quad j = 1, \dots, n$$

Por lo tanto, las partes variables del diagrama residual deberán ser cubiertas por las centrales hidroeléctricas re

gulables, y cada central hidroeléctrica presentará un diagrama semejante en su forma al diagrama residual.

Así, si tenemos m centrales y llamando P_{ij} a la potencia generada por la central i -ésima durante el intervalo de tiempo j -ésimo, E_i es la energía que la central i debe producir en el día, y si E_h es la energía global que se debe producir con las centrales hidroeléctricas regulables en el día, o sea:

$$E_h = \sum_{i=1}^m E_i$$

Donde:

E_i : energía de la central i

E_h : energía global

Obtendremos que para cada intervalo:

$$\frac{P_j}{E_i} (E_h) = r_j - \frac{E_t}{nT}$$

i : $1, \dots, m$

r_j : carga residual

$$P_{ij} = \left(\frac{E_i}{E_h} \right) \left(r_j - \frac{E_t}{nT} \right)$$

j : $1, \dots, n$

De esta última ecuación se puede concluir que la cuota de participación de cada central hidroeléctrica regulable para la cobertura del diagrama de carga esté determinado por el reparto uniforme entre la energía que se puede producir con dicha central y la energía global que se puede producir con todas las centrales del mismo tipo.

Esta relación resolvería en el modo más completo y al mismo tiempo simple, el problema de la repartición de la producción hidroeléctrica regulable entre las diversas centrales.

Sin embargo, se puede observar que dicha relación no considera las condiciones impuestas por la potencia disponible en las diversas centrales.

Si consideramos P_j como la potencia disponible en la Central i -ésima, debe necesariamente ser:

$$P_{ij} \leq P_i$$

$$i : 1, \dots, m$$

$$j : 1, \dots, n$$

Además, de acuerdo a las consideraciones que hemos estado -

observando, en caso de tener un intervalo j en el que no se cumple la última ecuación, no podemos poner simplemente - que $P_{ij} = P_i$ sino que, con el fin de producir en cada caso la energía asignada, se debe hacer redistribuciones en la energía de los otros intervalos de tiempo.

El criterio para las redistribuciones debe ser especificado en modo unívoco, ya sea para operar con una política uniforme para todas las centrales regulables o ya sea para considerar condiciones de otro tipo como por ejemplo aquellas impuestas por la capacidad del reservorio (evitar secamientos o derrames).

Entonces el método de programación debe repartir la potencia de producción entre las diversas centrales hidráulicas regulables - teniendo en cuenta todas las condiciones existentes para cada central, de modo que el diagrama resultante de la diferencia entre las cargas r_j y las de dichas centrales sea lo más nivelado posible. Por lo tanto la relación base de tal criterio es la siguiente:

$$\text{minimizar } \rightarrow \sum_{j=1}^n \left\{ r_j - \sum_{i=1}^m P_{ij} \right\}^2$$

O sea la condición que produce un diagrama que deberá ser cubierto por centrales térmicas lo más nivelado posible.

2.3. REPARTICION DE CARGA DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS PROPIAS DE LAS DIVERSAS CENTRALES

El método para programar las centrales tiende a utilizar como ya dijimos los varios tipos de centrales según la especialización - de las funciones que las respectivas características térmicas - permiten.

Estas características en la medida que interesan, pueden ser resumidas así:

2.3.1. Centrales hidroeléctricas

- La potencia eléctrica generada depende de la altura neta del Salto.
- Relativa rapidez y facilidad en las maniobras de arranque y regulación no excesivamente rápida de la presa de carga.

2.3.2. Centrales térmicas

- Consumos horarios crecientes con una curva parabólica - al crecer la potencia eléctrica generada.
- Complejidad de la maniobra de arranque, modulabilidad - lenta y no continua de la potencia que entrega.

- Imposibilidad por construcción de entregar potencia más bajo de un cierto mínimo técnico.
- Capacidad de variar rápidamente más allá de la potencia requerida (a causa de la pequeña inercia del fluido del motor).
- Costos no despreciables en el arranque debido esencialmente al calor que se debe almacenar antes de andar a régimen y que se disipa a partir del momento en que se ha parado.

Basándonos en las consideraciones precedentes, se puede ya intuir que el tipo de ejercicio diario debe tratar de combinar óptimamente los dos tipos de centrales.

Para ello, como ya se explicó, tendremos que operar en modo tal que las centrales hidroeléctricas sigan lo más cerca posible las variaciones del diagrama de las cargas, de tal forma que se obtenga que la diferencia entre este último y la producción de las plantas hidroeléctricas resulten lo más nivelado posible en el curso de las 24 horas.

De este modo, al utilizar mejor según las características

propias de funcionamiento los dos diversos tipos de centrales, se obtendrá también el mínimo costo de la energía térmica que debe producirse y el mínimo número de grupos termoeléctricos para tener en servicio con el fin de realizar la producción de energía prevista como es obvio.

2.4. REPARTICION DE LA POTENCIA HORARIA ENTRE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS REGULABLES

Para traducir cuantitativamente el criterio del manejo de las centrales hidroeléctricas regulables arriba bosquejado introducimos algunas definiciones relativas a tales centrales.

m : número de centrales

P_{ij} : potencia producida por la central i -ésima durante el J -ésimo intervalo de tiempo ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$) desconocida.

E_i : energía a producirse por la central i -ésima durante nT , conocida.

p_i, P_i : potencia mínima y eficiente de la central i ; conocida, p_i podría resultar negativa si existen en la central grupos de bombas.

v_i, V_i : capacidad mínima y máxima del reservorio i , alimentando la central i conocida.

V_{i0} : valor inicial del embalse del reservorio i , conocido.

$f_{ij}(\text{MWh})$: aportes al reservorio i durante el intervalo j , conocido si la central i no depende de otra.

V_{ij} : $v_{io} + \sum_{h=1}^j f_{ih} - T \sum_{h=1}^j P_{ih}$ {MWh} contenido del reservorio i al término del intervalo de tiempo j , desconocido.

Los límites para evitar derrames o secamientos, respectivamente son: d_{ij} , D_{ij} .

$d_{ij} = v_{io} + \sum_{h=1}^j f_{ih} - V_i$ conocido i son conocidos los f_{ih}

$D_{ij} = d_{ij} + V_i - v_i$ conocido i son conocidos los f_{ih}

Las condiciones a las cuales está sometida la incógnita P_{ij} resultan del hecho de que a cada central se le asigna la producción E_i , que a cada j (intervalo de tiempo) la potencia generada debe estar comprendida entre el mínimo y el máximo asignado, así:

$$1. E_i = T \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad E = 1, \dots, m$$

$$2. P_i \leq P_{ij} \leq P_i \quad i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n$$

$$3. d_{ij} \leq T \sum_{h=1}^j P_{ih} \leq D_{ij} \quad i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n$$

$$4. Z = \sum_{j=1}^n \left\{ r_j - \sum_{i=1}^m P_{ij} \right\}^2 = \min$$

Las ecuaciones 1, 2 y 3, corresponden respectivamente a las condiciones sobre la energía, sobre los límites de potencia y sobre los límites de embalse, la 4, se asume para expresar el criterio requerido que sea "lo menos variable posible" el diagrama $(r_j - \sum_{i=1}^m P_{ij})^2$, que debe ser cubierto con las centrales termoeléctricas.

2.5. REPARTICION DE LA POTENCIA HORARIA ENTRE LAS CENTRALES TERMOELECTRICAS

Resolviendo la repartición de la potencia horaria entre las centrales hidroeléctricas regulables se obtiene un diagrama horario de la demanda residual, al cual deberá satisfacerse sólo con las unidades termoeléctricas.

Tales diagramas residuales, que en el límite deben ser sólo una línea horizontal, totalmente nivelada, debe ser cubierta por las unidades termoeléctricas de la manera más económica posible.

Esto se obtiene operando en modo tal que todas las unidades termoeléctricas que participen en la producción, hora por hora, funcionen a iguales "costos incrementales".

Para comprender tal afirmación es necesario referirse a la curva de consumo específico de una unidad térmica genérica.

Esta al generar, tiene un comportamiento del tipo representado - en la figura Nº 2.8. a.

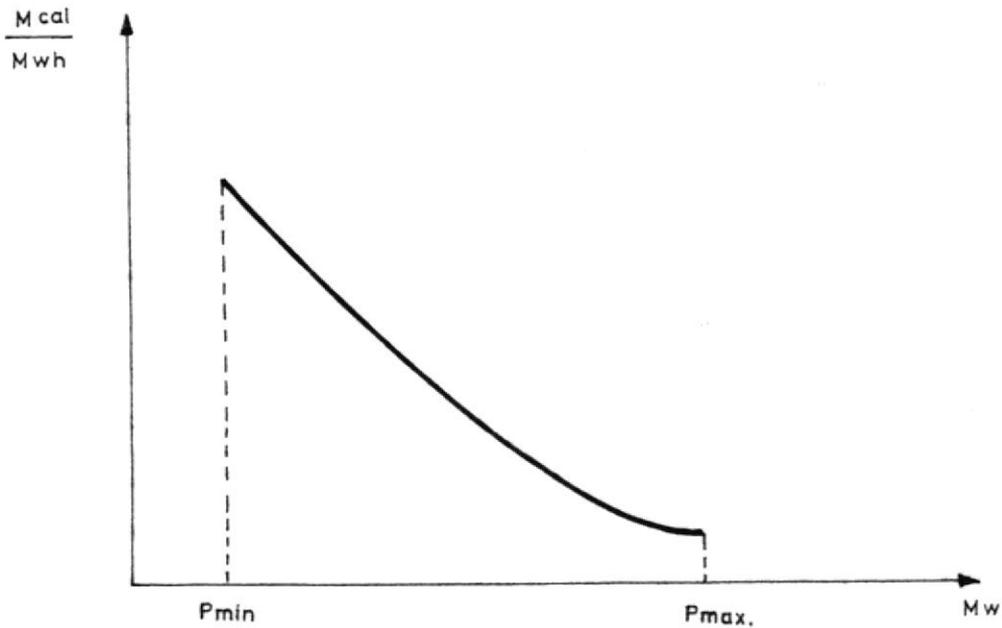


FIGURA Nº 2.8.a CURVA DE CONSUMO ESPECIFICO DE UNA UNIDAD TERMICA
GENERICA.

A partir de la figura Nº 2.8., multiplicando cada valor de la abcisa por el correspondiente valor en la ordenada, se obtiene - la correspondiente curva de los consumos por hora que tiene un

comportamiento del tipo de la figura N^o 2.9.

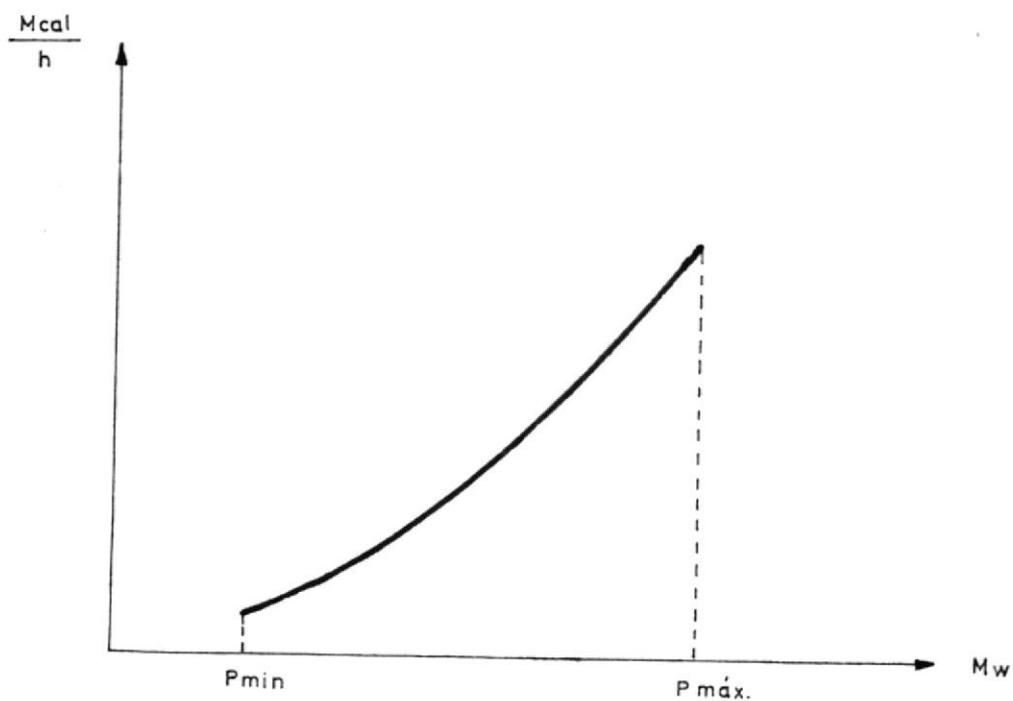


FIGURA N^o 2.9. CURVA DE LOS CONSUMOS POR HORA PARA UNA UNIDAD TERMICA GENERICA.

Con una buena aproximación, se puede decir que tal curva es una parábola.

Recordando que la parábola tiene una pendiente linealmente cre

ciente (o decreciente) y que tal pendiente en cada punto de la curva es medida de los valores de la tangente trigonométrica - relativa se puede trazar un comportamiento de la tangente para la curva de la figura N^o 2.9., que por cuanto se ha dicho asu mirá el aspecto de la figura N^o 2.10.

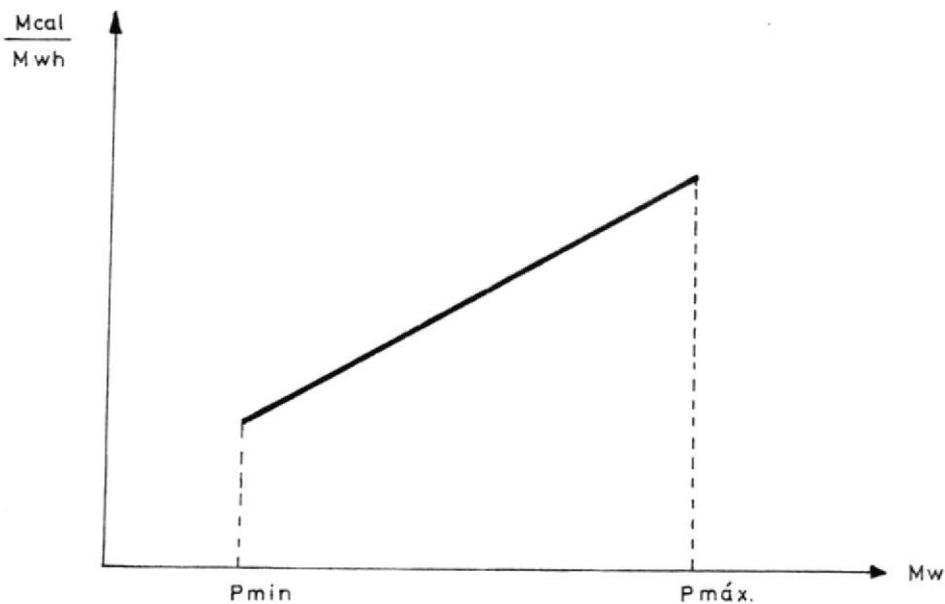


FIGURA N^o 2.10. CONSUMO INCREMENTAL DEL GRUPO TERMICO

Tal recta representa en cada punto el comportamiento del "consumo incremental" del grupo.

Como es fácil notar en la abscisa y en la ordenada de la figura - N^o 2.10., aparecen las mismas unidades que se presentaban en

las coordenadas de la figura N^o 2.8.

El significado de las dos figuras es obviamente diferente.

La figura N^o 2.8., representa el consumo de Mcal por cada MWh - producida en la correspondiente potencia en la abscisa.

La figura N^o 2.10., representa el consumo que se debe agregar en Mcal/h por cada MW requerido en más o menos, respecto a la potencia de funcionamiento.

Para mayor comprensión de como la situación de repartición de la potencia a iguales consumos incrementales es la situación económicamente óptima, se puede referir a un simple ejemplo didáctico que considera la presencia en la red de dos unidades que tienen la misma potencia nominal, el mismo mínimo técnico y la parábola de consumos horarios diferentes pero en una cantidad constante - en la abscisa. Por cuanto se ha dicho las rectas que representan el comportamiento de la pendiente (o bien el valor de la tangente trigonométrica en cada punto) de las dos parábolas serán - iguales y coincidentes. Ver la figura N^o 2.11.

En tal caso, dada P, la potencia requerida y que tienen que producir las dos unidades, la repartición a iguales consumos - marginales prevee que cada unidad participe con una potencia parecida a la mitad de aquella global requerida.

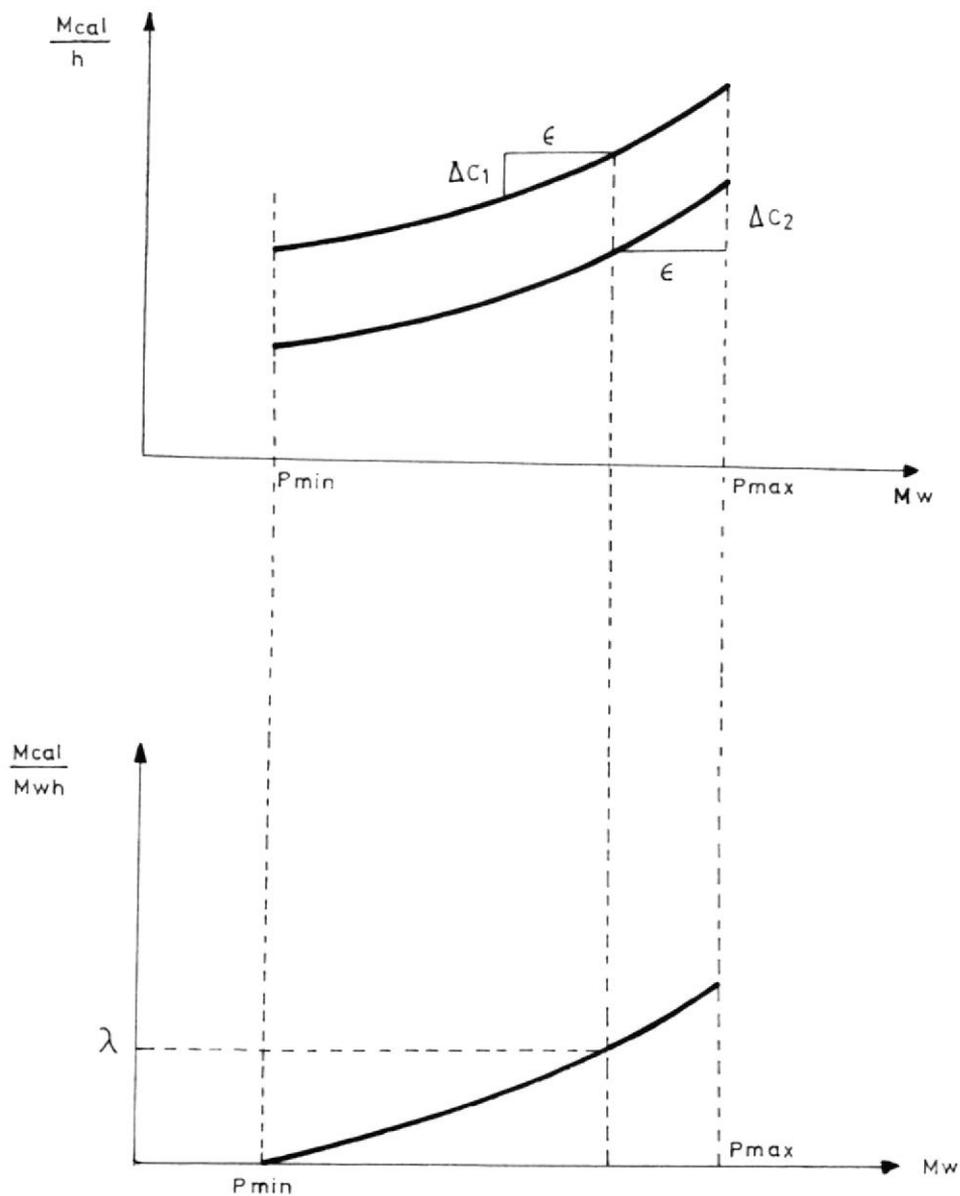


FIGURA N^o 2.11.- CURVA DE CONSUMOS Y CONSUMOS INCREMENTALES DE UN EJEMPLO DIDACTICO.

En particular, como se ve en la figura N^o 2.11., se tendrá $P_1 = P_2 = P/2.$, que corresponde a funcionar a un igual costo incremental λ , también si el rendimiento de la unidad 2 es

constantemente superior al rendimiento de la unidad 1. En este punto se puede fácilmente ver que aquella configuración es la situación óptima económica.

De hecho, si por ejemplo (como parecería intuitivo) se quisiera hacer producir una mayor potencia $P_2 + E$ a la unidad 2, que tiene el mejor rendimiento, de una cantidad parecida deberá disminuir la potencia entregada por la unidad 1 a fin de que sea respetada la relación.

$$P = P_1 + P_2$$

Se deberá tener entonces $(P_1 - E) + (P_2 + E) = P$ con $E > 0$.

En tal caso, sin embargo, recordando que la parábola que por hipótesis describe el consumo horario de la unidad térmica tiene una pendiente linealmente creciente y que en particular, para las dos unidades que estamos considerando, las dos parábolas - tienen punto por punto la misma pendiente, el aumento de costo ΔC_2 para producir $E\{MW\}$ en más con la unidad 2 es superior al respectivo ΔC_1 que se obtiene produciendo al mismo tiempo $E\{MW\}$ menos con la unidad 1.

De hecho para cada trazo de parábola del tipo de aquella en la figura N^o 2.11., se tiene siempre que desplazándose un Δx posi

tivo en + o en - alrededor de un punto de referencia en la abscisa X^* los correspondientes ΔY satisfacen la siguiente relación:

$$\Delta y' > \Delta y''$$

Donde:

$$\Delta y' = f(X^* + \Delta X)$$

$$\Delta y'' = f(X^* - \Delta X)$$

Como se puede ver claramente en la figura N^o 2.12.

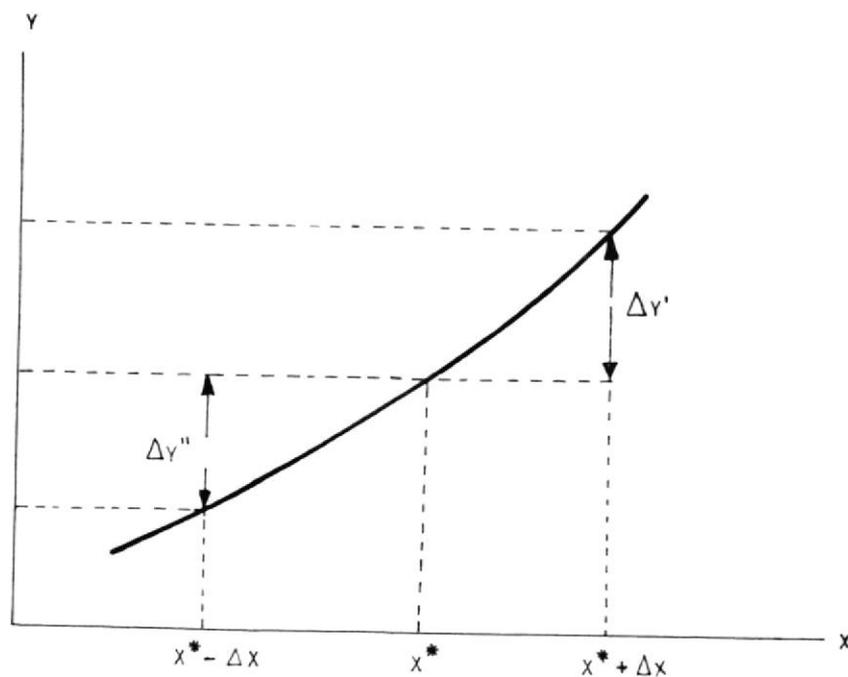


FIGURA N^o 2.12. VARIACION DE LOS CONSUMOS ENTRE LAS UNIDADES QUE ESTAMOS CONSIDERANDO.

