



A.F. 132325

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERIA EN
ELECTRICIDAD Y COMPUTACION**

"DESPACHO HIDROTERMICO APLICADO AL S N I"

**TRABAJO DE GRADUACION
Previo la obtención del Título de
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
"ESPECIALIZACION POTENCIA"**

Presentado por:

**Víctor García Ruiz
Luis Gullqui Valarezo
Ramón Vega Marquez**

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2002

AGRADECIMIENTO

A Dios, al Dr. Cristóbal Mera Gencón, al Dr. Anatoli Bourinov, al Ing. Romeo Vera y a todos quienes nos ayudaron y colaboraron para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

- A NUESTROS PADRES
- A NUESTROS HERMANOS
- A NUESTROS FAMILIARES
- A MI HIJA

DECLARACIÓN EXPRESA

“ LA RESAPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTAS EN ESTA TESIS, NOS CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE ; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA A LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ”

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL)



VICTOR GARCIA



LUIS GULLQUI

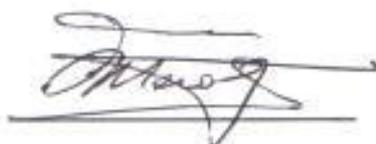


RAMON VEGA

TRIBUNAL DE GRADUACION



Dr. Cristóbal Mera
Decano de la FIEC



Dr. Cristóbal Mera
Director de Tesis



Ing. Juan Saavedra
Vocal



Ing. Iván Rodríguez
Vocal

RESUMEN

El presente trabajo trata de un análisis de optimización del costo marginal de energía de tal forma de realizar una adecuada utilización del agua almacenada en los embalses en forma óptima económica, en el sentido de decidir si es conveniente utilizar inmediatamente el agua disponible para la generación eléctrica o almacenarla para la utilización posterior más rentable.

En el Capítulo 1 se presentan los conceptos básicos del Mercado Eléctrico Mayorista y la metodología utilizada por el CENACE para realizar el Despacho Económico.

En el Capítulo 2 se presenta el marco teórico de las centrales de generación que operan en nuestro país así como también una descripción de la central de ciclo combinado, la cual sería una buena opción para el mejoramiento del parque térmico debido a su bajo costo variable de producción.

En el Capítulo 3 se presenta el análisis de la metodología utilizada para la redistribución adecuada del agua para la generación hidroeléctrica, la selección de unidades, la metodología del artículo Argentino y la

comparación del costo marginal de energía de la metodología usada por el CENACE, metodología artículo argentino y la metodología nuestra.

En el Capítulo 4 se presenta el método para el calculo de pérdidas en sistemas eléctricos de potencia así como una comparación del método utilizado por el CENACE con nuestra metodología.

En el Capítulo 5 se detalla la predicción de la demanda que realizamos por medio de series de tiempo con el software estadístico Systat y la predicción del día lunes como ejemplo para la demostración del uso de esta herramienta estadística.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones basándonos en el análisis realizado y sugerencias de acuerdo a la información analizada.

INDICE GENERAL

| | Pag. |
|--|------|
| RESUMEN..... | VI |
| INDICE GENERAL..... | VIII |
| INDICE DE FIGURAS..... | X |
| INDICE DE TABLAS..... | XII |
| INTRODUCCION..... | 1 |
| | |
| I. DEFINICIONES..... | 3 |
| 1.1 Definición de Términos..... | 3 |
| 1.2 Despacho Económico..... | 7 |
| 1.3 Metodología del Cenace para la Determinación del Precio de la Energía..... | 10 |
| 1.4 Método Aplicado al Despacho de Carga..... | 13 |
| 1.4.1 Método de los Multiplicadores de Lagrange..... | 14 |
| | |
| II. TIPOS DE CENTRALES..... | 19 |
| 2.1 Centrales de Generación Hidráulica..... | 19 |
| 2.1.1 Clasificación de Centrales Hidráulicas..... | 26 |
| 2.1.1.1 Curvas Características de Entrada-Salida de una Central de Generación Hidráulica..... | 35 |
| 2.1.2 Centrales Térmicas..... | 37 |
| 2.1.2.1 Curvas Características de Entrada-Salida de una Central de Generación Térmica..... | 44 |
| 2.2 Unidades de Generación de Ciclo Combinado..... | 50 |
| 2.2.1 Efecto Combinado y Reutilización de Energía..... | 52 |
| 2.2.2 Propiedades de las Centrales de Ciclo Combinado..... | 55 |
| 2.2.3 Características Económicas..... | 57 |
| 2.2.4 Factores de Nodo..... | 58 |
| 2.2.5 Seguridad..... | 59 |
| 2.2.6 Tópicos Ambientales..... | 59 |
| | |
| III. DESPACHO HIDROTERMICO..... | 60 |
| 3.1 Introducción..... | 60 |
| 3.1.1 El Valor del Agua y Coordinación Hidrotérmica..... | 62 |
| 3.1.2 Concepto Económico del Valor del Agua..... | 63 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.3 Una Deducción Sencilla del Valor del Agua..... | 67 |
| 3.1.4 Los Ciclos de Vaciado y Llenado en una Central Hidroeléctrica..... | 75 |
| 3.1.5 Formulación del Problema del Parque Térmico..... | 82 |
| 3.2 Selección de Unidades..... | 83 |
| 3.3 Método del Consultor Argentino..... | 88 |
| IV. METODOS PARA EL CALCULO DE PERDIDAS EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA..... | 95 |
| 4.1 Flujo de Carga AC..... | 95 |
| 4.2 Método de Newton Raphson..... | 98 |
| 4.3 Flujo de Carga DC..... | 101 |
| 4.4 Cálculo de Factores de Nodo por Flujo DC..... | 106 |
| 4.5 Cálculo de los Factores de Nodo por el Método del Jacobiano..... | 108 |
| V. PREDICCIÓN DE LA DEMANDA..... | 116 |
| 5.1 Introducción al Análisis de Series de Tiempo y Procesos Estocásticos..... | 116 |
| 5.2 Predicciones en Series de Tiempo..... | 119 |
| 5.2.1 Procesos Estocásticos Estacionarios..... | 120 |
| 5.3 Modelos Autorregresivos (AR)..... | 123 |
| 5.4 Modelos de Medias Móviles (MA)..... | 123 |
| 5.5 Modelos Mixtos Autorregresivos Medias Móviles (ARMA)..... | 124 |
| 5.6 Aplicación del Modelo ARMA..... | 125 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 132 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 134 |
| ANEXOS | |
| BIBLIOGRAFIA | |

INDICE DE FIGURAS

| | | Pág |
|------------------|---|-----|
| Figura 2.1.a | ALTURA APROVECHABLE DE UN RECURSO HIDROELECTRICO..... | 21 |
| Figura 2.1.1.a | CENTRAL DE PASADA..... | 28 |
| Figura 2.1.1.b | CENTRAL EMBALSE..... | 32 |
| Figura 2.1.1.c | CAMARA DE CARGA..... | 33 |
| Figura 2.1.1.d | CENTRAL DE ACUMULACION..... | 35 |
| Figura 2.1.1.1.a | CURVAS ENTRADA-SALIDA DE LAS UNIDADES HIDRO..... | 36 |
| Figura 2.1.1.1.b | CURVAS INCREMENTALES DE LAS UNIDADES HIDRO..... | 37 |
| Figura 2.1.2.a | CENTRAL TERMICA DE VAPOR..... | 39 |
| Figura 2.1.2.b | CENTRAL TERMICA A GAS..... | 41 |
| Figura 2.1.2.c | CENTRAL A DIESEL..... | 43 |
| Figura 2.1.2.1.a | DIAGRAMA DE UNA CENTRAL ELECTRICA... | 45 |
| Figura 2.1.2.1.b | CURVA DE ENTRADA Y SALIDA DE UNA UNIDAD TERMICA..... | 46 |
| Figura 2.1.2.1.c | RAZON NETA DE CALOR..... | 48 |
| Figura 2.1.2.1.d | CURVAS DE ENTRADA SALIDA Y CURVAS DE COSTOS INCREMENTALES..... | 50 |
| Figura 2.2.1 | ESQUEMA DE LA CENTRAL DE CICLO COMBINADO..... | 54 |
| Figura 3.1.3.1 | CENTRALES HIDRAULICAS SIN RESTRICCIONES..... | 70 |
| Figura 3.1.3.2 | CON APORTES DE AGUA ESCASOS..... | 72 |
| Figura 3.1.3.3 | CON RESTRICCION DE POTENCIA MAXIMA.. | 74 |
| Figura 4.1 | SISTEMA DE 4 BARRAS..... | 97 |
| Figura 4.2 | CIRCUITO PI EQUIVALENTE DE UNA LINEA DE TRANSMISION..... | 102 |
| Figura 5.1 | SERIE TOMADA EN UN MES..... | 117 |
| Figura 5.2 | GRAFICA DE LA SERIE DEL LUNES..... | 126 |
| Figura 5.3 | AUTOCORRELACION DEL DIA LUNES..... | 127 |
| Figura 5.4 | AUTOCORRELACIONES PARCIALES DEL DIA LUNES..... | 127 |

| | | |
|------------|---------------------------------------|-----|
| Figura 5.5 | SERIE SUAVIZADA DEL DIA LUNES..... | 128 |
| Figura 5.6 | SERIE DE LA PREDICION DEL DIA LUNES.. | 129 |

INDICE DE TABLAS

| | | Pag. |
|------------|---|------|
| Tabla I | COMPARACION DEL COSTO MARGINAL DE ENERGIA ARTICULO ARGENTINO VS NUESTRA METODOLOGIA..... | 93 |
| Tabla II | COMPARACION DEL COSTO MARGINAL DE ENERGIA NUESTRA METODOLOGIA VS CENACE..... | 94 |
| Tabla III | ESPECIFICACIONES DE BARRAS EN FLUJOS DE POTENCIA..... | 96 |
| Tabla IV | COMPARACION FACTORES DE NODO..... | 112 |
| Tabla V | PRUEBA F PARA VARIANZAS DE DOS MUESTRAS..... | 115 |
| Tabla VI | DATOS DEL MODELO ARMA (2,0) DEL LUNES..... | 129 |
| Tabla VII | PREDICCIÓN DE LA DEMANDA DEL DIA LUNES..... | 130 |
| Tabla VIII | COMPARACION DE LA DEMANDA DEL S N I LUNES..... | 131 |

INTRODUCCION

La presente tesis esta basada en analizar parte de las funciones que debe realizar el CENACE, en concreto es la planificación del Despacho Económico ideal a corto plazo en las 24 horas del día en el Mercado Eléctrico Mayorista ecuatoriano (MEM), el cual según el artículo 24 literal d de la Ley del Régimen del Sector Eléctrico ordena el despacho de los equipos de generación para atender la demanda al mínimo costo marginal horario de corto plazo de todo el parque de generación.

En este trabajo realizamos la programación a corto plazo (24 horas) de las unidades de generación que están conectadas al S.N.I., la cual (inicia con una selección de unidades por el método de orden de prioridades), para luego pasar a realizar el despacho económico tomando en consideración una metodología heurística para el cálculo del valor del agua, es decir que en base a pruebas realizadas obtenemos como resultado valores aproximados a los reales, y finalmente utilizando el método de optimización de los Multiplicadores de Lagrange, para lo cual tomamos en consideración curvas características cuadráticas para las unidades de generación; dentro

de este proceso asumimos que la capacidad en las líneas de transmisión del S.N.I. es la suficientemente grande para poder transmitir la potencia del despacho que realizamos (despacho ideal), y realizamos el cálculo de los factores de nodos para determinar la influencia de las pérdidas de transmisión en los diferentes puntos de la red del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.).

Se describe la metodología que usamos para realizar la proyección de la demanda para un día cualquiera de la semana (para nuestro análisis el día Lunes), por medio del programa systat que utiliza métodos de series de tiempo. Esta misma metodología se puede aplicar para los demás días de la semana.

El programa Systat es una herramienta que no detallaremos su funcionamiento, pues no entra dentro de los alcances de este trabajo, mas si daremos una breve descripción de los métodos de series de tiempo.

El programa realizado está en Microsoft Visual Basic 5.0, para tener un entorno mucho más amigable para el manejo del programa que hemos realizado, además presentamos un manual del usuario que describe el funcionamiento del mismo.

CAPITULO 1

1. DEFINICIONES

1.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

FUNCIÓN GLOBAL DEL CENACE

La Ley de Régimen del Sector Eléctrico actualizada a Junio de 1999, en la sección 1 del capítulo 5 Art.23 dice:

El Centro Nacional de Control de Energía, CENACE, tendrá a su cargo la administración de las transacciones técnicas y financieras del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), debiendo resguardar las condiciones de seguridad de operación del Sistema Nacional Interconectado (S N I), responsabilizándose por el abastecimiento de energía al mercado, al mínimo costo posible, preservando la eficiencia global del sector creando condiciones de mercado para la comercialización de energía eléctrica por parte de las empresas

generadoras, sin ninguna discriminación entre ellas, facilitándoles el acceso al sistema de transmisión.

OPERACIÓN ECONÓMICA

La operación económica que se realiza en cualquier sistema eléctrico de potencia (SEP), incluyendo Ecuador, está basada entre otros puntos en el despacho económico óptimo de generación y el cálculo de factores de nodos para cada uno de los nodos o barras en un SEP, ya sea para distribución o para generación, todo con el propósito de optimizar el reparto de energía al sistema, es decir, producir la potencia y la energía necesarias para que el sistema trabaje bajo los criterios de control, seguridad y confiabilidad al mínimo costo.

Para realizar un estudio de despacho económico en el Mercado Eléctrico Mayorista ecuatoriano (MEM), es necesario conocer ciertos conceptos que se utilizan en este entorno a fin de fijar el precio de la energía que se compra y se vende.

MERCADO ELECTRICO MAYORISTA

Es el mercado integrado por generadores, distribuidores y grandes consumidores, donde se realizan transacciones de grandes bloques de

energía eléctrica. Así mismo incluye la exportación e importación de energía y potencia eléctrica.

MERCADO OCASIONAL

Es el Mercado de transacciones de energía a corto plazo, no incorporadas en contratos a plazo de suministro de electricidad.

CENACE

El CENACE, Centro Nacional de Control de Energía, se constituirá como una Corporación Civil de derecho privado, de carácter eminentemente técnico, sin fines de lucro, cuyos miembros serán todas las empresas de generación, transmisión, distribución y los grandes consumidores. Se encargará del manejo técnico y económico de la energía en bloque, garantizando en todo momento una operación adecuada que redunde en beneficio del usuario final.

BARRA DE MERCADO O NODO DE REFERENCIA

Se puede definir que la barra de mercado es el nodo en el que se sanciona el precio marginal del sistema, es decir en dicho nodo se efectúa el despacho económico y por tanto los factores nodales son calculados con respecto a esta referencia.

CENTRO DE CARGA DEL SISTEMA

Centro de carga del sistema se ha aplicado el mismo criterio del centro de masa de un sistema el cual nos da una buena aproximación del sitio en el cual puede encontrarse el centro de carga, este es el criterio emitido por el CENACE, por lo cual se ha escogido como centro de carga a la barra de Pascuales en el S N I.

SELECCIÓN DE LA BARRA DE MERCADO

El análisis utilizado para la selección de la barra de mercado o nodo de referencia fue el de tomar a esta barra de tal forma que sea el centro de carga, ya sea esta generadora o distribuidora.

DESPACHO IDEAL.

Es el despacho económico que se realiza sin restricciones en las líneas de transmisión, es decir que se asume que las líneas de transmisión tienen la capacidad suficiente para transmitir el flujo de potencia que da como resultado en el despacho.

PREDESPACHO.

Es el despacho económico que se realiza antes de que ocurra la operación económica en tiempo real, al predespacho parte del despacho ideal, luego incluye las restricciones de la red para realizar

un nuevo despacho y finalmente queda como base para el despacho económico.

DESPACHO EN TIEMPO REAL.

Es el despacho económico que se debe realizar en tiempo real, como consecuencia de cambios que se puedan suscitar en la demanda, red de transmisión o fallas en unidades de generación.

REDESPACHO.

Es el resultado del despacho económico que se obtuvo como consecuencia del despacho en tiempo real.

1.2 DESPACHO ECONÓMICO

El despacho económico es un método mediante el cual se ordena a n unidades de generación P_{gi} de una manera tal que se produzca la cantidad de energía necesaria para satisfacer una demanda total P_D , a través de un sistema de transmisión que produce pérdidas P_L , al mínimo costo de producción en un instante cualquiera. El costo de producción de cada generador está determinado por su curva característica de entrada salida $f_i(P_{gi})$. El costo total del sistema es obviamente la suma de los costos de producción de cada unidad.

Matemáticamente el problema que vamos a resolver es por medio del método de los multiplicadores de Lagrange que consiste en (ver sección 1.5.1) minimizar la función objetivo FT que es el costo total de producción sujeta a la restricción que cumpla el balance de la potencia activa del sistema, es decir:

$$\text{Min } FT = f_1 + f_2 + \dots + f_n = \sum_{i=1}^n f_i(P_{gi}) \quad (1.1)$$

con la restricción de:

$$PD + PL - \sum_{i=1}^n P_{gi} = \phi = 0 \quad (1.2)$$

La solución al problema se obtiene al resolver el siguiente sistema de ecuaciones denominados ecuaciones de coordinación obtenidas a su vez de la derivación de la función de Lagrange

$$L = FT + \lambda \phi \quad (1.3)$$

$$\frac{df_i}{dP_{gi}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{gi}} \right) = 0$$

de donde:

L = función de Lagrange

$$\frac{df_i}{dP_{gi}} = \text{costo marginal o incremental del generador } i$$

$\frac{\partial PL}{\partial p_{gi}}$ = Pérdida marginal o incremental del generador i

λ = costo marginal del sistema

ϕ = restricción de balance de potencia.

$\beta = (1 - \frac{\partial PL}{\partial p_{gi}})$ = Factor de nodo del generador i.

La ecuación (1.1), se puede aplicar cuando se asumen funciones de costo de entrada salida $f_i(P_{gi})$ cuadráticas, puesto que los costos marginales de los generadores se expresan como funciones lineales de las potencias, en este caso los generadores que no están en sus límites trabajan a igual costo marginal (λ), que es el del sistema.

Cuando las funciones de costo $f_i(P_{gi})$ se las aproxima a lineales, los costos marginales de los generadores son constantes y no es posible obtener una solución a igual costo marginal por lo que para obtener el despacho económico, los costos marginales de cada generador afectado por el correspondiente factor de nodo, se ordenan de mayor a menor hasta satisfacer la carga y las pérdidas del sistema, el último generador despachado de esta forma establece el costo marginal del sistema.

Cuando no se considera el sistema de transmisión todos los factores nodales son iguales a 1, debido a que es un sistema sin pérdidas. El

efecto de incluir el sistema de transmisión y por tanto las pérdidas marginales de transmisión determinan que los costos marginales varíen en cada nodo o barra de la red, por tanto el precio nodal de energía esta dado por el producto del costo marginal del sistema multiplicado por el correspondiente factor de nodo.

En general los factores nodales son menores que 1 para nodos generadores o exportadores (precio marginal nodal de generación es menor que el precio de mercado), y mayores que 1 para nodos distribuidores o importadores (precio marginal nodal de demanda es mayor que el precio de mercado).

1.3 METODOLOGÍA DEL CENACE PARA LA DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA.

El CENACE entre sus responsabilidades tiene la de realizar el despacho económico de las diferentes centrales hidroeléctricas y unidades térmicas del S.N.I., para lo cual ha recolectado información sobre el consumo específico de las diferentes unidades térmicas pertenecientes al ex-INECEL y a las empresas eléctricas, con el fin de establecer la curva entrada - salida (galones/hora) de las mismas. Estas curvas son las que usaremos para realizar el despacho económico.

El CENACE no cuenta con un modelo que permita relacionar las centrales hidroeléctricas de embalse del país con un equivalente térmico, así en el caso de la central Paute y Pucará se deben considerar sus características propias, puesto que la central Paute y Pucará son centrales de regulación semanal.

La central Agoyán, esta por ser una central de paso, no se determina un equivalente, pues no le afecta su embalse (bastante pequeño) y por tanto se convierte en una central de base, la cual tendrá necesariamente que ser despachada, pues su costo de producción de energía es bastante bajo; y por último la central Marcel Laniado que es de regulación anual se rige sólo sobre la base de la mínima cantidad de agua que debe turbinar debido a que esta es parte de un proyecto múltiple y la generación de energía no es su mayor prioridad.

Se procede a calcular la energía hidroeléctrica disponible, esta energía se la divide para el número de periodos y se pone a competir con el resto de unidades de generación de acuerdo a sus costos variables.

Ahora bien, una vez establecidas las características de costos de las unidades de generación hidro y térmicas, el siguiente paso es establecer el despacho económico propiamente dicho. El CENACE utiliza curvas entradas/salidas lineales, por lo que los costos

incrementales no se pueden llegar a igualar, entonces para realizar el despacho se tendrá curvas entradas salidas de este tipo:

$$f(P) = a + b \cdot P \text{ (gal/h)} \quad (1.4)$$

de tal manera que al multiplicar la ecuación anterior por el costo del combustible $C(\$/\text{gal})$ y derivar para encontrar el costo incremental (λ), se obtiene:

$$\frac{\partial f(P)}{\partial P} = \lambda = B \text{ (\$/MWh)} \quad (1.5)$$

por lo tanto el valor de la constante $B(\$/\text{MWh})$, será el costo de cada una de las unidades de generación, las cuales para ser despachadas, tendrán que competir sobre la base de este valor, pues de acuerdo a este valor las centrales serán ordenadas en forma ascendente, de tal manera que para abastecer una carga determinada, se despachará siempre la más barata hasta alcanzar su potencia máxima, luego la unidad con el siguiente valor de B, hasta su máximo valor y así sucesivamente hasta que la última unidad que entre para abastecer una demanda, que no necesariamente estará a su capacidad máxima, será la unidad denominada marginal, cuyo costo incremental será adoptado como precio de mercado de la energía, con este valor

tendrán que realizar las transacciones económicas para ese instante y esto es horario, ver Anexo 1.

1.4 MÉTODO APLICADO AL DESPACHO DE CARGA.

Esta sección explica el método de optimización que utilizamos en el despacho de carga, comenzando con una breve reseña histórica.

El hombre creó la manera de convertir energía que la naturaleza le presentaba de cierta forma (caída de agua en los ríos, energía fósil, energía eólica, etc.), en energía eléctrica que le proporcionare bienestar.

En un principio pudo suplir las necesidades de la comunidad con una forma de generación, pero a medida que la comunidad se industrializaba y la población crecía se vio obligado al montaje de diversos tipos de plantas para generar energía eléctrica, en ese punto el problema ya no fue solamente como suplir la demanda de energía sino la necesidad de obtener mayor confiabilidad y economía en la producción de energía eléctrica en grandes sistemas.

Para esto se ha logrado aplicar a la producción de energía varios modelos matemáticos de optimización, que implementados en una

computadora permiten resolver problemas de optimización a gran escala, antes considerados impracticables.

1.4.1 MÉTODO DE LOS MULTIPLICADORES DE LAGRANGE.

Es una técnica matemática que se emplea en los problemas de optimización y consiste en maximizar o minimizar una función de varias variables, denominada función objetivo, la cual está sujeta a ciertas restricciones que se deben cumplir o respetar, formando de esta manera una función auxiliar la cual debe cumplir con la condición de que la derivada parcial de la condición auxiliar con respecto a cada una de las variables debe ser igual a cero, que son condiciones necesarias para minimizar una función que es el objetivo principal de los problemas de optimización.

Expresando matemáticamente tenemos:

Sea:

$F(x, y, z)$ la función objetivo:

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

Se forma la función auxiliar

$$G(x, y, z) = F(x, y, z) + \lambda\phi(x, y, z) \quad (1.6)$$

Sujeto a las condiciones:

$$\frac{\partial G}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial z} = 0 \quad (1.7)$$

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.

$$\phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$\phi_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (1.8)$$

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

Se forma la función auxiliar

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \lambda_1\phi_1 + \lambda_2\phi_2 + \dots + \lambda_k\phi_k \quad (1.9)$$

Sujeta a las condiciones necesarias

$$\frac{\partial G}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial x_2} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial x_n} = 0 \quad (1.10)$$

Donde:

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

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

$$L(x_1, x_2, \lambda) = F(x_1, x_2) + \lambda \phi(x_1, x_2) \quad (1.11)$$

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 y λ , sea igual a cero.

Esto es:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial x_2} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad (1.12)$$

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

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \quad (1.13)$$

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.

Cuando tenemos las otras restricciones nuestra solución cambia y tenemos lo siguiente:

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \text{ para } P_{\min} < P_i < P_{\max}$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \leq \lambda \text{ para } P_i = P_{\max} \quad (1.14)$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \geq \lambda \text{ para } P_i = P_{\min}$$

Cuando tenemos esta solución lo que hacemos es tomar en cuenta uno de los dos extremos P_{\max} o P_{\min} .

Esta metodología es la utilizada por nosotros pero existen otros métodos para realizar el despacho como son: programación dinámica, programación lineal, etc, que no se explican aquí porque salen fuera de nuestro alcance.

En el Anexo 2 se muestra el flujograma correspondiente al método de Lagrange en el despacho térmico.