Con un razonamiento análogo se demuestra que el modo más económico de operar un grupo que debe producir en la jornada una energía dada E es de asignarle un diagrama de producción constante a potencia $E/24$ h, como ya se ha dicho.

Todo cuanto se ha expuesto en esta sección, se describe matemáticamente del siguiente modo:

Sean N unidades termoeléctricas, cada una que tenga un diagrama de consumo horario del tipo parabólico. Sea P la potencia requerida y que deben generar el conjunto de las N unidades.

Sean: X_{mi} , $i = 1, \dots, N$ la potencia de las mínimas técnicas; y, X_{Mi} , $i = 1, \dots, N$ la potencia máxima, puesto que:

$$\sum_{i=1}^n X_{mi} \leq P \leq \sum_{i=1}^n X_{Mi}$$

Se desea repartir tal potencia P entre todas las N unidades en modo que sea mínimo el consumo global.

Se tendrá entonces:

$$P = \sum_{i=1}^N X_i$$

Luego, para minimizar existen varios métodos entre ellos el de multiplicadores de Lagrange, programación dinámica, etc. Esto significa que todas las N unidades deben funcionar a iguales costos incrementales.

C A P I T U L O I I I

METODOS APLICADOS A LA COORDINACION HIDROTERMICA

INTRODUCCION

La necesidad de obtener mayor confiabilidad y economía en la producción de energía eléctrica en grandes sistemas, es un problema fundamental del despacho económico de carga, para lo cual se han desarrollado varios métodos para resolver en forma óptima estos problemas de la coordinación hidrotérmica. La disponibilidad de rápidos conmutadores tanto analógicos como digitales y la amplia aplicación del Software en el área de la programación matemática permiten resolver problemas de optimización en gran escala, antes considerados impracticables. Las ventajas particulares de las computadoras son, que ellas pueden controlar continuamente las condiciones de carga del sistema, determinar la distribución más económica de generación entre las unidades y enviar control a los impulsos de carga de las unidades a los valores deseados. Un control del computador convenientemente aplicado puede alcanzar una disposición casi

exacta de carga para las unidades con el mínimo costo de combustible.

En un computador digital pueden resolverse problemas de despacho económico de carga en pequeños intervalos de tiempo y simultáneamente llevar a cabo otras funciones del control del sistema.

A continuación se presenta la formulación del problema de despacho económico de un sistema hidrotérmico como un problema de optimización. Luego serán descritos brevemente algunos métodos disponibles para resolver el problema.

3.1. Objetivo de la coordinación hidrotérmica

La operación de unidades hidro en un sistema donde tanto la generación hidro y térmica son usadas, presentan una expansión del problema de despacho económico de carga.

Una operación eficiente de los sistemas hidro es importante no solamente por razones económicas, sino para prevenir los rechazos de carga.

Hay muchas situaciones conectadas con las operaciones hidro, tales como flujos no controlados y descargas requeridas de agua para irrigación o control de inundaciones, las cuales

les alejan del sistema operador algunas de las alternativas que pueda tener aun cuando podría ser usada totalmente el agua como es deseada para beneficiar la producción de potencia.

Sin embargo, si un valor puede ser asignado sobre el agua usualmente en sures por m^3 , las unidades hidro pueden ser operadas incrementalmente juntas con unidades térmicas para la operación económica total del sistema.

Por supuesto, el valor sobre el agua varía de tiempo en tiempo, siendo bajo durante períodos de gran caudal, durante e inmediatamente después de tormentas (lluvias), y aumentando durante períodos cuando hay escases de agua, ya que cada m^3 de agua a través de una planta hidro desarrollará una cantidad definida de energía, dependiendo de la altura o caída de la planta, ya que el agua es equivalente al combustible tal como gas o aceite para propósito de producción de potencia.

La coordinación hidrotérmica es un procedimiento desarrollado para obtener el costo mínimo de generación en la operación de un sistema integrado por generación hidro y térmica.

Básicamente, en un programa de generación hidrotérmica,

las curvas de entrada y salida para cada unidad hidro son desarrolladas mostrando los m^3 por hora trazados contra la carga de megavatios.

De las curvas de entrada y salida, las curvas de proporción de agua incrementales demuestran el incremento de proporción de agua en m^3 por megavatios hora, graficado en contra de la carga en megavatios.

Un precio arbitrario es dado al agua por cada planta en sures por m^3 . Si se desea usar más agua, el precio es reducido, y si menos agua es usada, el precio del agua es incrementado.

Para una selección apropiada de los precios del agua, se usará una cantidad exactamente deseada durante cualquier período de tiempo requerido.

Las plantas hidro entonces seguirán la carga incremental requerida del sistema y ayudarán para llevar a cabo el resultado deseado de minimizar el costo total de combustible.

El valor del agua en los programas de coordinación hidrotérmica es usualmente denotada por la letra γ para distinguirlo de las unidades térmicas y del costo incremental,

el cual es designado por la letra λ .

La integración apropiada de la generación hidro y tér mica para minimizar el costo total es algo complejo y puede ser solamente resuelto de manera óptima por me dio de un computador digital.

Aún con un computador, el número de cálculos usa dos para determinar la operación más económica puede ser tan grande que un tiempo considerable del compu tador es requerido para obtener una solución correc ta al problema.

3.2. METODO DE LOS MULTIPLICADORES DE LAGRANGE

Es una técnica matemática que se emplea en los problemas de opti mización y consiste en maximizar y minimizar una función de varias variables, denominada función objetiva, la cual está sujeta a ciertas condiciones restrictivas que se deben - cumplir o respetar; las mismas que pueden ser también - otras funciones; formando de esta manera una función auxiliar la cual debe cumplir con la condición de que la derivada - parcial de la función auxiliar con respecto a cada una de las va riables debe ser igual a cero, que son condiciones necesarias pa ra minimizar una función que es el objetivo principal de los pro blemas de optimización.

Expresando ésto matemáticamente tenemos:

Sea:

$F(x,y,z)$ la función objetivo:

sujeto a una condición restrictiva $\emptyset(x,y,z) = 0$

Se forma la función auxiliar

$$G(x,y,z) = F(x,y,z) + \lambda \emptyset(x,y,z)$$

Sujeto a las condiciones:

$$\frac{\partial G}{\partial x} = 0 ; \quad \frac{\partial G}{\partial y} = 0 ; \quad \frac{\partial G}{\partial z} = 0$$

que son condiciones necesarias para máximos o mínimos relativos; donde el parámetro que es independiente de x,y,z , se llama multiplicador de lagrange.

Este método se puede generalizar si se quiere hallar el máximo o el mínimo relativo de una función $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ sujeta a las condiciones restrictivas.

$$\emptyset_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$\emptyset_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$\phi_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

Se forma la función auxiliar

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = F + \lambda_1 \phi_1 + \lambda_2 \phi_2 + \dots + \lambda_k \phi_k$$

sujeta a las condiciones necesarias

$$\frac{\partial G}{\partial x_1} = 0 ; \frac{\partial G}{\partial x_2} = 0 ; \frac{\partial G}{\partial x_n} = 0$$

Donde:

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$, que son independientes de x_1, x_2, x_k , son los multiplicadores de Lagrange.

A la función auxiliar, también se la puede expresar de la siguiente manera:

$$L(x_1, x_2, \lambda) = F(x_1, x_2) + \lambda \phi(x_1, x_2)$$

que se conoce con el nombre de "Ecuación de Lagrange" y consiste de tres variables x_1, x_2 , y λ . Cuando se resuelve para los valores óptimos de x_1 , y x_2 , automáticamente se calcula el valor de λ .

Y para cumplir con las condiciones establecidas sólo se requiere que la derivada parcial de L con respecto a cada una de las variables desconocidas x_1 , x_2 , λ , sea igual a cero.

Esto es:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial L}{\partial x_2} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0$$

Por lo general, las restricciones no son de igualdad solamente, sino también de desigualdad, esto es:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$$

La solución óptima en tales problemas no requiere necesariamente que todas las restricciones de desigualdad sean "alcanzadas", es decir que la optimización restringida ocurre en los límites de la región factible.

3.2.1. Condiciones de Kuhn - Tucker

La regla fundamental que indica cuando el óptimo ha sido alcanzado se indica por medio de las condiciones de Kuhn - Tucker.

Se desea minimizar $F(x)$

$$\begin{aligned} \text{sujeto a } W_i(x) &= 0 & i &= 1, 2, \dots, N_w \\ g_i(x) &\leq 0 & i &= 1, 2, \dots, N_g \end{aligned}$$

La ecuación de Lagrange

$$L(x, \lambda, u) = F(x) + \sum_{i=1}^{N_w} \lambda_i W_i(x) + \sum_{i=1}^{N_g} u_i g_i(x)$$

Las condiciones para un óptimo son:

$$\begin{aligned} 1. \quad \frac{\partial L}{\partial x_i} &= 0 & i &= 1, \dots, N \\ 2. \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} &= 0 & W_i(x) &= 0 & i &= 1, \dots, N_w \\ 3. \quad \frac{\partial L}{\partial u_i} &= 0 & g_i(x) &\leq 0 & i &= 1, \dots, N_g \\ 4. \quad u_i g_i(x) &= 0 & & & & \\ & & & & & \} \quad i = 1, \dots, N_g \\ & & & & & u_i \geq 0 \end{aligned}$$

Las tres primeras condiciones son las mismas que en el caso anterior; la cuarta sirve para determinar

si la restricción de desigualdad g_i está siendo alcanzada o no, es decir para saber si:

$$g_i = 0$$

$$g_i < 0$$

Al tener $u_i g_i = 0$ tenemos dos casos:

$$a. u_i = 0 \rightarrow g_i < 0$$

$$b. u_i > 0 \rightarrow g_i = 0$$

Aplicando este método en un problema de despacho económico de un sistema de potencia que consiste en determinar el costo mínimo de generación, dadas las cargas y la red de transmisión, y sujeto a restricciones de calidad y seguridad y a los límites de generación se pueden resumir en una función costo que relaciona la entrada en sures y la salida en Mw.

$$f(P_i) = a + bP_i + cP_i^2$$

Si la función objetivo es:

$$F(P_1, P_2) = f_1(P_1) + f_2(P_2)$$

Donde:

$f_1(P_1)$ y $f_2(P_2)$ son las funciones de costos de cada una de las unidades en función de P_1 y P_2 .

Con la restricción:

$$W_1(P_1, P_2) = P_r - P_1 - P_2 = 0$$

y además:

$$P_1^- \leq P_1 \leq P_1^+ \quad \left\{ \begin{array}{l} g_1(P_1) = P_1 - P_1^+ \leq 0 \\ g_2(P_2) = P_1^- - P_1 \leq 0 \end{array} \right.$$

$$P_2^- \leq P_2 \leq P_2^+ \quad \left\{ \begin{array}{l} g_3(P_2) = P_2 - P_2^+ \leq 0 \\ g_4(P_2) = P_2^- - P_2 \leq 0 \end{array} \right.$$

La ecuación de Lagrange es:

$$L = F(P_1, P_2) + \lambda_w (P_1, P_2) + u_1 g_1(P_1) + U_2 g_2 (P_1) +$$

$$U_3 g_3 (P_2) + u_4 g_4(P_2)$$

$$L = f_1(P_1) + f_2(P_2) + \lambda(P_r - P_1 - P_2) +$$

$$u_1 (P - P_1^+) + u_2 ((P_1^- - P_1) + u_3 (P_2 - P_2^+) +$$

$$(P_2^- - P_2)$$

Las condiciones para un óptimo son:

Condición 1:

$$\frac{\partial L}{\partial P_1} = f_1'(P_1) - \lambda + u_1 - u_2 = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_2} = f_2'(P_2) - \lambda + u_3 - u_4 = 0$$

Condición 2:

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_r - P_1 - P_2 = 0$$

Condición 3 :

$$P_1 - P_1^+ \leq 0$$

$$P_1^- - P_1 \leq 0$$

$$P_2 - P_2^+ \leq 0$$

$$P_2^- - P_2 \leq 0$$

Condición 4:

$$u_1 (P_1 - P_1^+) = 0 \quad u_1 \geq 0$$

$$u_2 (P_1^- - P_1) = 0 \quad u_2 \geq 0$$

$$u_3 (P_2 - P_2^+) = 0 \quad u_3 \geq 0$$

$$u_4 (P_2^- - P_2) = 0 \quad u_4 \geq 0$$

En este ejemplo pueden ocurrir los siguientes casos:

Primer caso:

Si la solución óptima ocurre cuando P_1 y P_2 no están en sus valores máximos ni mínimos, esto es cuando:

$$u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = 0 \quad (\text{condición 4}).$$

Luego la condición 1:

$$f'_1(P_1) - \lambda = 0$$

$$\rightarrow f'_1(P_1) = f'_2(P_2) = \lambda$$

$$f'_2(P_2) - \lambda = 0$$

El costo incremental asociado con cada variable es igual a λ y en este punto la función $F(P_1, P_2)$ será un mínimo.

Segundo caso:

Cuando la solución óptima es:

$$P_1 = P_1^+ \quad P_1 - P_1^+ = 0 \quad \rightarrow \quad u_1 \geq 0$$

y P_2 , no está en sus valores extremos, luego $u_2, u_3, u_4 = 0$.

Entonces:

$$f'_1(P_1) - \lambda + u_1 = 0 \quad \rightarrow \quad f'_1(P_1^+) \leq \lambda$$

$$f'_2(P_2) - \lambda = 0 \quad \rightarrow \quad f'_2(P_2) = \lambda$$

El costo incremental de la variable que está en su límite máximo es siempre menor o igual que λ . Mientras que las variables que no están en sus límites son iguales a λ .

Tercer caso:

Cuando $P_1 = P_1^- \rightarrow (P_1^- - P_1) = 0$ $u_2 \geq 0$ y P_2 no está en sus límites, luego u_1, u_3, u_4 , son iguales a cero entonces:

$$f'_1(P_1) - \lambda - u_2 = 0 \quad f'_1(P_1^-) \geq \lambda$$

$$f'_2(P_2) - \lambda = 0 \quad f'_2(P_2) = \lambda$$

El costo incremental de la variable que está en un límite mínimo es mayor o igual a λ .

Cuarto caso:

Si la solución óptima requiere que P_1 y P_2 estén en sus límites y la restricción de igualdad debe cumplirse, entonces λ y los u que no son ceros, son indeterminados.

Es decir cuando:

$$P_1 = P_1^+ \quad \text{y} \quad P_2 = P_2^+ \quad \text{luego} \quad u_1 \geq 0 \quad u_3 \geq 0 \quad \text{y} \quad u_2 = u_4 = 0$$

Luego la condición 1^a, nos queda:

$$f'_1(P_1) = \lambda - u_1 \quad \left. \vphantom{f'_1(P_1)} \right\}$$

$$f'_2(P_2) = \lambda - u_3$$

Los valores de λ , u_1 y u_3 , son indeterminados.

Una vez que se han analizado las situaciones que pueden presentarse en un problema de despacho económico - por multiplicadores de Lagrange, posteriormente se tratará sobre la aplicación de este método en un problema de coordinación hidrotérmica.

3.3. METODO DE LA PROGRAMACION DINAMICA

3.3.1. Objetivo de la Programación Dinámica

Es una técnica matemática que nos proporciona un procedimiento sistemático para determinar la combinación de decisiones que maximice o minimice la efectividad global de una sucesión de decisiones interrelacionadas (etapas). No existe un planteamiento matemático estandard del problema de la programación dinámica.

Más bien la programación dinámica es un tipo general de enfoque para resolver problemas de optimización y las ecuaciones particulares usadas deben desarrollarse para que se ajusten a cada situación individual.

Este método consiste de múltiples etapas, es decir se



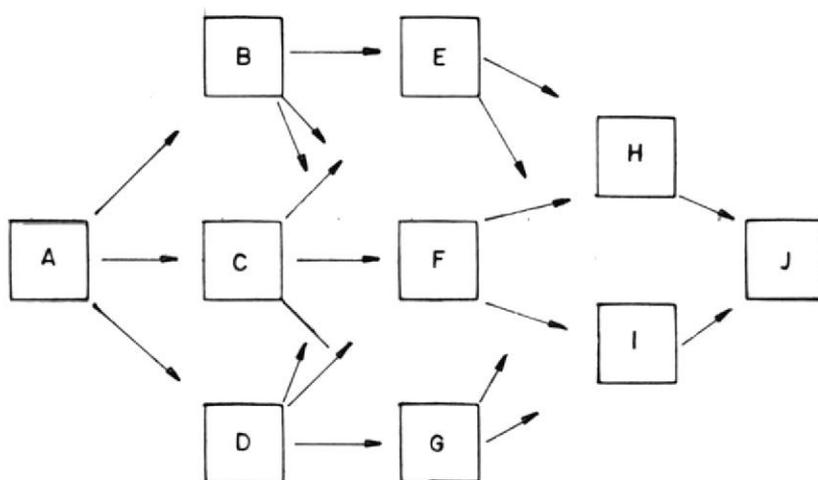
escoge un período y se lo divide en etapas, por lo tanto tendremos punto de partida y llegada fijos y se tendrá también un número considerable de opciones para elegir (estados), por lo tanto se requiere de un cierto grado de ingenio y de visión de la estructura general de los problemas de programación dinámica, a fin de reconocer cuando un problema se puede resolver mediante los procedimientos de esta programación y como se haría.

3.3.2. Características de los problemas de programación dinámica

Con un ejemplo prototipo se ilustra la característica y se introduce la terminología de la programación dinámica.

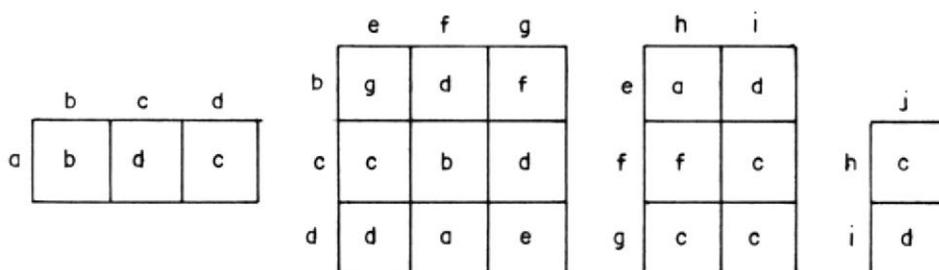
Supongamos que deseamos encontrar la distancia más corta para llegar del punto A al punto J. En la siguiente figura se muestran las rutas posibles, en donde cada estado se representa por un bloque. Por lo tanto se requerirá de cuatro etapas para ir desde el estado A (partida) hasta el estado J (llegada).

Ver gráfico en la siguiente página.-

FIGURA N^o 3.1.

SISTEMA DE CAMINOS PARA EL PROBLEMA

La distancia mínima para ir del estado i al j , la cual - se denotará por d_{ij} se encontrará de la siguiente manera:

FIGURA N^o 3.2. DISTANCIA MINIMA PARA EL MEJOR CAMINO

Los puntos A, B,, J, se llaman estados, y al final de cada etapa se tiene una serie de estados. Por ejemplo:

estados X_n donde n representa la etapa

X_3 - H,I estados al final de la etapa 3.

Un enfoque posible para resolver este problema es por tanteos, sin embargo el número de rutas posibles es grande (18) y tener que calcular la distancia mínima total para cada etapa no es una tarea atrayente.

Considerando el ejemplo anterior, los elementos básicos que caracterizan a los problemas de programación dinámica son los siguientes:

- El problema puede dividirse en etapas, con una de ci sión de la política requerida en cada etapa.
- Cada etapa tiene un cierto número de estados as o ci ados a ella.
- El efecto de la decisión de una política en cada eta

pa es transformar el estado actual en un estado asociado con la etapa siguiente.

- Dado el estado actual, una política óptima para las etapas restantes es independiente de la política adoptada en las etapas previas.
- El procedimiento de resolución empieza por hallar la política para cada estado de la última etapa.
- Se dispone de una relación recursiva que identifique la política óptima para cada estado en la etapa n , dada la política óptima para cada estado en la etapa $(n + 1)$.

Por lo tanto hallar la política óptima cuando se parte del estado s en la etapa n requiere que se encuentre el valor minimizador de x_n .

Esta política consistiría en usar este valor de x_n y, a continuación, seguir la política óptima cuando se parte del estado x_n en la etapa $(n + 1)$.

La forma precisa de la relación recursiva difiere algo entre los problemas de programación dinámica y siempre será de la forma:

$$f_n^*(s) = \max_{x_n} / \min_{x_n} \{ f_n(s, x_n) \}$$

donde:

$S \rightarrow$ estado actual en la etapa n

$x_n \rightarrow$ estado inmediato en la etapa $n(n=1,2,\dots,N)$

$f_n(s, x_n)$ valor maximizador/minimizador de la función objet

$$vo = C_{sxn} + f_{n+1}^*(x_n)$$

$f_n^*(s)$ valor máximo/mínimo de $f_n(s, x_n)$

x_n^* - valor que minimiza o maximiza a $f_n(s, x_n)$

Por lo tanto:

$$f_n^*(s) = f_n(s, x_n^*)$$

Usando esta relación recursiva, el procedimiento de resolución se mueve hacia atrás, etapa por etapa hallando en cada ocasión la política óptima para cada estado de esta etapa hasta que se encuentra la política óptima cuando se parte de la etapa inicial.

Los términos especiales de etapa - estado, política, son parte de la terminología general de la programación dinámica, con una interpretación análoga en otros contextos.

Para todos los problemas de programación dinámica se obtendría una tabla como la que sigue, para cada etapa ($n=N, N-1, \dots, 1$).

$S \setminus x_n$	$f_n^* (S)$	x_n^*

3.3.3. Solución al problema de despacho hidrotérmico por programación dinámica

La programación dinámica puede ser aplicada a la solución del problema de despacho hidrotérmico. Los sistemas de varios centros de generación hidroeléctricos interconectados presentan dificultades en el cálculo, lo cual hace difícil usar este tipo de sistema para ilustrar las ventajas de la aplicación de la programación dinámica a este problema.

En su lugar se ilustrará la aplicación con un sistema más sencillo que consiste de una sola generación hidro interconectada con un sistema térmico.

El gráfico muestra una planta térmica equivalente P_s , y una planta hidro con reservorio P_h , sirviendo a una serie de cargas simples P_l . Los intervalos de tiempo están denotados por "j", donde j va desde 1 hasta T máximo.

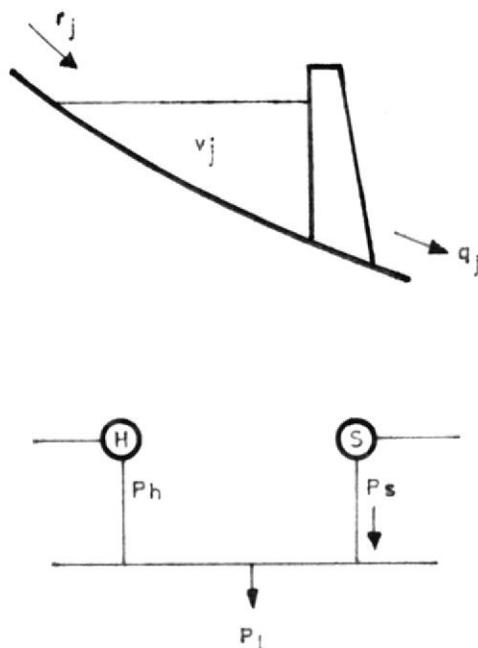


Fig. 3.3. SISTEMA DE GENERACION HIDROTERMICA

donde:

- r_j = flujo neto de agua durante el período J
- V_j = volumen almacenado al terminar el período J
- q_j = flujo que sale durante el período j
- P_{hj} = potencia de salida durante la hora j
- P_{sj} = salida o rendimiento de la planta térmica
- P_{lj} = nivel de la carga
- F_j = costo de combustible en el período j.

Sean V_0 y V_T máx los volúmenes almacenados inicial y final en un período de carga.

La planta térmica es asumida en línea para un período íntegro.