CAPITULO 2

2. TIPOS DE CENTRALES

2.1. CENTRALES DE GENERACIÓN HIDRAULICAS

Una central hidráulica 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 de turbina - generadores. La inversión inicial de una instalación así es mucho más cara que una Central Térmica, ya que requiere de grandes gastos para la obra civil. Sus costos variables de producción (gastos de explotación) son mínimos ;sin embargo su tiempo de instalación es grande en comparación con una central térmica. Los requerimientos de energía que necesita un país se los debe realizar fundamentalmente utilizando los recursos renovables, el Ecuador es un país rico en los recursos hidroeléctricos por sus condiciones topográficas y por los niveles de precipitación normales de agua esto significa que se debe aprovechar al máximo la energía de los

recursos hidroeléctricos. Las características de las centrales hidroeléctricas que se tienen en el MEM se las presentan en el Anexo 3.

La energía aprovechada por el agua tiene lugar, no por la velocidad de ésta, sino por la presión que puede obtenerse al llevarla a un punto elevado con respecto a la altura de la toma de agua, y desde donde desciende para obtener en su caída el trabajo aprovechable.

Este aprovechamiento dependerá, 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 2.1.a.

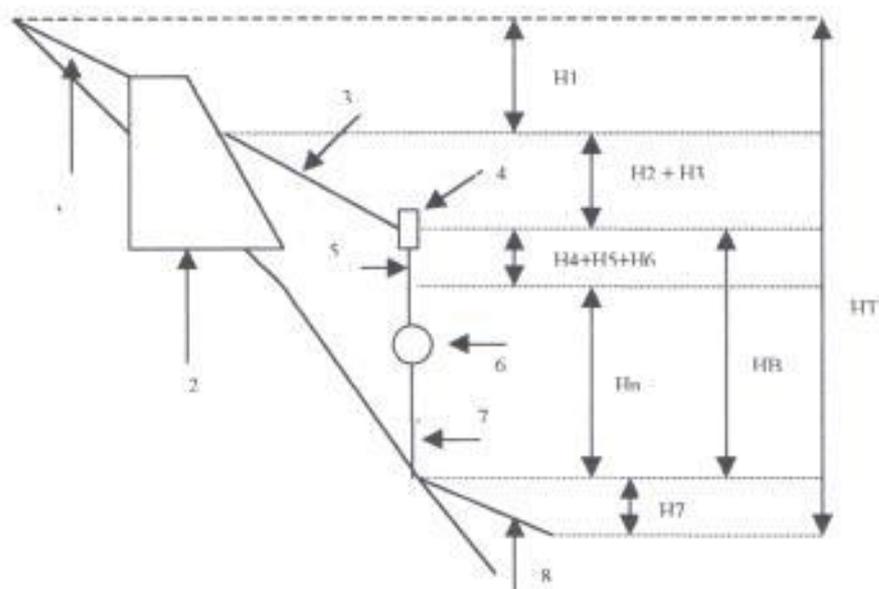


Figura 2.1.a. ALTURA APROVECHABLE DE UN RECURSO HIDROELECTRICO.

Donde:

- 1: embalse
- 2: presa
- 3: canal de derivación
- 4: chimenea
- 5: tubería de presión
- 6: casa de máquinas

7: tubería de aspiración

8: tubería de desagüe

HT: es la altura total del recurso, y corresponde a la diferencia de altura entre el nivel máximo y el nivel mínimo.

HB: es la altura bruta y es la diferencia de altura entre la chimenea y el túnel de la tubería de aspiración.

Hn: es la altura neta del recurso la cual sirve para calcular la potencia del recurso.

H1: pérdida de altura en el embalse. La superficie del agua en el embalse no es horizontal sino que tiene una forma de curva, cuya pendiente se disminuye a medida que se aproxima a la presa. Esto da como resultado pérdidas de altura.

H2: pérdidas de altura del canal de derivación, estas pérdidas se deben al rozamiento del agua por la pared interna del canal y estas pérdidas dependen de la pendiente del canal, del área de contacto entre el agua y la pared y de la seguridad del canal.

H3: pérdidas de altura en la chimenea; en la chimenea se instalan rejillas que sirven para detener cuerpos extraños y que podrían pasar a la tubería de presión, estas pérdidas dependen del rozamiento del agua con dichas rejillas.

H4: pérdidas de altura en la tubería de presión, estas pérdidas corresponden al rozamiento del agua, el cambio de dirección del agua y el cambio en la sección entre el canal de derivación y tubería de presión.

H5: pérdidas de altura en la turbina, estas pérdidas se deben al rozamiento del agua.

H6: pérdidas de altura en la tubería de aspiración, estas pérdidas se deben también al rozamiento del agua.

H7: pérdidas de altura en la tubería de desagüe, estas pérdidas también corresponden al rozamiento del agua.

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

La altura bruta HB 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 :

$$P_t = Q \cdot HB \cdot 9,81 \text{ (Kw)} \quad (2.1)$$

donde :

Q : caudal en m^3/s

HB : altura bruta en metros.

9,81 : factor de conversión.

La potencia neta la podemos determinar utilizando la altura neta :

$$P_n = 9,81 \cdot H_n \cdot Q \quad (2.2)$$

Si en el lugar disponemos de un caudal de agua Q (m^3/seg) y además tenemos que la altura aprovechable del salto es Hn (metros), si designamos por N el rendimiento de la unidad hidráulica, la potencia obtenida es :

$$P = Q \cdot H_n \cdot N \text{ (Kw)} \quad (2.3)$$

donde:

Se expresa Q en (m^3/seg), H_n en metros.

Para las centrales hidroeléctricas utilizamos máquinas modernas como las turbinas Francis, Pelton y Kaplan, se obtienen mejores rendimientos, alcanzando hasta el 85 % y en otros casos el 90 % o más, con lo que la potencia aprovechable será mayor que la indicada por la fórmula abreviada.

Cuando tenemos caídas pequeñas, entre 2 m y 80 m., la turbina de Hélice o Kaplan es la más recomendada por lo cual se ha acreditado como la mejor, presentan un buen rendimiento y es recomendable que trabajen con el 100% de la carga, pero cuando la carga disminuye su rendimiento cae bruscamente.

Cuando tenemos casos de altura media (entre 60 y 600 m), se emplean turbinas Francis, tienen un buen rendimiento de carga entre el 60 - 100 %, pero cuando la carga es menor del 60 % el rendimiento cae rápidamente. Esta turbina se la utiliza en la central Marcel Laniado

Cuando se tienen saltos de grandes alturas (entre 100 a 2000 m), se usan las turbinas Pelton, ya que presentan un buen rendimiento del 30 al 100 % de carga, que como vemos es un amplio rango de variación de carga. Esta turbina sólo se la utiliza en la central de Paute.

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE CENTRALES HIDRAULICAS

Los requerimientos de energía que necesita un país se los debe realizar fundamentalmente utilizando los recursos renovables, esto significa que se debe de aprovechar al máximo la energía de los recursos hidroeléctricos. El Ecuador es un país rico en los recursos hidroeléctricos por sus condiciones topográficas y por los niveles de precipitación normales de agua.

Las centrales hidroeléctricas se clasifican en:

- Central de pasada,
- Embalse ; y,
- Embalse con bombeo.

a. CENTRAL DE PASADA:

La central de pasada, también conocida como central de caudal libre, es aquella que utiliza el agua que se encuentra disponible en el recurso; el mismo que oscila con las estaciones del año. Además hay que contar con años de escasez y años de abundancia de agua, sus turbinas se dimensionan de acuerdo al caudal, partiendo de consideraciones económicas. En general estas instalaciones resultan sencillas y se presentan no sólo en los ríos, sino también en canales de navegación, instalándose las centrales hidráulicas 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 2.1.1.a, podemos ver la representación esquemática de una central de esta clase. La central se observa que está construida transversalmente, formando presa, sobre el mismo río. Entre estas centrales están: Agoyán, Saymirin, etc.

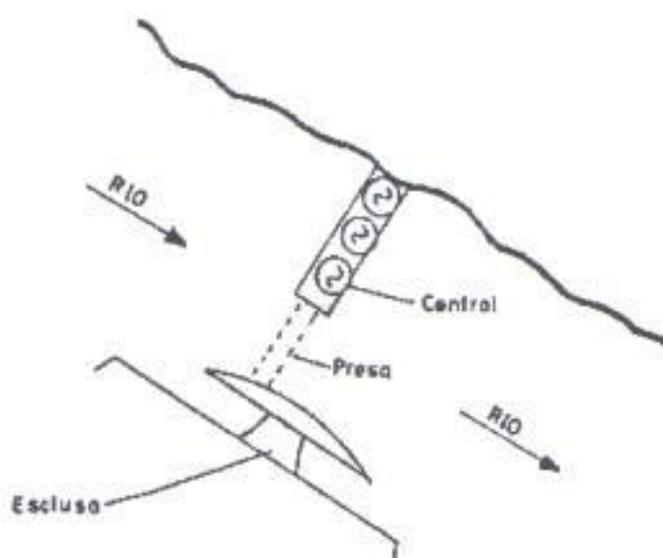


Figura 2.1.1.a CENTRAL DE PASADA.

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 2.1.1.b, representa esquemáticamente este tipo de central.

En el MEM este tipo de centrales tienen una clasificación dependiendo de la capacidad de almacenamiento, estas son:

- Centrales de Capacidad Estacional
- Centrales de Capacidad Mensual
- Centrales de Capacidad Semanal

b.1 CENTRALES DE CAPACIDAD ESTACIONAL.

Son centrales de mayor capacidad de embalse del MEM con posibilidades de realizar por lo menos regulación estacional, o sea transferir energía como volumen embalsado entre periodos de tres o más meses. Por otra parte, su potencia instalada y energía firme representan un porcentaje importante de la demanda total del MEM.

Para pertenecer a esta categoría una central hidroeléctrica deberá reunir como mínimo la condición de que el volumen útil debe representar por lo menos 25 días de generación a carga máxima, o sea días de erogación al máximo caudal turbinable. Esta central es la de Marcel Laniado.

b.2 CENTRALES DE CAPACIDAD MENSUAL.

Son aquellas centrales que, no perteneciendo a la categoría de capacidad estacional, cuentan con una potencia instalada significativa respecto a la demanda total del MEM y con suficiente capacidad de embalse con relación a su energía firme como para permitir por lo menos una regulación mensual, o sea que pueden transferir agua entre las distintas semanas de un mes. Por lo tanto, su operación puede afectar significativamente el resultado económico del MEM de una semana respecto a otra.

Para pertenecer a esta categoría, una central hidroeléctrica deberá cumplir por lo menos con las siguientes condiciones.

- No cumplir las condiciones de central de capacidad estacional.
- El volumen útil debe representar por lo menos 5 días de generación a carga máxima, o sea días de erogación del máximo caudal turbinable.

Esta central es la de Pucará.

b.3 CENTRALES DE CAPACIDAD SEMANAL.

Son aquellas centrales que, a pesar de tener una capacidad de embalse limitada, tienen posibilidades de realizar por lo menos regulación semanal, o sea transferir agua dentro de la semana entre distintos tipos de días. Como consecuencia, su operación puede afectar la evolución de los precios diarios del mercado.

Para pertenecer a esta categoría, una central hidroeléctrica deberá cumplir por lo menos con las siguientes condiciones.

- No cumplir las condiciones de central de capacidad mensual.
- El volumen útil debe representar por lo menos 2 días de generación a carga máxima, o sea días de erogación del máximo caudal turbinable.

Esta central es la de Paute.

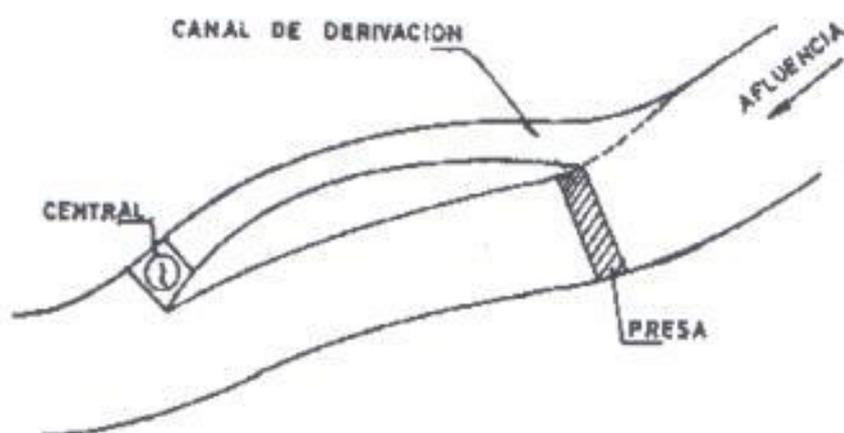


Figura 2.1.1.b CENTRAL EMBALSE

Para aprovechar la fuerza hidráulica de un río de montaña, ya que 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 2.1.1.c.

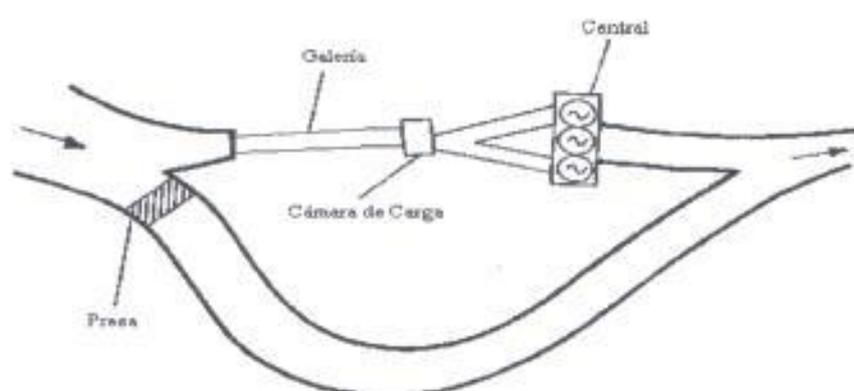


Figura 2.1.1.c. CAMARA DE CARGA

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 toda el agua que circula por el río. 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 una turbina y una bomba. La disposición de las maquinarias puede ser de dos

tipos: Generador - turbina - bomba o turbina - generador - bomba.

Como podemos ver, la máquina síncrona funciona como motor y como generador. Así, en tiempos de gran demanda de energía, podemos 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; este tipo de centrales se las encuentran con mucha frecuencia en Rusia puesto que son muy utilizadas para cubrir picos de demanda y luego como carga cuando existe exceso de generación a las horas de

menor demanda. Una representación esquemática se muestra en la figura 2.1.1.d.

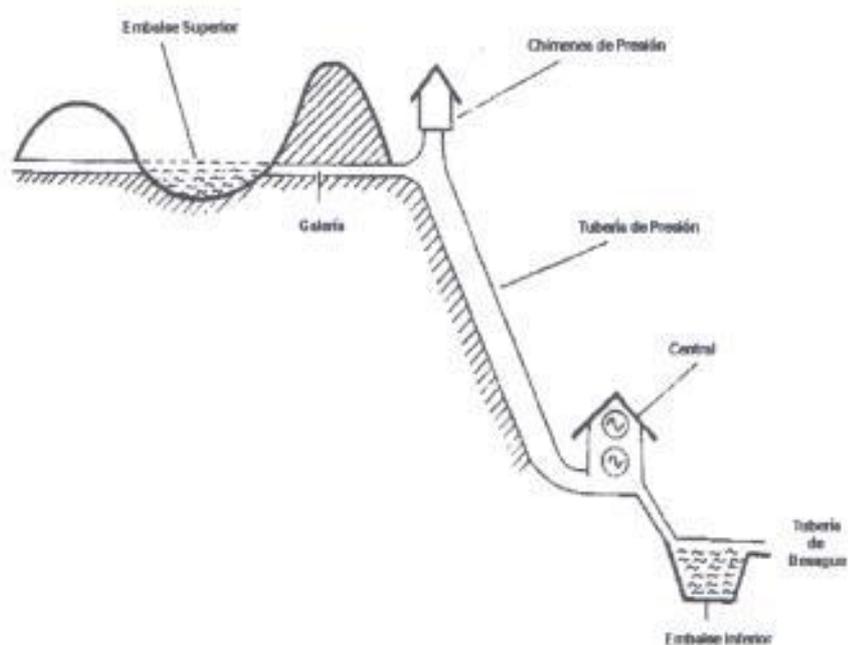


Figura 2.1.1.d. CENTRAL DE ACUMULACION.

2.1.1.1. CURVAS CARACTERISTICAS DE ENTRADA – SALIDA DE UNA CENTRAL DE GENERACION HIDRAULICA.

Las curvas de entrada - salida sirven para establecer una relación entre la energía de

entrada al sistema y la energía de salida total del generador eléctrico, para las unidades hidráulicas las curvas entrada - salida se encuentran en función de la entrada de caudal al generador (m^3/h) vs la potencia (MW) de salida de la unidad, ver figura 2.1.1.1.a y 2.1.1.1.b. En las unidades hidro influye 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 utilizarse.

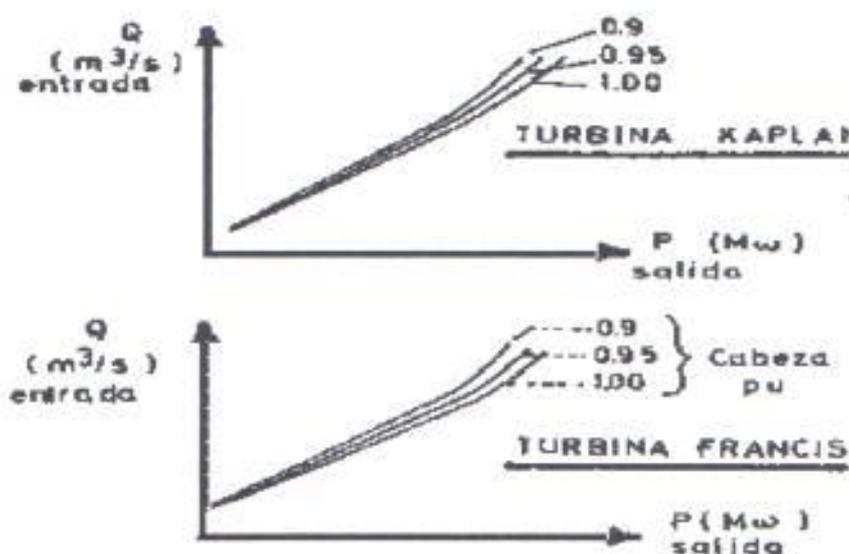


Figura 2.1.1.1.a CURVAS ENTRADA -SALIDA DE LAS UNIDADES HIDRO.

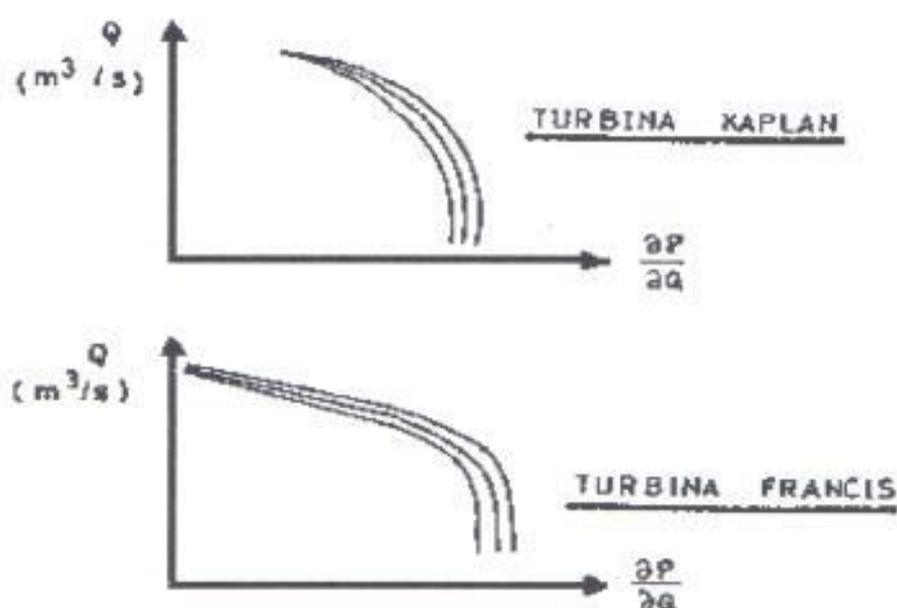


Figura 2.1.1.1.b. CURVAS INCREMENTALES DE LAS UNIDADES HIDRO.

2.1.2. CENTRALES TERMICAS

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.

En el Anexo 4 se presentan los diferentes tipos de centrales térmicas que existen en el MEM, con sus características.

A. CENTRALES TÉRMICAS DE VAPOR:

En la central a vapor se realizan una serie de conversiones de energía hasta finalmente obtener energía eléctrica. La fuente térmica que es el combustible usualmente el bunker, es el que suministra la energía para producir vapor en la caldera, que es un recipiente herméticamente cerrado, alimentado con agua y produce vapor a alta presión y alta temperatura. La energía térmica contenida en el vapor se convierte en energía cinética al pasar por las toberas de la turbina y al dirigirse en forma de chorro a alta velocidad. Esta energía se convierte en energía mecánica cuando los chorros de vapor inciden sobre los álabes de la turbina, luego esta energía se convierte en energía eléctrica a través del generador eléctrico.

El vapor que sale de la turbina pasa al condensador donde se convierte en líquido y se vuelve a alimentar a la caldera.

Este tipo de centrales térmicas son Esmeraldas y Trinitaria, entre otras.

En las centrales con condensador, 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 entre la energía útil y la contenida en el combustible utilizado, se halla comprendido entre 7 y 36 por ciento. La figura 2.1.2.a. ilustra un esquemático de una central a vapor.

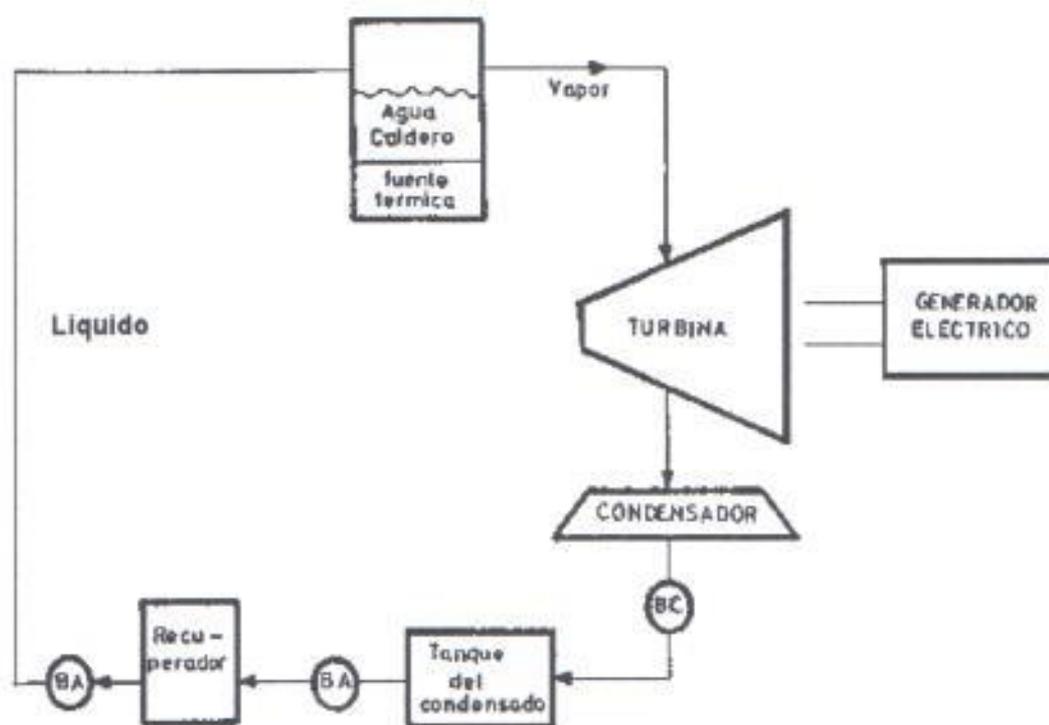


Figura 2.1.2.a. CENTRAL TERMICA DE VAPOR.

Cabe recalcar en el sistema de la Central a Vapor se deja pasar un porcentaje considerable de la energía entregada al

agua. Un porcentaje aún mayor de energía es desperdiciado al pasar el vapor saturado por el condensador, en el cual éste se transforma en líquido saturado. Esta aparente ineficiencia es necesaria porque la presión del líquido es muy baja a la salida de la turbina, y los diseños existentes de bombas sólo pueden aumentarle la presión a líquidos sub-enfriados. Dicho aumento de presión es necesario para así alimentar el agua a la caldera con alta presión, lo que requerirá de menos energía para evaporar y llegar al punto de vapor sobrecalentado, el cuál es óptimo para la operación del sistema.

B. CENTRAL TÉRMICA A GAS :

Una central de turbina a gas, utiliza el gas (o cualquier combustible que este diseñada para quemar, en el caso típico se trata de gas natural) para calentar aire. Este aire se expande a causa del calor, lo que produce un movimiento de la masa de aire. Dicho movimiento es canalizado a través del interior de la turbina hacia las aspas de ésta, lo que permite la transferencia de la energía del aire al eje de la turbina. Este proceso es de una eficiencia reducida, porque de la totalidad de la energía transferida al

aire, sólo se aprovecha una porción de ésta, siendo la mayor parte de la energía extraída la energía cinética del aire, ejemplo de estas centrales son Alvaro Tinajero, Pascuales, Electroquil, entre otras.

Aunque los diseños de las turbinas han mejorado para que un mayor porcentaje de la energía sea extraída, nunca se ha podido absorber la energía calórica que el aire aún posee al momento de salir de la turbina, la figura 2.1.2. b., representa esquemáticamente una central a gas.