Su característica entrada/salida es:

$$F_j = a + b P_{sj} + c P_{sj}^2 \quad \$/\text{HR}$$

y la característica de la proporción de agua que usa la planta hidroeléctrica es:

$$q_j = d + g P_{hj} + h P_{hj}^2 \quad \text{Para } P_{hj} > 0$$

y

$$q_j = 0 \quad \text{para } P_{hj} = 0$$

Los coeficientes de a hasta h son constantes. Las unidades de flujo de agua son m^3/hora . Y el cambio de volumen almacenado es:

$$V_j = V_{j-1} + n_j (r_j - q_j)$$

Donde:

J = es cada uno de los intervalos

n_j = horas continuas

Si V_i y V_k , denotan dos estados de volumen diferente; y

$$V_i = V_{j-1}$$

$$V_k = V_j$$

Entonces, la razón de flujo de agua a través de la unidad - hidro durante el intervalo es:

$$q_j = (V_i - V_k) / n_j + r_j$$

Donde:

q_j no puede ser negativo y es limitado a algun flujo máxi mo; $q_{máx}$, los cuales corresponden a la máxima potencia de salida de la unidad hidro antes de ser posible el derra mamiento.

El algoritmo de la programación dinámica es completa mente simple.

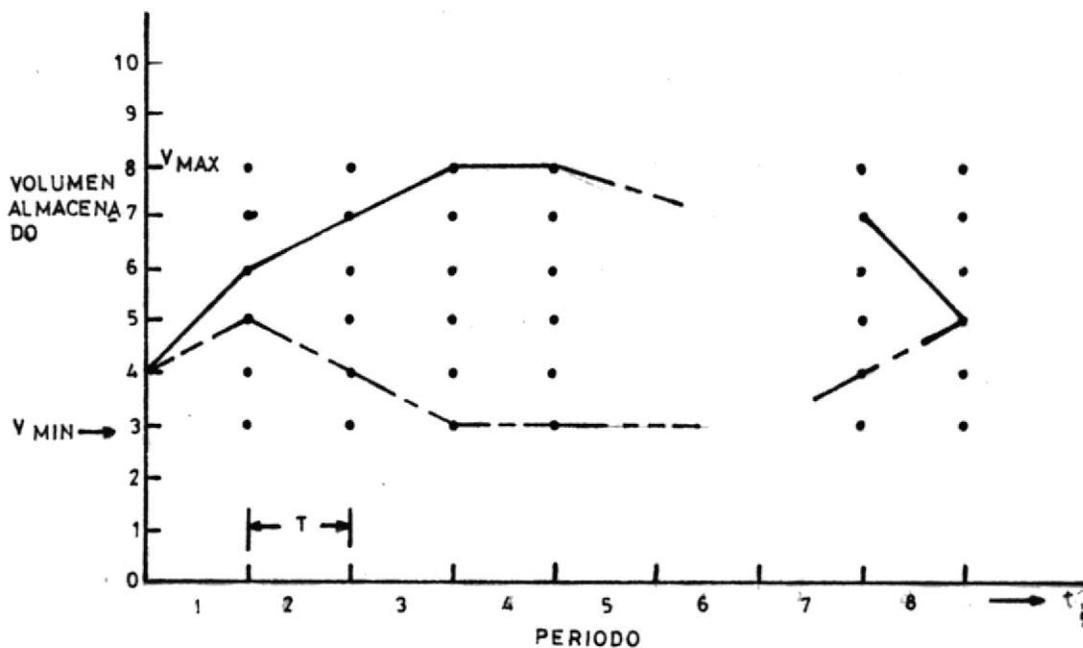


FIGURA N^o 3.4.- ESTADO DE VOLUMENES EN LA PROGRAMACION DINAMICA

{i} : estados del volumen al empezar el período j.

{k} : estados al final de j

TCK(j): el costo total desde el inicio del período -
de programación al final del período j para
el reservorio almacenado del estado V_k.

PC(i, j-1;

K, j) : costo de producción del sistema térmico en
un período j que va desde un volumen inicial
de V_i hacia el final del período volumen V_k.

El algoritmo de la programación dinámica hace entonces que,

$$TC_k (0) = 0$$

y

$$TC_k (j) = \min \{ TC_i (j-1) + PC(i, j-1; k, j) \}$$

$$\{ i \}$$

3.4. METODO DE PROGRAMACION LINEAL

La programación lineal es tal vez la técnica de programación más aplicada en los problemas de optimización, y en la práctica estos problemas están siempre sujetos a ciertas restricciones o limitaciones, para lo cual se necesita construir un modelo matemático mediante el cual se exprese a las restricciones como un sistema de desigualdades lineales y se optimice la función objetivo lineal.

3.4.1. Objetivo de la programación lineal

El propósito de la P.L., consiste en encontrar el valor óptimo de una función objetivo lineal que generalmente representa costos o utilidades y que satisface las restricciones lineales dadas. Esto es encontrar el grupo óptimo de X^1 s los cuales minimicen la siguiente función objetiva.

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots + C_n X_n$$

sujeto a las restricciones lineales:

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq b_2$$

Además las variables tienen sus límites máximos y mínimos especificados.

$$X_i^{\min} \leq X_i \leq X_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N$$

3.4.2. Características y estructura de la programación lineal

El tipo de problema de programación lineal debe reunir las siguientes características:

- a. Que el modelo sea determinístico (parámetros constantes).
- b. Que las variables sean no negativas
- c. El único objetivo sea maximizar o minimizar.
- d. Las variables sean divisibles, es decir que puedan adqui-

rir valores fraccionarios.

La estructura general del problema de la programación lineal, está centrado sobre desigualdades de la forma:

$$\begin{array}{rcl} & \text{Maximizar} & n \\ \text{Función objetiva:} & o & Z = \sum_{i=1}^n C_i X_i \\ & \text{Minimizar} & i=1 \end{array}$$

Sujeto a:

$$\text{Restricciones} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n A_{ki} X_i \leq B_k, \quad k = 1, \dots, f \\ \sum_{i=1}^n A_{ki} X_i \geq B_k, \quad k = f + 1, \dots, g \\ \sum_{i=1}^n A_{ki} X_i = B_k, \quad k = g + 1, \dots, m \end{array} \right.$$

Condiciones de no negatividad:

$$X_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

X_i son variables no negativas, es decir son las incógnitas del problema.

C_i coeficientes de costos

A_{ki} coeficientes estructurales

B_k estipulaciones, y deben ser ≥ 0 .

En este tipo de problema se tiene un número infinito de soluciones y una solución factible es un conjunto de valores no negativos de X_1, X_2, \dots, X_n que satisfaga las restricciones, aunque no necesariamente optimice la función objetivo. Un problema de maximización se puede transformar en uno de minimización multiplicando la función objetivo por -1

$$\text{Máx (Z) = min (-Z)}$$

Hay una variedad de soluciones a los problemas de P.L. muchas de estas soluciones parten de un problema particular ; pero los más empleados son los métodos Simplex y límite superior dual.

METODO SIMPLEX:

Este método consiste en transformar el sistema de igualdades y desigualdades de las restricciones en un sistema de igualdades de la forma:

$$\sum_{i=1}^n A_{ki} X_i = B_k \quad k = 1, 2, \dots, m$$

Para hacer esta transformación, es necesario agregar - ciertas variables al sistema de desigualdades, llamadas variables de holgura y van a depender del tipo de desigualdad, como se explica a continuación:

TIPO DE DESIGUALDAD	ACCION
\leq	+ variable de holgura
\geq	- variable de holgura

La estructura del problema de programación lineal en notación matricial es la siguiente:

Optimícese : $Z = C^T X$

con la condición: $AX = B$

Con : $X \geq 0$

Donde:

X es el vector columna de incógnitas, incluyendo las variables de holgura y artificiales.

C^T = vector renglón de los costos correspondientes

$A =$ es la matriz coeficiente de las ecuaciones de restricciones.

$B =$ es el vector columna de los lados derechos de las ecuaciones de restricciones.

Por otra parte para iniciar el método se da valores de $X_i=0$ $i = 1,2,\dots,n$, como primera solución factible, para continuar de allí a otras soluciones factibles hasta encontrar la óptima.

Después se procede a añadir variables llamadas artificiales para evitar incongruencias en el sistema de ecuaciones, y se agregan tantas variables artificiales como sean necesarias para tener un conjunto de m vectores columnas unitarias linealmente independientes en la matriz de coeficientes del sistema de m ecuaciones. Estas variables sólo se agregan (de ser necesario) en las desigualdades del tipo \geq o en las igualdades del sistema.

Ahora como estas variables independientes se añaden al sistema exclusivamente para poder dar una primera solución factible sencilla, es necesario asegurar que valgan cero en la solución óptima, y esto se logra asignándoles coeficientes de costos C_j , los cuales tienen los siguientes valores:

$$C_j = \begin{cases} 0 & \text{si corresponde a una variable de holgura.} \\ >>0 & \text{si corresponde a una variable artificial y se} \\ & \text{está minimizando.} \\ <<0 & \text{si corresponde a una variable artificial y se} \\ & \text{está maximizando la función objetivo.} \end{cases}$$

De allí para sistematizar el análisis anterior, conviene - escribir los datos en una tabla, la cual es encabezada por - los coeficientes respectivos de la función objetivo X_1, X_2, \dots, X_n

BASE	C. DE LA BASE	Soluc.	C1	C2	...	Ci	...	Cn	...	Cj
		Basica	x1	x2	...	xi	...	xn	...	xj
x_1	C_i	B1	A_{11}	A_{12}		A_{1i}		A_{1n}		A_{1j}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots		\vdots
x_k	C_k	Bk	A_{k1}	A_{k2}	...	A_{ki}	...	A_{kn}	...	A_{kj}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots		\vdots
x_m	C_m	Bm	A_{m1}	A_{m2}		A_{mi}		A_{mn}		A_{mj}
VALOR DE Z	Z_0	Z_0	$Z_1 C_1$	$Z_2 C_2$		$Z_i C_i$		$Z_n C_n$		$Z_j C_j$

Figura 3.5.

TABLA PARA APLICAR EL METODO SIMPLEX COMPUTACIONAL.

C A P I T U L O I V

RESOLUCION MATEMATICA DEL PROBLEMA

Un problema importante en la operación de un sistema hidrotérmico de potencia es la utilización del agua de la generación hidroeléctrica, ya que tiene como efecto una reducción de la generación térmica y por ende del costo de producción.

Este capítulo presenta un método para planificar el despacho económico óptimo a corto plazo, considerando los efectos de pérdidas de transmisión.

La técnica usada es una extensión de la formulación del método de Lagrange ya tratado en el capítulo anterior.

4.1. ECUACIONES DE COORDINACION

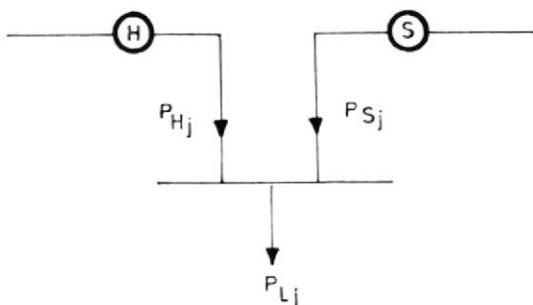
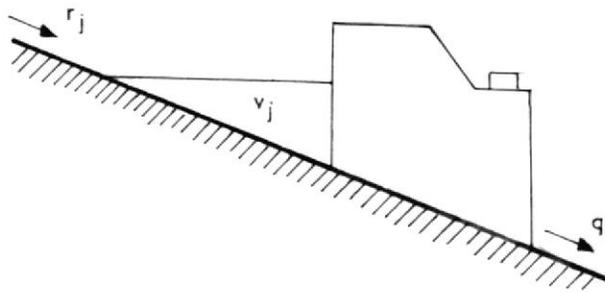
En estos sistemas hidrotérmicos, la planificación de la operación económica es desarrollada para minimizar los costos de producción de la generación térmica, admitiendo las diver

sas restricciones hidráulicas que puedan existir en el sistema; a su vez implica la determinación de las características entrada - salida de las unidades que intervienen en el sistema, es decir de sus rendimientos.

Se ha dicho además que la función de costo de generación de cada unidad térmica o hidráulica se define como una ecuación cuadrática, la misma que puede determinarse experimentalmente, manteniendo la generación de la unidad a un valor fijo determinado y midiendo el consumo por hora correspondiente a esa generación.

Para ilustrar este problema, se va a utilizar la siguiente figura:

i : intervalo
 r_j : flujo de agua durante el intervalo j .
 V_j : volumen.



P_{Hj} : potencia de salida de la unidad hidro.
 P_{Sj} : potencia de salida de la unidad térmica.
 P_{Lj} : demanda de carga.

FIGURA Nº 4.1. SISTEMA HIDROTERMICO

El problema consiste en minimizar la función costo total F_t

$$\text{Min } F_T = \sum_{J=1}^{T_{\text{máx}}} n_j F_j$$

Sujeto a :

$$Q_t = \sum_{J=1}^{T_{\text{máx}}} n_j q_j \text{ descarga total de agua}$$

$$P_{Lj} - P_{Hj} - P_{Sj} = 0 \text{ balance de la carga para } J = 1, \dots, T_{\text{máx}}$$

Las funciones costos de las diferentes unidades se definen de la forma:

$$F(P_s) = a P_s^2 + b P_s + c$$

$$q(P_h) = d P_h^2 + e P_h + f$$

Otras restricciones pueden ser impuestas como:

$$V_j / j = 0 = V_s \text{ volúmen de partida}$$

$$V_j / j = T_{\text{máx}} = V_E \text{ volúmen final.}$$

$q_{\min} \leq q_j \leq q_{\max}$ límites de flujo para $j= 1 \dots T_{\max}$.

$Q_j = q_j$ descarga fija para una hora particular.

De modo que:

$$q = q(P_h)$$

Entonces el Lagrange de la función costo va a ser igual:

$$L = \sum_{j=1}^{T_{\max}} n_j F(P_{sj}) + \lambda_j (P_{1j} - P_{hj} - P_{sj}) + \gamma \left\{ \sum_{j=1}^{T_{\max}} n_j q_j(P_{hj}) - Q_t \right\}$$

4.2. CONSIDERACIONES DEL METODO SIN PERDIDAS EN LINEAS DE TRANSMISION PARA UNA HORA ESPECIFICA K

$$\frac{\partial L}{\partial P_{sk}} = 0 \quad n_j \frac{\partial F_{sk}}{\partial P_{sk}} - \lambda_k = 0 \quad a)$$

y

$$\frac{\partial L}{\partial P_{hk}} = 0 \quad \gamma n_j \frac{\partial q_k}{\partial P_{hk}} - \lambda_k = 0 \quad b)$$

Estas ecuaciones reciben el nombre de Ecuaciones de Coordinación.

En donde:

$\frac{\partial F_s}{\partial P_s}$ = costo incremental de la planta térmica en MW - hr.

$\frac{\partial q_k}{\partial P_{hk}}$ = razón incremental de agua de la planta hidro en $m^3 \cdot \text{seg./MW}$

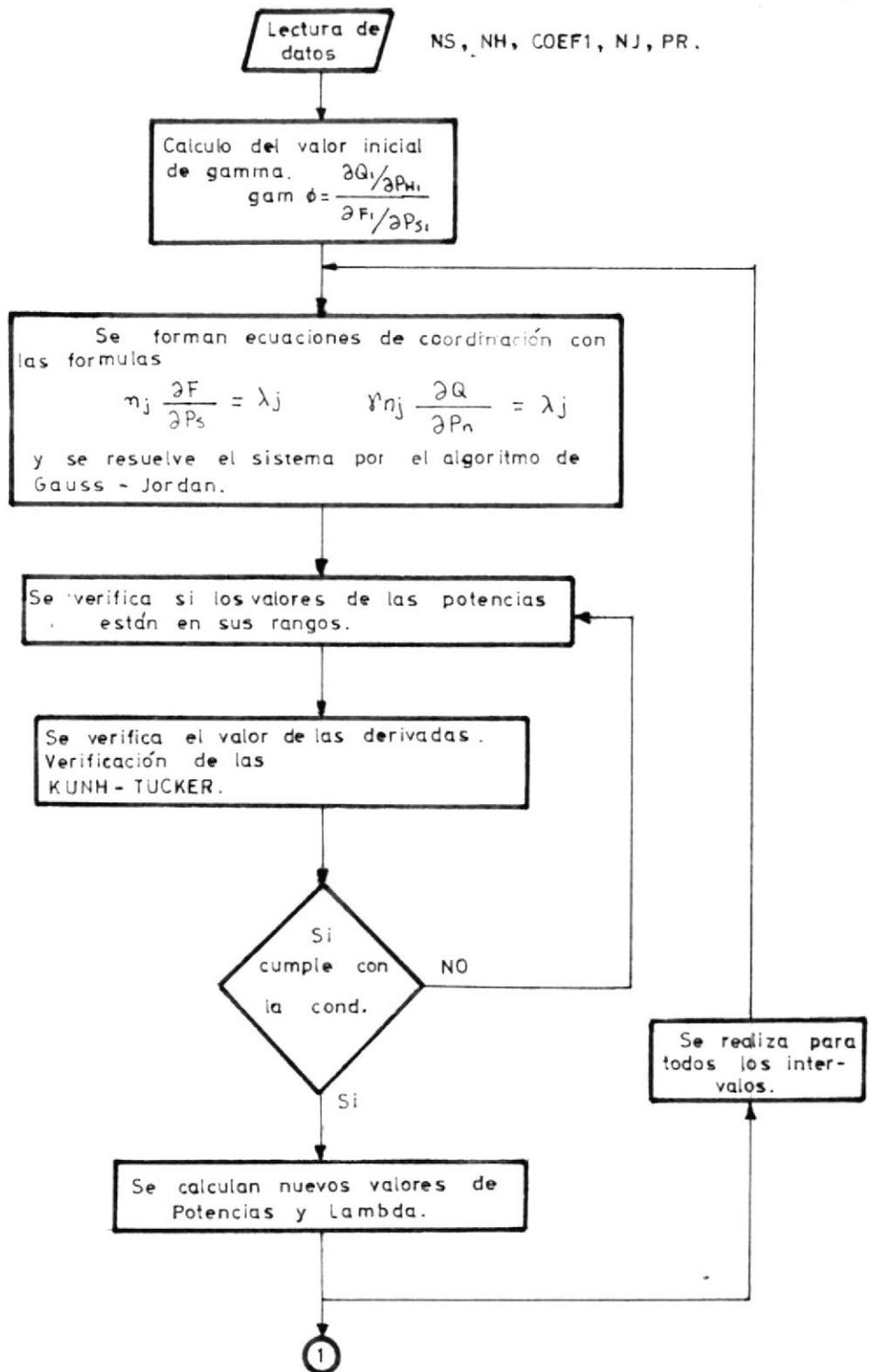
n_j : número de horas de cada intervalo

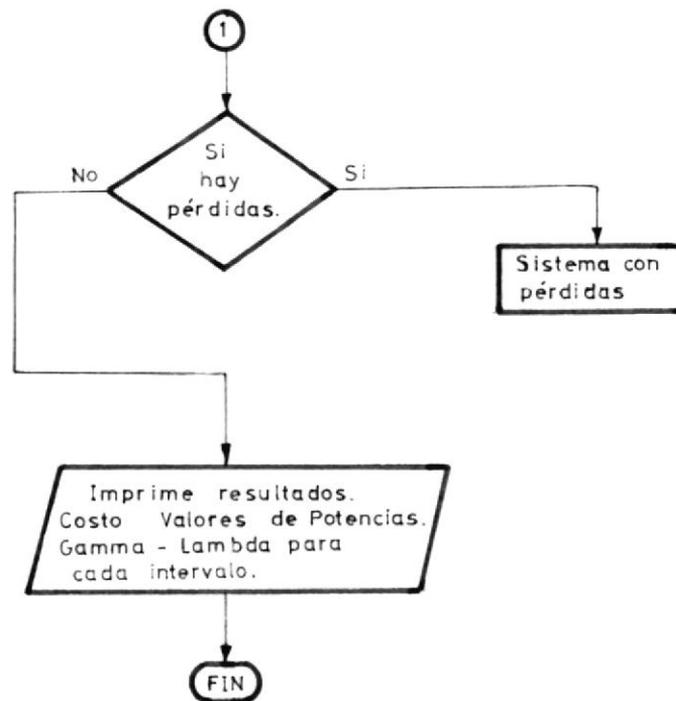
λ : costo incremental de potencia recibida en S/./Mw hr.

γ_j : constante que convierte la razón incremental de agua en costo incremental - equivalente de la planta.

Este sistema es resuelto usando el Diagrama de Flujo que podemos observar en la siguiente página.

FIGURA N° 4.2 .- DIAGRAMA DE FLUJOS

PROCESO SIN PERDIDAS



4.3. PERDIDAS DE TRANSMISION

Para considerar las pérdidas de transmisión en el problema de despacho económico, es preciso que expresemos la pérdida total de energía por transmisión de un sistema en función de las potencias de las unidades que intervienen. Para poder ver con más claridad los principios que intervienen en la fórmula de pérdidas, se procede a determinar dicha expresión.

4.3.1. Determinación de la fórmula de pérdidas

Las pérdidas de transmisión son parte del costo de abastecimiento o requerimiento de un sistema eléctrico de potencia y para aquellos sistemas más compactos, dichas pérdidas deben ser consideradas para lograr un despacho económico verdadero.

Para evaluar las pérdidas en una línea de transmisión en el problema del despacho económico, existen dos métodos generales que son los siguientes: El primer método involucra el uso de los factores de penalización en las pérdidas de transmisión y el otro involucra el uso de los factores de pérdidas de transmisión (coeficientes B) en la solución de las ecuaciones de coordinación. Este último método

do es el más aplicable y fue introducido por Kron en 1.950.

Estudios completos de los "coeficientes B" de pérdidas se sale del objeto de esta tesis, sin embargo, se pueden obtener ecuaciones sencillas basadas en diversas suposiciones, para sistemas con cualquier número de cargas y de generadores.

La ecuación para la fórmula de pérdidas tiene la forma:

$$P_{Loss} = P^T [B] P + P^T B_0 + B_{00}$$

Donde:

P = vector de todas potencias generadores en Mw.

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_N \end{bmatrix} \quad NX1$$

(B) = matriz cuadrada de las dimensiones de
P.

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccc}
 & B_{11} & B_{12} \dots \dots \dots & B_{1N} \\
 (B) = & B_{21} & B_{22} \dots \dots \dots & B_{2N} \\
 & \cdot & \cdot & \cdot \\
 & \cdot & \cdot & \cdot \\
 & \cdot & \cdot & \cdot \\
 & B_{N1} & \dots & B_{NN} & \quad \quad \quad NXN
 \end{array}
 \end{array}$$

B_0 = vector de la misma dimensión de P

$$\begin{array}{r}
 B_{01} \\
 B_{02} \\
 B_0 = \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 B_{0N} \quad \quad \quad NX1
 \end{array}$$

B_{00} = una constante

Ahora la expresión de la fórmula de pérdidas puede ser escrita como:

$$P_{Loss} = \sum_m \sum_n P_m B_{mn} P_n + \sum_m B_{m0} P_m + B_{00}$$

Donde:

B_{mn} coeficientes de pérdidas

P_m, P_n potencias de las unidades

Una forma general de la ecuación de pérdidas - para un número cualquiera de generadores es:

$$P_{Loss} = \sum_m \sum_n P_m B_{mn} P_n$$

4.3.2. Consideración del método con pérdidas en línea de transmisión

El método desarrollado para expresar las pérdidas por transmisión, en función de las potencias de las unidades, hace posible que tengamos en cuenta las pérdidas por transmisión al hacer el despacho económico del sistema hidrotérmico para obtener la máxima economía. El método matemático es similar cuando no se considera las pérdidas, con la excepción de que ahora se incluyen las pérdidas - como una ligadura adicional.

$$P_{Loss} = \sum_m \sum_n P_m B_{mn} P_n$$

Y el Lagrange

$$L = \sum_{j=i}^{T_{\text{máx}}} \{ n_j F(P_{Sj}) + \lambda_j (P_{Lj} + P_{Lossj} - P_{Sj} - P_{Hj}) \} +$$

$$\gamma \{ \sum_{j=i} n_j q_j (P_{Hj}) - Q_T \}$$

resultando:

$$n_j \frac{\partial F(P_{sk})}{P_{sk}} + \lambda_k \frac{\partial P_{lossk}}{P_{sk}} = \lambda_k$$

$$\gamma_{nj} \frac{\partial q(P_{hk})}{P_{hk}} + \lambda_k \frac{\partial P_{lossk}}{P_{hk}} = \lambda_k$$

Si rearrreglamos la ecuación:

$$\frac{\partial F(P_{sk})}{\partial P_{sk}} = \lambda_k \left(1 - \frac{\partial P_{lossk}}{\partial P_{sk}} \right)$$

$$\lambda_k = \frac{\partial F(P_s)}{\partial P_{sk}} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{sk}}} \right)$$

Donde:

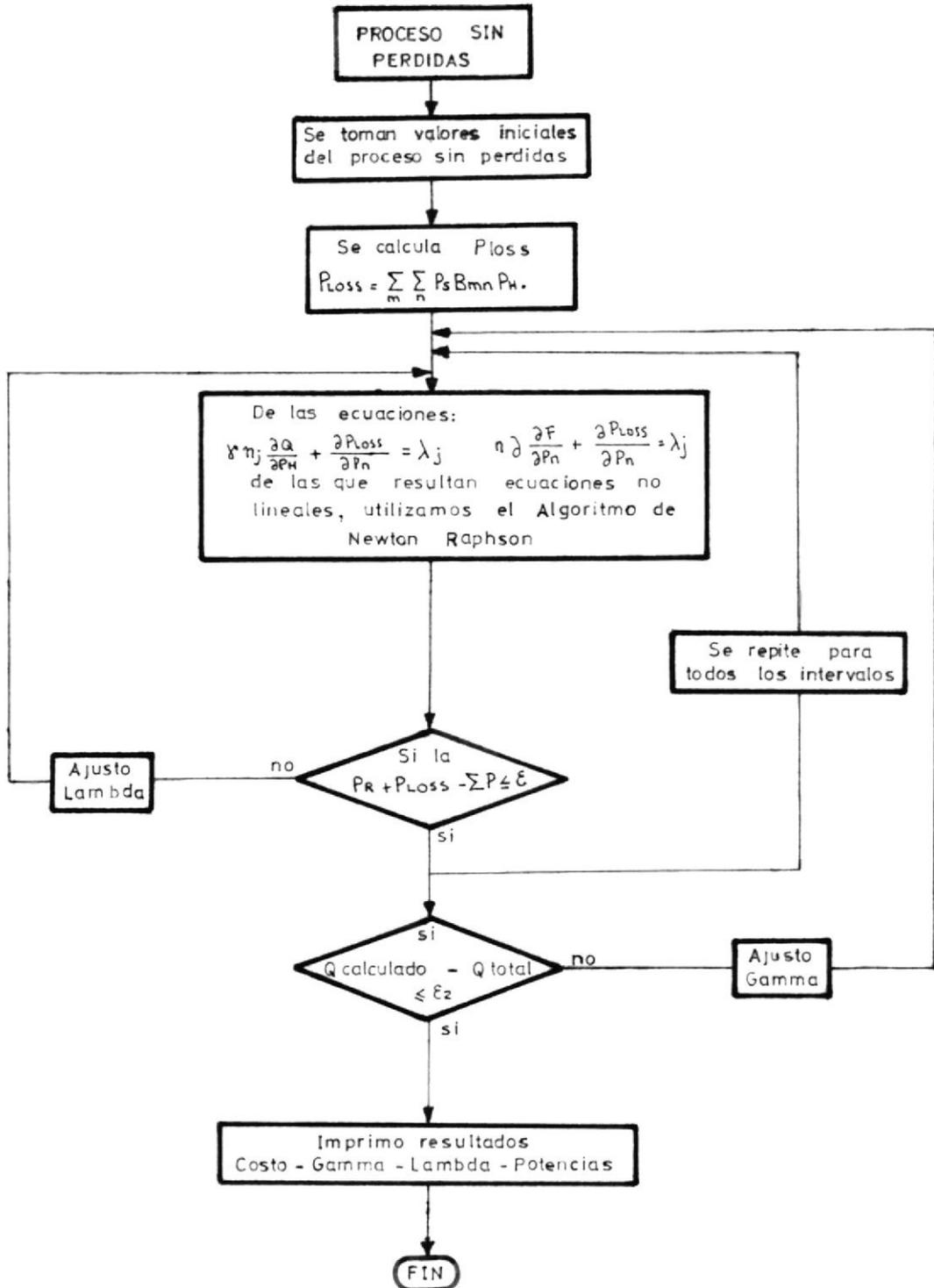
$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{sk}} \rightarrow \text{es llamada pérdida incremental}$$

y

$$P_{fi} = \left\{ \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{sk}}} \right\} \text{ es llamado Factor de penalización}$$

FIGURA Nº 4.3

PROCESO CON PERDIDAS



C A P I T U L O V

PROGRAMA DE COMPUTACION

El presente capítulo describirá los programas escritos en lenguaje Fortran que son:

5.1. PROGRAMA DESOPT

5.1.1. Objetivo

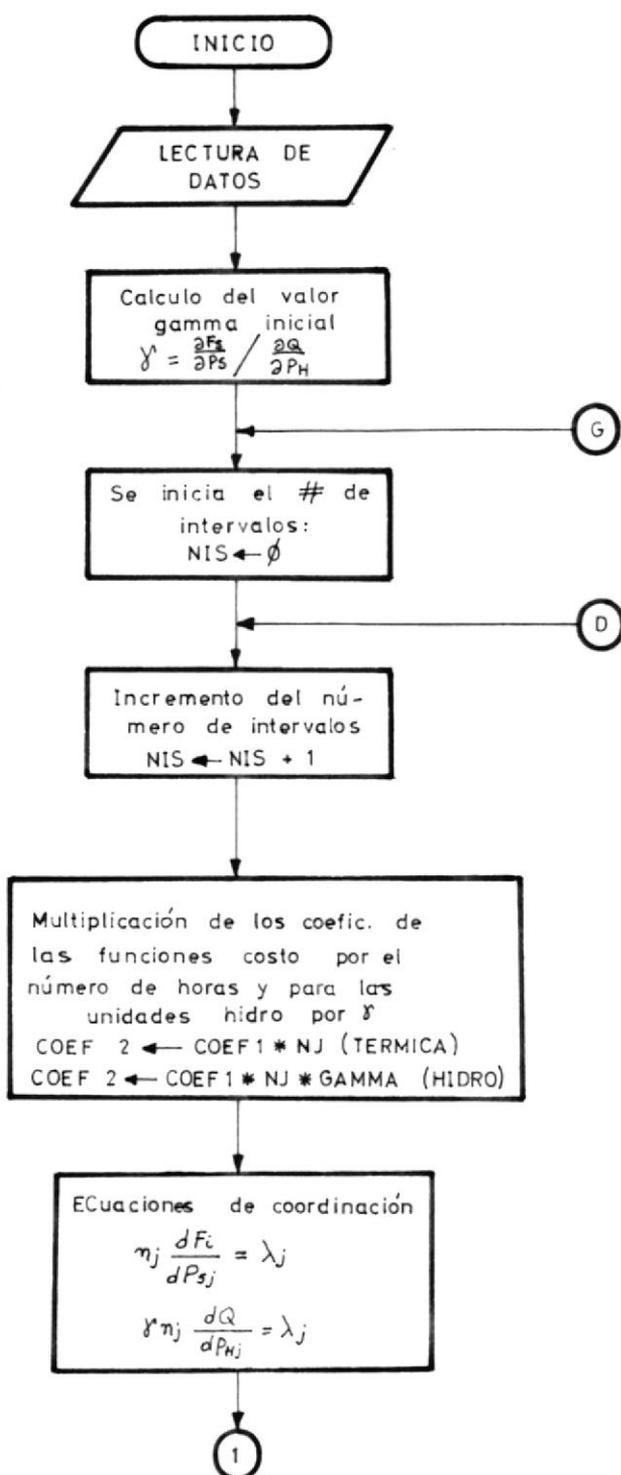
Este programa recibe datos de funcionamiento de plantas eléctricas tanto térmicas como hidroeléctricas, con o sin pérdidas, dando la potencia que debe generar cada planta para satisfacer una potencia requerida.

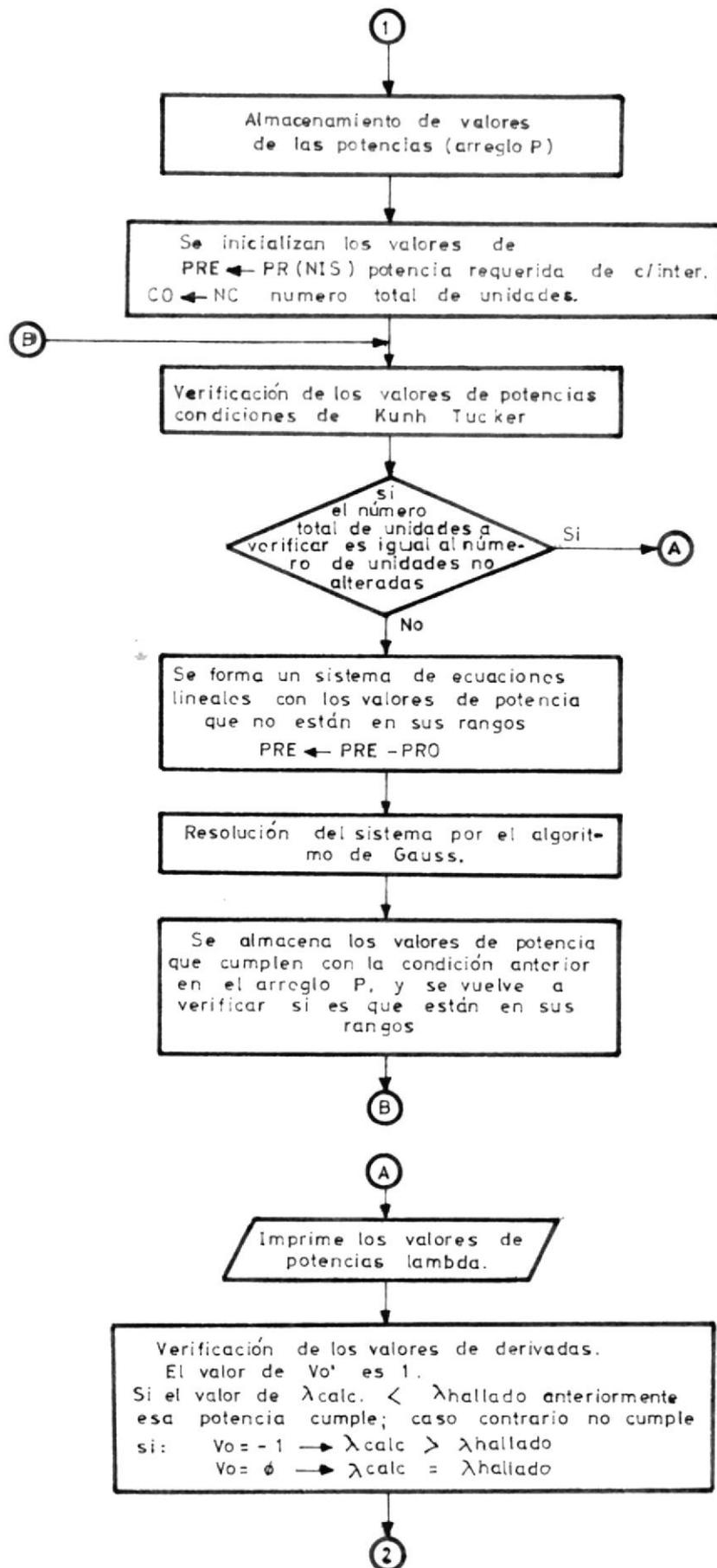
5.1.2. Generalidades

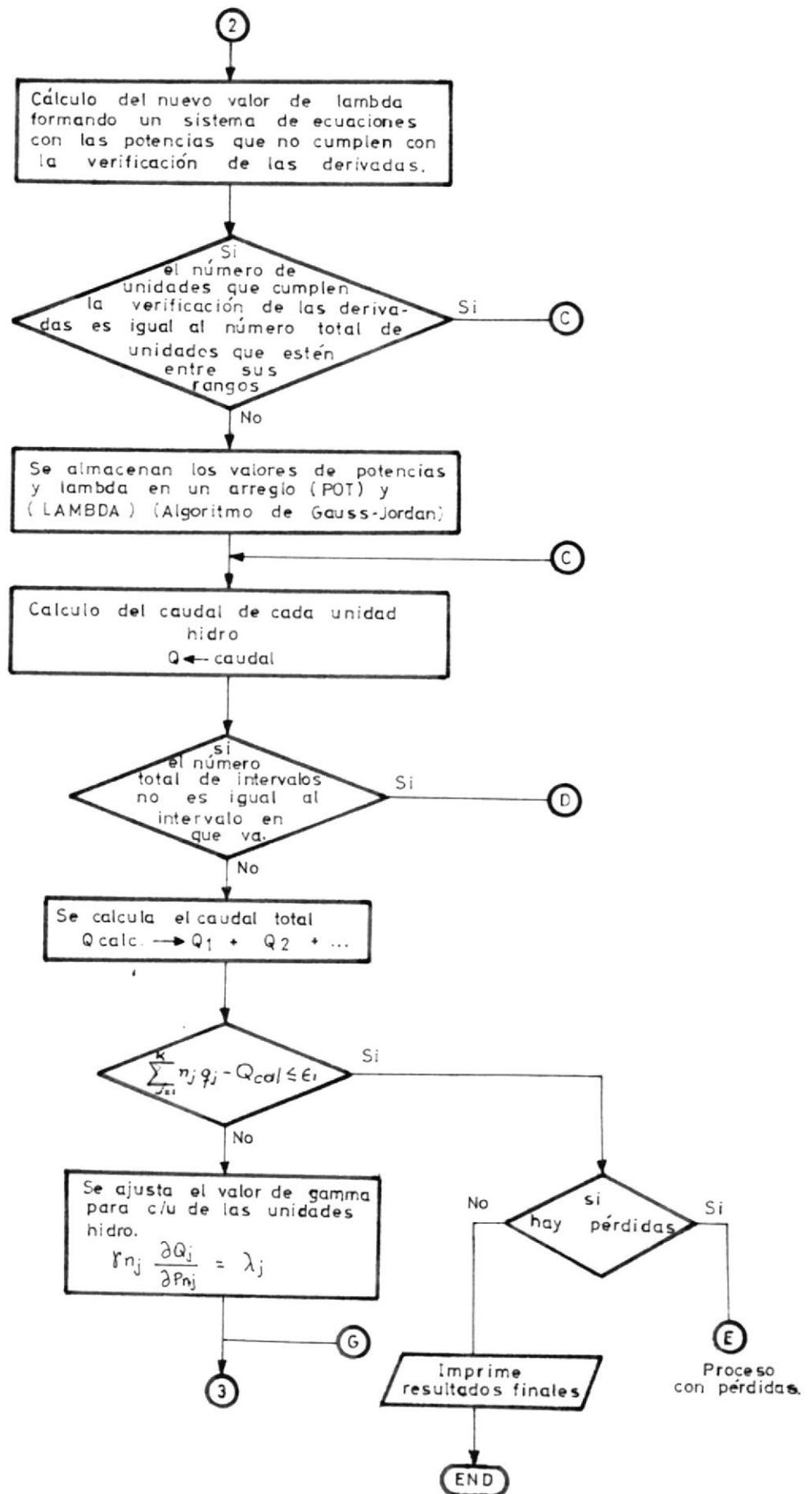
El programa es escrito en lenguaje Fortran grabado en la librería del USER U 30069 del sistema S/4341 con el nombre de DESOPT, conteniendo el programa principal,

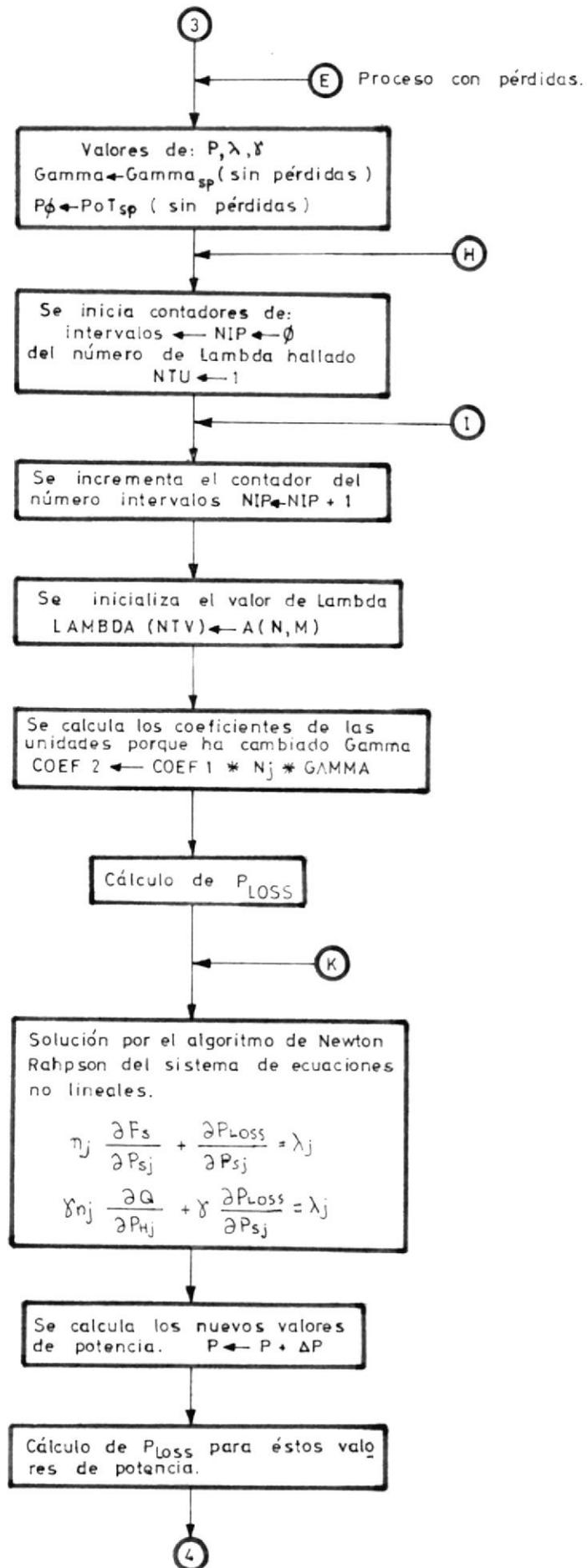
los archivos de datos y la subrutina Gauss que se detallan a continuación, con sus respectivos Diagramas de Flujos.

FIGURA N° 5.1.
PROGRAMA PRINCIPAL









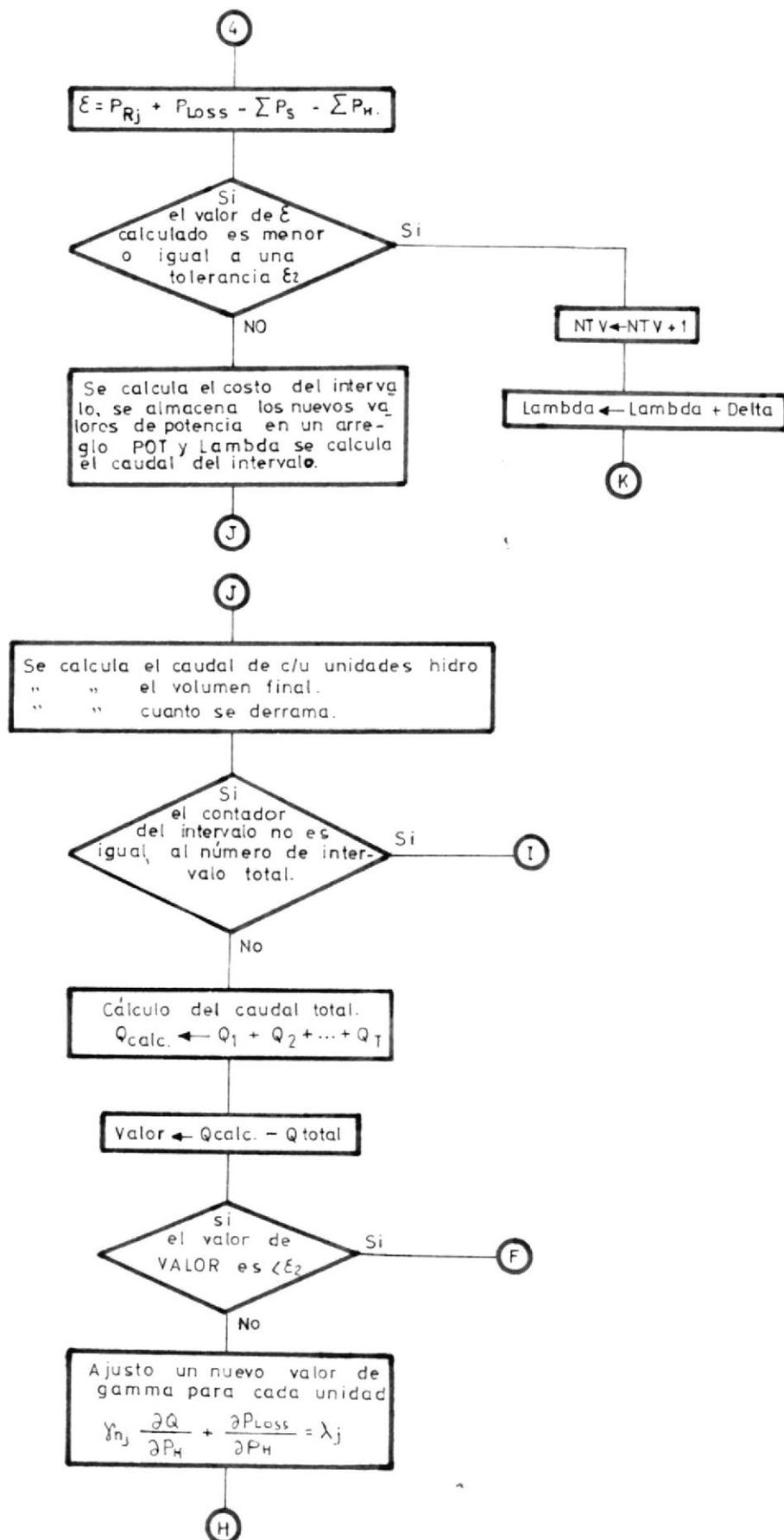
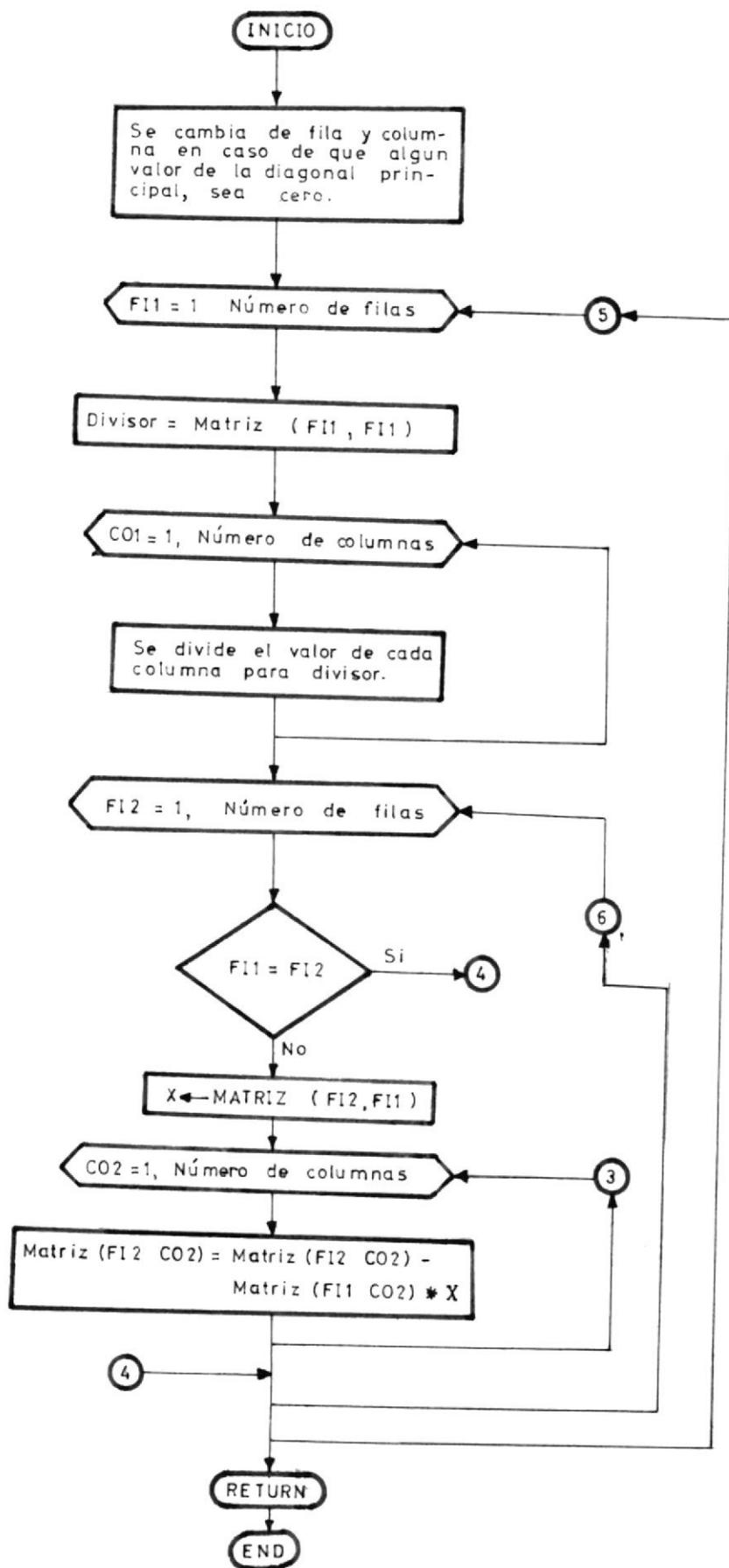


FIGURA Nº5.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA GAUSS

SUBROUTINA GAUSS

5.2. DESCRIPCION DE LOS ALGORITMOS Y VARIABLES UTILIZABLES

5.2.1. Algoritmo de Gauss - Jordan

El algoritmo de Gauss - Jordan consiste en lo siguiente:

Para poder resolver un sistema de ecuaciones por este método debe haber un número de ecuaciones igual al número de incógnitas; se colocan las ecuaciones en forma matricial, quiere decir, que los coeficientes de las incógnitas se colocarán en una matriz cuadrada a la cual se le añadirá una última columna, que será los términos independientes de las ecuaciones lineales a resolver.