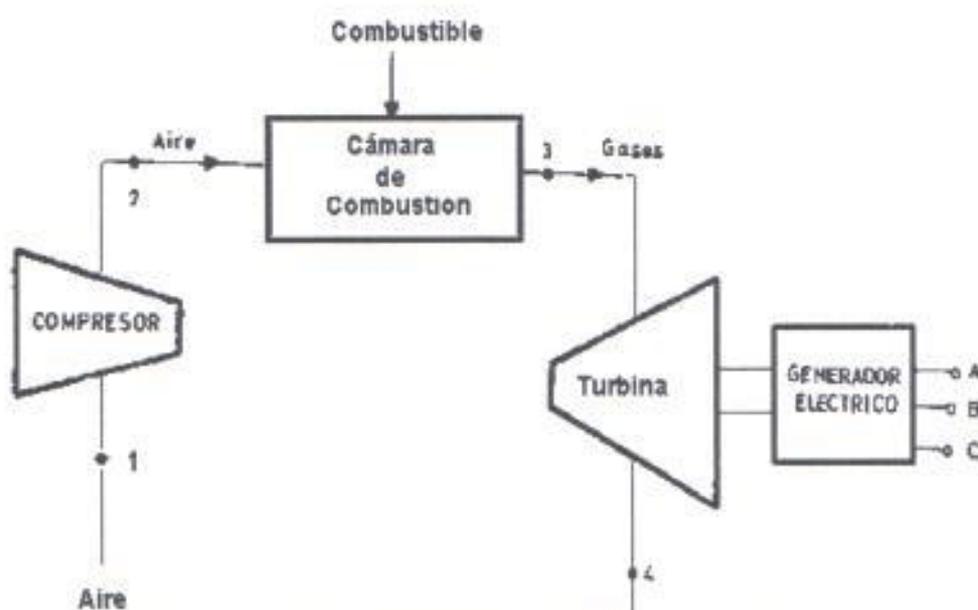


Figura 2.1.2.b. CENTRAL TERMICA A GAS

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 cuanto a instalación se refiere que las de vapor. El rendimiento de la turbina a gas está dado por:

$$N = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} \quad (2.4)$$

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.

De la figura 2.1.2.c. se observa que al motor de combustión interna ingresa el combustible y el aire.

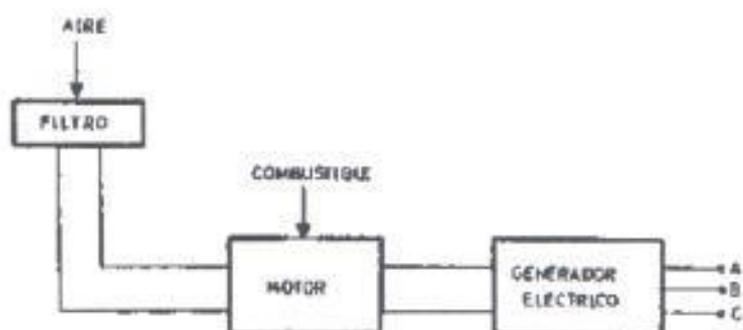


Figura 2.1.2.c. CENTRAL A DIESEL

Si el proceso se realiza en los dos extremos de cada uno de los conductos, el motor es de doble efecto, unidas para

completar un ciclo en cada extremo del conducto. Según esto un motor puede ser de 2 y 4 tiempos.

Los de 4 tiempos tienen: 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, ejemplo de este tipo de central en el MEM son las de Milagro y Santa Elena.

2.1.2.1. CURVAS CARACTERISTICAS DE ENTRADA - SALIDA DE UNA CENTRAL DE GENERACION TERMICA

Las curvas de entrada - salida sirven para establecer una relación entre la energía de entrada al sistema y la energía de salida total del generador eléctrico, éstas se dan para determinar la distribución económica de la carga entre las diversas centrales conformadas por una caldera y un generador por lo que el costo de operación de la central se expresa en términos de la potencia de

salida. A continuación en la Figura 2.1.2.1.a. se muestra un diagrama de una central eléctrica.

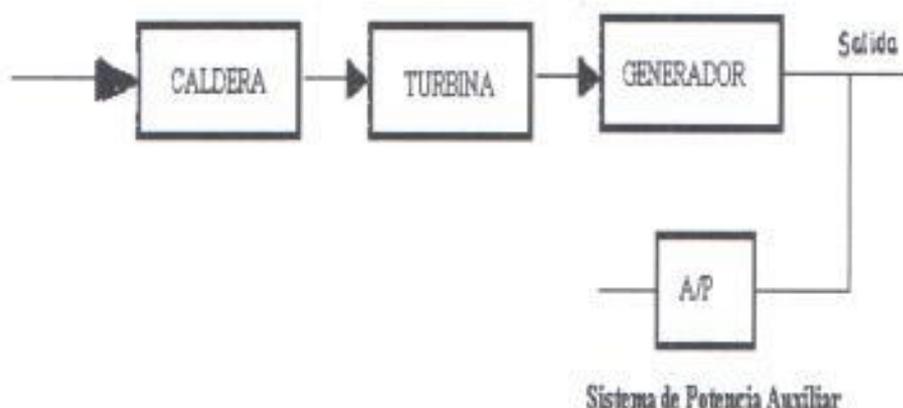


Figura 2.1.2.1.a. DIAGRAMA DE UNA CENTRAL ELECTRICA

*La entrada en la unidad térmica generalmente es medida en (BTU/Hora) o en galones de combustible por hora; si la entrada se la representa en horas se usa (\$ /hora), mientras que la entrada en la unidad hidráulica es medida en (m^3 /seg.). La potencia de salida para ambos tipos de unidades es medida en MW.

Una curva entrada – salida representa el costo de generación de una cierta potencia por hora, como se observa en la figura 2.1.2.1.b.:

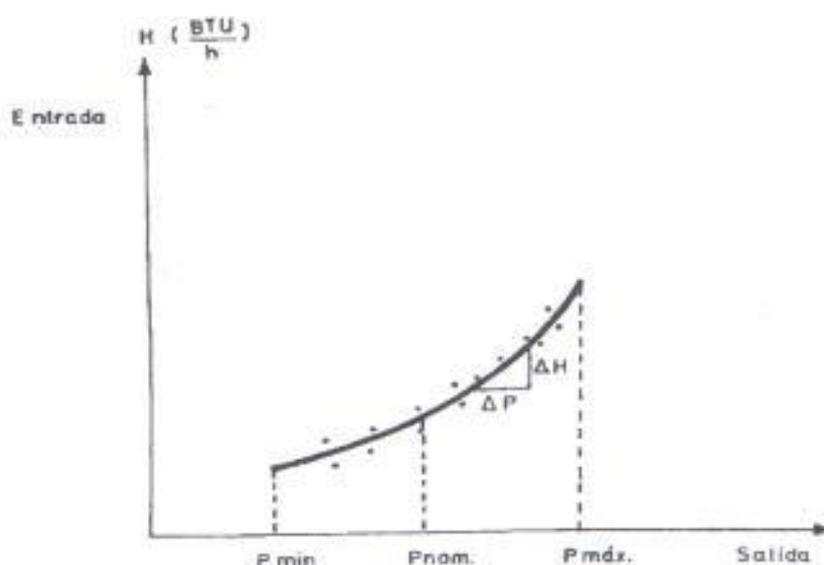


Figura 2.1.2.1.b. CURVA DE ENTRADA Y SALIDA DE UNA UNIDAD TERMICA

Existen varios métodos para determinar estas curvas de entrada salida, siendo ellos los siguientes:

- Pruebas de operación.
- Determinación de los registros de operación.

- Usos de datos de garantía del fabricante adaptado a datos de usos actual.

El método más practicable es el de los registros de operación. Estas curvas dependerán del tipo o método de aproximación que se utilice (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 potencia mínima y máxima, fuera de estos límites se producen efectos térmicos. Los registros de operación para la determinación de las curvas entrada salida de las unidades que se encuentran en el MEM se presentan en el Anexo 5 y sus curvas respectivas lineales y cuadráticas en el Anexo 6.

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 2.1.2.1.c.:

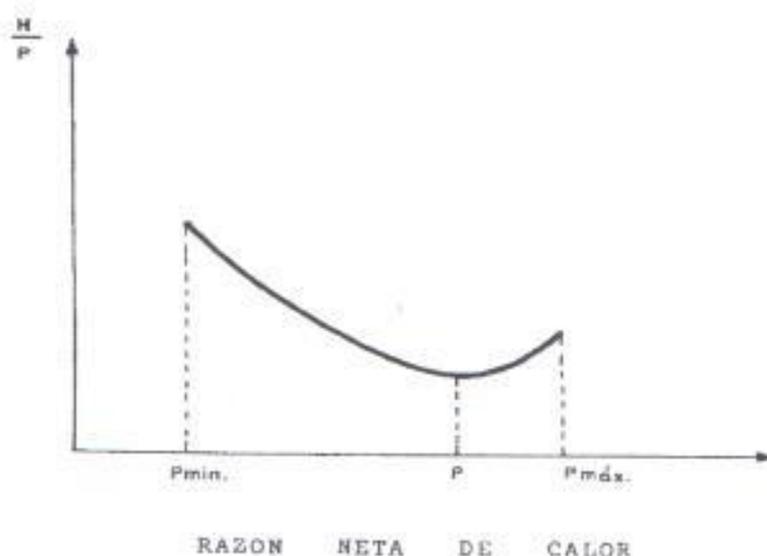


Figura 2.1.2.1.c. RAZON NETA DE CALOR

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 esta 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.

$$\frac{\Delta H}{\Delta P} \rightarrow \frac{\partial H}{\partial P} \quad (2.5)$$

graficando dH/dP vs. P se obtiene la característica de calor incremental y con dF/dP vs. P , obtenemos las características del costo incremental cuyas unidades serían

$$\frac{MBTU}{KW - H}$$

Esta característica de calor o costo incremental es la que más se utiliza en el despacho económico. En otras palabras la derivada de la curva corresponde a la característica de costo incremental. Graficando para una unidad térmica, diferentes tipos de curvas entrada - salida se obtiene distintas curvas de costo incrementales como se puede observar en la siguiente figura 2.1.2.1.d.

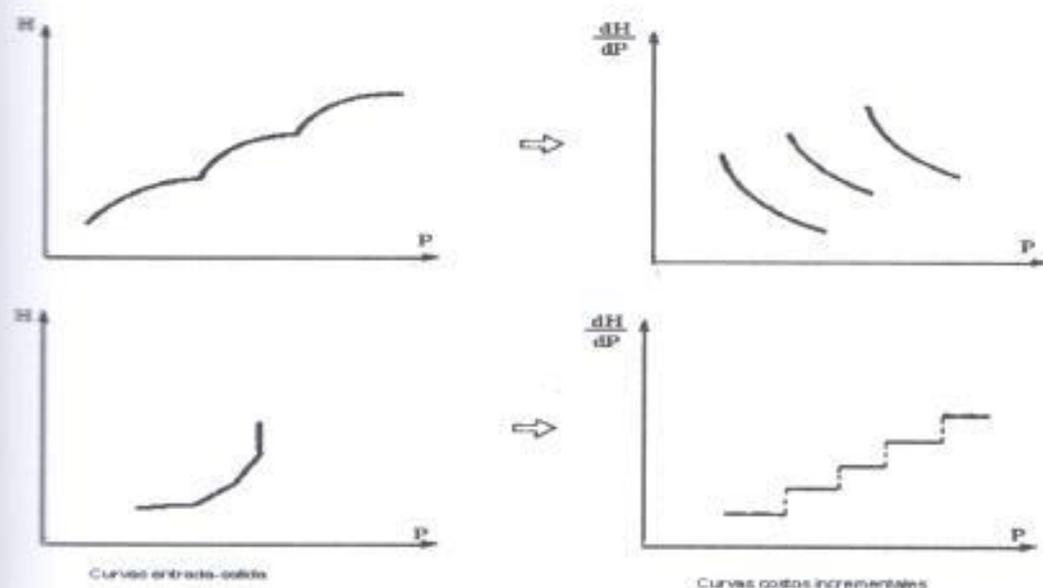


Figura 2.1.2.1.d. CURVAS DE ENTRADA - SALIDA Y

CURVAS DE COSTOS INCREMENTALES.

2.2. UNIDADES DE GENERACION DE CICLO COMBINADO

Aunque ya se han producido grandes avances en la generación de energía eléctrica, eficiencias promedio del orden del 25% en unidades térmicas son insuficientes para sistemas que crecen cada día más. Este efecto se ve aún más acentuado por el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, lo que lleva a que estos últimos hayan subido sus costos, forzando a que las eficiencias de las centrales térmicas aumenten para que no sean totalmente desplazadas por las hidráulicas.

Las razones anteriores han llevado a que grandes compañías hallan invertido sumas enormes de dinero en el desarrollo de nuevos diseños, que sean versátiles y eficientes. Estos diseños han llevado, hasta la fecha, a la introducción de un tipo de central muy innovadora, la central de ciclo combinado. Dicha central será descrita en el presente trabajo aunque todavía no se tienen de estas en el MEM.

Las centrales de ciclo combinado llevan dicho nombre por la utilización conjunta de dos centrales: una turbina a gas y otra de vapor. La combinación de ambas produce un ciclo de potencia más eficiente y con costos variables bastante competitivos.

El desarrollo de las centrales de ciclo combinado se enmarca preferentemente con el uso del gas natural, el cual es el combustible más apropiado para el funcionamiento de la turbina a gas debido a su capacidad energética, confiabilidad y costo competitivo, además de que sirve como una alternativa para el futuro de nuestro país por la explotación que se dará en el Golfo de Guayaquil.

Los problemas de abastecimiento de agua en los últimos años, unidos con la competitividad en costos de las centrales de ciclo combinado en otros países, han hecho que los dardos de las principales generadoras apunten hacia ellas, pronosticándose un aumento del parque de estas centrales en el país, lo cual motiva esta investigación.

2.2.1. EFECTO COMBINADO Y REUTILIZACIÓN DE ENERGÍA.

Como se puede ver en el diagrama de la figura 2.2.1., la entrada de aire a la turbina a gas es comprimida y luego mezclada con el combustible. Dicha mezcla es luego alimentada a la turbina a gas, la que entrega gases a una alta temperatura. Este aire caliente es luego alimentado a una serie de calderas o intercambiadores de calor, siendo dividido en tres secciones específicas de presión baja, intermedia y alta.

Cada una de estas calderas entrega vapor a una distinta presión para las turbinas a las que alimenta. En el caso del intercambiador de calor de alta presión, éste entrega vapor sobre-calentado a la turbina de alta presión, la que recibe este vapor. Como se puede ver en el diagrama anterior, el

vapor es utilizado en la turbina de alta presión y luego diferido a la turbina de presión intermedia, dado que eso permitirá extraer un porcentaje aún mayor de la energía por la configuración específica de la turbina.

Al mezclar el vapor de salida de la turbina de alta presión con el de la caldera de presión intermedia, se presenta una diferencia de presiones leve, pero una gran diferencia de temperatura. Luego, el vapor que es enviado desde la caldera hacia la turbina de presión ve su temperatura aumentada antes de ingresar a la turbina, lo que aumenta su nivel de energía interna y consecuentemente la cantidad de energía que se le puede extraer al vapor en esta parte de la turbina.

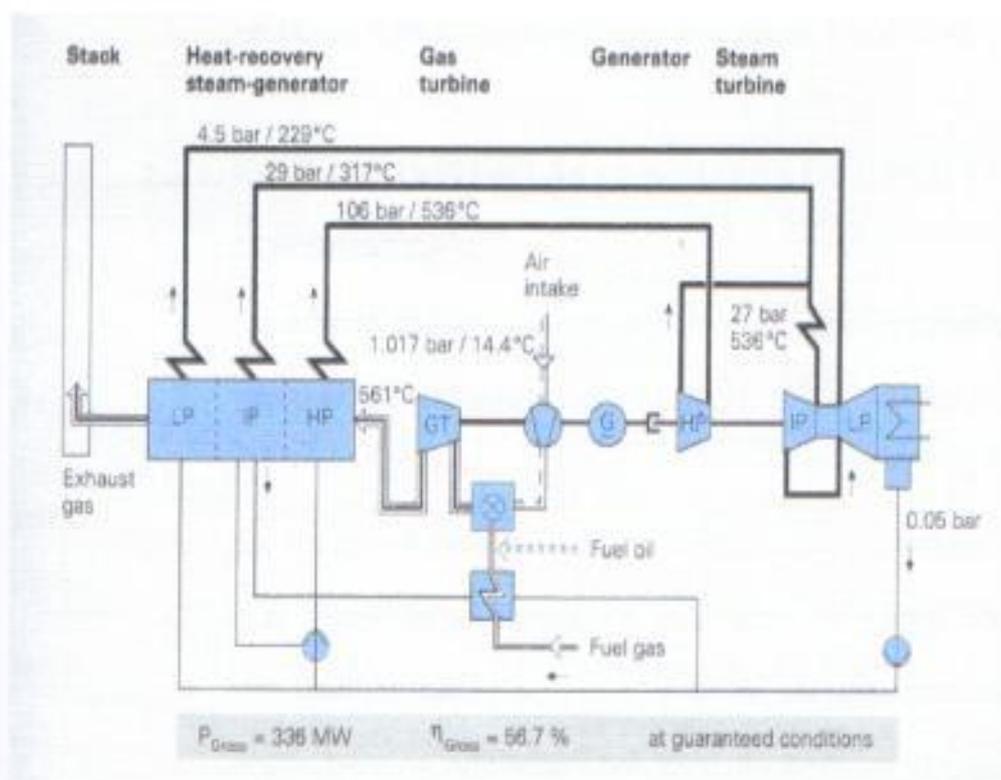


Figura 2.2.1. ESQUEMA DE LA CENTRAL DE CICLO COMBINADO

Nuevamente el vapor utilizado en la turbina intermedia es reutilizado en la alimentación de la turbina de baja presión al mezclarlo con el vapor de entrada de ésta. Esta unidad recibe este vapor, el cual es utilizado y luego condensado para ser bombeado de vuelta a la caldera principal. Se debe notar que en esta última etapa el vapor ve su presión fuertemente reducida, indicando que el proceso ha absorbido un porcentaje considerable de la energía disponible.

fuertemente reducida, indicando que el proceso ha absorbido un porcentaje considerable de la energía disponible.

2.2.2. PROPIEDADES DE LAS CENTRALES DE CICLO

COMBINADO

La central de ciclo combinado tiene muchas propiedades, de las que mencionamos las siguientes:

La independencia relativa de ambos ciclos también permite que la central se encuentre disponible un mayor porcentaje del tiempo. La falla o mantención del ciclo de vapor no imposibilita la operación del ciclo de turbinas a gas, lo que aumenta su disponibilidad, aunque la potencia disponible en dicho caso sea menor. La independencia de los ciclos también le permite a la central jugar un rol más importante en el panorama energético del sistema en el cual esta inserta, esto se debe a que la capacidad de funcionar mientras esta en mantenimiento uno de sus ciclos, aumenta la reserva en frío, mejorando así el nivel de seguridad del sistema.

En conjunto con los tópicos anteriores, estas centrales también son muy buenas reguladoras de frecuencia. Este

servicio es normalmente llevado a cabo por centrales hidráulicas, debido a su buena capacidad de toma de carga y su gran tamaño relativo dentro del sistema. Permitir que centrales térmicas también puedan regular frecuencia de manera eficaz y económica, daría como resultado que el sistema sea menos vulnerable en tiempos de sequías producto de la falta de aporte hídrico en las centrales hidráulicas.

Finalmente, otro aspecto que fortalece las centrales de ciclo combinado y su implementación en sistemas interconectados es su rápido proceso de encendido y sincronización. Estas centrales pueden tomar carga en periodos de pocos minutos, cifra muy similar a la de las turbinas a gas, que es del orden de 7 a 10 minutos. Esto se debe a que la central puede operar en un ciclo abierto (solo turbina a gas), lo que hace de esta central, bajo dicha configuración, una turbina a gas de grandes dimensiones.

2.2.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS.

Otro factor que favorece fuertemente la implementación de este tipo de centrales es el reducido costo de inversión (con respecto a las centrales hidroeléctricas). Como bien se sabe, las centrales hidroeléctricas presentan un costo variable de 0.2 ctvs\$/kwh; el costo de esta central es aproximadamente al de una central de ciclo combinado lo que hace que el costo a cubrir sea totalmente dictado por los costos de inversión.

Del párrafo anterior se observa que las centrales de ciclo combinado requieren de costos variables de producción bastantes reducidos, por lo tanto, la financiación es más fácil de obtener debido a que su costo de inversión es mucho menor al de una central hidroeléctrica. La reducción de estos montos implica que un mayor número de instituciones podrán entregar dicho préstamo, lo cual lleva a una mayor oferta.

Otro factor que potencia la instalación de centrales de ciclo combinado, es su reducido tiempo de construcción. En el caso de proyectos hidroeléctricos de tamaños similares a los presentes en los ciclos combinados, el tiempo de

construcción supera con creces los 2 años, lo cual implica que las empresas deben predecir con mucha anticipación cambios en los niveles de consumo. Este prolongado tiempo de construcción implica un aumento en el riesgo, un mayor compromiso financiero y finalmente, una mayor posibilidad de complicaciones. En el caso de las centrales de ciclo combinado, tiempos de construcción inferiores a los 11 meses son aplicables hoy en día. Este reducido tiempo de construcción le da a las empresas una posibilidad de responder a cambios y de emprender proyectos que aunque menos riesgosos, presentan niveles de retornos muy similares.

2.2.4. FACTORES DE NODOS

Como veremos en el capítulo 4 los factores de nodos varían con relación a la ubicación de las barras del sistema con respecto a una barra de referencia, de donde con la central de ciclo combinado se tiene una ubicación de acuerdo a los intereses de los que invierten en generación, es decir cercanos o en la barra de referencia para evitar la penalización por pérdidas de transmisión. Esta es una ventaja que no la poseen las centrales hidroeléctricas debido

a que estas se las ubican de acuerdo al lugar más apropiado para aprovechar a máximo la energía debido a la caída de agua.

2.2.5. SEGURIDAD

Las centrales de ciclo combinado también tienen como ventaja el hecho de que el centro de carga en donde está ubicada esta central no depende del sistema de transmisión, en el supuesto caso que exista una falla en este; un ejemplo claro en nuestro país es la línea Paute Pascuales que si fallara dejaría sin energía a gran parte de Guayaquil, lo cual sería gravísimo.

2.2.6. TÓPICOS AMBIENTALES

La situación ambiental en el mundo han llevado a imponer gran cantidad de restricciones ambientales, las cuales en el caso de las centrales de ciclo combinado es reconocida la baja en el nivel de contaminantes emitidos por una central de este tipo respecto a las clásicas termoeléctricas; debido al hecho que al utilizar como combustible gas natural estas centrales reducen fuertemente las emisiones de partículas de anhídrido carbónico y monóxido de carbono.

CAPITULO 3

3. DESPACHO HIDROTERMICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Una de las principales dificultades en la gestión de un sistema hidrotérmico, es la utilización del agua almacenada en los embalses en forma óptima económica, en el sentido de decidir si es conveniente utilizar inmediatamente el agua disponible para la generación eléctrica o almacenarla para la utilización posterior más rentable. A los efectos de disponer de un criterio de decisión, es necesario determinar para las reservas hidráulicas en el país un valor del agua.

Además, una expansión eficiente de los sistemas hidroeléctricos es importante no solamente por razones económicas, sino para prevenir los rechazos de carga. Existen muchas situaciones conectadas con la

operación hidroeléctrica, tales como flujos no controlados y descargas requeridas de agua para irrigación o control de inundaciones, las cuales alejan del sistema operador algunas alternativas que pueden tener aun cuando podría ser usada totalmente el agua como es deseada para beneficiar la producción de potencia.

Entonces el valor del agua es el beneficio que se espera obtener en el futuro por la cantidad de energía que en este momento no se genera y que permanece en el reservorio, y este valor puede ser asignado sobre el agua en unidad monetaria por metro cúbico. Por supuesto, el valor del agua varía de tiempo en tiempo, siendo bajo en períodos de gran caudal y durante e inmediatamente después de tormentas o aumentado durante periodos cuando hay escasez 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 en las unidades térmicas de generación.

La gestión óptima de un sistema hidrotérmico, en un instante cualquiera, se basa en comparar los costos del combustible del parque térmico, con los valores del agua de los embalses y

determinar el despacho de las unidades térmicas e hidráulicas para la operación económica total del sistema.

3.1.1 EL VALOR DEL AGUA Y COORDINACIÓN HIDROTERMICA

En economía el valor de un bien es una medida de la escasez de este, la abundancia implica un bajo costo, y la carencia con lleva a un costo considerable.

El agua es un bien abundante en el planeta, y por tanto con ligereza se puede llegar a la conclusión que su valor es nulo. Analizando detenidamente el caso del agua, una vez procesada y convertida en agua potable apta para el consumo humano pierde su condición de abundante y pasa a tener un costo. ¿Qué podríamos decir del agua que llega al área de influencia del embalse en una Central Hidroeléctrica?

Si la hidrología del sector donde está ubicada la central tiene características de abundancia y la cantidad de flujo de agua es permanente en todas las épocas del año basta con instalar una casa de máquinas con generadores de gran capacidad y se procede a generar cuanta energía requiera la demanda y listo, pero la hidrología no es de gran abundancia ni constante

a lo largo del año, de allí surge la necesidad de los embalses para aprovechar de la mejor manera el agua que llega a la región de forma aleatoria. El agua que llega en las épocas abundantes una parte se utiliza para proveer energía eléctrica en el momento y otra parte se almacena para ser utilizada en la época de sequía.

Podemos aseverar que el agua del embalse no es abundante, y por tanto debe tener un costo imputado a la misma debido a su escasez como recurso de producción y que sirva de criterio para decidir si es más conveniente utilizarla en el presente para proveer energía eléctrica o almacenarla para situaciones futuras en las que se pueda obtener mejores resultados económicos. En este capítulo mostraremos una metodología para determinar el valor del agua en un sistema eléctrico.