A continuación se procede a dejar en la diagonal principal de la matriz de coeficientes solo 1, pero tenga en cuenta que si altera una fila de la matriz de coeficientes, con el hecho de lograr que un número se haga 1, la fila correspondiente a la columna de los términos independientes también se alterará; de la misma manera se cambiará el resto de números que no pertenecan a la diagonal principal por 0.

Todos los cambios a la matriz de coeficientes -

se lograrán recordando las operaciones con matrices (cambios de fila, cambios de columnas, suma, resta, etc.).

Finalmente quedará una matriz identidad en vez de la matriz de coeficientes y en la columna que se adicionó, quedarán los valores de las incógnitas.

5.2.2. Algoritmo de Newton - Rapson

El Algoritmo de Newton - Raphson consiste en lo siguiente:

Primeramente este algoritmo se utiliza para resolver ecuaciones no lineales por un método iterativo.

Se toman las ecuaciones y se las deriva cada una de ellas con respecto a cada una de sus incógnitas, y a cada una de esas derivadas se las evalúa en valores iniciales que pueden ser tomados de procesos anteriores, en nuestro caso será el proceso sin pérdidas, por lo tanto si hay un número N de incógnitas y un número N de ecuaciones, habrá un número $N*N$ de valores.

Todos estos valores son almacenados en forma ordenada en una matriz que llamaremos matriz de los coeficientes.

O sea que serán almacenados en la primera fila:

Los que sean valores provenientes de la primera ecuación derivada con respecto a cada una de las incógnitas.

En la segunda fila:

Los que sean valores provenientes a la segunda ecuación derivada con respecto a cada una de las incógnitas.

Y así sucesivamente hasta que lleguen a la última ecuación.

Además de ello se adicionará una columna en la cual estarán los valores de las ecuaciones no derivadas evaluadas en los mismos valores iniciales con los que se evaluó las derivadas.

Una vez que se tenga esta matriz compuesta por la matriz de los coeficientes y la columna que se adicionó, se procede a resolver el sistema por el algoritmo de Gauss - Jordán; lo que nos dará como resultado no será los valores de las potencias, sino - unos incrementos que corresponderán a cada una de las incógnitas.

O sea que los valores resultantes serían los valores iniciales que se tomaron adicionándoles el incremento.

5.2.3. Variables utilizadas en el Programa Principal

Las variables usadas en el programa principal DESOPT , son las siguientes:

COEF 1	Arreglo de dos dimensiones en la cual se almacenan los valores leídos de los coeficientes de las funciones <u>costo</u> de las unidades térmicas e hidroeléctricas.
COEF 2	Arreglo de dos dimensiones en la cual se almacenan los valores multiplicados de los coeficientes de funciones costo de las unidades térmicas e <u>hidro</u> eléctricas.
CO	Arreglo en una dimensión en la cual se guardan los valores de costo del combustible de cada unidad térmica.
MAXS	Arreglo en una dimensión en la cual se almacenan los valores máximos que pueden tomar los valores de potencia de las unidades.
MINS	Arreglo en una dimensión en la cual

	se almacenan los valores mínimos que pueden tomar los valores de potencia de las unidades.
PR	Arreglo en una dimensión en la cual se almacena los valores de la potencia requerida en cada intervalo.
PLB	Arreglo en dos dimensiones en la cual se guardan los coeficientes de la función de pérdidas.
NH,NS	VARIABLES que contienen el número de unidades hidroeléctricas y el número de unidades térmicas, respectivamente.
NC	Variable entera que contiene el número total de unidades.
LAMBDA	Arreglo en una dimensión que contiene el valor consecutivo de Lambda obtenido de cálculos sucesivos.
NUM 1, NUM 2	
TIT, GUARDA	
COMP, HOL	Arreglos en dos dimensiones que se utilizarán para la salida por formato.
GAMO	Variable que almacena el valor inicial de gamma.
GAMSP	Arreglo en tres dimensiones que almacena el valor de Gamma para cada unidad hidroeléctrica en cada intervalo del proceso

	sin pérdidas.
GAMMA	Arreglo en tres dimensiones que almacena el valor de Gamma para cada unidad hidroeléctrica en cada intervalo del proceso con pérdidas.
E1,E2	Errores que se utilizan en el programa.
NIV	Variable entera que almacena el número de intervalos.
POTS	Arreglo en dos dimensiones que almacena los valores de las potencias en cada intervalo de proceso sin pérdidas.
NJ,P	Arreglos en una dimensión que almacena los valores del número de horas de cada intervalo y las potencias en un intervalo.
POT	Arreglo en dos dimensiones que almacena los valores de las potencias de todos los intervalos.
COSTO	Arreglo en una dimensión que almacena el costo de cada intervalo.
WO,RJ	Variable que almacena el dato del volumen inicial y del caudal de entrada de cada intervalo.
QTOTAL	Variable que almacena el valor del caudal total.
QCALCU	Variable que almacena el valor del caudal calculado.

WMAX	Arreglo en una dimensión en la cual se almacenan los valores máximos que pueden tomar el volumen del líquido en cada intervalo.
WMIN	Arreglo en una dimensión en la cual se almacenan los valores mínimos que pueden tomar el volumen del líquido en cada intervalo.

5.3. LECTURA DE DATOS

La lectura de datos es realizada desde el disco por medio de un formato que ha de explicarse detalladamente en el Manual del Usuario.

Primero lee el número de unidades térmicas e hidroeléctricas , luego los coeficientes de las unidades y al mismo tiempo se va creando unos archivos para que la salida sea flamante, a continuación se lee el costo del combustible, el número de intervalos y a su vez se lee las horas de duración y la potencia requerida en cada intervalo.

A continuación se lee una variable lógica que indica si es que hay pérdidas o no las hay. En el caso de que la variable lógica leída sea verdadera, se lee los coeficientes de la función de pérdidas y en caso contrario, no los lee.

Luego lee las tolerancias E_1 y E_2 , los valores máximos y mínimos a los cuales pueden llegar los valores de las potencias en las unidades térmicas e hidroeléctricas.

Después lee el valor de Gamma (GAMO), el valor del volumen inicial que debe haber en el embalse, el caudal de entrada, además de los valores máximos y mínimos de los volúmenes.

5.3.1. Ajuste de Lambda

Proceso sin pérdidas:

En este proceso el ajuste de LAMBDA no se necesita, pues es obtenido de la resolución del sistema de ecuaciones por el algoritmo de Gauss - Jordán y depende del valor de potencias de las unidades que se obtengan de las resoluciones anteriores.

Proceso con pérdidas:

En este proceso el ajuste de Lambda se realiza por medio del incremento del valor inicial de Lambda con un pequeño valor al cual llamaremos Delta, obtenido de la resolución de las ecuaciones no lineales por el algoritmo de Newton - Raphson.

$$\text{LAMBDA} = \text{LAMBDA (anterior)} + \text{Delta (incremento)}$$

5.3.2. Ajuste de Gamma

Proceso sin pérdidas:

En este proceso el valor de Gamma es diferente para cada unidad hidroeléctrica y en cada intervalo.

O sea que el valor de Gamma es igual al valor de Lambda del intervalo dividido para el producto del número de horas que debe durar el intervalo y el valor de la derivada de la función Q de la unidad hidroeléctrica correspondiente al valor de gamma a calcular con respecto a la variable de la unidad.

$$\text{GAMMA} = \frac{\text{LAMBDA}}{\text{NJ} * (\text{DQ/DPH})}$$

Proceso con pérdidas:

En este proceso el valor de Gamma se lo calcula de la siguiente manera:

El valor de Gamma de una unidad hidroeléctrica, es igual al valor de Lambda del intervalo menos la derivada de la función pérdidas con respecto a la variable de la unidad hidroeléctrica correspondiente evaluada en los valores - de potencias encontrados, dividido para el producto entre el número de horas que debe durar todo el intervalo



BIBLIOTECA

y la primera derivada de la función Q de la unidad hidroeléctrica correspondiente.

$$\text{GAMMA} = \frac{\text{LAMBDA} - (\text{DPLOSS}/\text{DPH})}{\text{NJ} * (\text{DQ}/\text{DPH})}$$

5.4. EJEMPLO DE APLICACION DEL PROGRAMA A UN SISTEMA DE POTENCIA

En vista que no se logró obtener la suficiente información de datos de nuestro sistema interconectado y para efecto de poder probar la utilidad del programa, se procede a escoger algunos sistemas típicos de prueba del libro "POWER GENERATION OPERACION AND CONTROL" de ALLEN WOOD. Estos sistemas han sido escogidos en razón de que presentan todas las características necesarias para poder aplicar las diferentes operaciones - que posee el programa.

EJEMPLO 5.2.A

SISTEMA TERMICO CONSIDERANDO LAS PERDIDAS

Se tiene el siguiente sistema formado por seis barras y será usado para demostrar algunos aspectos del despacho económico de carga.

Los valores de impedancias y otros datos ya han sido determinados previamente.

La generación es totalmente térmica y van a alimentar una carga de 300 Mw.

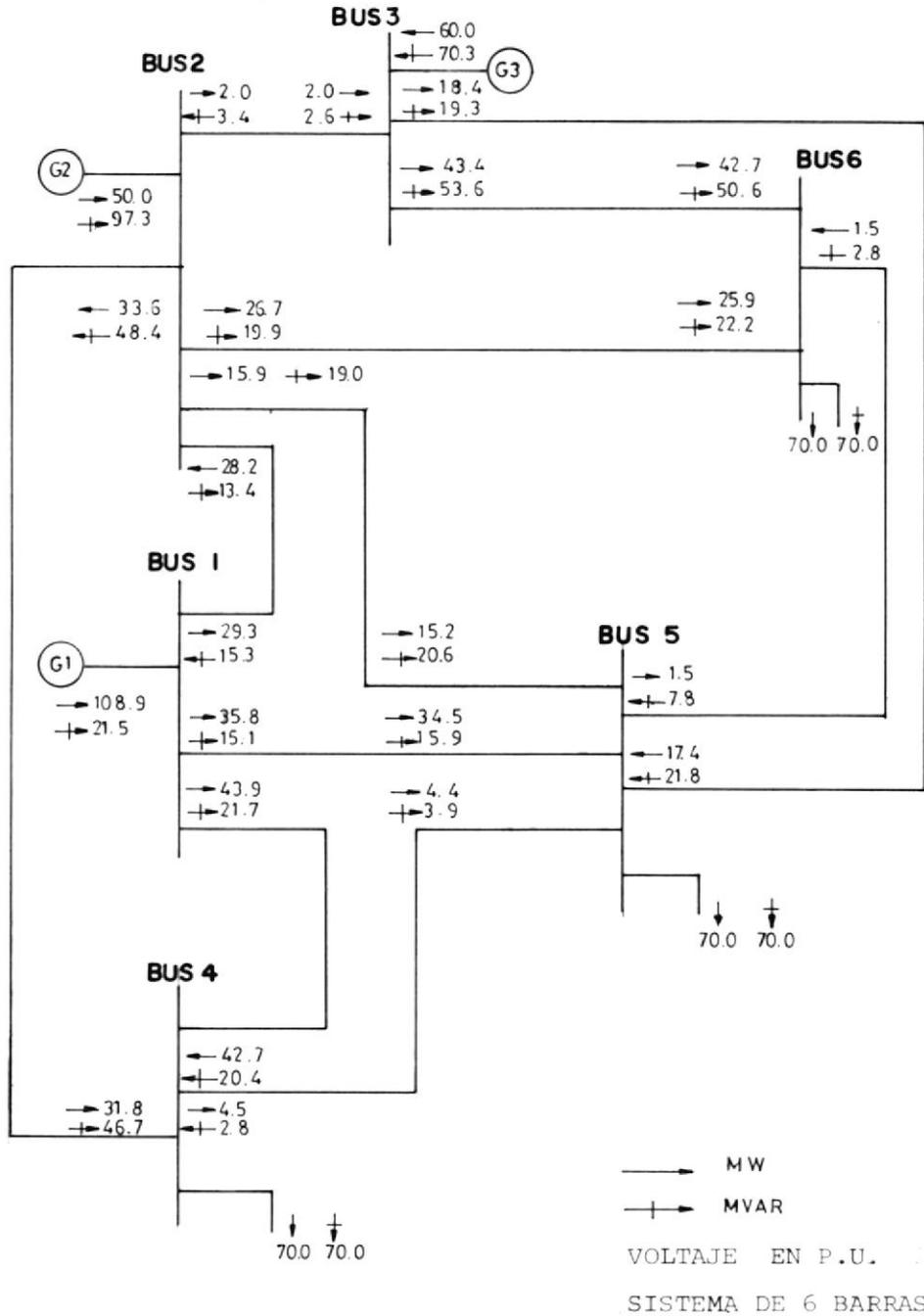


FIGURA N°5.3. . . .- SISTEMA TERMICO DE GENERACION

La matriz "B" de la fórmula de pérdidas está
dad:

$$P_{\text{Loss}} = (P_1, P_2, P_3) \begin{bmatrix} 0,0736 & 0,0106 & -0,00577 \\ 0,0106 & 0,0597 & 0,0103 \\ -0,00577 & 0,0103 & 0,0340 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}$$

Todos los valores de P_i deben estar en p.u.,
cuya base es 100 MVA.

Las funciones costos para las tres unidades -
son:

$$F_1(P_1) = 177,6 + 9,724 P_1 + 0,00444 P_1^2 \text{ \$/HR}$$

$$F_2(P_2) = 200 + 10,333 P_2 + 0,00889 P_2^2 \text{ \$/HR}$$

$$F_3(P_3) = 240 + 10,833 P_3 + 0,00741 P_3^2 \text{ \$/HR}$$

Los límites de potencia de cada unidad :

$$50 \text{ MW} \leq P_1 \leq 200 \text{ MW}$$

$$37.5 \text{ MW} \leq P_2 \leq 150 \text{ MW}$$

$$45 \text{ MW} \leq P_3 \leq 180 \text{ MW}$$

y :

$$P_R(\text{carga total a suministro}) = 300 \text{ MW}; 250 \text{ MW}, 200 \text{ MW}$$

Usando el programa de despacho económico , vamos a obtener los siguientes resultados : los valores de P_1 , P_2 , P_3 , P_L , λ , costo para cada uno de los casos.

*** LA POTENCIA TERMICA 1

COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA

A 1 = 177.60001
B 1 = 9.72400
C 1 = 0.00444

COSTO DEL COMBUSTIBLE

COSTO = 1.00000 \$/MW

LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON

VALOR MAXIMO = 200.00000 MW
VALOR MINIMO = 50.00000 MW

*** LA POTENCIA TERMICA 2

COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA

A 2 = 200.00000
B 2 = 10.33300
C 2 = 0.00889

COSTO DEL COMBUSTIBLE

COSTO = 1.00000 \$/MW

LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON

VALOR MAXIMO = 150.00000 MW
VALOR MINIMO = 37.50000 MW

*** LA POTENCIA TERMICA 3

COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA

A 3 = 240.00000
B 3 = 10.83300
C 3 = 0.00741

COSTO DEL COMBUSTIBLE

COSTO = 1.00000 \$/MW

LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON

VALOR MAXIMO = 180.00000 MW
VALOR MINIMO = 45.00000 MW

MATRIZ DE COEFICIENTES DE LA ECUACION DE PERDIDA

	PS1	PS2	PS3
PS1	0.000736	0.000106	- .000058
PS2	0.000106	0.000597	0.000103
PS3	- .000058	0.000103	0.000340

RESULTADOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA CON PERDIDAS

TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE POTENCIA EN MW)

INTERVALO	PR	PL	PS 1	PS 2	PS 3
1	300.00	23.03	133.14	75.22	114.67
2	250.00	16.12	114.28	62.06	89.78
3	200.00	10.59	95.72	49.11	65.76

TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE COSTO , LAMBDA Y GAMMA)

INTERVALO		COSTO (SUCRES)	LAMBDA (\$/MW-H)
1	\$	4158.19	13.59
2	\$	3494.65	12.96
3	\$	2862.37	12.35

COSTO TOTAL DEL PROCESO = \$ 10515.21

EJEMPLO B:

SISTEMA HIDROTERMICO SIN CONSIDERAR LAS PERDIDAS DE TRANSMISION:

Una carga va a ser suministrada por una unidad hidro y una unidad térmica, cuyas características de entrada - salida son:

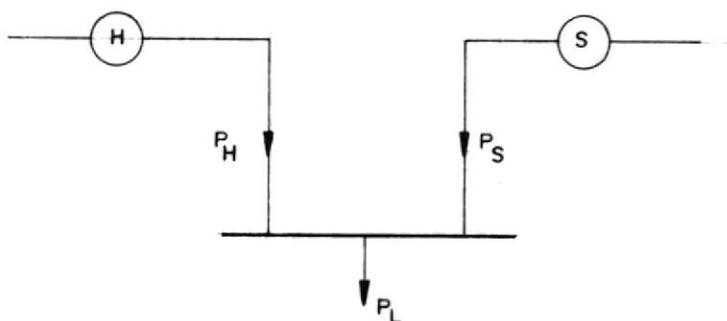


FIGURA N° 5.4.- SISTEMA DE GENERACION HIDROTERMICO

UNIDAD TERMICA:

$$H = 500 + 8 P_s + 0,0016 P_s^2$$

Costo de combustible = 1,15 S/. / MBTU

$$150 \text{ Mw} \leq P_s \leq 1000 \text{ Mw}$$

UNIDAD HIDRO:

$$q = 330 + 4,97 P_h \text{ m}^3/\text{HR}$$

$$0 \leq P_h \leq 1000 \text{ Mw}$$

El reservorio debe cumplir las siguientes restricciones:

1. 100.000 m³ al empezar
2. Debe haber 60.000 m³ al final de cada intervalo
3. El volumen del reservorio está limitado.

$$120.000 \text{ m}^3 \leq V \leq 60.000 \text{ m}^3$$

4. El flujo de agua al reservorio es de 2.000 m³/HR.

La carga a ser suministrada está conectada a la planta -
térmica y tiene los siguientes intervalos:

				PR
1º día	12 de la noche	-	12 del día	1.200 Mw
	12 del día	-	12 de la noche	1.500 Mw
2º día	12 de la noche	-	12 del día	1.100 Mw
	12 del día	-	12 de la noche	1.800 Mw

cada intervalo es de 12 horas.

Aplicando el programa , vamos a obtener los siguientes valores
de: P_H , P_S , λ , δ , caudal, costo, derrame, volumen final.

*** LA POTENCIA TERMICA 1

COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA

A 1 = 499.99976
B 1 = 8.00000
C 1 = 0.00160

COSTO DEL COMBUSTIBLE

COSTO = 1.15000 \$/MW

LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON

VALOR MAXIMO = 1000.00000 MW
VALOR MINIMO = 150.00000 MW

*** LA POTENCIA HIDROELECTRICA 1

COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA

G 1 = 330.00000
H 1 = 4.97000
I 1 = 0.00000

VALOR INICIAL DE GAMMA

GAMMA = 2.16579 \$/M3

LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON

VALOR MAXIMO = 1000.00000 MW
VALOR MINIMO = 0.00000 MW

MATRIZ DE COEFICIENTES DE LA ECUACION DE PERDIDA

	PS1	PH1
PS1	0.000000	0.000000
PH1	0.000000	0.000000

RESULTADOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA CON PERDIDAS

TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE POTENCIA EN MW)

INTERVALO	PR	PL	PS 1	PH 1
1	1200.00	0.00	496.00	704.00
2	1500.00	0.00	500.00	1000.00
3	1100.00	0.00	384.00	704.00
4	1800.00	0.00	800.00	992.00
5	950.00	0.00	352.00	592.00
6	1300.00	0.00	480.00	816.00



TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE COSTO , LAMBDA Y GAMMA)

INTERVALO		COSTO (SUCRES)	LAMBDA (\$/MW-H)	GAMMA 1 (\$/M3)
1	\$	16772.59	32.29	2.1658
2	\$	16904.98	33.12	2.2213
3	\$	13137.34	32.29	2.1658
4	\$	27337.79	36.43	2.4434
5	\$	12124.14	32.29	2.1658
6	\$	16224.79	32.29	2.1658

COSTO TOTAL DEL PROCESO = \$ 102521.56

TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE CAUDAL)

INTERVALO	CAUDAL 1 (M3/H)
1	3828.89
2	5300.01
3	3828.89
4	5260.25
5	3272.24
6	4385.52

TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE VOLUMEN FINAL)

INTERVALO	VOL.FIN 1 (M3)
1	94513.31
2	84613.25
3	79126.56
4	69345.81
5	65529.09
6	58372.52

TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE DERRAME)

INTERVALO	DERRAME 1 (M3)
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	-1627.48

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si tomamos en cuenta que las empresas eléctricas se interesan siempre en mejorar la operación de los equipos de transmisión existentes, el despacho económico con sus respectivas opciones ha sido visto que es una herramienta muy poderosa para conseguir tales objetivos.

En opinión del autor, la presente tesis tiene por objetivo desarrollar un programa de despacho económico de un sistema hidrotérmico, el cual minimiza tanto los costos de generación como también las pérdidas del sistema.

En el presente trabajo la técnica de los multiplicadores de lenguaje consiste en minimizar la función objetivo, la cual corresponde a las funciones de costo de generación de las unidades térmicas y hidro y que están definidas como ecuaciones cuadráticas, con la condición de que el coeficiente del término cuadrático de la unidad hidro es del orden de 10^{-6} a menor.

Este programa se ha implementado de tal manera que tiene una capacidad hasta de 20 unidades de generación entre térmicas e hidro.

El modelo matemático desarrollado, constituye una contribución a la solución de los problemas relacionados con el planeamiento operativo. La metodología empleada hace factible computacionalmente su aplicación en sistemas hidrotérmicos encontrados normalmente en la práctica.

El modelo permite obtener un plan de operación para un horizonte de tiempo determinado, el mismo que puede dividirse en cualquier número de períodos de una duración acorde a los fines requeridos, esto significa que puede ser utilizado tanto para mediano como para corto plazo con períodos mensuales, semanales, diarios, etc.