3.1.2 CONCEPTO ECONÓMICO DEL VALOR DEL AGUA

En economía existe el criterio de costo de oportunidad, que ayuda a decidir el uso de un recurso de producción calculando qué se dejará de obtener de beneficio si se utiliza el recurso o parte de este en una actividad diferente, o en la misma actividad, pero en tiempos distintos. Se debe destacar el

carácter de valor económico del agua porque responde exactamente a lo que en economía se considera un costo de oportunidad.

En el caso del agua disponible en un embalse esta será capaz de proveer cierta cantidad de energía hidroeléctrica que suplirá parte de la demanda y el resto será cubierto por centrales de otro tipo, en el caso del Ecuador estas centrales son de origen térmico. Es obvio que mientras mayor sea la cantidad de agua disponible mayor será la energía hidroeléctrica que cubra la demanda y en consecuencia disminuirá la energía térmica requerida y por ende la cantidad de combustible utilizado para este propósito, entonces el cálculo del valor del agua se remite a determinar cuál será el ahorro que el agua permitirá hacer en un sistema eléctrico determinado. El mismo dependerá de muchas circunstancias.

Una cantidad de agua puede ser almacenada en un momento de abundancia de aportes hídricos siempre que se disponga de almacenamiento suficiente en el embalse de la central. Si ese no fuera el caso, el agua deberá ser utilizada para generar energía, en caso que se disponga de capacidad de generación

y exista demanda suficiente para absorber la misma. Si no se diera cualquiera de estas dos circunstancias, el agua debería ser vertida.

Puede observarse entonces que una misma cantidad de agua puede valer cifras muy distintas según las circunstancias. Si comparamos la primera situación planteada donde el agua podía ser almacenada, con la última. Mientras en la primera, quizás el agua podría guardarse suficiente tiempo para llegar a evitar una posible falla en el sistema en una época de sequía, en el segundo no tiene capacidad de ser usada útilmente. En el primer caso tendrá mucho valor y en el segundo no valdrá nada.

Para calcular el valor del agua se debe especificar con claridad y precisión todas las condiciones del sistema para poder obtener cual es el máximo ahorro que se puede lograr partiendo de una cantidad de agua disponible conocida de los aportes hídricos durante el periodo de estudio, el volumen inicial y el volumen que se espera tener en el embalse al final de la etapa. Si se usa mal el agua disponible se harán pobres ahorros, si se la usa bien, los ahorros serán mayores. Es por

eso que es necesario establecer la mejor forma de usar el agua para que la respuesta a nuestro problema sea única, y por esta razón nosotros asumiremos que estos parámetros son determinísticos y conocidos. El cálculo del valor del agua se obtiene entonces como resultado de un problema de optimización.

Una complicación adicional resulta del hecho de que en centrales con embalse en las cuales el salto esté afectado por el nivel del mismo, una misma cantidad de agua de aporte puede equivaler a distintas cantidades de energía según la trayectoria de aquél. Si el nivel del embalse tiene gran influencia en el salto, como es el caso de centrales de baja caída, una optimización de la operación debe tener en cuenta que todo desembalse equivale, en general, a perder generación por disminución del rendimiento energético del agua. Ello puede verse contrarrestado en los casos en que desembalsar previene de ulteriores vertimientos. Según las circunstancias podría ocurrir que convenga operar el embalse en máxima cota siempre, con lo que se maximizará la producción de energía pero se perderá capacidad de regulación; por eso asumiremos una altura constante.

3.1.3. UNA DEDUCCIÓN SENCILLA DEL VALOR DEL AGUA

Supongamos si fuera distinto el costo marginal térmico en cada hora. Si en dos horas cualesquiera, pudiese obtenerse un ahorro mediante un uso diferente de la central hidroeléctrica, generando menos en la hora donde el costo marginal es más bajo y utilizando esa agua para generar más en la hora donde éste es más alto. Así, debido al supuesto de costos marginales térmicos crecientes, en la hora en que se generó menos hidráulicamente, el costo marginal aumentará y disminuirá en donde se agregó generación; no obstante, aumentar la generación térmica en la hora de menor costo marginal tenderá a aumentar el mismo en esa hora. Igual pero en sentido contrario ocurrirá en la hora de costo alto: al agregar energía hidráulica debe generarse menos con máquinas térmicas, lo que bajará su costo marginal. Se dejará de desplazar energía hidráulica entre horas cuando se hayan eliminado las diferencias entre los costos marginales de las dos horas analizadas.

Este razonamiento puede extenderse a todas las horas del período, con lo cual se demuestra que el costo marginal

térmico debe ser igual o tratar de ser igual en cada hora. Este resultado es por otro lado muy conocido: una central hidroeléctrica debe despacharse de manera de igualar los costos marginales para optimizar su operación, este es el criterio utilizado en nuestro trabajo.

Otra conclusión importante que se extrae es que todos los valores del costo marginal son precisamente iguales al valor del agua (o más precisamente al valor de la energía obtenida mediante uso del agua). Esto se debe a que si se dispusiera de una unidad más de agua se distribuiría entre las distintas horas de manera de mantener la igualdad de los costos marginales térmicos, siendo el valor del agua igual a ellos.

Debe destacarse que esos valores tienen significación cuando el problema de optimización se ha resuelto. Es decir que corresponde a una situación no mejorable para un conjunto de restricciones dadas. Es claro que la variación en las restricciones producirá modificaciones en el resultado óptimo. Si se trata de un problema de minimización de costos para la atención de cierta demanda, sujeto a restricciones de disponibilidad de recursos, cuanto más escasos sean los

recursos o más fuertes sean las restricciones existentes, más costoso resultará atender esa demanda.

Para poder lograr la igualación del costo marginal en todas las horas del período de análisis se debe contar con suficiente potencia instalada hidráulica y también con una cantidad de agua que permita lograr eso (caso 1). En la Figura 3.1.3.1. se muestra una situación de despacho durante todas las horas analizadas. La energía hidráulica se distribuye de manera de igualar los costos marginales de generación en todas las horas, lo que equivale a mantener el parque térmico con potencia constante si dejamos de lado consideraciones sobre disponibilidad. Este caso es similar al caso presentado en nuestro país, en periodo lluvioso donde las condiciones hidrológicas son muy favorables, en el Anexo 7, podemos ver la capacidad instalada y el número de unidades de todas las centrales de generación de Ecuador, y podemos darnos cuenta que la aportación entre las potencias de las centrales hidráulicas con las térmicas es de seis contra cuatro aproximadamente.

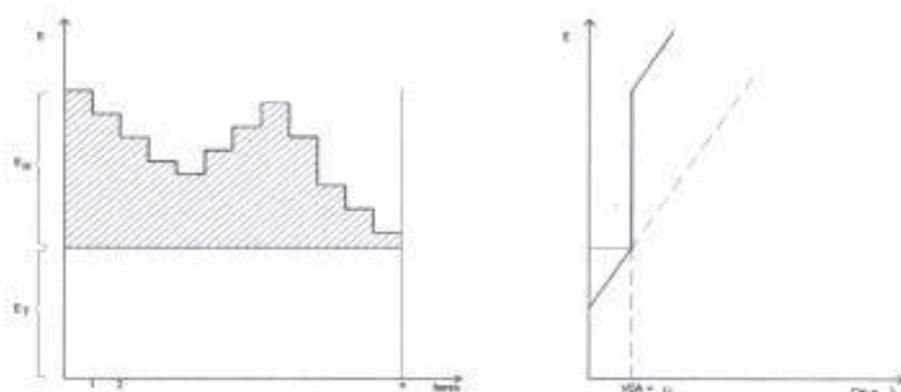


Figura 3.1.3.1. CASO 1. CENTRALES HIDRAULICAS SIN RESTRICCIONES

En la parte derecha de la figura 3.1.3.1. se representan los costos marginales de generación asociados a distintos niveles de potencia despachada. A partir del valor del agua μ se agrega una potencia que permite atender todas las variaciones de carga sin que se produzcan cambios en el costo marginal térmico del sistema, que vendrá dado por el correspondiente a la última máquina despachada y que será igual al valor del agua.

A través del ejemplo desarrollado puede verse como el costo de generación térmico provee en definitiva el medio para

asignarle un valor al agua. El agua vale por lo que permite ahorrar o sustituir.

Si la cantidad de agua disponible aumenta, podría generar más energía, lo que permitiría disminuir el uso de potencia térmica, que bajo el supuesto de costos marginales crecientes, arrojaría un menor costo marginal de la energía λ_i que es igual a μ en el caso 1. En consecuencia, la abundancia de agua hace bajar su valor económico. Debe interpretarse μ como el valor del agua, o más bien en este caso el valor de la energía de origen hidráulico.

Un razonamiento análogo puede hacerse si se disminuye la disponibilidad de agua, lo que aumentaría su valor; sin embargo, aquí puede surgir la duda de si es posible igualar la potencia térmica cuando disminuye la disponibilidad de agua (caso 2). Para cierto grado de escasez, tal igualación no es posible y es necesario igualar a cero la potencia hidráulica en algunos períodos.

La Figura 3.1.3.2. representa la nueva situación planteada. Puede verse el uso de la central hidráulica en la punta,

detereniéndose en las horas de menor carga para guardar el agua para las horas más comprometidas.

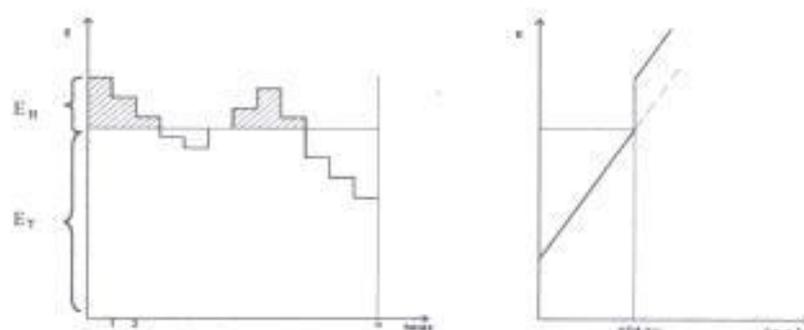


Figura 3.1.3.2. CASO 2. CON APORTES DE AGUA

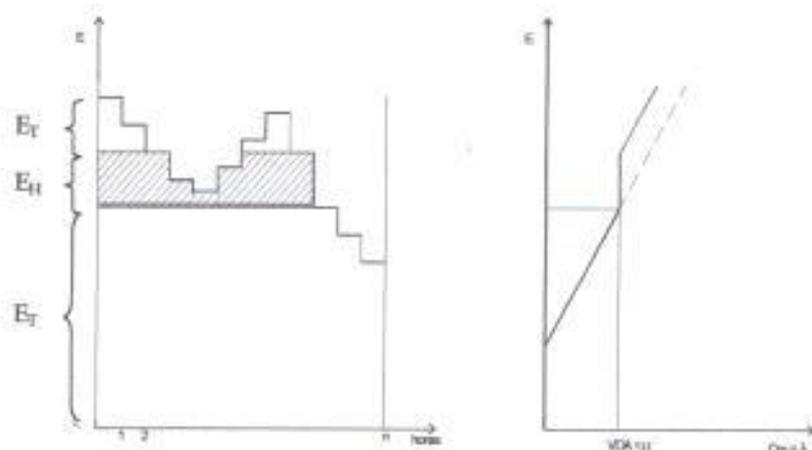
ESCASOS

El valor del agua también es constante durante todo el período de análisis, aunque ahora es más alto que en el caso anterior. En algunas horas coincidirá con el costo marginal del sistema y en otras será superior al mismo. Cuando ello ocurra la central hidráulica se detendrá, pues precisamente se guardará el agua valiosa para cuando sustituya energía más cara que aquella. Entonces el costo marginal de la energía en los períodos donde se despacha potencia hidráulica es superior a la que resulta en aquellos donde solo hay generación térmica, en que funcionan máquinas de buen rendimiento.

Una situación a considerar es que exista limitación en la capacidad de generación hidráulica, en ese caso la forma de operación óptima se ajustará a la restricción de capacidad, puesto que cuando se satura la capacidad de generación hidráulica el costo marginal del sistema vendrá dado por máquinas térmicas cuyo costo marginal es superior al valor del agua.

También podría mostrarse, como en el caso anterior, que si la central hidráulica no funciona es porque el valor de su agua es superior al costo alternativo de generar térmicamente, y en este caso se ahorraría agua para otras horas (caso 3).

El caso general planteado puede resumirse en la Figura 3.1.3.3. Allí se ve la ubicación de la CH en el despacho. Cuando la CH no funciona el valor del agua μ es superior al costo marginal del sistema λ_i . Allí marginalarán máquinas térmicas con distinto costo marginal según la demanda horaria. Existen horas en que marginalarán la CH, y el costo marginal del sistema λ_i coincidirá con el valor del agua. Finalmente, en las horas de punta marginalarán otras máquinas de mayor costo que el valor del agua.



**Figura 3.1.3.3. CASO 3. CON RESTRICCIÓN DE POTENCIA
MAXIMA**

Sobre ese mismo gráfico es posible imaginar situaciones como aumento de disponibilidad de agua con la misma potencia. Suponiendo que es posible desplazar el uso del agua debido a la capacidad de almacenamiento, ello equivale a bajar la ubicación de la CH en el diagrama de cargas, lo que lleva aparejado una baja en el VA. También puede suponerse una misma cantidad de agua pero más potencia máxima. Ello permitirá ubicar la CH más en la punta de diagrama de cargas, con el consiguiente aumento del valor del agua. Para que ello

pueda ser posible debe disponerse de la adecuada capacidad de almacenamiento.

El análisis anterior puede ser utilizado también sobre una curva monótona de cargas para verificar el procedimiento de despacho óptimo de una CH: ésta debe ubicarse tan en la punta como sea posible usando toda la energía disponible. De esa manera se procura igualar los costos marginales térmicos tanto como sea posible y se aprovecha al máximo la capacidad de la potencia de la CH. Este procedimiento utilizamos en nuestro programa para determinar el valor del agua.

3.1.4. LOS CICLOS DE VACIADO Y LLENADO EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.

Un supuesto explícito hasta aquí es que no existen limitaciones en la capacidad de almacenamiento para la administración del agua óptima. Ahora si se hacen supuestos sobre limitaciones en la capacidad de almacenamiento el análisis se complica más.

Cuando se hace el análisis marginal de la conveniencia de desplazar el uso del agua de hoy hacia el futuro se está suponiendo que se dispone de cierta capacidad de almacenamiento. Si se decide guardar agua de una hora para otra es porque el aporte de agua que vendrá durante esa hora no llevará el embalse a una situación de vertimiento. De la misma manera si se decide usar más agua ahora y menos después, es probable que no alcance el agua que vendrá ahora y se deberá utilizar agua almacenada. Cuando existe diferencia entre los costos marginales en dos periodos cualesquiera, el proceso de transferencia de agua se hará mientras sea posible. Se podrá llegar a la igualdad de los costos marginales, o bien interrumpir el proceso por haber llegado al tope del embalse o haberlo vaciado. Es decir que la transferencia de agua entre periodos encuentra sus límites en las cotas máximas y mínimas de los embalses.

Según la capacidad del embalse el número de horas en que se habrá podido lograr la transferencia será mayor y mayor será el tiempo con valor del agua constante.

Recordemos que estamos en una situación de caudales determinísticos y conocidos. El problema a resolver es de almacenamiento óptimo teniendo como objetivo disminuir el costo total de generación térmico. El problema es el mismo que teníamos antes pero ahora reconocemos que existen límites al almacenamiento. Ello modifica un tanto los resultados, sin embargo los criterios generales permanecen igual.

Según la disponibilidad de agua con relación a las necesidades de generación, los embalses fluctuarán. En períodos secos el embalse bajará y eventualmente se vaciará. En períodos ricos el embalse subirá y eventualmente llegará a cota máxima, pudiendo verter o no según su capacidad de generación o la demanda.

En general se observarán tres períodos: uno en que el embalse va de un estado lleno a otro vacío, uno en que va de vacío a lleno y otro en que permanece lleno.

De acuerdo al resultado que habíamos obtenido antes, el valor del agua durante ese período será el mismo y no importa si dura un mes, un año o más tiempo.

Lo mismo puede decirse de un período de llenado: no importa cuanto dure, pero mientras el embalse esté llenándose o en un ciclo de llenado el valor del agua se mantendrá constante, porque la capacidad de regulación del embalse debe ser usada para igualar el costo marginal durante todo ese período.

Con el embalse lleno el valor del agua fluctuará con la generación hidráulica, ello se debe a que se perdió la capacidad de almacenar y se deberá generar tanto como agua fluya al embalse, suponiendo que esa generación tiene la posibilidad de desplazar generación térmica. Menores niveles de generación térmica llevan aparejado menores costos marginales, según el supuesto de costos marginales térmicos crecientes.

El procedimiento más general y el que aplicamos en nuestro programa para los casos mencionados anteriormente es el siguiente:

- (a) Se ordenan las demandas horarias de menor a mayor para conseguir una curva de duración de carga.

(b) El proceso despacha las centrales de generación hidroeléctrica comenzando por la central de mayor potencia que cubrirá el pico entre el punto mayor de la curva de carga diaria creciente y la demanda inmediata inferior, luego realizamos una nueva diferencia entre el punto máximo resultante del paso anterior y la nueva demanda inmediata inferior, el cual se multiplicará por el tiempo (horas) que esta diferencia tenga, y así sucesivamente hasta distribuir toda la energía hidroeléctrica disponible de las centrales en el periodo de análisis durante las 24 horas.

(c) Se verifica el límite máximo de generación hidroeléctrica de cada central durante el periodo de análisis (24 horas); es decir, volumen máximo de almacenamiento de agua en el embalse de la central el cual es un dato de entrada, en caso de superar este valor se fija la potencia en el valor máximo y se regresa al paso b, excluyendo los periodos donde se fijó la potencia máxima, ahora la energía hidroeléctrica disponible se obtiene restando de la energía hidroeléctrica inicial, la energía hidroeléctrica utilizada al fijar la potencia.

En caso de violar el límite mínimo; es decir, volumen mínimo de almacenamiento de agua en el embalse de la central el cual

es un dato de entrada, se puede optar, por no generar en ese periodo si la potencia hidráulica en cuestión es menor que la mitad de la potencia mínima, o aumentar la generación hasta el mínimo en caso que la potencia hidráulica sea igual o mayor que la mitad de la potencia mínima, y se regresa al paso b, excluyendo los periodos donde se fijó la potencia mínima, ahora la energía hidroeléctrica disponible se obtiene restando de la energía hidroeléctrica inicial, la energía hidroeléctrica utilizada al fijar la potencia.

(d) Obtenemos los volúmenes periodo a periodo con las siguientes

fórmulas:

$$V_j = V_{j-1} + A_{p_j} - V_{t_j} \text{ donde:}$$

V_j : Volumen en la etapa j

A_{p_j} : Aporte en la etapa j

$V_{t_j} = E_{H_j} / k$, E_{H_j} Energía Hidráulica disponible, k constante del generador, V_t volumen turbinado.

(e) En caso de violar el limite inferior en el vaciado se procede a distribuir nuevamente la energía disponible separando el problema en etapas; es decir, se subdivide el problema de tal manera que no viole la restricción en este caso la del límite

inferior, primero en la etapa de sequía con el mismo volumen inicial y fijando el volumen final en el mínimo y luego en la etapa de abundancia con volumen inicial igual al volumen mínimo y volumen final igual al del problema general.

- (f) En caso de violar el límite superior en el llenado se procede a distribuir nuevamente la energía disponible separando el problema en etapas; es decir, se subdivide el problema de tal manera que no viole la restricción en este caso la del límite superior, primero en la etapa de llenado con el mismo volumen inicial y fijando el volumen final en el máximo y luego en la etapa de vaciado con volumen inicial igual al volumen máximo y volumen final igual al del problema general.

- (g) Una vez distribuida la energía hidroeléctrica y cumpliendo las restricciones el problema se reduce a un despacho térmico puro para cubrir la diferencia entre la demanda del sistema y la energía hidroeléctrica determinada hasta el paso anterior.

En el Anexo 2 se muestra el flujograma de Procesos de volumen, Redistribución y Procesos genera volumen,

correspondiente al despacho hidroeléctrico, que resuelven los pasos indicados anteriormente.

3.1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DEL PARQUE TERMICO

Una vez despachadas las centrales hidroeléctricas por el procedimiento anterior la demanda que no fue cubierta se suplirá con el parque térmico por el método de los multiplicadores de lagrange previo una adecuada selección de unidades.

El criterio de optimización térmica será minimizar el costo de combustible de las máquinas térmicas (Función Objetivo).

$$\min CT = \sum_i CT_i (ET_i) ; \quad i=1,n \quad (3.1)$$

n = número de períodos horarios

ET_i = Energía térmica en la hora i

Las condiciones que deben cumplirse son:

$$ET_i = D_i - EH_i \quad (3.2)$$

EH_i = Energía hidráulica en la hora i

D_i = Demanda de la hora i

La condición (3.2) expresa que la energía térmica es la diferencia entre demanda y energía hidráulica en cada hora i .

Con la función objetivo y las restricciones planteadas podemos desarrollar el método de los multiplicadores de LaGrange, como vimos en el capítulo 1.

3.2. SELECCIÓN DE UNIDADES

La selección de unidades ha sido desarrollada por medio de Orden de Prioridades, la cual es aplicada cuando deseamos determinar que unidades deben estar funcionando en un determinado período de tiempo para de esta manera optimizar el rendimiento de las unidades de generación, en base a sus costos variables de operación $f(P_{\max})/P_{\max}$.

Las ecuaciones que intervienen para el cálculo de costo mínimo a la hora K con la combinación I es:

$$F_{\text{costo}}(K, I) = [P_{\text{costo}}(K, I) + S_{\text{costo}}(K-1, L : K, I) + F_{\text{costo}}(K-1, L)] \quad (3.3)$$

donde:

K = número de intervalo actual, los intervalos van desde K hasta M .

$K-1$ = intervalo anterior

$K+1$ = intervalo siguiente

I = número de estado actual

L = estado siguiente

$\{L\}$ = estados factibles en el intervalo $K+1$

F costo(K, I) = costo total mínimo para llegar al estado (K, I)

P costo = Costo de producción para el estado (K, I)

S costo ($K-1, L:K, I$) = costo de transición desde el estado ($K-1, L$) a (K, L)

El estado (K, I) es la i -ésima combinación a la hora K .

Una vez que se ha llevado a cabo el orden de prioridades, esto se consigue mediante un proceso en el cual se seleccionan las unidades que deben funcionar de acuerdo al comportamiento de la carga que van a satisfacer para cada intervalo de tiempo. Estas unidades se escogen de acuerdo a los valores máximos de potencia de cada una de las unidades de generación, para luego calcular los costos mínimos de los generadores ya sea que estén generando, estén fuera de línea o simplemente que la unidad se halle apagada.

Definición de las variables:

Antes de determinar los costos de operación debemos definir ciertas variables:

TMC : Tiempo Mínimo de Conexión

TMD : Tiempo Mínimo de Desconexión

CAF : Costo de Arranque en Frio

CAC : Costo de Arranque en Caliente

CSC : Costo Sin Carga

TMC .- Tiempo Mínimo de Conexión, es el tiempo que demora una unidad en romper la inercia del movimiento y llegar a alcanzar la velocidad mínima nominal exigida para el arranque.

TMD .- Tiempo Mínimo de Desconexión, es el tiempo que demora una unidad en desacelerar y llegar a una velocidad de cero, una vez que ha sido desconectada del sistema de generación.

CAF .- Costo de Arranque en Frio, es el costo en el que se incurre al dar la orden de arranque en caliente, debido a que se requiere más combustible para romper la inercia.

CAC .- Costo de Arranque en Caliente, es el costo en que se incurre al reintegrar al sistema una unidad que se hallaba fuera de línea pero no apagada, es decir que no se hallaba sirviendo ninguna carga, pero se hallaba trabajando en vacío.

CSC : Costo Sin Carga, es el costo debido al consumo de combustible por estar trabajando sin carga.

Para determinar los costos totales de operación una vez que se determina que unidades están operando en los distintos intervalos de

tiempo, procedemos a preguntar qué unidades están apagadas y determinar el número de intervalos de tiempo (NIT) que pasan en este estado.

Sumamos los tiempos mínimos de conexión y de desconexión, al cual llamaremos T_t ; esta información la comparamos con el NIT, si T_t es mayor que NIT, esto significa que podemos mandar a apagar la unidad hasta que un contador interno encuentre que T_t es igual a NIT, donde se dará orden de arrancar la unidad. Si T_t es menor o igual que NIT, entonces se dará la orden de poner la unidad fuera de línea, pero no apagada.

Una vez que determinamos que las unidades están fuera de línea, apagadas o desconectadas, procedemos a determinar los costos de generación. Estos se calculan de la siguiente manera:

- A todas las unidades que se hallen trabajando y que se mantengan en este estado, tendrán como costo de generación el valor correspondiente a la potencia de cada generador que se obtiene como resultado del método de Lagrange.
- Si la unidad se hallaba fuera de línea y se mantenía en el mismo estado entonces sólo sumábamos el costo sin carga, ya que esto

representaba el hecho de que estaba conectada al sistema, pero no esta conectada a una carga.

- Si la unidad estaba apagada y recibía la orden de entrar en línea, entonces se le sumaba el costo de arranque en frío más el costo sin carga. Pero si la unidad estaba prendida pero no en línea y recibía la orden de entrar en línea, entonces se le sumaba el costo de arranque en caliente.
- Si la unidad se hallaba en línea, pero el despacho económico ordenaba que saliera de funcionamiento, entonces sólo se agregaba el costo sin carga, durante todo el tiempo que tardare en apagarse, es decir hasta que la velocidad sea cero.

En el Anexo 2 se muestra el flujograma correspondiente a Selección de Unidades, en el Anexo 8 se presenta un flujograma de la Metodología de Nuestro Programa.

Para la ilustración de esta metodología presentaremos una comparación de varios métodos: el método del consultor Argentino, la metodología utilizada por el CENACE y nuestro programa.

Para lo cual detallaremos a continuación el Método Argentino, el Método utilizado por el CENACE se lo detalló en el capítulo 1.

3.3 METODOLOGÍA ARTÍCULO ARGENTINO PRESENTADA POR LA CONSULTORA HAGLER BAILLY

El problema de optimización consiste en cómo distribuir horariamente el agua disponible en todo el período en estudio. El criterio de optimización será minimizar la función objetivo, que en este caso es el costo de combustible de las máquinas térmicas.

$$\min CT = \sum CT_i (ET_i); \quad (3.4)$$

Donde:

CT= costo de combustible de las máquinas térmicas.

ET_i = Energía térmica en la hora i

$i = 1, n$

n = número de períodos horarios

Las condiciones que deben cumplirse (Restricciones) son:

$$ET_i + EH_i = D_i \quad (3.5)$$

$$\sum_i EH_i = EH \quad (3.6)$$

Donde:

ET_i = Energía térmica en la hora i

EH_i = Energía hidráulica en la hora i

D_i = Demanda de la hora i

EH = Energía hidráulica disponible

$i = 1, n$

n = número de períodos horarios

La condición (3.5) expresa que la suma de la energía térmica y la hidráulica en cada hora i debe igualar la demanda de esa hora, esta restricción irá relacionada con el multiplicador de Lagrange λ_i .

La condición (3.6) expresa la limitación de energía hidráulica disponible, la que debe ser igual a lo gastado en todas las horas del período en análisis, esta restricción irá relacionada con el multiplicador de Lagrange μ .

Para obtener las condiciones de óptimo se crea la función de Lagrange de la siguiente manera:

$$L = \sum_i CT_i (ET_i) + \sum_i \lambda_i (D_i - ET_i - EH_i) + \mu (EH - \sum_i EH_i) \quad (3.7)$$

Donde:

L= Función de Lagrange.

CT= costo de combustible de las máquinas térmicas.

ET_i = Energía térmica en la hora i

EH_i = Energía hidráulica en la hora i

D_i = Demanda de la hora i

EH = Energía hidráulica disponible

$i = 1, n$

n = número de periodos horarios

El primer sumando de la función de Lagrange, L , repite la función a optimizar. El resto de los sumandos expresan cada una de las restricciones multiplicadas por el respectivo multiplicador. El método de Lagrange consiste en transformar un problema de optimización con restricciones en otro sin restricciones a expensas de agregar más variables, esto es los multiplicadores.

Las variables aquí son ET_i , EH_i , λ_i y μ , mientras que D_i y EH son datos.

Creada la función de Lagrange, se deriva respecto de cada una de las variables como si fueran todas libres y se igualan a cero para encontrar las condiciones de primer orden del problema de optimización.

$$\partial L / \partial ET_i = \partial CT_i / \partial ET_i - \lambda_i = 0 \quad i = 1, n \quad (3.8)$$

$$\partial L / \partial EH_i = -\lambda_i - \mu = 0 \quad i = 1, n \quad (3.9)$$

$$\partial L / \partial \lambda_i = (D_i - ET_i - EH_i) = 0; \quad i = 1, n \quad (3.10)$$

$$\partial L / \partial \mu = (EH - \sum_i EH_i) = 0 \quad (3.11)$$

Las dos últimas expresiones representan las restricciones del problema. El número de ecuaciones es $(3n + 1)$, igual al número de incógnitas.

Las dos primeras arrojan:

$$\partial CT_i / \partial ET_i = \lambda_i \quad i = 1, n \quad (3.12)$$

$$\lambda_i = - \mu \quad (3.13)$$

$\partial CT_i / \partial ET_i$ no es sino el costo marginal de producir una unidad de energía mediante equipos térmicos. En (3.13) el signo menos antes de μ se debe a que las restricciones actúan en manera distinta sobre el costo del sistema. Mientras un aumento de la demanda produce un aumento de el costo, un aumento en la disponibilidad de agua ocasiona una baja del mismo.

A continuación en la Tabla I se presenta la comparación del costo marginal de energía del artículo del consultor Argentino vs nuestro programa y en la Tabla II se presenta la comparación de nuestro programa vs la metodología del CENACE, resultados y

comparaciones de los diferentes métodos detallados anteriormente, la obtención de estos resultados se presentan en el Anexo 9.

En el Anexo 13 se presenta el Manual de Usuario del Software del Despacho Hidrotérmico Aplicado al S N I, en el Anexo 14 se presentan resultados de nuestro programa aplicado al Sistema Nacional Interconectado (S N I).

Tabla I

**COMPARACION DEL COSTO MARGINAL DE ENERGIA
Articulo Argentino vs Nuestra Metodologia**

| Periodos | Articulo Argentino | | Metodologia Nuestra | |
|--------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
| | LAMBDA (\$/Mwh) | Costos (\$) | LAMBDA (\$/Mwh) | Costos (\$) |
| 1 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 2 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 3 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 4 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 5 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 6 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 7 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 8 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 9 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 10 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 11 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 12 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 13 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 14 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 15 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 16 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 17 | 20,5 | 11127,6 | 19,485 | 11128,8 |
| 18 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 19 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 20 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 21 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 22 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 23 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| 24 | 17,8 | 10043,4 | 18,724 | 10042,2 |
| Total | | 251884 | | 251879 |
| Prom. | 18,93 | | 19,04 | |

Tabla II

**COMPARACION DEL COSTO MARGINAL DE ENERGIA
Nuestra Metodología vs CENACE**

| Periodos | Programa | | CENACE | |
|--------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | LAMBDA (\$/Mwh) | Costos (\$) | LAMBDA (\$/Mwh) | Costos (\$) |
| 1 | 8,481 | 5996,02 | 9,437 | 4787,56 |
| 2 | 9,754 | 8183,02 | 9,437 | 6897,31 |
| 3 | 10,223 | 9091,09 | 11,990 | 10541,30 |
| 4 | 11,313 | 10736,04 | 16,602 | 10951,56 |
| 5 | 11,313 | 10736,04 | 16,720 | 12645,61 |
| 6 | 11,313 | 10736,04 | 16,720 | 14814,64 |
| 7 | 11,313 | 10736,04 | 16,720 | 15611,58 |
| 8 | 11,313 | 10736,04 | 16,720 | 15241,26 |
| 9 | 11,313 | 10736,04 | 16,720 | 12411,24 |
| 10 | 11,313 | 10736,04 | 11,990 | 9188,23 |
| 11 | 9,754 | 8183,02 | 9,437 | 6897,31 |
| 12 | 9,063 | 7311,75 | 9,437 | 6034,23 |
| Total | | 113917 | | 126022 |
| Prom. | 10,54 | | 13,49 | |

CAPITULO 4

4. METODOS PARA EL CALCULO DE PERDIDAS EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA.

Este capítulo proporciona un resumen de los métodos AC y DC para la determinación de pérdidas y factores de nodos de redes de transmisión. Es muy importante evaluar estos parámetros puesto que influyen directamente en el comportamiento de la Red, asumiendo que el sistema se encuentra en estado estable.

4.1. FLUJO DE CARGA AC.

El flujo de carga AC resuelve un sistema de ecuaciones no lineales, que representan los flujos de potencia a través de los elementos de la red. Esta resolución se la hace por medio de algoritmos iterativos, siendo el más popular el de Newton Raphson simplificado, que utiliza la matriz Jacobiana con los criterios de desacoplamiento.

El flujo de carga AC implica tener tipos de especificaciones de Barras, como las mostradas en la Tabla III, es de notar que las combinaciones [P, θ], [Q, E], [Q, θ] son combinaciones generalmente no utilizadas.

Tabla III

ESPECIFICACIONES DE BARRAS EN FLUJOS DE POTENCIA.

| Tipo de Barra | P | Q | E | θ | Observación |
|--------------------|----|----|----|----------|-------------------------------------|
| Carga | SI | SI | | | Características propias de la carga |
| Voltaje Controlado | SI | | SI | | Se asume que E permanece constante |
| Oscilación | | | SI | SI | Ajusta el Flujo Neto de Potencia |
| Impedancia | | | | | Es necesario que sea dada Z |

La red de transmisión consiste en impedancias complejas entre barras y de estas a tierra. Un ejemplo es dado por la figura 4.2. las ecuaciones pueden ser escritas en forma matricial de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{12} & -y_{12} & 0 & 0 \\ -y_{12} & (y_{12} + y_{2g} + y_{23}) & -y_{23} & 0 \\ 0 & -y_{23} & (y_{23} + y_{3g} + y_{34}) & -y_{34} \\ 0 & 0 & -y_{34} & (y_{34} + y_{4g}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \end{pmatrix}$$

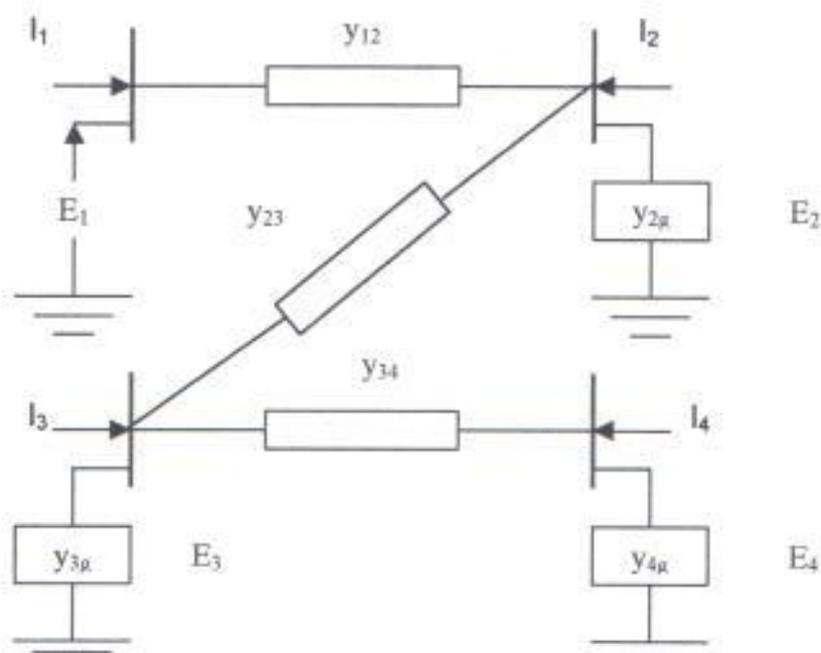


Figura 4.1. SISTEMA DE 4 BARRAS

(todas las I , E son complejas)

Esta matriz es la llamada matriz Y de la red o matriz admitancia, la cual viene dada así:

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \end{pmatrix}$$

Las reglas para la elaboración de la matriz Y son:

Si una línea existe desde i hasta j

$$Y_{ij} = y_{ij} \quad (4.1) \quad y_i$$

$$Y_{ii} = \sum_j y_{ij} + y_{ig} \quad (4.2)$$

j sobre todas las líneas conectadas.

Para la elaboración de la matriz Y en nuestro programa usamos los parámetros de las líneas de transmisión y transformadores del S.N.I.; además mostramos los compensadores del sistema, todos estos están descritos en el Anexo 10.

La ecuación para la inyección de potencia a una barra, es usualmente escrita como:

$$\frac{P_k - jQ_k}{E_k^*} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n Y_{jk} E_j + Y_{kk} E_k \quad (4.3)$$

4.2. MÉTODO DE NEWTON RAPHSON.

El método de Newton Raphson está basado en la idea de ir calculando las correcciones mientras va tomando en cuenta todas las iteraciones e introduce la idea de un error en una función $f(x)$ conduciéndolo a cero, al realizar ajustes en un Δx para la variable independiente asociada, lo cual hace que este método sea más rápido que el de Gauss Seidel.

Supongamos que deseamos resolver

$$f(x) = K \quad (4.4)$$

En el método de Newton vamos a iniciar escogiendo un valor para x , al cual lo llamaremos x^0 , el error es la diferencia entre K y $f(x^0)$; de aquí se deriva la ecuación (4.5)

$$f(x^0) + \varepsilon = K \quad (4.5)$$

Por medio de la expansión de Taylor la función alrededor de cero nos queda

$$f(x^0) + \frac{df(x^0)}{dx} \Delta x + \varepsilon = K \quad (4.6)$$

fijando el error en cero nosotros calculamos

$$\Delta x = \left[\frac{df(x^0)}{dx} \right]^{-1} [K - f(x^0)] \quad (4.7)$$

Si quisiéramos resolver el flujo de potencia, extenderíamos el método de Newton a un caso multivariable, el cual es denominado Newton Raphson, donde:

$$P_i + jQ_i = E_i I_i^* \quad (4.8)$$

$$I_i = \sum_{k=1}^N Y_{ik} E_k$$

Reemplazando la I_i nos queda

$$P_i + jQ_i = E_i \left[\sum_{k=1}^N Y_{ik} E_k \right]^*$$

$$= |E_i|^2 Y_{ii}^* + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N Y_{ik}^* E_i E_k^*$$

Nosotros vamos a asumir los voltajes en coordenadas polares y vamos a ajustar cada magnitud de voltaje y ángulo de fase como variables independientes y por separado. Cada ecuación de inyección a la barra es diferenciada con respecto a todas las variables independientes y por separado. Note que en este punto las dos ecuaciones están escritas para cada barra, una para potencia real y otra para potencia reactiva. Para cada barra:

$$\Delta P_i = \sum_{k=1}^N \frac{\partial P_i}{\partial \theta_k} \Delta \theta_k + \sum_{k=1}^N \frac{\partial P_i}{\partial |E_k|} \Delta |E_k| \quad (4.9)$$

$$\Delta Q_i = \sum_{k=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_k} \Delta \theta_k + \sum_{k=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial |E_k|} \Delta |E_k|$$

los términos de la ec. (4.9) pueden representarse en forma matricial así:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta Q_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial |E_1|} & \dots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial |E_1|} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta |E_1| \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Matriz Jacobiana

Cabe recalcar que la solución requiere de la resolución de un conjunto de ecuaciones lineales cuyos coeficientes constituyen la matriz jacobiana, la cual generalmente tiene un pequeño porcentaje de sus elementos diferentes de cero y el proceso de solución utiliza la eliminación Gaussiana.

4.3. FLUJO DE CARGA DC.

Una aproximación del flujo de carga AC es la linealización o flujo de carga DC, la cual convierte la solución AC en un problema de análisis de un simple circuito lineal. Asumimos que damos a las líneas de transmisión un circuito equivalente Pi como se muestra en la figura

4.2

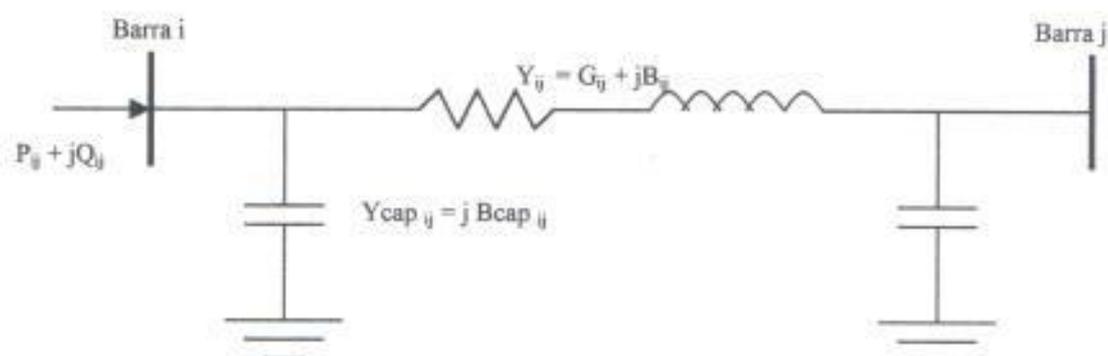


Figura 4.2. CIRCUITO PI EQUIVALENTE DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

La ecuación para el flujo de potencia a través de la línea calculada en la barra i puede ser escrita como:

$$\begin{aligned}
 P_{ij} + jQ_{ij} &= E_i [(E_i - E_j) Y_{ij}]^* + E_i [E_i Y_{cap\ ij}]^* \\
 &= |E_i| e^{j\theta_i} [(|E_i| e^{j\theta_i} - |E_j| e^{j\theta_j}) (G_{ij} + jB_{ij})]^* - j |E_i|^2 B_{cap\ ij} \\
 &= (|E_i|^2 - |E_i| |E_j| \cos(\theta_i - \theta_j) - j |E_i| |E_j| \sin(\theta_i - \theta_j)) \\
 &\quad \times (G_{ij} + jB_{ij})^* - j |E_i|^2 B_{cap\ ij} \qquad (4.11)
 \end{aligned}$$

Donde G es la conductancia y B la susceptancia de cada línea y E , θ son magnitudes de voltajes y ángulos de fase en cada barra terminal de la rama.

luego

$$P_{ij} = G_{ij} |E_i|^2 - G_{ij} |E_i| |E_j| \cos(\theta_i - \theta_j) - j G_{ij} |E_i| |E_j| \sin(\theta_i - \theta_j) +$$

Asumiendo

- $|E_i| = |E_j| = 1$

- $X_{ij} \gg r_{ij}$ entonces $G_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \approx 0$, y $B_{ij} = \frac{-x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} = \frac{-1}{x_{ij}}$

- $(\theta_i - \theta_j)$ es bastante pequeño, entonces

$$\cos(\theta_i - \theta_j) \cong 1 \quad \text{y} \quad \sin(\theta_i - \theta_j) \cong (\theta_i - \theta_j)$$

para concluir en

$$P_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) \quad (4.12)$$

La forma linealizada puede ser usada para calcular los ángulos de fase de todas las barras de la red.

$$P_i = \sum_j P_{ij} = \sum_j \frac{1}{x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) \quad (4.13)$$

j sobre todos los nodos conectados directamente

Luego en forma matricial

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} = [B_{yx}] \times \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (4.14 \text{ a})$$

o

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} = [X_y] \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (4.14 \text{ b})$$

donde

$$B_{xy} = \sum_j \frac{1}{x_{ij}} \quad \text{Para } i \neq \text{ref}$$

j sobre todas las líneas conectadas para i

$$B_{xy} = 0 \quad \text{Para } i = \text{ref} \text{ y } j = \text{ref}$$

$$B_{xy} = -\frac{1}{x_{ij}} \quad \text{Para } i \neq \text{ref} \text{ y } j \neq \text{ref}$$

Estrictamente hablando $[B_x]$ no tiene inversa ya que la fila y columna correspondientes a la barra de referencia están llenas de ceros. Si hay N barras, nosotros tenemos sólo $N - 1$ ecuaciones linealmente independientes. Por lo tanto, nosotros tenemos una submatriz de dimensión $(N - 1) \times (N - 1)$ de $[B_x]$, la cual si puede ser invertida, por tanto cuando nos referimos a la matriz $[X]$, vamos a designar a esta matriz como la inversa de la submatriz $[B_x]$ más una fila y columna de ceros correspondientes a la barra de referencia. Por lo general asumimos un valor para el ángulo de fase para la barra de referencia, el cual lo asignamos de cero radianes.

Mediante esta metodología nosotros podemos encontrar los flujos de potencia en las líneas de transmisión de nuestro sistema y con la resistencia de la línea podemos encontrar las pérdidas de estas mediante la fórmula:

$$P_{\text{Pérdidas}} = P_{ij}^2 \times r_{ij} \quad (4.15)$$

4.4. CALCULO DE FACTORES DE NODOS POR FLUJO DC

Hasta ahora hemos hecho un resumen de los diferentes métodos para el cálculo de las pérdidas en un sistema de potencia lo cual nos ayudará a comprender como realizar el cálculo para la determinación de las pérdidas

incrementales del sistema ($\frac{\partial P_{pérdidas}}{\partial P_{Gi}}$), y de los correspondientes factores

de nodos ($1 - \frac{\partial P_{pérdidas}}{\partial P_{Gi}}$) que se utilizan para el despacho de potencia y

energía. Para determinar esta variación de pérdidas debemos tomar en cuenta que debemos tener una referencia a la cual llamaremos "Barra de Referencia", para que a partir de esta podamos determinar la relación del cambio en la potencia cuando un cambio ΔP_i es hecho.

Para el cálculo de los factores de nodos utilizamos el método que utiliza el CENACE para realizar el despacho económico, este es mediante el flujo DC.

El procedimiento es el siguiente:

1. Mediante una corrida de flujo DC, hallamos las pérdidas del sistema, tomándolo como un caso base (pérdidas iniciales).
2. Hacemos un incremento de 1 MW de potencia en una barra del sistema.

3. Mediante una corrida de flujo DC, hallamos las nuevas pérdidas del sistema.
4. Restamos las pérdidas del paso 3 de las del paso 1 y encontramos la variación de pérdidas debido al incremento de 1 MW de generación, es decir:

$$\Delta P_{loss} = P_{loss}(i+1) - P_{loss}(i) \quad (4.32)$$

$$\Delta PG = PG(i+1) - PG(i) = 1 \text{ MW}$$

5. Asumiendo que

$$\frac{\Delta P_{loss}}{\Delta PG} \approx \frac{\partial P_{loss}}{\partial PG}$$

tenemos que el factor de nodos en esta barra será:

$$FN = 1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial PG} = 1 - \frac{\Delta P_{loss}}{\Delta PG} = 1 - \frac{P_{loss}(i+1) - P_{loss}(i)}{1} \quad (4.33)$$

$$FN = 1 - (P_{loss}(i+1) - P_{loss}(i))$$

6. Se repiten los pasos del 1 al 6 para todas las barras del sistema, y encontramos los factores de nodos de todo este.

Cabe recalcar que este método es aproximado, y no tan exacto como cuando se utiliza el flujo AC, este último es el que utiliza el CENACE para la liquidación de las transacciones del MEM, mediante el programa denominado POWER WORLD.

En el Anexo 2 se muestra el flujograma correspondiente al Cálculo de Factores de Nodos.

4.5. CÁLCULO DE LOS FACTORES DE NODOS POR EL MÉTODO DEL JACOBIANO

Las pérdidas activas de transmisión (P_L) en un sistema de potencia puede expresarse como una función de las potencias activas y reactivas netas inyectadas a las barras del sistema:

$P_L = P_L(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n)$, siendo a su vez:

$$P_i = P_i(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n, V_1, V_2, V_3, \dots, V_n)$$

$$Q_i = Q_i(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n, V_1, V_2, V_3, \dots, V_n)$$

Donde P_i , Q_i son las potencias activas y reactivas netas inyectadas al nodo i ; y, δ_i y V_i son el ángulo y voltaje nodal. En los flujos de potencia los ángulos se miden con respecto al ángulo de la barra oscilante o de referencia.

Un cambio marginal de la potencia de pérdidas con respecto a un cambio en las variables nodales está dado por:

$$\frac{\partial P_l}{\partial \delta_i} = \sum_j^n \frac{\partial P_l}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial \delta_i} + \sum_j^n \frac{\partial P_l}{\partial Q_j} \frac{\partial Q_j}{\partial \delta_i}$$

$$\frac{\partial P_l}{\partial V_i} = \sum_j^n \frac{\partial P_l}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial V_i} + \sum_j^n \frac{\partial P_l}{\partial Q_j} \frac{\partial Q_j}{\partial V_i}$$

Al expresar esta relación en forma matricial se tiene:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_l}{\partial \delta} \\ \frac{\partial P_l}{\partial V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial \delta} \\ \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_l}{\partial P} \\ \frac{\partial P_l}{\partial Q} \end{bmatrix}$$

La matriz transpuesta de la anterior es el conocido Jacobiano (ec. 4.10) de las ecuaciones de flujo de potencia.

De la expresión anterior:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_l}{\partial P} \\ \frac{\partial P_l}{\partial Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial \delta} \\ \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_l}{\partial \delta} \\ \frac{\partial P_l}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Jacobiano Inverso

Los términos de la matriz Jacobiana se obtienen de la solución del flujo de potencia, por tanto se puede obtener su transpuesta e inversa como lo establece la ecuación (4.17). Los términos de interés son las pérdidas incrementales de transmisión con respecto a las variaciones de inyección de potencia activa. Debido a la baja dependencia de la potencia reactiva con el ángulo, la ecuación (4.17) se simplifica a la siguiente ecuación matricial:

$$\left[\frac{\partial P_L}{\partial P} \right] = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]^{-1} \left[\frac{\partial P_L}{\partial \delta} \right] \quad (4.18)$$

los términos del vector $\left[\frac{\partial P_L}{\partial \delta} \right]$ fácilmente pueden obtenerse como:

$$\frac{\partial P_L}{\partial \delta_i} = 2 V_i \sum_j V_j \sin(\delta_i - \delta_j) g_{ij} \quad (4.19)$$

g_{ij} es la conductancia del elemento ij .

De esta forma quedan determinados en bloque los factores nodales de un sistema de potencia. La barra oscilante del sistema es a la vez la barra de referencia o de mercado, pues las pérdidas marginales de transmisión se calculan con esa referencia: además estas coinciden con las pérdidas de

transmisión del generador de la barra oscilante. Para cambiar de referencia simplemente se utilizan las relaciones de transformación antes establecidas en el respectivo capítulo.