Lo ideal de esta tesis hubiese sido aplicar este programa al sistema nacional interconectado, pero no fue posible ya que en la actualidad el Departamento de Despacho, recibe el Plan Anual de Operación en períodos mensuales, lo cual crea serias dificultades para la aplicación del mismo; por ejemplo, el control del nivel de los reservorios y la producción de las centrales térmicas sólo puede realizarse al final de cada mes, lo cual causa desviaciones notables al plan establecido.

Como en los centros de despacho están implementados los despachos de potencia activa, este trabajo monográfico va a contribuir a la solución como parte de una estrategia de control en tiempo real.

La velocidad de ejecución de un despacho de potencia activo en un -

tiempo muy corto, permite ser implementado en tiempo real, debido a la forma de los contornos de la función costo, los cuales no presentan valler o puntas pronunciadas.

Por los motivos ya expuestos anteriormente, se aplicó este programa a ejemplos típicos tomados del libro "OPERATION ECONOMIC Y CONTROL" de - Allen Wood y se obtuvo resultados satisfactorios que estaban en acorde con los obtenidos en el libro.

Es decir que las centrales hidroeléctricas generan toda su influencia, respetando las restricciones de generación máxima y mínima, así como también las limitaciones de los embalses y posibles vertimientos en cada uno de los reservorios. La estimación del porcentaje de pérdidas obtenido con el modelo matemático está de acuerdo al obtenido con la información del libro.

Como comentario final, cabe indicar la múltiple utilidad que tiene un despacho económico. Para lo cual recomiendo que este programa sea implementado de tal manera que se desarrolle un despacho económico de la potencia reactiva, siendo este un campo nuevo de investigación.

Este despacho de potencia reactiva traerá algunos beneficios como ahorros en los costos debido a la reducción en las pérdidas del sistema, reducción en la carga de las líneas de transmisión.

A P E N D I C E S

A P E N D I C E A

MANUAL DEL USUARIO

```

*****      *****      *****      *****      *****      *****
*****      *****      *****      *****      *****      *****
**      **      **      **      **      **      **      **
**      **      **      **      **      **      **      **
**      **      *****      *****      **      **      *****      **
**      **      *****      *****      **      **      *****      **
**      **      **      **      **      **      **      **
**      **      **      **      **      **      **      **
*****      *****      *****      *****      **      **
*****      *****      *****      *****      **      **

```

COORDINACION HIDROTERMICA

 MANUAL DE USUARIO

1. INGRESO AL SISTEMA

1.1 PRENDER EL TERMINAL

PARA ENCENDER EL TERMINAL HALE LA PERILLA BLANCA UBICADA EN LA ESQUINA INFERIOR DERECHA DEL TERMINAL , AL HACERLO APARECERA EN PANTALLA EL LOGOTIPO DE LA ESPOL , EL CUAL DEBE SER BORRADO TECLEANDO (ENTER).

1.2 PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION

LUEGO DE BORRAR LA PANTALLA CON EL LOGOTIPO DE LA ESPOL , EL USUARIO DEBE IDENTIFICARSE CON EL COMPUTADOR MEDIANTE DOS CLAVES PERSONALES ASIGNADAS , EL USER-ID Y EL PASSWORD.

EL USERID CONSTA DE UNA LETRA, QUE GENERALMENTE ES 'U' Y CINCO NUMEROS , LOS CUALES DEBERAN SER DIGITADOS , LA LETRA Y LOS NUMEROS JUNTOS, EN LA POSICION EN LA QUE SE ENCUENTRE EL CURSOR EN ESE MOMENTO Y DE ACUERDO AL SIGUIENTE FORMATO:

L UNNNNN

DONDE : NNNNN SON LOS NUMEROS DEL USERID.

(ENTER) : SIGNIFICA QUE USTED PRESIONARA LA TECLA 'ENTER'

POR EJEMPLO, SI SU USERID ES U10000, DIGITARA:

L U10000 (ENTER)

EL USERID APARECERA EN EL EXTREMO SUPERIOR IZQUIERDO DE LA PANTALLA Y EN LA LINEA INMEDIATA INFERIOR APARECERAN LAS PALABRAS 'ENTER PASSWORD (IT WILL NOT APPEAR WHEN TYPED): ' , ESTO INDICA AL USUARIO QUE DEBERA INGRESAR SU PASSWORD EN LA POSICION EN QUE SE ENCUENTRE EL CURSOR, EL CUAL NO APARECERA EN LA PANTALLA CUANDO SEA DIGITADO .

SI SU PASSWORD ES 'J8E7', EL USUARIO DIGITARA:

J8E7 (ENTER)

EN CASO DE SER DIGITADO ERRONEAMENTE EL PASSWORD , EL COMPUTADOR -
DARA UN MENSAJE INDICANDO , QUE EL PASSWORD ES INCORRECTO Y POR LO
TANTO DEBE REINICIARCE EL PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION .

REALIZADA LA IDENTIFICACION, APARECEN EN PANTALLA UNA SERIE DE LE-
TRAS, INDICANDO AL USUARIO QUE SE ESTA INGRESANDO AL SISTEMA. LUE-
GO APARECE UN CUADRO CON ESPECIFICACIONES DE TIEMPO DE USO DEL -
TERMINAL . EN LA ESQUINA INFERIOR DERECHA DE LA PANTALLA APARECEN
LAS PALABRAS 'MORE... ESPOL ' ; INDICANDO AL USUARIO, QUE EL -
COMPUTADOR TIENE MAS MENSAJES QUE DAR , QUE NO PUEDEN SER DADOS A
CONOCER DEBIDO A QUE LA PANTALLA SE ENCUENTRA LLENA , DEBIENDO SER
BORRADA PARA QUE DE LOS MENSAJES QUE FALTAN .

EL PROCEDIMIENTO PARA EL BORRADO DE LA PANTALLA ES PRESIONAR SI--
MULTANEAMENTE LAS TECLAS 'ALT' Y 'CURSOR SEL' .

EN LA SIGUIENTE PANTALLA APARECEN LOS MENSAJES QUE FALTABAN DAR Y
ADEMAS UNA LINEA CON LA CUAL EL COMPUTADOR INDICA QUE SE ENCUENTRA
LISTO PARA RECIBIR INSTRUCCIONES . LA LINEA QUE INDICA QUE EL COM-
PUTADOR ESTA LISTO TIENE EL SIGUIENTE FORMATO :

R; T=3.01/10.52 08:15:12

DONDE	:	'R'	ES DE 'READY'(LISTO)
		'T=3.01/10.52'	ES EL TIEMPO MAQUINA UTILIZADO EN
			EJECUTAR LA ULTIMA INSTRUCCION .
		'08:15:12'	ES LA HORA DE ESE MOMENTO .

SIEMPRE QUE SE DIGITE ALGUNA INSTRUCCION Y SE PRESIONE LA TECLA
(ENTER) , SE DEBERA ESPERAR A QUE EN LA ESQUINA INFERIOR DERECHA
DE LA PANTALLA APAREZCAN LAS PALABRAS 'VM READ' O QUE EN LA PARTE
SUPERIOR IZQUIERDA , APAREZCA LA INSTRUCCION DE QUE EL COMPUTADOR
SE ENCUENTRA LISTO PARA RECIBIR NUEVAS INSTRUCCIONES .

CUANDO EN LA ESQUINA INFERIOR DE LA PANTALLA APARECEN LAS PALABRAS
'RUNNING ESPOL ' ; EL COMPUTADOR SE ENCUENTRA EJECUTANDO INS-
TRUCCIONES DADAS POR EL USUARIO .

EL USUARIO DIGITARA 'DESOPT' ,LUEGO DE LO CUAL APARECERA EN LA PAN-
TALLA EL SIGUIENTE FORMATO :

TESIS DE GRADO

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA (POTENCIA)

COORDINACION HIDROTERMICA

IMPLEMENTADO POR : JAIME MACIAS ROMERO

ESCOJA EL NUMERO DE LA OPCION DESEADA Y PRESIONE (ENTER)

- 1. CREACION O MODIFICACION DEL ARCHIVO
- 2. COMPILACION DEL PROGRAMA DESOPT
- 3. EJECUCION DEL PROGRAMA DESOPT
- 4. REVISION DEL ARCHIVO DE SALIDA
- 5. IMPRESION DEL ARCHIVO DE SALIDA
- 6. RETORNO AL SISTEMA CMS
- 7. SALIDA DEL SISTEMA

SE PUEDEN USAR LAS FUNCIONES ALTERNAS DEL TECLADO, PRESIONANDO LA TECLA 'ALT' Y UNA DE LAS FUNCIONES 'PF' QUE SE ENCUENTRAN EN LA - PARTE FRONTAL DE LAS TECLAS NUMERICAS, SIENDO LAS MAS IMPORTANTES LAS SIGUIENTES:

- PF3 .- SALIR DEL ARCHIVO
- PF7 .- RETROCEDE PANTALLAS
- PF8 .- AVANZA PANTALLAS

DESCRIPCION DE LAS DIFERENTES OPCIONES DADAS

OPCION 1 .-SE INGRESA AL MIEMBRO EN EL CUAL SE ENCUENTRAN LOS DATOS - DE LAS UNIDADES GENERADORAS A OPTIMIZARSE.

LOS DATOS SERAN LEIDOS EN EL SIGUIENTE ORDEN :

- NUMERO DE UNIDADES TERMICAS Y NUMERO DE UNIDADES HIDRO-ELECTRICAS. (NS Y NH RESPECTIVAMENTE) USANDO EL FORMATO (1)
- COEFICIENTES DE LAS UNIDADES TERMICAS E HIDROELECTRICAS

ESTOS DATOS SE LEERAN EN EL SIGUIENTE ORDEN: COEFICIENTE INDEPENDIENTE, COEFICIENTE LINEAL Y COEFICIENTE CUADRATICO USANDO EL FORMATO (2) PARA LAS UNIDADES TERMICAS Y EL FORMATO (3) PARA LAS UNIDADES HIDROELECTRICAS .

- LAS UNIDADES EN QUE ESTA DADO LOS VALORES DE LAS POTENCIAS (UNIPOT) USANDO EL FORMATO (8)

- EL COSTO DEL COMBUSTIBLE PARA CADA UNA DE LAS UNIDADES TERMICAS (CC) USANDO EL FORMATO (2)
- 166
- EL NUMERO DE INTERVALOS EN QUE SE DIVIDIRA EL PROCESO (NIV) USANDO EL FORMATO (1)
- EL NUMERO DE HORAS Y LA POTENCIA REQUERIDA PARA CADA INTERVALO (NJ Y PR) USANDO EL FORMATO (4)
- UN VALOR LOGICO .. EL CUAL INDICARA SI HAY O NO HAY PERDIDAS EN EL PROCESO (PRGT) USANDO EL FORMATO (6)
- SI EL VALOR LOGICO LEIDO ANTERIORMENTE ES VERDADERO SE PROCEDERA A LEER LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE PERDIDA (PLB) USANDO EL FORMATO (5)
- LOS ERRORES QUE SE UTILIZARAN EN EL PROGRAMA PARA OBSERVAR LA APROXIMACION DE CIERTOS VALORES (E1 Y E2) USANDO EL FORMATO (5)
- LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE LAS POTENCIAS PARA CADA UNIDAD TERMICA E HIDROELECTRICA (MAXS Y MINS) USANDO EL FORMATO (2)
- EL VALOR DEL VOLUMEN INICIAL Y EL CAUDAL DE ENTRADA (WO Y RJ) USANDO EL FORMATO (7)
- LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE LOS VOLUMENES EN CADA UNA DE LAS UNIDADES HIDROELECTRICAS (WMAX Y WMIN) USANDO EL FORMATO (7)

LOS DATOS EN ESTE MIEMBRO SE LOS ESCRIBE DE ACUERDO AL SIGUIENTE FORMATO :

FORMATO (1): FORMAT (10(I3,5X))

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE LOS DATOS COMENZARAN EN LA COLUMNA NUMERO (1), QUE SON ENTEROS DE HAS-(3) CIFRAS Y SEPARADOS ENTRE ELLOS POR (5) ESPACIOS Y ADEMAS SE PUEDEN COLOCAR HASTA (10) DATOS EN LA MISMA LINEA.

FORMATO (2): FORMAT (10(F10.5,5X))

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE LOS DATOS COMENZARAN EN LA COLUMNA NUMERO (1), QUE SON DECIMALES DE (10) CIFRAS O SEA QUE OCUPA (10) COLUMNAS DE LAS CUALES LAS (5) PRIMERAS SON PARA LA PARTE ENTERA Y LAS (5) SIGUIENTES PARA LA PARTE DECIMAL, SEPARADOS ENTRE ELLOS POR (5) ESPACIOS Y ADEMAS SE PUEDEN COLOCAR HASTA (10) DATOS EN LA MISMA LINEA

FORMATO (3): FORMAT (F10.5,5X,F10.5,5X,F10.8)

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE LOS DATOS COMENZARAN EN LA COLUMNA NUMERO (1), QUE SON DECIMALES DE (10) CIFRAS O SEA QUE OCUPA (10) COLUMNAS DE LAS CUALES LAS (5) PRIMERAS SON PARA LA PARTE ENTERA Y LAS (5) SIGUIENTES PARA LA PARTE DECIMAL, LUEGO HAY UNA SEPARACION DE (5) ESPACIOS ENTRE EL OTRO DATO SIMILAR AL ANTERIOR, DESPUES OTROS (5) ESPACIOS Y LUEGO UN DATO NUMERICO DE (2) ENTEROS Y (8) DECIMALES .

FORMATO (4): FORMAT (I3,5X,F10.5)

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE LOS DATOS COMENZARAN EN LA COLUMNA NUMERO (1), EL PRIMERO DE LOS DOS ES UN NUMERO ENTERO DE (3) CIFRAS O SEA QUE OCUPA (3) COLUMNAS , SEPARADO DEL SIGUIENTE POR (5) ESPACIOS, EL SIGUIENTE NUMERO ES DECIMAL DE (10) CIFRAS, DE LAS CUALES LAS (5) PRIMERAS COLUMNAS SON LA PARTE ENTERA Y LAS (5) SIGUIENTES SON LA PARTE DECIMAL.

FORMATO (5): FORMAT (10(F10.8,5X)

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE LOS DATOS COMENZARAN EN LA COLUMNA NUMERO (1), QUE SON DECIMALES DE (10) CIFRAS O SEA QUE OCUPA (10) COLUMNAS DE LAS CUALES LAS (2) PRIMERAS SON PARA LA PARTE ENTERA Y LAS (8) SIGUIENTES PARA LA PARTE DECIMAL, SEPARADOS ENTRE ELLOS POR (5) ESPACIOS Y ADEMAS SE PUEDEN COLOCAR HASTA (10) DATOS EN LA MISMA LINEA

FORMATO (6): FORMAT (L1)

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE EL DATO COMENZARA EN LA COLUMNA NUMERO (1) Y QUE ES UNA VARIABLE LOGICA DE UN SOLO CARACTER .

FORMATO (7): FORMAT (F10.4,5X,F10.4)

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE EL DATO COMENZARA EN LA COLUMNA NUMERO (1) Y QUE ES UNA VARIABLE REAL DE 10 CIFRAS DE LAS CUALES 4 SON DECIMALES DESPUES SE DEJA 5 ESPACIOS Y SE LEE OTRA VARIABLE DE LAS MISMAS CARACTERISTICAS .

FORMATO (8): FORMAT (A5)

ESTE FORMATO SIGNIFICA QUE EL DATO COMENZARA EN LA COLUMNA NUMERO (1) Y QUE ES UNA VARIABLE LITERAL DE 5 CARACTERES .

OPCION 2 .- COMPILA EL PROGRAMA FUENTE 'DESOPT'

ANTES DE COMPILAR EL PROGRAMA APARECERA EL SIGUIENTE MENSAJE

PARA PODER COMPILAR ESTE PROGRAMA TIENE QUE HABER DEFINIDO MEMORIA ... TENDRA QUE DIGITAR LO SIGUIENTE :

- 1) DEF STORAGE 3M (Y PRESIONE <ENTER>)
- 2) IPL CMS (Y PRESIONE <ENTER>)
- 3) DTRIPF NOPAN (Y PRESIONE <ENTER>)

DEBERA ESPERAR UNOS SEGUNDOS HASTA QUE TERMINE DE EJECUTAR LOS COMANDOS Y DESPUES VOLVERA A DIGITAR DESOPT Y PRESIONARA <ENTER>

VA A PROCEDER CON LA DEFINICION ...?
RESPONDA (SI O NO) Y PRESIONE <ENTER>

SI USTED NO HA DEFINIDO MEMORIA TEMPORAL EN SU USER , RESPONDA SI , PERO SI YA HA HECHO ESTE PROCESO DESDE ¹⁰⁸ QUE ESTA ACTIVADO SU USER , RESPONDA NO .

OPCION 3 .- EJECUTA EL PROGRAMA FUENTE 'DESOPT'

EN CASO DE QUE SE PRESENTEN PROBLEMAS EN LA EJECUCION DEL PROGRAMA , COMPILE EL PROGRAMA MEDIANTE LA OPCION 2 .

APARECERA LA SIGUIENTE SECUENCIA DE PREGUNTAS ...

=====

```
*****      *****      *****      *****      *****      *****
*****      *****      *****      *****      *****      *****
**      **      **      **      **      **      **      **
**      **      **      **      **      **      **      **
**      **      *****      *****      **      **      *****      **
**      **      *****      *****      **      **      *****      **
**      **      **      **      **      **      **      **
**      **      **      **      **      **      **      **
*****      *****      *****      *****      **      **
*****      *****      *****      *****      **      **
```

COORDINACION HIDROTERMICA

PROGRAMA

=====

LUEGO DE ESO APARECERA EL SIGUIENTE FORMATO :

=====
ESCRIBA EL NOMBRE Y TIPO DE SU MIEMBRO DE DATOS
=====

EN EL CUAL USTED DEBERA DIGITAR EL NOMBRE DEL ARCHIVO EN EL QUE ESTEN ALMACENADOS LOS DATOS .

POR EJEMPLO

SI EL NOMBRE DE SUS DATOS DE ENTRADA ES 'PROGRAM DATA' USTED DIGI-
TARA :

PROGRAM DATA (ENTER)

Y EL PROGRAMA SABRA QUE EN EL ARCHIVO 'PROGRAM DATA' ESTAN LOS DA-
QUE NECESITAN , EN EL CASO DE QUE SOLO INGRESE UNO DE LOS NOMBRES
ASUMIRA COMO SEGUNDO NOMBRE 'ENTRADA' .

POR EJEMPLO

PROGRAM (ENTER)

ASUMIRA : 'PROGRAM ENTRADA'

EN EL CASO DE QUE EL NOMBRE INGRESADO , NO EXISTA , EL PROGRAMA LE
MOSTRARA UN MENSAJE INDICANDOLE QUE VUELVA A DIGITAR EL NOMBRE DEL
ARCHIVO .

LUEGO LE PEDIRA EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA DE LA MISMA -
MANERA COMO SE INGRESO EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA .. EL CUAL
ASUMIRA COMO SEGUNDO NOMBRE 'SALIDA' EN CASO DE QUE SOLO SE INGRE-
SE UNO .

=====
ESCRIBA EL NOMBRE Y TIPO DE SU MIEMBRO DE RESULTADOS
=====

A CONTINUACION SOLO TENDRA QUE ESPERAR A QUE SE EJECUTE EL PROGRA-
MA 'DESOPT' CON LOS DATOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL ARCHIVO DE ENTRA-
DA .

SI DESEA INTERRUPIR LA EJECUCION DEL PROGRAMA 'DESOPT' SOLO TIENI
QUE DIGITAR EN CUALQUIER MOMENTO QUE LE PIDAN LOS NOMBRES DE LOS -
ARCHIVOS, PALABRA 'SALIR' , ESTO LO HARA REGRESAR AL SISTEMA 'CMS'

OPCION 4 .- REvisa el archivo con los resultados que se obtienen lue-
go de la ejecucion del programa 'DESOPT'.

AL INGRESAR EN ESTE MIEMBRO, NO SE PODRAN HACER CORRECCIONES
EN EL MIEMBRO, SOLO PUEDE SER REVISADO.

OPCION 5 .- IMPRIME EL ARCHIVO CON LOS RESULTADOS QUE SE OBTIENEN LUE-
GO DE LA EJECUCION DEL PROGRAMA 'DESOPT'.

PARA INDICARLE QUE SE IMPRIMIO EL ARCHIVO DE RESULTADOS SAL-
DRA EL SIGUIENTE MENSAJE ..

=====
ARCHIVO DE SALIDA IMPRESO
=====

OPCION 6 .- CON ESTA OPCION , EL USUARIO RETORNARA AL SISTEMA¹⁷⁰ CMS.

SALDRA EL SIGUIENTE MENSAJE :

RETORNO AL SISTEMA CMS

CESERCOMP

ESPOL

PRESIONE <ENTER> PARA CONTINUAR

USTED DEBERA PRESIONAR LA TECLA (ENTER) PARA CONTINUAR .