A continuación se presentan la Tabla IV y la Tabla V donde se muestra la comparación de Factores de Nodos entre el CENACE, por medio del programa Power World que utiliza flujo AC y Nuestro Programa que utiliza flujo DC y además se realiza la Prueba F para varianzas de dos muestras la cual nos permite comprobar que los datos del programa son aproximados a los datos originales del CENACE. En el Anexo 11 se muestra los valores de carga y generación de las barras del S N I con los que se obtuvieron estos factores de nodo.

Tabla IV

**COMPARACION FACTORES DE NODO
CENACE VS PROGRAMA**

| BARRA | CENACE | PROGRAMA | DIFERENCIA |
|--------------|---------|----------|------------|
| 689 | 0,89100 | 0,94339 | 0,05239 |
| 88, 89 = 689 | 0,89100 | 0,94339 | 0,05239 |
| 90 | 0,95520 | 0,97087 | 0,01567 |
| 82 | 0,94500 | 0,97087 | 0,02587 |
| 19 | 1,01780 | 1,06023 | 0,04243 |
| 20 | 1,02500 | 1,06023 | 0,03523 |
| 53 | 0,90190 | 0,91383 | 0,01193 |
| 130 | 1,01090 | 1,00184 | 0,00906 |
| 4 | 0,94810 | 0,99414 | 0,04604 |
| 5 | 0,94890 | 0,99414 | 0,04524 |
| 670 | 1,04330 | 1,03612 | 0,00718 |
| 649 | 1,01920 | 1,01637 | 0,00283 |
| 628 | 1,06710 | 1,05209 | 0,01501 |
| 115 | 1,07080 | 1,04159 | 0,02921 |
| 39 | 1,03610 | 1,02204 | 0,01406 |
| 729 | 1,00970 | 1,00491 | 0,00479 |
| 52 | 0,90250 | 0,91383 | 0,01133 |
| 54 | 0,90330 | 0,91383 | 0,01053 |
| 1231 | 1,04550 | 1,03179 | 0,01371 |
| 1331 | 1,04550 | 1,03179 | 0,01371 |
| 731 | 1,04540 | 1,03179 | 0,01361 |
| 831 | 1,04540 | 1,03179 | 0,01361 |
| 931 | 1,04540 | 1,03179 | 0,01361 |
| 1031 | 1,04540 | 1,03179 | 0,01361 |
| 1131 | 1,04540 | 1,03179 | 0,01361 |
| 600 | 1,03610 | 1,02204 | 0,01406 |
| 700 | 1,03610 | 1,02204 | 0,01406 |
| 829 | 1,00970 | 1,00491 | 0,00479 |
| 118 | 0,97590 | 0,97996 | 0,00406 |
| 929 | 1,00970 | 1,00491 | 0,00479 |
| 37 | 1,04560 | 1,03179 | 0,01381 |
| 627 | 1,06560 | 1,02184 | 0,04376 |
| 64 | 1,02560 | 1,01991 | 0,00569 |
| 764 | 1,02310 | 1,01991 | 0,00319 |
| 664 | 1,02310 | 1,01991 | 0,00319 |
| 665 | 1,03940 | 1,02589 | 0,01351 |
| 72 | 1,04710 | 1,03462 | 0,01248 |
| 970 | 1,05680 | 1,03612 | 0,02068 |

Tabla IV
COMPARACION FACTORES DE NODO
(Continuación)
CENACE VS PROGRAMA

| BARRA | CENACE | PROGRAMA | DIFERENCIA |
|----------|---------|----------|------------|
| 73 | 1,04040 | 1,03462 | 0,00578 |
| 112 | 1,00010 | 1,00375 | 0,00365 |
| 77 | 1,09050 | 1,05824 | 0,03226 |
| 78 | 1,08120 | 1,05824 | 0,02296 |
| 79 | 1,09120 | 1,05824 | 0,03296 |
| 74 | 0,96710 | 0,98115 | 0,01405 |
| 15 | 1,03910 | 1,07489 | 0,03579 |
| 14 | 1,03690 | 1,07489 | 0,03799 |
| 21 | 1,19320 | 1,11893 | 0,07427 |
| 622 = 22 | 1,20870 | 1,11893 | 0,08977 |
| 148 | 1,49060 | 1,20003 | 0,29057 |
| 18 | 1,04400 | 1,02908 | 0,01492 |
| 16 | 0,96480 | 0,97996 | 0,01516 |
| 17 | 0,97190 | 0,97996 | 0,00806 |
| 770 | 1,04700 | 1,03612 | 0,01088 |
| 122 | 1,03070 | 1,02066 | 0,01004 |
| 25 | 1,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 88 | 0,89100 | 0,94339 | 0,05239 |
| 27 | 1,07080 | 1,02184 | 0,04896 |
| 601 | 0,88580 | 0,93340 | 0,04760 |
| 901 | 0,88580 | 0,93340 | 0,04760 |
| 801 | 0,88580 | 0,93340 | 0,04760 |
| 701 | 0,88580 | 0,93340 | 0,04760 |
| 1 | 0,88580 | 0,93340 | 0,04760 |
| 7 | 0,88620 | 0,93340 | 0,04720 |
| 907 | 0,88620 | 0,93340 | 0,04720 |
| 807 | 0,88620 | 0,93340 | 0,04720 |
| 707 | 0,88620 | 0,93340 | 0,04720 |
| 607 | 0,88620 | 0,93340 | 0,04720 |
| 2 | 0,88730 | 0,93340 | 0,04610 |
| 303 | 0,88850 | 0,93340 | 0,04490 |
| 3 | 0,88880 | 0,93340 | 0,04460 |
| 42 | 1,03780 | 1,00904 | 0,02876 |
| 43 | 1,04170 | 1,00904 | 0,03266 |
| 103 | 1,07890 | 1,04515 | 0,03375 |
| 102 | 1,06880 | 1,04515 | 0,02365 |
| 47 | 1,30880 | 1,12977 | 0,17903 |
| 48 | 1,35700 | 1,12977 | 0,22723 |
| 29 | 1,02250 | 1,01606 | 0,00644 |
| 30 | 1,02340 | 1,01606 | 0,00734 |
| 681 | 0,92240 | 0,96012 | 0,03772 |
| 80 | 0,93490 | 0,96012 | 0,02522 |

Tabla IV
COMPARACION FACTORES DE NODO
(Continuación)
CENACE VS PROGRAMA

| BARRA | CENACE | PROGRAMA | DIFERENCIA |
|----------|---------|----------|------------|
| 81 | 0,92240 | 0,96012 | 0,03772 |
| 45 | 1,05630 | 1,01992 | 0,03638 |
| 44 | 1,03970 | 1,01992 | 0,01978 |
| 46 | 1,07370 | 1,01992 | 0,05378 |
| 41 | 1,06790 | 1,01992 | 0,04798 |
| 87 | 0,95740 | 0,97427 | 0,01687 |
| 86 | 0,94850 | 0,97427 | 0,02577 |
| 63 | 1,07440 | 1,04113 | 0,03327 |
| 62 | 1,06200 | 1,04113 | 0,02087 |
| 50 | 1,01740 | 1,01637 | 0,00103 |
| 49 | 1,01920 | 1,01637 | 0,00283 |
| 51 | 1,02050 | 1,01637 | 0,00413 |
| 26 | 1,06710 | 1,05209 | 0,01501 |
| 28 | 1,06710 | 1,05209 | 0,01501 |
| 59 | 1,05030 | 1,01991 | 0,03039 |
| 58 | 1,02920 | 1,01991 | 0,00929 |
| 57 | 1,01920 | 1,01697 | 0,00223 |
| 55 | 1,06960 | 1,04573 | 0,02387 |
| 56 | 1,07680 | 1,04573 | 0,03107 |
| 34 | 1,04200 | 1,03179 | 0,01021 |
| 131 = 31 | 1,04560 | 1,03179 | 0,01381 |
| 60 | 1,04080 | 1,01991 | 0,02089 |
| 83 | 0,94700 | 0,96854 | 0,02154 |
| 84 | 0,94120 | 0,96854 | 0,02734 |
| 85 | 0,96100 | 0,98130 | 0,02030 |
| 32 | 1,01550 | 1,00714 | 0,00837 |
| 33 | 1,01160 | 1,00714 | 0,00447 |
| 38 | 1,02750 | 1,00714 | 0,02037 |
| 91 | 1,08180 | 1,05803 | 0,02377 |
| 92 | 1,08200 | 1,05803 | 0,02397 |
| 631 | 1,04490 | 1,03179 | 0,01311 |
| 35 | 1,04450 | 1,03179 | 0,01271 |
| 36 | 1,04450 | 1,03179 | 0,01271 |
| 632 | 1,01550 | 1,00714 | 0,00837 |
| 165 | 1,03940 | 1,02589 | 0,01351 |
| 70 | 1,06030 | 1,03412 | 0,02618 |
| 71 | 1,04780 | 1,03412 | 0,01368 |
| 765 | 1,03850 | 1,02589 | 0,01261 |
| 622 | 1,20870 | 1,11893 | 0,08977 |
| 138 | 1,02750 | 1,00714 | 0,02037 |
| 638 | 1,02750 | 1,00714 | 0,02037 |
| 738 | 1,02750 | 1,00714 | 0,02037 |

Tabla V

Prueba F para varianzas de dos muestras

| | <i>Variable 1</i> | <i>Variable 2</i> |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| Media | 1,012015 | 1,019481 |
| Varianza | 0,002392 | 0,008225 |
| Observaciones | 123 | 123 |
| Grados de libertad | 122 | 122 |
| F | 0,290787 | |
| P(F<=f) una cola | 1,94E-11 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 0,74156 | |

Ho: Los datos del programa son aproximados a los datos originales (CENACE)

H1: Negación Ho

Estadístico de Prueba: $F=0,29269$

Región de Rechazo: $F > F(\text{valor crítico})$ Condición

$0,29269 > 0,792319$ Respuesta

Se acepta la hipótesis Ho Conclusión

CAPITULO 5

5. PREDICCIÓN DE LA DEMANDA

5.1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO Y PROCESOS ESTOCÁSTICOS

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones generadas secuencialmente en el tiempo. Si el conjunto es continuo, se llama a la serie de tiempo continua. Si el conjunto es discreto, la serie de tiempo se llama discreta.

Este método consiste en colocar observaciones secuenciales generadas en tiempo. Si las observaciones son continuas, se dice que la serie de tiempo es continua. Si las observaciones son discretas, se dice que la serie de tiempo es discreta. De esta manera las observaciones para la serie de tiempo discreto esta formado por los tiempos $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$ denotado por $z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_i), \dots, z(t_N)$.

Cuando se tiene N valores sucesivos en una serie disponible para el análisis se escribe $z_1, \dots, z_t, \dots, z_N$ estas observaciones están formadas en un tiempo equidistante en el intervalo $\tau_0 + h, \tau_0 + 2h, \dots, \tau_0 + th, \dots, \tau_0 + Nh$. Para los casos donde no se requiere mayor exactitud los valores de τ_0 y h no son importantes, pero si el tiempo necesita definir alguna exactitud se deberán especificar los 2 valores.

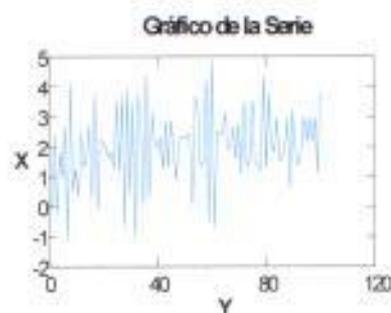
Se adopta τ_0 en el principio del análisis y h es la unidad del tiempo.

Donde z_t es la observación en el tiempo t .

La serie de tiempo discreta se puede presentar en dos rutas:

- 1.- Por muestreo en series de tiempo continua.
- 2.- Por Acumulación en la variable en cierto periodo de tiempo de un día o un mes en un proceso de serie.

Figura 5.1
Serie tomada en un Mes



El análisis de series de tiempo nos permite profundizar en el análisis de datos de una serie, podemos darnos cuenta si es un proceso estacionario por medio de los estados Ω , que son los posibles resultados.

Digamos que:

w = cantidad de datos

T_t = trayectoria en el tiempo t

E = proceso estacionario

Ω = son los posibles resultados

X_t = nombre de la variable a analizar en un tiempo t

t = tiempo

Las condiciones necesarias para determinar que un proceso es estacionario son:

- a) Si fijo w entonces T tiende a E , entonces

T tiende a $X_t(w)$ es el camino o trayectoria a seguir

y

- b) Si t es fijo entonces Ω tiende a E

Si w tiende a $T_t(w)$ entonces se inicia el proceso de predicción en t .

5.2. PREDICCIONES EN SERIES DE TIEMPO

El uso del tiempo t dentro de las observaciones para la predicción de Series de Tiempo, esta dado por un valor futuro $t+l$, donde l es usualmente un periodo de tiempo conocido.

Nuestro objetivo es obtener una función de predicciones a la Media Cuadrática de las desviaciones entre el valor actual y el valor de la predicción tiene que ser lo mas pequeña posible para cada tiempo l , por lo que es necesario especificar cierta precisión.

La precisión de las predicciones quizás nos permiten expresar los limites de las probabilidades sobre las partes de cada predicción. Ese limite es calculado entre el 50% y 95%.

Los métodos de predicción son desarrollados sobre suposiciones de series de tiempo, usando procesos estocásticos de forma conocida, donde los Procesos Estocásticos son fenómenos estadísticos que ocurren en el tiempo de acuerdo a leyes de probabilidad. Para nuestro caso utilizamos Procesos Estocásticos Estacionarios

5.2.1. PROCESOS ESTOCÁSTICOS ESTACIONARIOS

Los procesos estocásticos estacionarios se basan en la suposición de que un proceso se encuentra en un estado particular de equilibrio estadístico; por lo que fue utilizado en nuestro análisis de predicción.

Un **proceso estocástico** se dice que es **estrictamente estacionario** si sus propiedades no son afectadas por un cambio en el tiempo original, esto es, si la distribución de probabilidad conjunta (Y), asociada con m observaciones realizadas en un conjunto de tiempos t_1, t_2, \dots, t_m , es decir $Y_{t_1}, Y_{t_2}, \dots, Y_{t_m}$, es la misma que la asociada con m observaciones, realizadas en los tiempos $t_1+k, t_2+k, \dots, t_m+k$, o sea $Y_{t_1+k}, Y_{t_2+k}, \dots, Y_{t_m+k}$, entonces :

$$P(Y_{t_1}, Y_{t_2}, \dots, Y_{t_m}) = P(Y_{t_1+k}, Y_{t_2+k}, \dots, Y_{t_m+k})$$

Donde P es la función de la distribución de probabilidad conjunta.

Se dice que un proceso estacionario es estacionario de primer orden o en media si $\forall t: E(Y_t) = \mu$, es decir la media μ permanece constante a lo largo del tiempo.

Se dice que un proceso estacionario es estacionario de segundo orden (o en sentido amplio) cuando se verifica que la varianza es finita y constante a lo largo del tiempo, es decir:

$$\forall t: \text{Var}(Y_t) = E[(Y_t - \mu)]^2 = \sigma^2 < \infty$$

Donde:

$E(Y_t)$: Valor esperado de la distribución de probabilidad

Y_t : distribución de probabilidad en el tiempo t

μ : media de la función de la distribución de probabilidad

σ^2 : varianza

t : tiempo del proceso estacionario

La función de autocorrelación de orden K está definida como:

$$\rho_K = \frac{E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)]}{\sqrt{E[(Y_t - \mu)^2]E[(Y_{t+k} - \mu)^2]}}$$

$$\rho_K = \frac{\text{Cov}(Y_t, Y_{t+k})}{\sigma_Y^2}$$

Donde:

ρ_k = función de autocorrelación de orden K

$\text{Cov}(Y_t, Y_{t+k})$ = Covarianza de la distribución de probabilidad entre tiempo t y $t+k$

Y_t : distribución de probabilidad en el tiempo t

$E(Y_t)$: Valor esperado de la distribución de probabilidad

$\sigma_{Y_t}^2$: varianza en el tiempo $t+k$

μ : media de la función de la distribución de probabilidad

t = tiempo t .

Para predecir la demanda en estadística usamos los modelos autoregresivos definidas por las Series de Tiempo, dentro del paquete estadístico Systat, como Autocorrelación (AR) y Autocorrelación Parcial (MA). Matemáticamente se expresa AR como ϕ_i y MA como θ_i , donde i es el periodo de tiempo cuando el modelo está fuera de sus límites, su estructura es la siguiente:

Proceso autoregresivo de orden p : AR(p)

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Procesos de medias móviles de orden q : MA(q)

$$Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Procesos ARMA(p,q) es una combinación de los dos anteriores

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

5.3. MODELOS AUTORREGRESIVOS (AR)

Un modelo estocástico puede ser extremadamente ventajoso en la representación de prácticas seguras ocurridas en series. En este modelo, el valor del proceso es finito.

Denótese el valor de un proceso en el tiempo $t, t-1, t-2, \dots$ por z_t, z_{t-1}, \dots . También

$z_t, z_{t-1}, z_{t-2}, \dots$ son desviaciones para μ . Por ejemplo:

$z_t = z_t - \mu$. Entonces

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + a_t \quad (5.1)$$

Se define un Operador Autoregresivo de orden p por:

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

5.4. MODELO DE MEDIAS MÓVILES (MA)

El Modelo Autoregresivo (5.1) expresa la desviación z_t de un proceso finito si se suma p a las anteriores desviaciones

$z_{t-1}, z_{t-2}, \dots, z_{t-p}$ de un proceso, más un aleatorio a_t

Aquí se lo hizo al z_t linealmente dependiente sobre un número q infinito.

De esta manera:

$$z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (5.2)$$

es llamado (MA) al proceso disponible para el funcionamiento de orden q.

Se define al operador disponible para el funcionamiento de orden q por:

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

5.5. MODELOS MIXTOS AUTORREGRESIVOS MEDIAS MÓVILES

(ARMA)

Las series de tiempo actuales nos permite dar más flexibilidad a los modelos mixtos autorregresivos medias móviles y nos permite obtener un modelo más general.

Un modelo ARMA(p,q) se define de la siguiente forma:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \dots + \phi_p z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (5.3)$$

Donde:

z_t = Desviación del proceso finito

ϕ_1 = Autocorrelación (AR)

θ_1 = Autocorrelación Parcial (MA)

a_t = Valor constante

De forma general se define el Modelo ARMA de la siguiente manera:

$$\phi(B)z_t = \theta(B)a_t$$

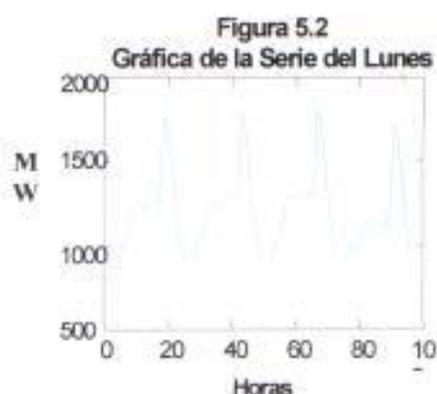
5.6. APLICACIÓN DEL MODELO ARMA

Para la proyección de la demanda se utilizó los datos que corresponden al 12 de octubre hasta el 8 de noviembre del 2000, de las cuatro semanas antes mencionadas, se seleccionó los datos para cada día obteniéndose un total de 96 datos o horas, con la cual se obtuvo un Modelo ARMA(2,0) para toda la semana ya que se apreció un comportamiento similar al graficar la Serie, en el Anexo 12 se presenta la información de los datos para la proyección.

En la práctica para seleccionar el modelo de predicción de la Demanda se tomo en consideración las siguientes condiciones:

1. La suma $p+q \leq 5$
2. La Media Cuadrática del Error (MSE) debe ser mínima en comparación a los modelos probados.
3. En el intervalo de confianza no debe contener el cero.

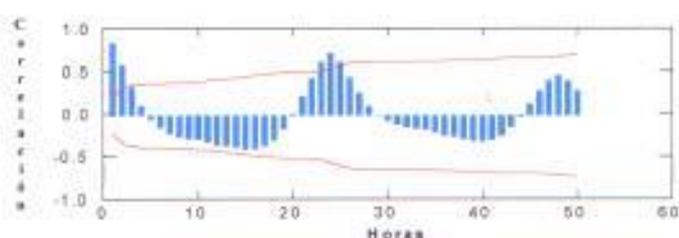
A continuación se presenta el análisis de series de tiempo para el día: **Lunes**



Al analizar la serie de los días Lunes perteneciente a las cuatro semanas seleccionadas podemos darnos cuenta que su comportamiento es similar cada 24 horas en términos de megavatios de los meses seleccionados.

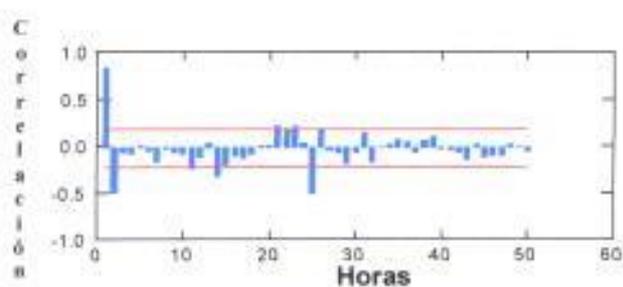
Se presenta el análisis gráfico de las Autocorrelaciones de los días Lunes para observar cuantas Barras se salen de la banda móvil. Como podemos darnos cuenta tenemos un $AR(p=5)$ que se presenta en la figura 5.3.

Figura 5.3
Autocorrelación del día Lunes

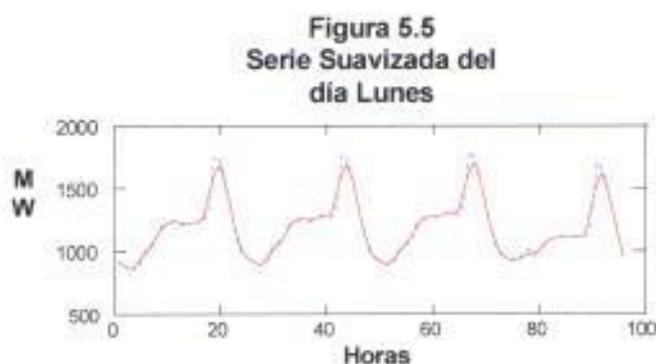


Realizaremos el análisis gráfico de las autocorrelaciones parciales de los días Lunes para observar cuantas barras se salen de la banda fija. Como podemos darnos cuenta tenemos un $MA(q=5)$ que se presenta en la figura 5.4.

Figura 5.4
Autocorrelaciones Parciales del día Lunes

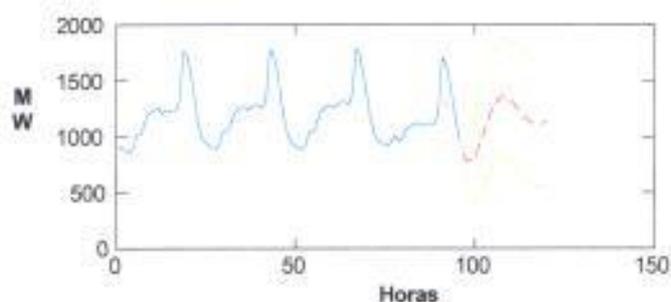


Según los gráficos de autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales obtenemos un modelo ARMA(5,5), pero esto es imposible según la teoría explicada en este capítulo ya que la suma de los parámetros pertenecientes a p y q tiene que ser menor a cinco. Se procedió a suavizar la serie para empezar a probar nuestro modelo. Como se muestra en la figura 5.5.



El modelo para la proyección del día Lunes resultó un ARMA(2,0) debido a que cumple la mayoría de los objetivos para seleccionarlo como óptimo. La gráfica de la serie de predicción del día Lunes se muestra en la figura 5.6.

Figura 5.6
Serie de la Predicción
del día Lunes



Los resultados del modelo y la matriz de correlación del modelo ARMA(2,0) se presentan a continuación:

TABLA VI
DATOS DEL MODELO ARMA(2,0) DEL LUNES

| MSE | 2781,955 | | | | | |
|-----|-----------|----------|--------|----------|-----------------------------|----------|
| No. | Tipo | Estimado | A.S.E | Inferior | Intervalo de Confianza<95%> | Superior |
| 1 | Constante | 126.698 | 51.310 | 24.806 | | 228.591 |
| 2 | AR | 1,729 | 0.065 | 1,600 | | 1.858 |
| 3 | AR | -0,834 | 0.061 | -0,955 | | -0,713 |

Matriz de Correlación

| | | | |
|---|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | -0,347 | -0,023 |
| 2 | -0,347 | 1 | -0,877 |
| 3 | -0,023 | -0,877 | 1 |

TABLA VII

PREDICCIÓN DE LA DEMANDA DEL DÍA LUNES

| Periodo | Predicción del día Lunes | | |
|---------|--------------------------|----------|----------|
| | Inferior | <95%> | Superior |
| 1 | 756,391 | 859,769 | 963,148 |
| 2 | 596,092 | 802,557 | 1009,023 |
| 3 | 493,3 | 797,012 | 1100,725 |
| 4 | 450,52 | 835,146 | 1219,772 |
| 5 | 461,5 | 905,698 | 1349,896 |
| 6 | 513,788 | 995,859 | 1477,929 |
| 7 | 591,321 | 1092,88 | 1594,439 |
| 8 | 677,004 | 1185,406 | 1693,807 |
| 9 | 755,252 | 1264,437 | 1773,622 |
| 10 | 814,291 | 1323,89 | 1833,489 |
| 11 | 847,742 | 1360,75 | 1873,758 |
| 12 | 854,89 | 1374,884 | 1894,878 |
| 13 | 839,497 | 1368,574 | 1897,65 |
| 14 | 807,818 | 1345,875 | 1883,931 |
| 15 | 766,721 | 1311,896 | 1857,072 |
| 16 | 722,416 | 1272,089 | 1821,761 |
| 17 | 679,842 | 1231,611 | 1783,379 |
| 18 | 642,523 | 1194,838 | 1747,152 |
| 19 | 612,707 | 1165,027 | 1717,346 |
| 20 | 591,6 | 1144,163 | 1696,725 |
| 21 | 579,565 | 1132,959 | 1686,353 |
| 22 | 576,244 | 1130,992 | 1685,353 |
| 23 | 580,627 | 1136,938 | 1693,25 |
| 24 | 591,128 | 1148,857 | 1706,587 |

El modelo se escogió mediante la selección de la mínima varianza que es $M.S.E=2781,955$ y el cumplimiento de sus parámetros

El esquema del modelo a seleccionar correspondiente al día LUNES es el siguiente:

$$X_t - 1,729X_{t-1} + 0,834X_{t-2} + 126.698 = \mu_t$$

A continuación se presenta una comparación con datos reales de demanda del día Lunes (Fuente CENACE) con nuestra predicción.

Tabla VIII

COMPARACION DE LA DEMANDA DEL S N I
LUNES

| HORA | DEMANDA SISTEMA | | |
|-------|-----------------|------------------|-----------------|
| | REAL MW | PROYECCION MW | ERROR (%) MW |
| 01:00 | 886,70 | 859,77 | 3,0 |
| 02:00 | 863,90 | 802,56 | 7,1 |
| 03:00 | 863,20 | 797,01 | 7,7 |
| 04:00 | 905,10 | 835,15 | 7,7 |
| 05:00 | 1.063,50 | 905,70 | 14,8 |
| 06:00 | 1.104,90 | 995,86 | 9,9 |
| 07:00 | 1.126,80 | 1.092,88 | 3,0 |
| 08:00 | 1.234,60 | 1.185,41 | 4,0 |
| 09:00 | 1.279,90 | 1.264,44 | 1,2 |
| 10:00 | 1.314,80 | 1.323,89 | -0,7 |
| 11:00 | 1.320,30 | 1.360,75 | -3,1 |
| 12:00 | 1.285,90 | 1.374,88 | -6,9 |
| 13:00 | 1.296,90 | 1.368,57 | -5,5 |
| 14:00 | 1.315,70 | 1.345,88 | -2,3 |
| 15:00 | 1.313,40 | 1.311,90 | 0,1 |
| 16:00 | 1.295,10 | 1.272,09 | 1,8 |
| 17:00 | 1.354,50 | 1.231,61 | 9,1 |
| 18:00 | 1.841,20 | 1.747,15 | 5,1 |
| 19:00 | 1.818,50 | 1.717,34 | 5,6 |
| 20:00 | 1.689,30 | 1.696,72 | -0,4 |
| 21:00 | 1.450,90 | 1.686,35 | -16,2 |
| 22:00 | 1.202,30 | 1.130,99 | 5,9 |
| 23:00 | 1.053,30 | 1.136,94 | -7,9 |
| 00:00 | 916,10 | 1.148,86 | -25,4 |

CONCLUSIONES

Mediante el trabajo de despacho económico que hemos realizado podemos concluir lo siguiente:

1. La sencillez de la teoría, el orden de sus partes y el entorno visual que ofrece el programa de despacho hidrotérmico de este proyecto lo hacen fácil de usar por las personas que han leído sus instrucciones.
2. El método que utilizamos para determinar el valor del agua es muy práctico y eficiente en tiempo real, ya que para las fluctuaciones que se presentan en las curvas de demanda (picos), estas pueden ser fácilmente suplidas por las centrales hidráulicas, las cuales tienen un tiempo de reacción muy corto, y además su maniobrabilidad es más sencilla que cualquier unidad térmica; lo cual trae como consecuencia un ahorro de maniobras en unidades térmicas, como pueden ser arrancar y hacer variar de potencia estas unidades, lo cual es más costoso y complicado.
3. El método que hemos utilizado para la selección de unidades térmicas es de acuerdo a un orden de prioridades basados en sus costos

variables de operación, que da resultados aceptables para los sistemas analizados.

4. El uso del flujo de carga DC tiene como ventaja una rapidez en el tiempo de ejecución, además proporciona respuestas adecuadas para los sistemas analizados.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos realizar una evaluación más certera para la determinación de las curvas características de entrada - salida de las unidades de generación térmica en el país, para con ello evaluar el despacho económico de una manera diferente a la que utiliza el CENACE.
2. En la actualidad no se puede hacer una regulación de embalse de los recursos hídricos proporcionados por la central de Paute, puesto que tiene una represa con poca capacidad de embalse, pero a futuro cuando se tenga el embalse de Mazar, se podría tener una mejor regulación de embalse, lo cual se verá reflejado en una posible disminución del valor del agua.
3. La utilización de datos determinísticos en realidad no son reales, puesto que los eventos de la naturaleza son de índole probabilísticas, mas para nuestro objeto de programación a corto plazo es una buena aproximación, pues las condiciones hidrológicas se las puede tomar de los institutos de meteorología con lo cual podemos tener cierta idea del comportamiento de la naturaleza en las zonas de interés (área de

influencia en el embalse de la central hidráulica), por lo cual no está demás recomendar la creación de un programa probabilístico mediante el cual se logre obtener los datos de entrada de las unidades hidráulicas de este programa.

4. Para la selección de unidades térmicas el método de programación dinámica también puede ser usada como una alternativa, por lo cual recomendamos la utilización de este método para proyectos de tesis o tópicos posteriores.

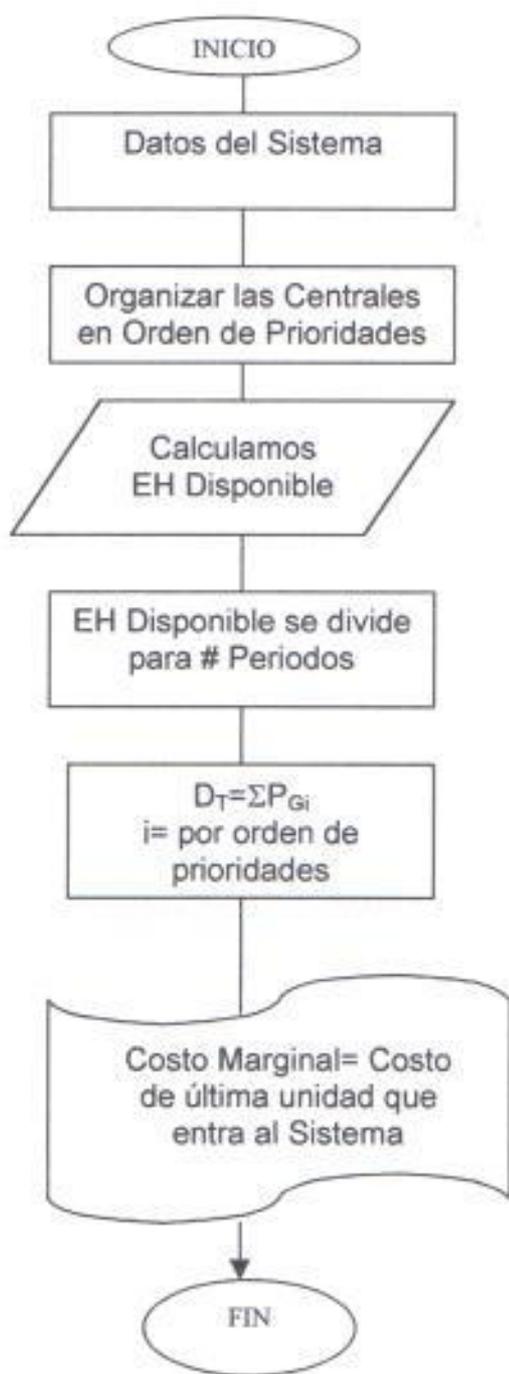
BIBLIOGRAFIA

1. WOOD ALLEN J. Y WOLLEMBERG BRUCE, "Power Generation, Operation and Control". Segunda Edición, Mc Graw-Hill 1983 pp. 24-30, 122-132.
2. GRAINGER Y STEVENSON, Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Quinta Edición Mc Graw-Hill 1995. Versión Español. Capítulos 8 Y 13
3. COLECCIÓN CEAC S.A., Centrales Eléctricas. Primera Edición. Ediciones CEAC S.A. 1972, Barcelona España, pp 145 A 150
4. COLECCIÓN CEAC S.A. Maquinas Motrices. Segunda Edición. Ediciones CEAC S.A. 1974, Barcelona España, pp 24 A 43
5. RIZHKIN V. YA, Centrales Termoeléctricas. Primera Edición 1979. Editorial Mir. Moscú URSS. pp 305 a 307
6. LEY DE REGIMEN DEL SECTOR ELECTRICO, Actualizada a Junio de 1999. Sección 1 pp. 9; Sección 2 pp. 20,21.
7. RIAVITZ LUIS, Artículo argentino sobre el Valor del Agua, de la Consultora Hagler Bailly.
8. CHAMORRO FERNANDO; Tesis de Power World. Escuela Politécnica Nacional de Quito. pp 89-91, 132-136, 174-178, 183-189
9. CONELEC, Procedimientos de Despacho y Operación. Dirección en Internet www.conelec.gov.ec

10. ARGUELLO GABRIEL, Paper Factores de Nodos, Dirección en Internet
www.cenace.org.ec
11. BOX GEORGE E. P., JENKINS GWILYM M. Y REINSEL GREGORY C., Time
Series Analysis:Forecasting And Control, Third Edition 1994. Editorial Prentice –
Hall Do Brasil,Ltda.,Rio de Janeiro. pp 2-13, 21-27,52-58,65-71

ANEXO 1

FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGIA APLICADA POR EL CENACE



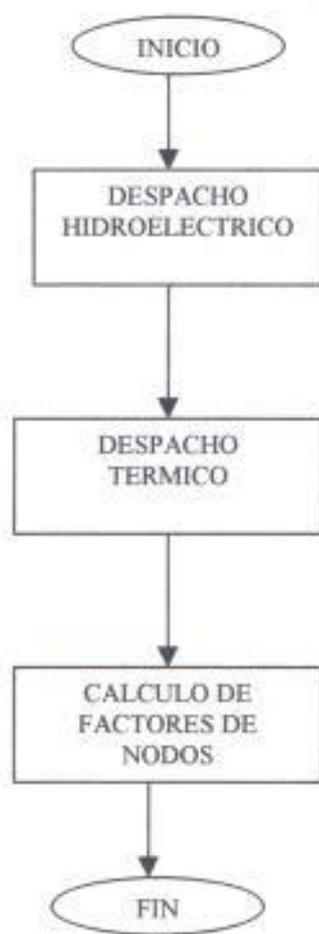
= Energía hidroeléctrica disponible por las centrales Hidráulicas del sistema

= Demanda Total

= Potencia de las unidades de generación del sistema

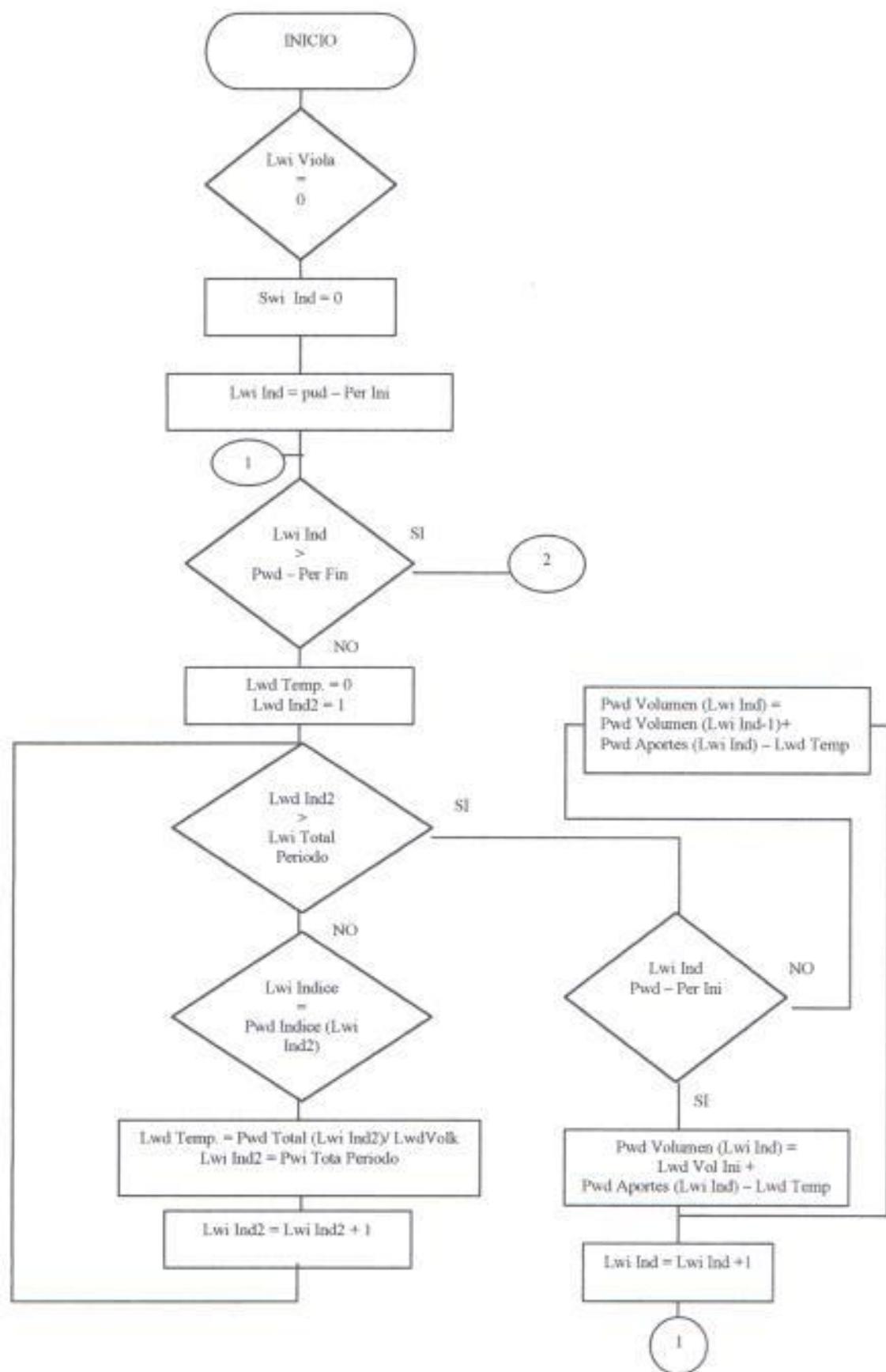
ANEXO 2

Flujograma Principal del Programa de Despacho Hidrotérmico

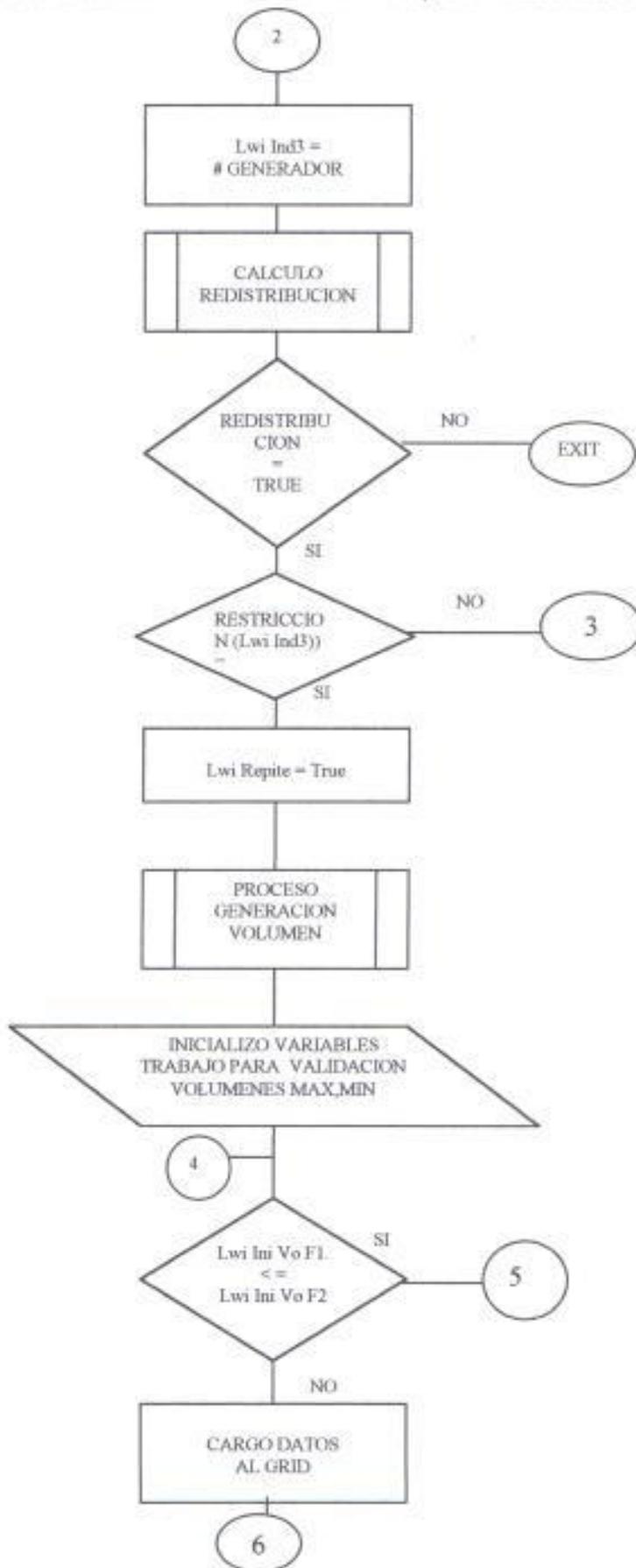


DESPACHO HIDROELECTRICO

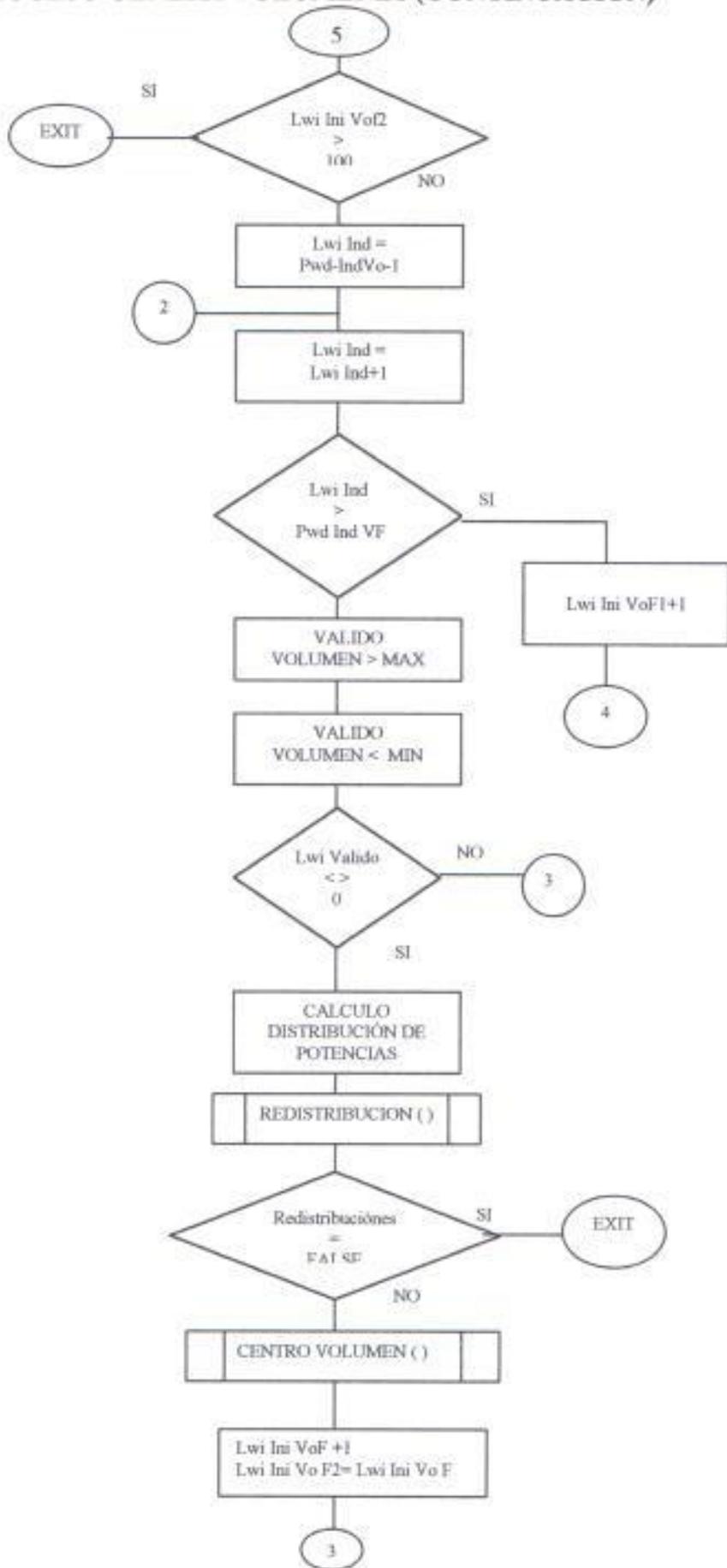
PROCESO GENERA VOLUMENES



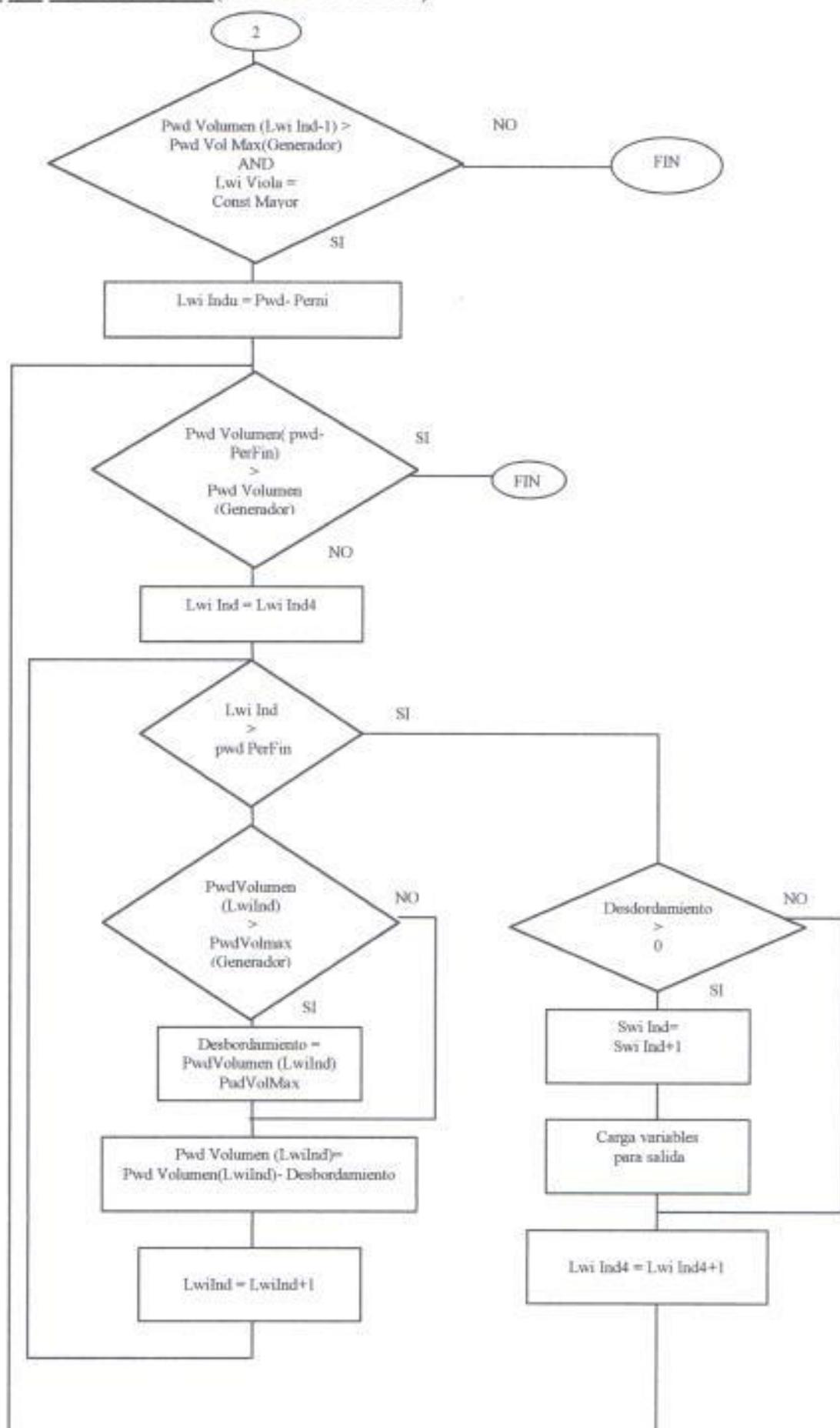
PROCESO GENERA VOLUMENES (CONTINUACION)