OPCION 7 .- AL DIGITAR ESTA OPCION, EL USUARIO SALE DEL SISTEMA.

```

&TRACE OFF
-DISP
CLRSCRN
&BEGTYPE -END

```

TESIS DE GRADO
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA (POTENCIA)
 COORDINACION HIDROTERMICA
 IMPLEMENTADO POR : JAIME MACIAS ROMERO

ESCOJA EL NUMERO DE LA OPCION DESEADA Y PRESIONE (ENTER)

1. CREACION O MODIFICACION DEL ARCHIVO DE DATOS
2. COMPILACION DEL PROGRAMA DESOPT
3. EJECUCION DEL PROGRAMA DESOPT
4. REVISION DEL ARCHIVO DE SALIDA
5. IMPRESION DEL ARCHIVO DE SALIDA
6. RETORNO AL SISTEMA CMS
7. SALIDA DEL SISTEMA

```

-1 END
  &READ VARS &OPCION
  &RESP =
  &IF .&OPCION EQ . &GOTO -DISP
  &IF .&OPCION LT .1 &RESP = &OPCION
  &IF .&OPCION GT .7 &RESP = &OPCION
  &IF .&RESP NE . &GOTO -DISP
  &IF .&OPCION EQ .2 &GOTO -2
  &IF .&OPCION EQ .3 &GOTO -3
  &IF .&OPCION EQ .4 &GOTO -4
  &IF .&OPCION EQ .5 &GOTO -5
  &IF .&OPCION EQ .6 &GOTO -6
  &IF .&OPCION EQ .7 &GOTO -7
-1 CLRSCRN
  EXEC MPAGBLCO
  &BEGTYPE -END1

```

DIGITE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS
 QUE DESEA CREAR O MODIFICAR

```

-1 END1
  &READ VARS &NAME1 &ADDR1
  &IF .&NAME1 = .SALIR &GOTO -DISP
  &IF .&ADDR1 = .SALIR &GOTO -DISP
  &IF .&NAME1 = . &GOTO -1
  &IF .&ADDR1 = . &ADDR1 = ENTRADA
  X &NAME1 &ADDR1 A1
  &GOTO -DISP

```

-2 CLRSCRN
&BEGTYPE -END21

PARA PODER COMPILAR ESTE PROGRAMA TIENE QUE HABER DEFINIDO
MEMORIA ... TENDRA QUE DIGITAR LO SIGUIENTE :

- 1) DEF STORAGE 3M (Y PRESIONE <ENTER>)
- 2) IPL CMS (Y PRESIONE <ENTER>)
- 3) DTRIPF NOPAN (Y PRESIONE <ENTER>)

DEBERA ESPERAR UNOS SEGUNDOS HASTA QUE TERMINE DE EJECUTAR
LOS COMANDOS Y DESPUES VOLVERA A DIGITAR DESOPT Y PRESIONARA
<ENTER>

VA A PROCEDER CON LA DEFINICION ...?
RESPONDA (SI O NO) Y PRESIONE <ENTER>

-END21
&READ VARS &DEFRES
&IF .&DEFRES EQ .NO &GOTO -COMRES
CLRSCRN
&GOTO -FIN

-COMRES
CLRSCRN
EXEC MPAGBLCO
&BEGTYPE -END2

SE ESTA PROCEDIENDO CON LA COMPILACION
DEL PROGRAMA -DESOPT-

..... ESPERE UN MOMENTO

-END2
FORTVS DESOPT (NOTERM
GLOBAL TXTLIB VFORTLIB CMSLIB TSOLIB VALTLIB IFXOTRCE VLNKMLIB
GLOBAL LOADLIB VFLODLIB
&GOTO -DISP

-3 CLRSCRN
STATE DESOPT TEXT A1
&IF &RETCODE = 0 &GOTO -CONTINUA
EXEC MPAGBLCO
&BEGTYPE -END3

EL PROGRAMA 'DESOPT' NO HA SIDO COMPILADO TODAVIA
POR FAVOR ... PROCEDA PRIMERO CON LA OPCION -2-

-END3
CP SLEEP 4 SEC
&GOTO -DISP

&BEGTYPE -END31

```

=====
*****      *****      *****      *****      *****      *****
*****      *****      *****      *****      *****      *****
**      **  **      **      **      **  **      **      **      **
**      **  **      **      **      **  **      **      **      **
**      **  *****      *****      **      **  *****      **
**      **  *****      *****      **      **  *****      **
**      **  **      **      **      **  **      **      **      **
**      **  **      **      **      **  **      **      **      **
*****      *****      *****      *****      **      **
*****      *****      *****      *****      **      **

```

COORDINACION HIDROTERMICA

PROGRAMA

-END31

CP SLEEP 4 SEC

-Z CLRSCRN

&BEGTYPE -END32

```

=====
ESCRIBA EL NOMBRE Y TIPO DE SU MIEMBRO DE DATOS
=====

```

-END32

&READ VARS &NOM1 &TIP1

CLRSCRN

&IF .&NOM1 = .SALIR &GOTO -DISP

&IF .&TIP1 = .SALIR &GOTO -DISP

&IF .&NOM1 = . &GOTO -Z

&IF .&TIP1 = . &TIP1 = ENTRADA

STATE &NOM1 &TIP1 A1

&IF &RETCODE = 0 &GOTO -MENS1

&BEGTYPE -END33

```

=====
EL ARCHIVO DE DATOS ESPECIFICADO NO EXISTE
INICIE DE NUEVO LA EJECUCION CON LA OPCION -3-
=====

```

-END33

CP SLEEP 3 SEC

&GOTO -DISP

-MENS2

CLRSCRN

```

=====
EL ARCHIVO DE RESULTADOS ESPECIFICADO YA EXISTE
ESPECIFIQUE UNO CON OTRO NOMBRE Y/O TIPO
=====

```

```

- END34
  CP SLEEP 3 SEC
  &GOTO -SAL
- MENS1
  CLRSCRN
  &BEGTYPE -END35

```

```

=====
ESCRIBA EL NOMBRE Y TIPO DE SU MIEMBRO DE RESULTADOS
=====

```

```

- END35
  -SAL
  &READ VARS &NOM2 &TIP2
  CLRSCRN
  &IF .&NOM2 = .SALIR &GOTO -DISP
  &IF .&TIP2 = .SALIR &GOTO -DISP
  &IF .&NOM2 = .      &GOTO -MENS1
  &IF .&TIP2 = .      &TIP2 = SALIDA
  STATE &NOM2 &TIP2 A1
  &IF &RETCODE = 0 &GOTO -MENS2
  CLRSCRN
  &BEGTYPE -END36
  EJECUCION DEL PROGRAMA DESOPT --- COORDINACION HIDROTERMICA ---

IMPLEMENTADO POR: JAIME MACIAS

```

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

```

FFFFFFFFF      IIIIII      EEEEEEEEE
FF             II          EE
FF             II          EE
FFFFFFF        II          EEEEE
FF             II          EE
FF             II          EE
FF             II          EE
FF             IIIIII     EEEEEEEEE

```

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

ESPERE UN MOMENTO PARA OBTENER RESULTADOS

```

- END36
  LOAD DESOPT
  FI 4 DISK &NOM1 &TIP1 A1
  FI 7 DISK &NOM2 &TIP2 A1
  START
  &GOTO -DISP

```

-4 CLRSCRN
EXEC MPAGBLCO
&BEGTYPE -END4

DIGITE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA
QUE DESEA REVISAR ... ANTES DE PROCEDER A LA IMPRESION

-END4
&READ VARS &NAMER &ADDRR
&IF .&NAMER = .SALIR &GOTO -DISP
&IF .&ADDRR = .SALIR &GOTO -DISP
&IF .&NAMER = . &GOTO -4
&IF .&ADDRR = . &ADDRR = SALIDA
STATE &NAMER &ADDRR A1
&IF &RETCODE = 0 &GOTO -REVISA
&BEGTYPE -END41

=====
EL ARCHIVO DE SALIDA ESPECIFICADO NO EXISTE
VUELVA A REALIZAR EL PROCESO CON LA OPCION -4-
=====

-END41
CP SLEEP 3 SEC
&GOTO -DISP
-REVISA
BROWSE &NAMER &ADDRR A1
&GOTO -DISP
-5 CLRSCRN
EXEC MPAGBLCO
&BEGTYPE -END5

DIGITE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA
QUE DESEA IMPRIMIR ...

-END5
&READ VARS &NAMEI &ADDRI
&IF .&NAMEI = .SALIR &GOTO -DISP
&IF .&ADDRI = .SALIR &GOTO -DISP
&IF .&NAMEI = . &GOTO -5
&IF .&ADDRI = . &ADDRI = SALIDA
STATE &NAMEI &ADDRI A1
&IF &RETCODE = 0 &GOTO -IMPRIME
&BEGTYPE -END51

=====
EL ARCHIVO DE SALIDA ESPECIFICADO NO EXISTE
VUELVA A REALIZAR EL PROCESO CON LA OPCION -5-
=====

-END51
CP SLEEP 3 SEC
&GOTO -DISP

-IMPRIME

WRITE &NAMEI &ADDRI A1 (CC DESOPT
&BEGTYPE -END52

=====
ARCHIVO DE SALIDA IMPRESO
=====

-END52

CP SLEEP 3 SEC
&GOTO -DISP

-6 CLRSCRN

EXEC MPAGBLCO
&BEGTYPE -END6

RETORNO AL SISTEMA CMS
CESERCOMP
ESPOL
PRESIONE <ENTER> PARA CONTINUAR

-END6

CP SLEEP 60 MIN
ERASE DESOPT TEXT A1
ERASE DESOPT LISTING A1
ERASE LOAD MAP A5
CLRSCRN
&GOTO -FIN

-7 CLRSCRN

EXEC MPAGBLCO
&TYPE ** FIN DE SESION DE DESOPT. ++ CESERCOMP ++.
EXEC MPAGBLCO
CP SLEEP 2 SEC
ERASE DESOPT TEXT A1
ERASE DESOPT LISTING A1
ERASE LOAD MAP A5
CP LOGOFF

-FIN

&EXIT

A P E N D I C E B

PROGRAMA DE LA TESIS


```
INTEGER*2 M0,M1,M2,M3,M4,M5,M6,M7,M8,M9,M10
INTEGER*2 N0,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
INTEGER*2 O0,O1,O2,O3,O4,O5,O6,O7,O8,O9,O10
INTEGER*2 R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9,R10
```

179

```
*****
*** VARIABLES Y ARREGLOS LITERALES ***
*****
```

```
CHARACTER*1 HOL(20),TIT(20)*15,BCOF(2,3),CTRCAR,UNIPOT*5
```

```
*****
*** VARIABLES Y ARREGLOS LOGICOS ***
*****
```

```
LOGICAL*1 PRGT
```

```
*****
*** COMMON ***
*****
```

```
COMMON N,M
COMMON A
```

```
*****
*** DATA ***
*****
```

```
DATA CC,TIT,PLB,QTOTAL/20*0,20*      ,400*0.0,0.0/
DATA PL/100*0.0/
```

```
*****
*** LECTURA DE DATOS DE ENTRADA ***
*** CON FORMATO ( 6000 ) ***
*** DISPOSITIVO DE ENTRADA (4) ***
*****
```

```
*****
*** NUMERO DE UNIDADES TERMICAS (NS) E HIDROELECTRICAS (NH) ***
*****
```

```
READ (4,6003) NS,NH
NC = NS + NH
```

```
*****
*** COEFICIENTES DE LAS FUNCIONES COSTO DE LA UNIDADES ***
*** Y ADEMAS SE ALMACENAN LOS DIFERENTES SIMBOLOS ***
*** CARACTERISTICOS DE CADA UNIDAD ***
*****
```

```
DO 001 IO = 1,NC
  IF (IO.GE.1.AND.IO.LE.NS) THEN
    READ (4,6006) COEF1(IO,1),COEF1(IO,2),COEF1(IO,3)
    HOL(IO) = 'S'
    TIT(IO) = 'TERMICA'
    NUM2(IO) = IO
    COF(IO) = 1
  ELSE IF (IO.GE.NS+1.AND.IO.LE.NC) THEN
    READ (4,6007) COEF1(IO,1),COEF1(IO,2),COEF1(IO,3)
```

```

IF ( COEF1(I0,3).EQ.0.0 ) COEF1(I0,3) = 1.0E-08
HOL(I0)='H'
TIT(I0) = 'HIDROELECTRICA'
NUM2(I0) = I0 - NS
COF(I0) = 2

```

```

001  ENDIF
CONTINUE

```

```

BCOF(1,1)='A'
BCOF(1,2)='B'
BCOF(1,3)='C'
BCOF(2,1)='G'
BCOF(2,2)='H'
BCOF(2,3)='I'

```

```

*****
*** UNIDAD EN QUE ESTA DADO LOS VALORES DE POTENCIAS ***
*****

```

```

READ (4,6025) UNIPOT

```

```

*****
*** VALOR DEL COMBUSTIBLE PARA LAS UNIDADES TERMICAS ***
*****

```

```

DO 004 I1 = 1,NS
  READ (4,6006) CC(I1)
  COEF1(I1,1) = COEF1(I1,1)*CC(I1)
  COEF1(I1,2) = COEF1(I1,2)*CC(I1)
  COEF1(I1,3) = COEF1(I1,3)*CC(I1)

```

```

004  CONTINUE

```

```

*****
*** NUMERO DE INTERVALOS (HORAS DE USO Y POTENCIA REQUERIDA) ***
*****

```

```

READ (4,6003) NIV
DO 007 I2 = 1,NIV
  READ (4,6009) NJ(I2),PR(I2)

```

```

007  CONTINUE

```

```

*****
*** VALOR LOGICO ( PARA SABER SI HAY PERDIDAS ) ***
*****

```

```

READ (4,6015) PRGT

```

```

*****
*** SI EL VALOR LOGICO LEIDO ANTERIORMENTE ES VERDADERO ***
*** SE LEEN LOS COEFICIENTES DE LA FUNCION DE PERDIDAS ***
*****

```

```

IF (PRGT) THEN
  DO 010 I2 = 1,NC
    DO 010 I3 = 1,NC
      READ (4,6012) PLB(I2,I3)

```

```

010  CONTINUE
ENDIF

```

```
*****
*** ERRORES ***
*****
```

```
READ (4,6012) E1,E2
```

```
*****
*** MAXIMOS Y MINIMOS DE TODAS LAS POTENCIAS ***
*****
```

```
DO 013 I4 = 1,NC
  READ (4,6006) MAXS(I4),MINS(I4)
CONTINUE
```

```
*****
*** VALOR DEL VOLUMEN INICIAL , CAUDAL DE ENTRADA ***
*** VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE LOS VOLUMENES ***
*****
```

```
IF (NH.NE.0) THEN
  READ (4,6018) W0,RJ
  DO 014 L4 = 1,NH
    WOLU(0,L4) = W0
CONTINUE
  DO 016 I5 = 1,NIV
    DO 016 I6 = 1,NH
      READ (4,6018) WMAX(I5,I6),WMIN(I5,I6)
CONTINUE
ENDIF
```

```
*****
***           S I S T E M A           ***
***           S I N                   ***
***           P E R D I D A S         ***
*****
```

```
*****
***     CALCULO     ***
*** VALOR DE GAMMA ***
*****
```

```
GAMO=0
IF (NH.NE.0) THEN
  POPRTE=(MAXS(1)-MINS(1))/2.
  POPRHI=(MAXS(NS+1)-MINS(NS+1))/2.
  DEPOTE=(COEF1(1,2)+2*COEF1(1,3)*POPRTE)
  DEPOHI=(COEF1(NS+1,2)+2*COEF1(NS+1,3)*POPRHI)
  GAMO=DEPOTE/DEPOHI
ENDIF
```

```
*****
*** SE INICIALIZAN LOS ARREGLOS QUE LLEVARAN LOS DATOS DE ***
*** LAS POTENCIAS Y VALORES DE GAMMA ***
*****
```

```
NUMGSP = 1
DO 022 I9 = 1,NIV
  DO 022 I10 = 1,NH
    GAMSP(I9,I10,NUMGSP) = GAMO
CONTINUE
```

022

```

PASO = 1
5100 NIS = 0
5030 NIS = NIS + 1
      DO 025 I8 = 1,NC
          P(I8) = 0.0
          VO(I8) = 0
025  CONTINUE
C
C *****
C *** SE REPITE PARA TODO LOS INTERVALOS Y SE OBTIENEN LOS ***
C *** VALORES DE POTENCIAS DE LAS UNIDADES ***
C *** NI1 = 1..NIV ***
C *****
C
DO 028 J0 = 1,NC
  IF (J0.GE.1.AND.J0.LE.NS) THEN
    COEF2(J0,1) = COEF1(J0,1)*NJ(NIS)
    COEF2(J0,2) = COEF1(J0,2)*NJ(NIS)
    COEF2(J0,3) = COEF1(J0,3)*NJ(NIS)
  ELSE IF (J0.GE.NS+1.AND.J0.LE.NS+NH) THEN
    COEF2(J0,1) = COEF1(J0,1)*NJ(NIS)*GAMSP(NIS,J0-NS,NUMGSP)
    COEF2(J0,2) = COEF1(J0,2)*NJ(NIS)*GAMSP(NIS,J0-NS,NUMGSP)
    COEF2(J0,3) = COEF1(J0,3)*NJ(NIS)*GAMSP(NIS,J0-NS,NUMGSP)
  ENDIF
028  CONTINUE
C
C *****
C * ALMACENO EN LA MATRIZ -A- LOS COEFICIENTES DE LAS *
C * FUNCIONES COSTOS DE LAS POTENCIAS *
C *****
C
NQ=NC+1
DO 031 J1 = 1,NC
  A(J1,J1) = 2*COEF2(J1,3)
  DO 034 J2 = 1,NC
    IF (J1.NE.J2) A(J1,J2) = 0
034  CONTINUE
    A(J1,NQ) = -1
    A(J1,NQ+1) = -COEF2(J1,2)
031  CONTINUE
DO 037 J3 = 1,NC
  A(NQ,J3) = 1
037  CONTINUE
A(NQ,NQ) = 0
A(NQ,NQ+1) = PR(NIS)
C
C *****
C *** RESUELVO EL SISTEMA CON EL ALGORITMO DE GAUSS ***
C *****
C
M = NQ + 1
N = NQ
CALL GAUSS
C
C *****
C *** SE ALMACENA EL ARREGLO -P- LOS VALORES DE LAS POTENCIAS ***
C *****
C
DO 046 J7 = 1,NC
  NUM1(J7) = J7
  P(J7) = A(J7,M)
046  CONTINUE

```



```

*****
*** DISMINUYE EL VALOR DE LA POTENCIA REQUERIDA ***
*****

```

```

PRE = PRE - PRO
DO 058 K0 = 1,CO-1
  A(K0,K0) = 2*COEF2(NUM1(K0),3)
  A(K0,K0+1) = -2*COEF2(NUM1(K0+1),3)
  A(K0,CO+1) = (COEF2(NUM1(K0+1),2) - COEF2(NUM1(K0),2))
058 CONTINUE
DO 061 K1 = 1,CO
  A(CO,K1) = 1
061 CONTINUE
  A(CO,CO+1) = PRE

```

```

*****
*** SE RESUELVE EL SISTEMA POR GAUSS-JORDAN ***
*****

```

```

N = CO
M = CO+1
CALL GAUSS

```

```

*****
*** SE ALMACENAN LOS VALORES DE LAS POTENCIAS ***
*** Y SE VERIFICAN DE NUEVO SI ESTAN EN SUS RANGOS ***
*****

```

```

DO 064 K2 = 1,CO
  P(NUM1(K2)) = A(K2,CO+1)
064 CONTINUE
GOTO 5008

```

```

*****
*** TOMO EL VALOR DE LAMBDA ***
*****

```

```

5003 DO 070 K4 = 1,NC
  IF (VO(K4).EQ.0) LAMINI = (COEF2(K4,2) + 2*COEF2(K4,3)*P(K4))
070 CONTINUE

```

```

*****
*** VERIFICA EL VALOR DE LAS DERIVADAS ***
*****

```

```

CVE = 0
DO 073 K5 = 1,NC
  AUX1 = (COEF2(K5,2) + 2*COEF2(K5,3)*P(K5))
  COMP(K5) = 0
  A1 = INT(AUX1*100)/100.
  A2 = INT(LAMINI*100)/100.
  IF (VO(K5).EQ.0) CVE = CVE + 1
  IF (VO(K5).EQ.1) THEN
    IF (.NOT.(A1.LE.A2)) COMP(K5) = 1
  ELSE IF (VO(K5).EQ.0) THEN
    IF (.NOT.(A1.EQ.A2)) COMP(K5) = 1
  ELSE IF (VO(K5).EQ.-1) THEN
    IF (.NOT.(A1.GE.A2)) COMP(K5) = 1
  ENDIF
073 CONTINUE

```

```

*****
** VUELVO A CALCULAR LAMBDA CON EL NUEVO SISTEMA DE ECUACIONES **
**           CON LAS POTENCIAS QUE CON CUMPLAN           **
*****

```

```

DIM = 0
DO 076 K6 = 1,NC
  IF (COMP(K6).EQ.0.AND.VO(K6).NE.0) DIM = DIM + 1
076 CONTINUE
DIM = NQ - DIM
IF (CVE.EQ.DIM) GOTO 5010

```

```

*****
*** ENCERO LA MATRIZ -A- ***
*****

```

```

DO 079 K7 = 1,20
  DO 079 K8 = 1,20
    A(K7,K8) = 0
079 CONTINUE

```

```

*****
*** SE ESTAN ALMACENANDO EN LA MATRIZ -A- OTROS ***
*** VALORES PARA CALCULAR NUEVOS VALORES DE ***
*** POTENCIA ***
*****

```

```

K10 = 1
DO 082 K9 = 1,NC
  IF (COMP(K9).EQ.0.AND.VO(K9).NE.0) GOTO 082
  GUARDA(K10) = K9
  A(K10,K10) = 2*COEF2(K9,3)
  A(K10,DIM) = -1
  A(K10,DIM+1) = -COEF2(K9,2)
  K10 = K10 + 1
082 CONTINUE

```

```

PPP = 0
DO 085 L0 = 1,NC
  IF (COMP(L0).EQ.0.AND.VO(L0).NE.0) PPP = PPP + P(L0)
085 CONTINUE

```

```

PPP = PR(NIS) - PPP
DO 088 L1 = 1,DIM-1
  A(DIM,L1) = 1
088 CONTINUE

```

```

A(DIM,DIM) = 0
A(DIM,DIM+1) = PPP

```

```

*****
*** RESUELVO EL SISTEMA CON EL ALGORITMO DE GAUSS ***
*****

```

```

M = DIM + 1
N = DIM
CALL GAUSS

```

```

*****
*** SE ALMACENAN LOS RESULTADOS ***
*****

```

```

DO 091 L2 = 1,DIM-1
  P(GUARDA(L2)) = A(L2,M)
091 CONTINUE

```



```

DO 108 R0 = 1,NIV
DO 111 R2 = 1,NH
WOLU(R0,R2) = WOLU(R0-1,R2) + NJ(R0)*(RJ - Q(R0,R2))
IF (WOLU(R0,R2).LT.0.0) THEN
WOAUX = Q(R0,R2)*NJ(R0)
QAUX1 = ( WOAUX + WOLU(R0,R2) )/NJ(R0)
PHAUX = ( QAUX1 - COEF1(1,NS+R2) )/COEF1(2,NS+R2)
POT(R0,NS+R2) = PHAUX
PSAUX = PR(R0)
DO 178 JEL=1,NC
IF (NS.NE.JEL) PSAUX=PSAUX-POT(R0,JEL)
178 CONTINUE
IF ( PSAUX.GT.MAXS(NS) ) PSAUX = MAXS(NS)
IF ( PSAUX.LT.MINS(NS) ) PSAUX = MINS(NS)
POT(R0,NS) = PSAUX
WOLU(R0,R2) = 0.0
Q(R0,R2) = QAUX1
DERRA(R0,R2) = 0.0
NIV = R0
GOTO 5400
ELSE IF (WOLU(R0,R2).LT.WMIN(R0,R2)) THEN
DERRA(R0,R2) = WOLU(R0,R2) - WMIN(R0,R2)
ELSE IF (WOLU(R0,R2).GT.WMAX(R0,R2)) THEN
DERRA(R0,R2) = WOLU(R0,R2) - WMAX(R0,R2)
WOLU(R0,R2) = WMAX(R0,R2)
ELSE
DERRA(R0,R2) = 0.
ENDIF
111 CONTINUE
108 CONTINUE
DO 179 I0 = 1,100
DO 179 I1 = 1,20
DESCAR(I0,I1)=0.0
179 CONTINUE
DO 180 I0 = 1,NIV
DO 180 I1 = 1,NH
DO 180 I2 = 1,3
DESCAR(I0,I1)=DESCAR(I0,I1)+COEF1(I2,I1+NS)*(POT(I0,I1+N
&S)**(I2-1))
180 CONTINUE
GOTO 5400
ENDIF
ELSE
PASO = PASO + 1
NUMGSP = NUMGSP + 1
DO 106 L8 = 1,NIV
DO 106 L9 = 1,NH
DQPH = 2*COEF1(L9+NS,3)*POTSP(L8,L9+NS) + COEF1(L9+NS,2)
GAMSP(L8,L9,NUMGSP) = LAMSP(L8)/(NJ(L8)*DQPH)
106 CONTINUE
GOTO 5100
ENDIF

```

```

*****
***          SISTEMA CON PERDIDAS          ***
***          SISTEMA NO LINEAL DE ECUACIONES ***
***          PROCESO INTERACTIVO          ***
***          UTILIZO EL METODO DE NEWTON-RAPHSON ***
***          RESUELVO EL SISTEMA LINEAL DE ECUACIONES CON ***
***          EL ALGORITMO DE GAUSS-JORDAN ***
*****

```

```

*****
***          SE TOMAN LOS VALORES INICIALES DE          ***
***          LAMBDA , GAMMA , POTENCIAS TERMICAS E HIDROELECTRICAS ***
***          ----- ***
***          EL VALOR DE GAMMA SE ALMACENA EN LA MISMA VARIABLE QUE ***
***          LOS VALORES DE LAS POTENCIAS DE LAS DIFERENTES UNIDADES ***
***          TERMICAS E HIDROELECTRICAS SE ALMACENAN EN UN ARREGLO DE ***
***          UNA DIMENSION LLAMADO -P0- ***
*****

```

```

5500 DO 115 M0 = 1,NIV
      DO 115 M1 = 1,NC
          P0(M0,M1)=POTSP(M0,M1)
115  CONTINUE
      NUMGCP = 1
      DO 118 M2 = 1,NIV
          DO 118 M3 = 1,NH
              GAMMA(M2,M3,NUMGCP) = GAMSP(M2,M3,NUMGSP)
118  CONTINUE
      DO 119 M3 = 1,NC
          P(M3) = P0(1,M3)
119  CONTINUE
      PASO = 1
5020 NTU = 1
      NIP = 0
5220 NIP = NIP + 1
      LAMB(NTU) = LAMSP(NIP)
      DO 121 M4 = 1,NC
          IF (M4.GE.1.AND.M4.LE.NS) THEN
              COEF2(M4,1) = COEF1(M4,1)*NJ(NIP)
              COEF2(M4,2) = COEF1(M4,2)*NJ(NIP)
              COEF2(M4,3) = COEF1(M4,3)*NJ(NIP)
          ELSE IF (M4.GE.NS+1.AND.M4.LE.NS+NH) THEN
              COEF2(M4,1) = COEF1(M4,1)*NJ(NIP)*GAMMA(NIP,M4-NS,NUMGCP)
              COEF2(M4,2) = COEF1(M4,2)*NJ(NIP)*GAMMA(NIP,M4-NS,NUMGCP)
              COEF2(M4,3) = COEF1(M4,3)*NJ(NIP)*GAMMA(NIP,M4-NS,NUMGCP)
          ENDIF
121  CONTINUE

*****
***          SE CALCULA LA POTENCIA PERDIDA CON LOS VALORES INICIALES ***
***          DE LAS POTENCIAS ***
*****

PLOSS = 0
DO 124 M5 = 1,NC
  DO 124 M6 = 1,NC
    PLOSS = PLOSS + PLB(M5,M6)*P(M5)*P(M6)
124 CONTINUE

```

```

C
C *****
C *** ENCERO LAS MATRICES QUE VAN A LLEVAR LA EVALUACION DE LAS ***
C *** FUNCIONES Y DE SUS DERIVADAS ***
C *****
5009 DO 127 M7 = 1,NC
      FUN(M7) = 0
127  CONTINUE
      DO 130 M8 = 1,NC
        DO 130 M9 = 1,NC
          DFUN(M8,M9) = 0
130  CONTINUE
C
C *****
C *** ALMACENO EN LOS ARREGLOS -FUN- Y -DFUN- VALORES PARA LA ***
C *** OBTENCION DE INCREMENTOS CORRESPONDIENTES A LOS VALORES ***
C *** DE LAS POTENCIAS Y DE LAMBDA ***
C *****
      DO 133 M10 = 1,NC
        COMPLE = 0
        DO 136 N0 = 1,NC
          IF (M10.EQ.N0) THEN
            FUN(M10) = FUN(M10) + 2*PLB(M10,N0)*P(N0)
          ELSE
            FUN(M10) = FUN(M10) + (PLB(M10,N0) + PLB(N0,M10))*P(N0)
          ENDIF
136  CONTINUE
      DFUN(NC+1,M10) = (FUN(M10) - 1)
      COMPLE = COEF2(M10,2) + 2*COEF2(M10,3)*P(M10)
      DFUN(M10,NC+1) = (FUN(M10) - 1)
      FUN(M10) = (FUN(M10) - 1)*LAMB(NTU) + COMPLE
133  CONTINUE
      PLOSS = 0
      DO 134 M5 = 1,NC
        DO 134 M6 = 1,NC
          PLOSS = PLOSS + PLB(M5,M6)*P(M5)*P(M6)
134  CONTINUE
      FUN(NC+1) = PR(NIP) + PLOSS
      DO 139 N1 = 1,NC
        FUN(NC+1) = FUN(NC+1) - P(N1)
139  CONTINUE
      DO 142 N2 = 1,NC
        DO 142 N3 = 1,NC
          IF (N2.EQ.N3) THEN
            COLO1 = 2*PLB(N2,N3)*LAMBDA(NTU) + 2*COEF2(N2,3)
            DFUN(N2,N3) = DFUN(N2,N3) + COLO1
          ELSE
            COLO2 = (PLB(N2,N3) + PLB(N3,N2))*LAMBDA(NTU)
            DFUN(N2,N3) = DFUN(N2,N3) + COLO2
          ENDIF
142  CONTINUE
      DFUN(NC+1,NC+1) = 0

```

```

C
C
C *****
C *** ALMACENO EN LA MATRIZ -A- LOS VALORES DE LOS ARREGLOS ***
C *** -FUN- Y -DFUN- PARA RESOLVER EL SISTEMA POR EL ***
C *** ALGORITMO DE GAUSS-JORDAN ***
C *****
C
DO 151 N5 = 1,NC+1
  DO 148 N6 = 1,NC+1
    A(N5,N6) = DFUN(N5,N6)
148 CONTINUE
    A(N5,NC+2) = (-1)*FUN(N5)
151 CONTINUE
  N = NC + 1
  M = NC + 2
  CALL GAUSS

C
C *****
C *** ALMACENO LOS INCREMENTOS OBTENIDOS ***
C *****
C
DO 154 N7 = 1,NC+1
  DELTA(N7) = A(N7,NC+2)
154 CONTINUE

C
C *****
C *** OBTENGO NUEVOS VALORES DE POTENCIAS ***
C *****
C
DO 157 N8 = 1,NC
  P(N8) = P(N8) + DELTA(N8)
157 CONTINUE

C
C *****
C *** CALCULO EL NUEVO VALOR DE PLOSS ***
C *****
C
PLOSS = 0
DO 160 N9 = 1,NC
  DO 160 N10 = 1,NC
    PLOSS = PLOSS + PLB(N9,N10)*P(N9)*P(N10)
160 CONTINUE

C
C *****
C *** VERIFICO SI LA SUMA ES CERCANA A CERO ***
C *****
C
VER = PR(NIP) + PLOSS
DO 163 O0 = 1,NC
  VER = VER - P(O0)
163 CONTINUE
VER = ABS(VER)
IF (VER.LT.E1) THEN
  COSTO(NIP) = 0.0
  PL(NIP) = 0.0
  DO 166 O1 = 1,NS
    DO 166 O2 = 1,3
      COSTO(NIP) = COSTO(NIP) + COEF2(O1,O2)*(P(O1)**(O2-1))
166 CONTINUE
  DO 169 O3 = 1,NC
    POT(NIP,O3) = P(O3)
169 CONTINUE

```

```

LAMBDA(NIP) = LAMB(NTU)
IF ( PRGT ) PL(NIP)=PLOSS
DO 172 04 = 1,NH
  Q(NIP,04) = COEF1(04+NS,1) + COEF1(04+NS,2)*POT(NIP,04+NS)+
&COEF1(04+NS,3)*(POT(NIP,04+NS)**2)
172  CONTINUE
  NTU = 1
  GOTO 5200
ELSE
  NTU = NTU + 1
  LAMB(NTU) = LAMB(NTU-1) + DELTA (NC+1)
  GOTO 5009
ENDIF

C
C
C *****
C ***  CALCULA EL VOLUMEN FINAL DE CADA UNIDAD HIDROELECTRICA  ***
C *****
C
5200 DO 181 07 = 1,NH
  WOLU(NIP,07) = WOLU(NIP-1,07) + NJ(NIP)*(RJ - Q(NIP,07))

C
C
C *****
C *** VERIFICA SI VOLUMEN FINAL ESTA ENTRE LOS RANGOS PERMITIDOS ***
C *****
C

  IF (WOLU(NIP,07).LT.0.0) THEN
    WOAUX = Q(NIP,07)*NJ(NIP)
    QAUX1 = ( WOAUX + WOLU(NIP,07) )/NJ(NIP)
    PHAUX = ( QAUX1 - COEF1(1,NS+07) )/COEF1(2,NS+07)
    POT(NIP,NS+07) = PHAUX
    PSAUX = PR(NIP)
    DO 558 JEL=1,NC
      IF (NS.NE.JEL) PSAUX=PSAUX-POT(NIP,JEL)
558  CONTINUE
      IF ( PSAUX.GT.MAXS(NS) ) PSAUX = MAXS(NS)
      IF ( PSAUX.LT.MINS(NS) ) PSAUX = MINS(NS)
      POT(NIP,NS) = PSAUX
      WOLU(NIP,07) = 0.0
      Q(NIP,07) = QAUX1
      DERRA(NIP,07) = 0.0
      NIV = NIP
      GOTO 5760
    ELSE IF (WOLU(NIP,07).LT.WMIN(NIP,07)) THEN
      DERRA(NIP,07) = WOLU(NIP,07) - WMIN(NIP,07)
    ELSE IF (WOLU(NIP,07).GT.WMAX(NIP,07)) THEN
      DERRA(NIP,07) = WOLU(NIP,07) - WMAX(NIP,07)
      WOLU(NIP,07) = WMAX(NIP,07)
    ELSE
      DERRA(NIP,07) = 0.0
    ENDIF
181  CONTINUE

C
C
C *****
C ***  VERIFICA SI EL CONTADOR QUE LLEVA EN NUMERO DEL INTERVALO ***
C ***      ES IGUAL AL NUMERO TOTAL DE INTERVALOS QUE HAY      ***
C *****
C
5760 IF (NIP.NE.NIV) THEN
  DO 182 07 = 1,NC
    P(07) = P0(NIP+1,07)
182  CONTINUE
  GOTO 5220

```

```

ENDIF
QCALCU = 0.0
DO 184 O8 = 1,NIV
  DO 184 O9 = 1,NH
    QCALCU = QCALCU + NJ(O8)*Q(O8,O9)

```

```
184 CONTINUE
```

```

*****
*** SE PROYECTA NUEVOS VALORES DE GAMMA PARA CADA UNIDAD HI- ***
*** DROELECTRICA Y PARA CADA INTERVALO ... ***

```

```
*** FORMULA DE GAMMA ***
```

```
*** ----- ***
```

```
*** LAMBDA - ( DPLOSS / DPH ) ***
```

```
*** GAMMA = ----- ***
```

```
*** NJ * ( DQ / DPH ) ***
```

```

***
*****

```

```
NUMGCP = NUMGCP + 1
```

```
DO 187 O10 = 1,NIV
```

```
  DO 190 R0 = 1,NH
```

```
    DELGAM = 0.0
```

```
    DPLPH = 0.0
```

```
    DQPH = 0.0
```

```
    DO 193 R1 = 1,NC
```

```
      DPLPH = DPLPH + ( PLB(R1,R0+NS) + PLB(R0+NS,R1) ) * POT(O10
```

```
&,R1)
```

```
193 CONTINUE
```

```
  DPLPH = DPLPH/NIV
```

```
  DQPH = 2*COEF2(R0+NS,3)*POT(O10,R0+NS) + COEF2(R0+NS,2)
```

```
  DELGAM = (LAMBDA(O10)-DPLPH)/(NJ(O10)*DQPH)
```

```
  GAMMA(O10,R0,NUMGCP) = GAMMA(O10,R0,NUMGCP-1) + DELGAM
```

```
190 CONTINUE
```

```
187 CONTINUE
```

```

*****
*** VERIFICA SI EL VALOR DEL CAUDAL CALCULADO ES ACEPTABLE ***
*** ----- ***

```

```

*** SI ESA VERIFICACION ES VERDADERA SE PROCEDE POR MEDIO DE ***
*** UNA SENTENCIA DE -GOTO- AL BLOQUE FINAL DE INSTRUCCIONES ***

```

```
*** QUE ES EL DE IMPRESION DE RESULTADOS ... ***
```

```

*** SI ESA VERIFICACION ES FALSA SE PROCEDE A REALIZAR TODO ***
*** EL PROCESO CON PERDIDAS CON UN NUEVO VALOR DE GAMMA . ***

```

```
*****
```

```
IF (( ABS(QCALCU - QTOTAL).LE.E2 ).OR.( PASO.EQ.2 )) THEN
```

```
  GOTO 5400
```

```
ELSE
```

```
  PASO = PASO + 1
```

```
  GOTO 5020
```

```
ENDIF
```

```

*****
***   IMPRESION DE RESULTADOS   ***
***   CON FORMATO ( 9000 )     ***
***   DISPOSITIVO DE SALIDA ( 7 ) ***
*****

```

193

```

5400 DO 019 I7 = 1,NC
      RES = (I7/2)*2
      CTRCAR = '1'
      IF ( RES.EQ.I7 ) CTRCAR = ' '
      IF ( I7.GE.1.AND.I7.LE.NS ) THEN
        WRITE (7,9001) CTRCAR,(TIT(I7),NUM2(I7),J0=1,2),(BCOF(COF(I7
&),I8),NUM2(I7),COEF1(I7,I8)/CC(I7),I8=1,3),CC(I7),MAXS(I7),MINS(I7
&)
      ELSE IF ( I7.GE.NS+1.AND.I7.LE.NC ) THEN
        WRITE (7,9004) CTRCAR,(TIT(I7),NUM2(I7),J0=1,2),(BCOF(COF(I7
&),I8),NUM2(I7),COEF1(I7,I8),I8=1,3),GAMMA(1,I7-NS,1),MAXS(I7),MINS
&(I7)
      ENDIF
019  CONTINUE
      WRITE (7,9010)
      WRITE (7,9013) ('P',HOL(M0),NUM2(M0),M0=1,NC)
      DO 112 M0 = 1,NC
        WRITE (7,9016) HOL(M0),NUM2(M0),(PLB(M0,M1),M1=1,NC)
112  CONTINUE
      IF ( PRGT ) THEN
        WRITE (7,9019) ('CON',I2=1,3)
        NUMGAM = NUMGCP
      ELSE
        WRITE (7,9019) ('SIN',I2=1,3)
        NUMGAM = NUMGSP
      ENDIF
      WRITE (7,9022) (UNIPOT,I2=1,2),('P',HOL(R2),NUM2(R2),R2=1,NC)
      WRITE (7,9025) ('P',HOL(R2),NUM2(R2),R2=1,NC)
      DO 196 R3 = 1,NIV
        WRITE (7,9028) R3,PR(R3),PL(R3),(POT(R3,R4),R4=1,NC)
196  CONTINUE
      WRITE (7,9031) ('GAMMA',R5,R5=1,NH)
      WRITE (7,9034) ('GAMMA',R5,R5=1,NH)
      WRITE (7,9037) ('($/M3)',R5=1,NH)
      COSTOT = 0
      DO 199 R6 = 1,NIV
        WRITE (7,9040) R6,COSTO(R6),LAMBDA(R6),(GAMMA(R6,R7,NUMGAM),R7=
&1,NH)
        COSTOT = COSTOT + COSTO(R6)
199  CONTINUE
      WRITE (7,9042) COSTOT
      WRITE (7,9043) ('CAUDAL',R7,R7=1,NH)
      WRITE (7,9046) ('CAUDAL',R7,R7=1,NH)
      WRITE (7,9049) ('(M3/H)',R7=1,NH)
      DO 202 R8 = 1,NIV
        WRITE (7,9052) R8,(Q(R8,R9),R9=1,NH)
202  CONTINUE
      WRITE (7,9055) ('VOL.FIN',R7,R7=1,NH)
      WRITE (7,9058) ('VOL.FIN',R7,R7=1,NH)
      WRITE (7,9061) ('(M3)',R7=1,NH)
      DO 203 R8 = 1,NIV
        WRITE (7,9064) R8,(WOLU(R8,R9),R9=1,NH)
203  CONTINUE
      WRITE (7,9067) ('DERRAME',R8,R8=1,NH)
      WRITE (7,9070) ('DERRAME',R8,R8=1,NH)
      WRITE (7,9073) ('(M3)',R8=1,NH)
      DO 205 R9 = 1,NIV
        WRITE (7,9076) R9,(DERRA(R9,R10),R10=1,NH)
205  CONTINUE

```

 *** FORMATOS USADOS EN EL PROGRAMA ***

 *** FORMATOS DE ENTRADA ***

6003 FORMAT (10(I3,5X))
 6006 FORMAT (10(F10.5,5X))
 6007 FORMAT (F10.5,5X,F10.5,5X,F10.8)
 6009 FORMAT (I3,5X,F10.5)
 6012 FORMAT (10(F10.8,5X))
 6015 FORMAT (L1)
 6018 FORMAT (F10.4,5X,F10.4)
 6025 FORMAT (A5)

 *** FORMATOS DE SALIDA ***

9001 FORMAT (A1/////0',8X,'*** LA POTENCIA ',A14,I2/'+' ,8X,'*** LA P
 &OTENCIA ',A14,I2///0',20X,'COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALID
 &A'/'+' ,20X,'COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA'/'0',24X,A1,I2
 &,' = ',F10.5,' /25X,A1,I2,' = ',F10.5,' /25X,A1,I2
 &,' = ',F10.5,' ///0',20X,'COSTO DEL COMBUSTIBLE'/'
 &+' ,20X,'COSTO DEL COMBUSTIBLE'//25X,'COSTO = ',F10.5,' \$/M
 &W '///0',20X,'LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON
 &'/'+' ,20X,'LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON'//25
 &X,'VALOR MAXIMO = ',F10.5,' MW /25X,'VALOR MINIMO = ',F10.5
 &,' MW '///)

9004 FORMAT (A1/////0',8X,'*** LA POTENCIA ',A14,I2/'+' ,8X,'*** LA P
 &OTENCIA ',A14,I2///0',20X,'COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALID
 &A'/'+' ,20X,'COEFICIENTES DE LA CURVA ENTRADA/SALIDA'/'0',24X,A1,I2
 &,' = ',F10.5,' /25X,A1,I2,' = ',F10.5,' /25X,A1,I2
 &,' = ',F10.5,' ///0',20X,'VALOR INICIAL DE GAMMA ...'/'
 &+' ,20X,'VALOR INICIAL DE GAMMA ...'//25X,'GAMMA = ',F10.5,' \$
 &/M3'///0',20X,'LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON
 &'/'+' ,20X,'LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE POTENCIA SON'//25
 &X,'VALOR MAXIMO = ',F10.5,' MW /25X,'VALOR MINIMO = ',F10.5
 &,' MW '///)

9010 FORMAT ('1'///0',12X,'MATRIZ DE COEFICIENTES DE LA ECUACION DE P
 &ERDIDA'/'+' ,12X,'MATRIZ DE COEFICIENTES DE LA ECUACION DE PERDIDA'
 &///)

9013 FORMAT (/15X,10(A1,A1,I1,9X))
 9016 FORMAT (/4X,'P',A1,I1,5X,10(F8.6,4X))
 9019 FORMAT ('1'///0',10X,'RESULTADOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA ',A3,' PE
 &RDIDAS'/'+' ,10X,'RESULTADOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA ',A3,' PERDIDA
 &S'/'+' ,10X,'RESULTADOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA ',A3,' PERDIDAS'///)

9022 FORMAT ('0',15X,'TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE POTENCIA EN ',A5,
 &')'/'+' ,15X,'TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE POTENCIA EN ',A5,')'/'
 &'///0',10X,'INTERVALO',6X,'PR',7X,'PL',20(5X,A1,A1,I2,2X)/)

9025 FORMAT ('+' ,10X,'INTERVALO',6X,'PR',7X,'PL',20(5X,A1,A1,I2,2X))
 9028 FORMAT (/13X,I2,8X,F7.2,1X,F7.2,2X,6(F7.2,4X))
 9031 FORMAT ('1'///0',5X,' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE COSTO , LAM
 &BDA Y GAMMA)'/'+' ,5X,' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE COSTO , LAM
 &BDA Y GAMMA)'///0',8X,'INTERVALO',7X,'COSTO',5X,'LAMBDA',20(6X,A5
 &,I2)/)

9034 FORMAT ('+' ,8X,'INTERVALO',7X,'COSTO',5X,'LAMBDA',20(6X,A5,I2)/)

```

9037  FORMAT (23X, '(SUCRES)', 3X, '($/MW-H)', 20(5X, A6))
9040  FORMAT (/12X, I2, 5X, '$ ', F12.2, 2X, F6.2, 20(5X, F7.4))
9042  FORMAT (//21X, 'COSTO TOTAL DEL PROCESO = $ '//'+' , 20X, 'COSTO TOTA
&L DEL PROCESO = $ ', F10.2/)
9043  FORMAT ('1'///'0', 15X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE CAUDAL)
& '//'+' , 15X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE CAUDAL) '///'0
& ', 9X, 'INTERVALO', 20(7X, A6, I2))//
9046  FORMAT ('+' , 9X, 'INTERVALO', 20(7X, A6, I2))//
9049  FORMAT (19X, 20(7X, A6, I2))//
9052  FORMAT (/13X, I2, 4X, 20(4X, F10.2, 1X))
9055  FORMAT ('1'///'0', 9X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE VOLUMEN FIN
&AL)'//+' , 9X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE VOLUMEN FINAL)'///'0
& ', 9X, 'INTERVALO', 20(7X, A7, I2))//
9058  FORMAT ('+' , 9X, 'INTERVALO', 20(7X, A7, I2))//
9061  FORMAT (19X, 20(7X, A7, I2))//
9064  FORMAT (/13X, I2, 4X, 20(4X, F12.2, 1X))
9067  FORMAT ('1'///'0', 15X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE DERRAME)
& '//'+' , 15X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE DERRAME) '///'0
& ', 9X, 'INTERVALO', 20(7X, A7, I2))//
9070  FORMAT ('+' , 9X, 'INTERVALO', 20(7X, A7, I2))//
9073  FORMAT (19X, 20(7X, A7, I2))//
9076  FORMAT (/13X, I2, 4X, 20(4X, F12.2, 1X))
9079  FORMAT ('1'///'0', 15X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE DESCARGA)
& '//'+' , 15X, ' TABLA DE RESULTADOS (VALORES DE DESCARGA) '///'0
& ', 9X, 'INTERVALO', 20(6X, A8, I2))//
9082  FORMAT ('+' , 9X, 'INTERVALO', 20(6X, A8, I2))//
9085  FORMAT (19X, 20(6X, A8, I2))//
9088  FORMAT (/13X, I2, 4X, 20(3X, F13.2, 1X))
      END

```

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

```

*****
* SUBROUTINA QUE RESUELVE UN SISTEMA DE ECUACIONES POR GAUSS-JORDAN *
*****

```

```

SUBROUTINE GAUSS
INTEGER*4 FILAS, COLUS, FI1, FI2, CO1, CO2
REAL*4 MATRIZ(20, 21)
COMMON FILAS, COLUS
COMMON MATRIZ

```

```

*****
***  MATRIZ ORIGINAL  ***
*****

```

C
C
C
C
C

```

IF (MATRIZ(FILAS, COLUS-1).EQ.0) THEN
  DO 700 JI= 1, COLUS
    ALMAC = MATRIZ(1, JI)
    MATRIZ(1, JI) = MATRIZ(FILAS, JI)
    MATRIZ(FILAS, JI) = ALMAC
700  CONTINUE
  ENDIF

```

700

C
C
C
C
C

```
*****  
*** ALGORITMO DE GAUSS - JORDAN ( RESOLUCION ) ***  
*****
```

```
DO 710 FI1 = 1, FILAS  
DIVI = MATRIZ(FI1, FI1)  
DO 720 CO1 = 1, COLUS  
    MATRIZ(FI1, CO1) = MATRIZ(FI1, CO1)/DIVI  
720  CONTINUE  
    DO 730 FI2 = 1, FILAS  
        IF (FI1.EQ.FI2) GOTO 730  
        X = MATRIZ(FI2, FI1)  
        DO 740 CO2 = 1, COLUS  
            MATRIZ(FI2, CO2) = MATRIZ(FI2, CO2) - MATRIZ(FI1, CO2)*X  
740  CONTINUE  
730  CONTINUE  
710  CONTINUE  
    RETURN  
    END
```

B I B L I O G R A F I A

1. H. TAVARES, S. SOARES.- "MODELLING AND OPTIMIZATION OF HYDROTHERMAL GENERATION SCHEDULING". IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS. Vol. Pas-103, August , 1984, p.p. 2126 - 2130.
2. ROBERT MILLER.- POWER SYSTEMS OPERATION. Pág. 45-50.
3. BERNHOLTZ - GRAHAM.- HYDROTHERMAL ECONOMIC SCHEDULING Junio, 1.963. Pag. 249 - 251.
4. G. ZOPPETTI.- "Centrales Hidroeléctricas".-
5. V. RIZHKIN.- "Centrales Termoeléctricas".- Págs. 27.
6. GILBERTO ENRIQUEZ HARPER.- "ANALISIS MODERNO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA".- Limusa, 1.981.-
7. JOHN J. SHAW - MEMBER.- "OPTIMAL SCHEDULING OF LARGE HYDROTHERMAL POWER SYSTEMS" IEEE TRANSACTIONS ON POWER "Apparatus and Systems, Vol. Pas - 104. Pág.286-290 , Febrero, 1.985.-
8. L.K. KIRCHMAYER.- "Economic Operations of a combined - Steam and Hidroelectric Power Systems".Pág.68-72.-
9. ALLEN WOOD.- "Power Generations - Operations and Control". Capítulo 7: pág. 17 - 25.-