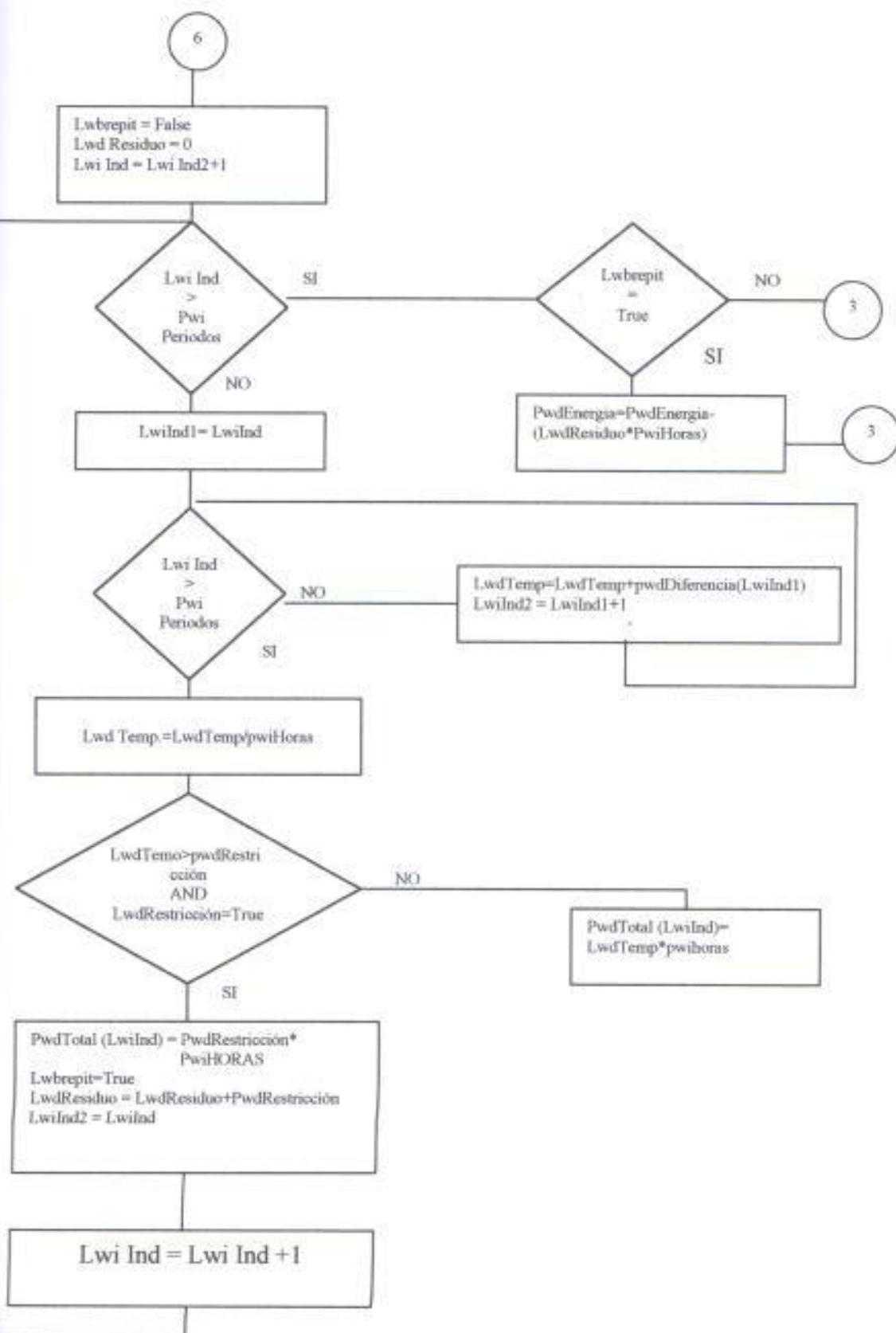
PROCESO GENERA VOLUMENES (CONTINUACION)



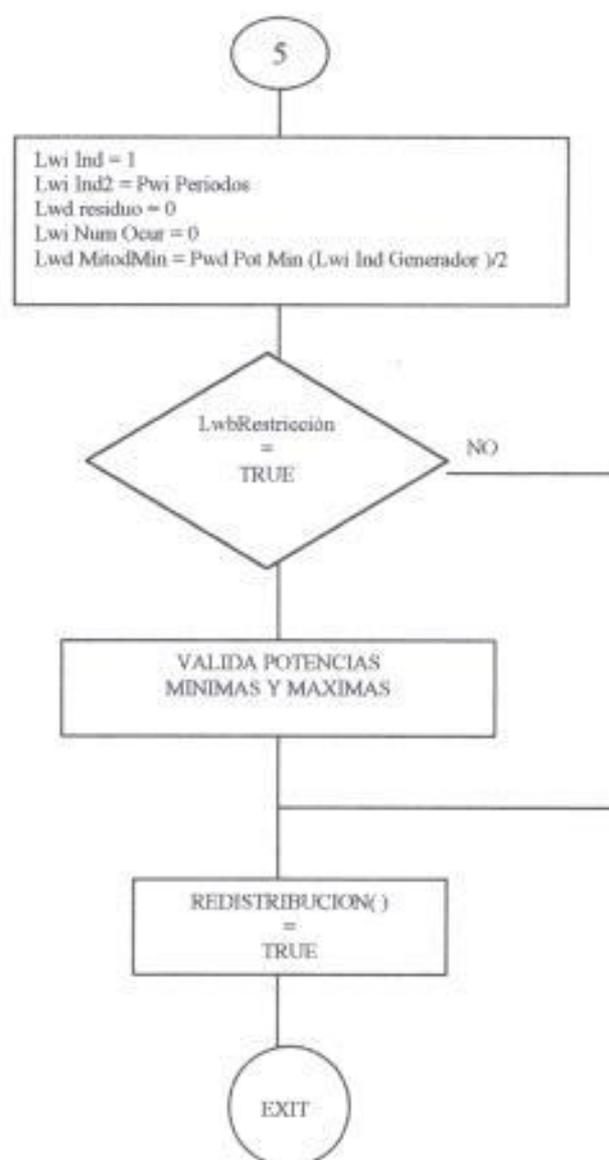
PROCESO DE VOLÚMENES (CONTINUACION)



REDISTRIBUCION (CONTINUACION)

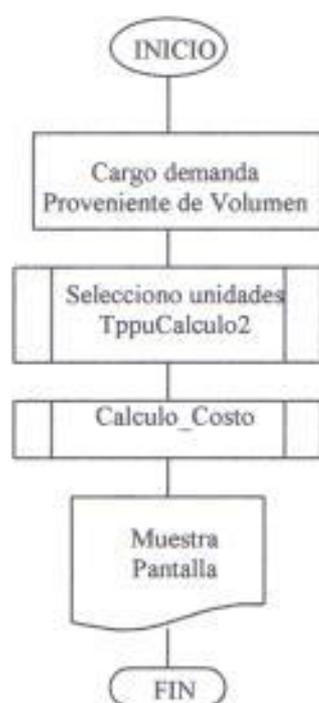


REDISTRIBUCION (CONTINUACION)

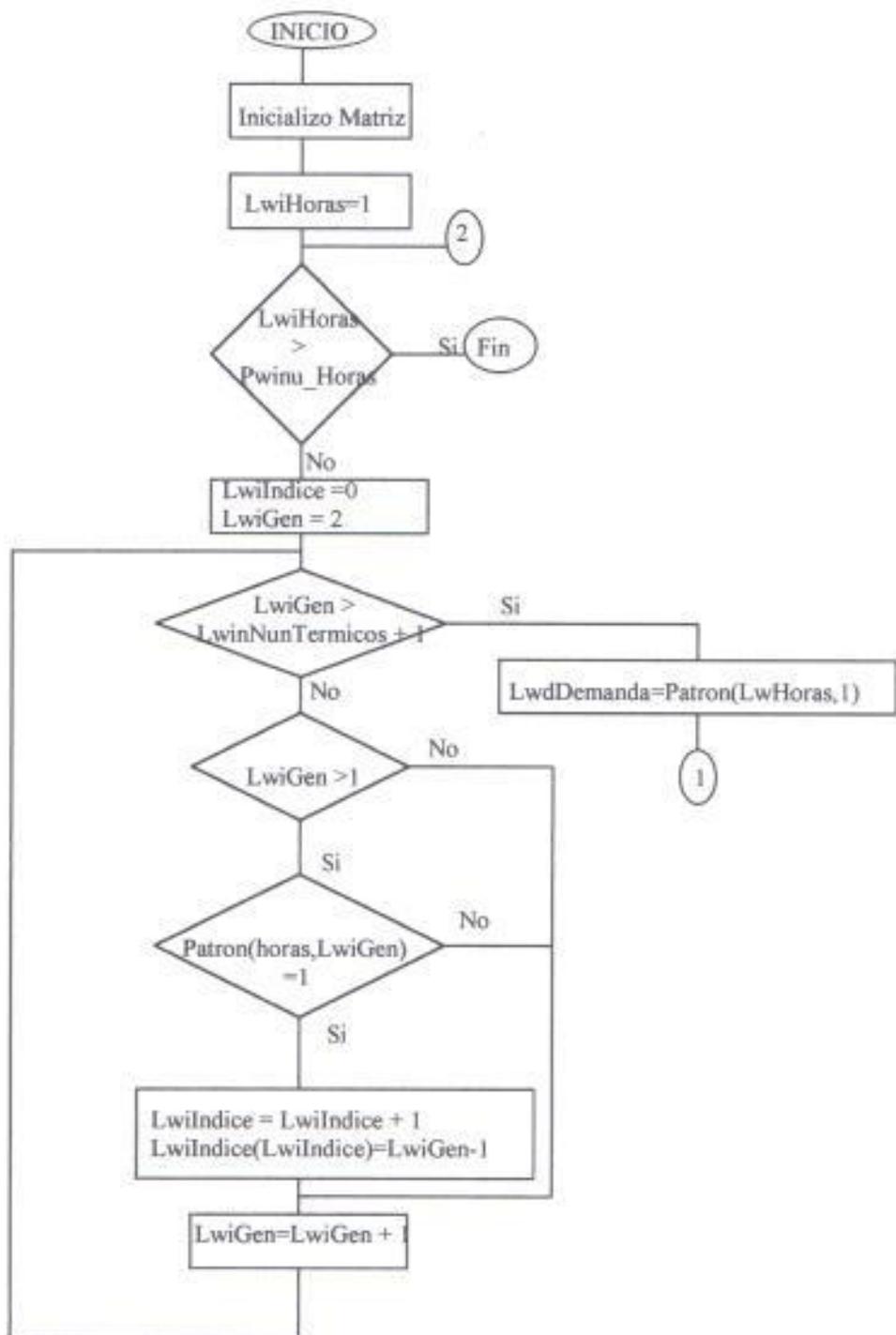


DESPACHO TERMICO

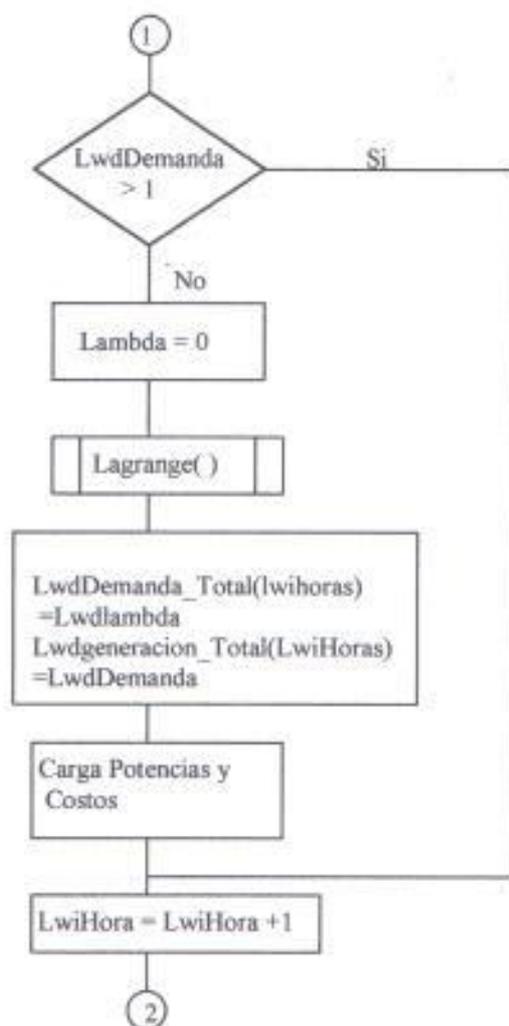
SELECCIÓN DE UNIDADES



METODO DE LAGRANGE

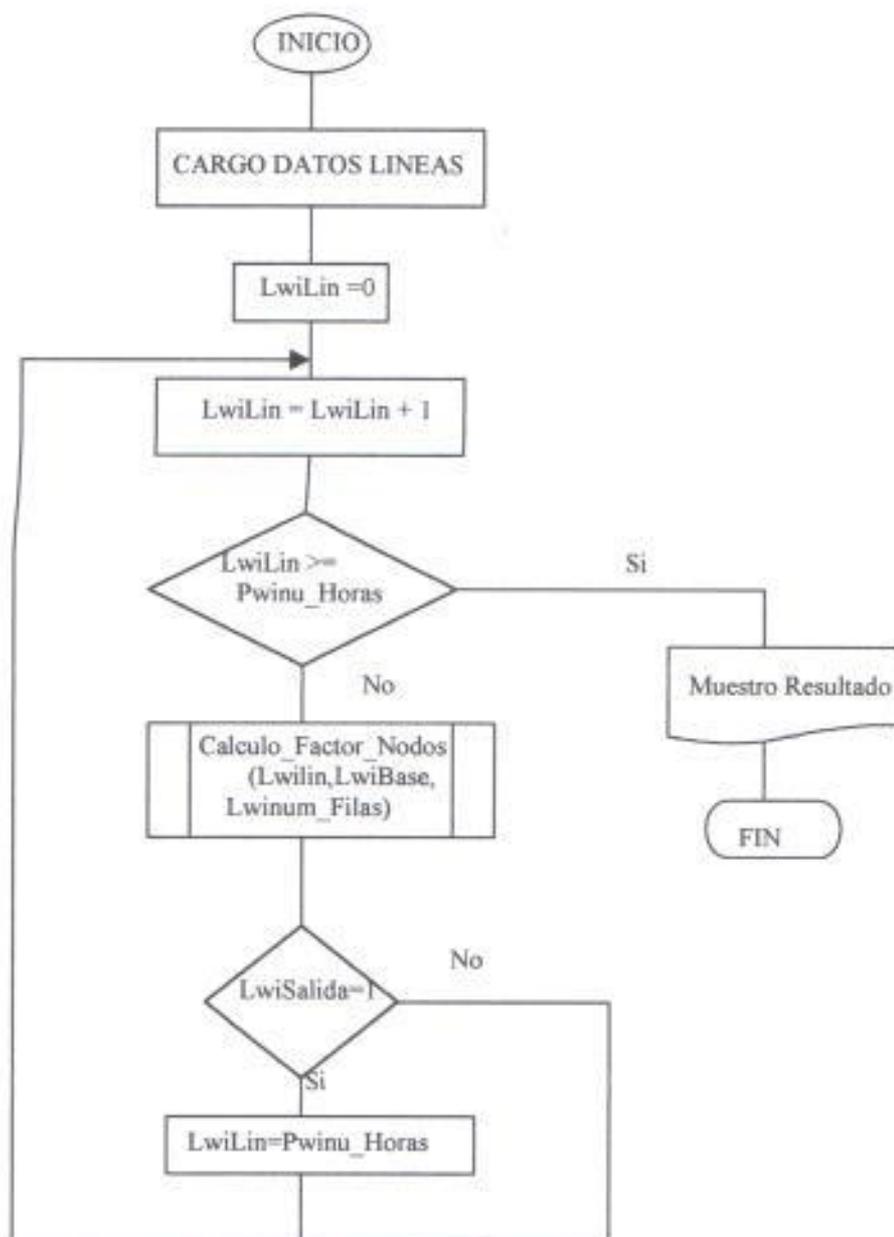


METODO DE LAGRANGE (CONTINUACION)

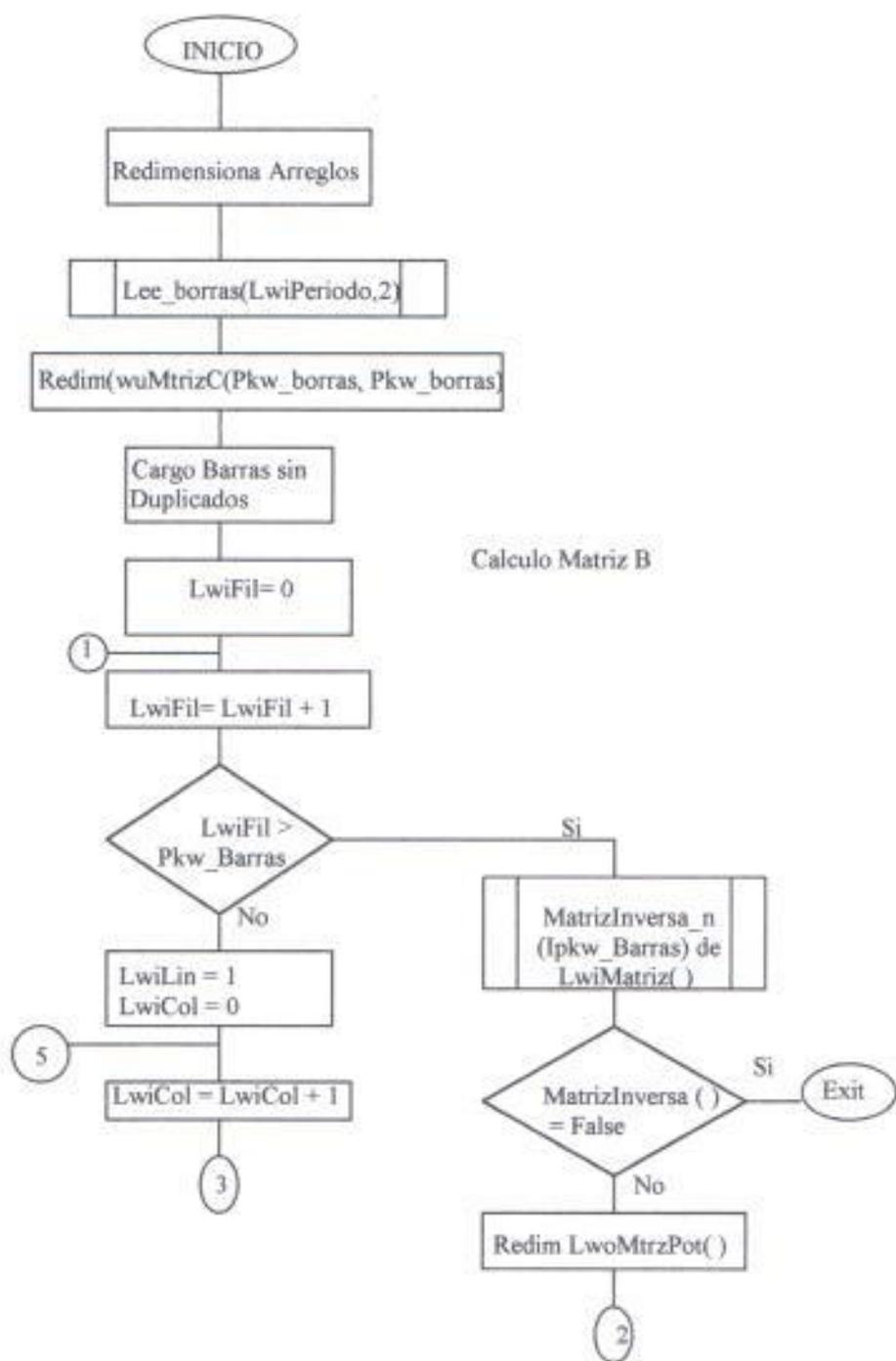


CALCULO DE FACTORES DE NODOS

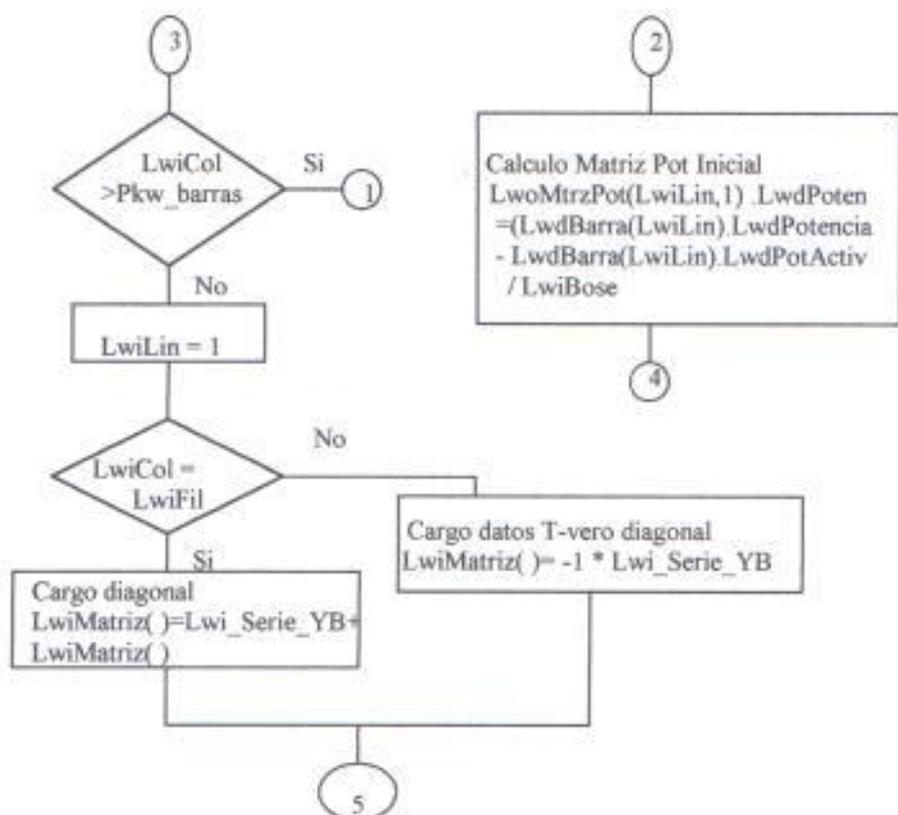
CALCULO FACTORES DE NODOS



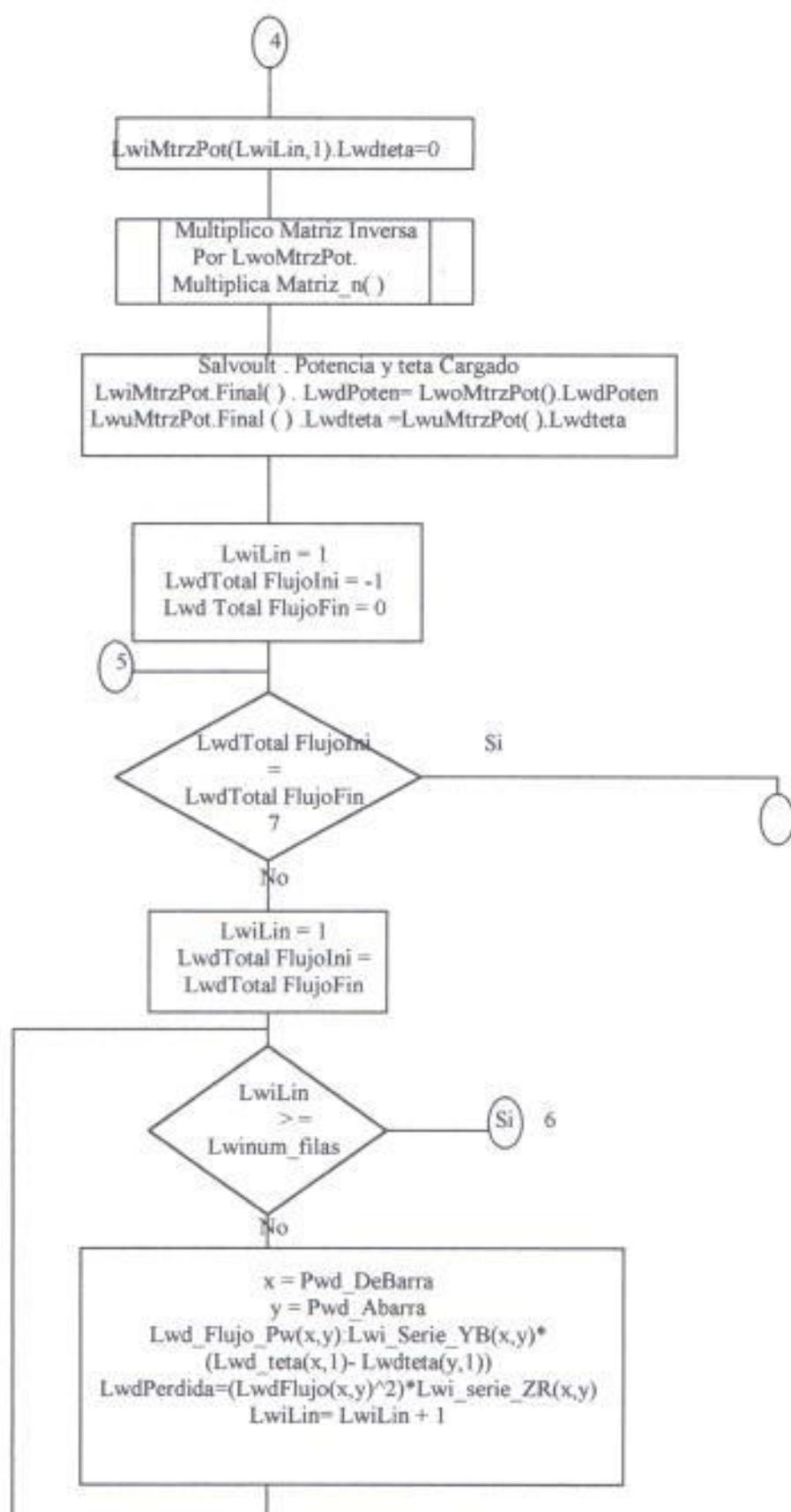
CALCULO_FACTOR_NODO



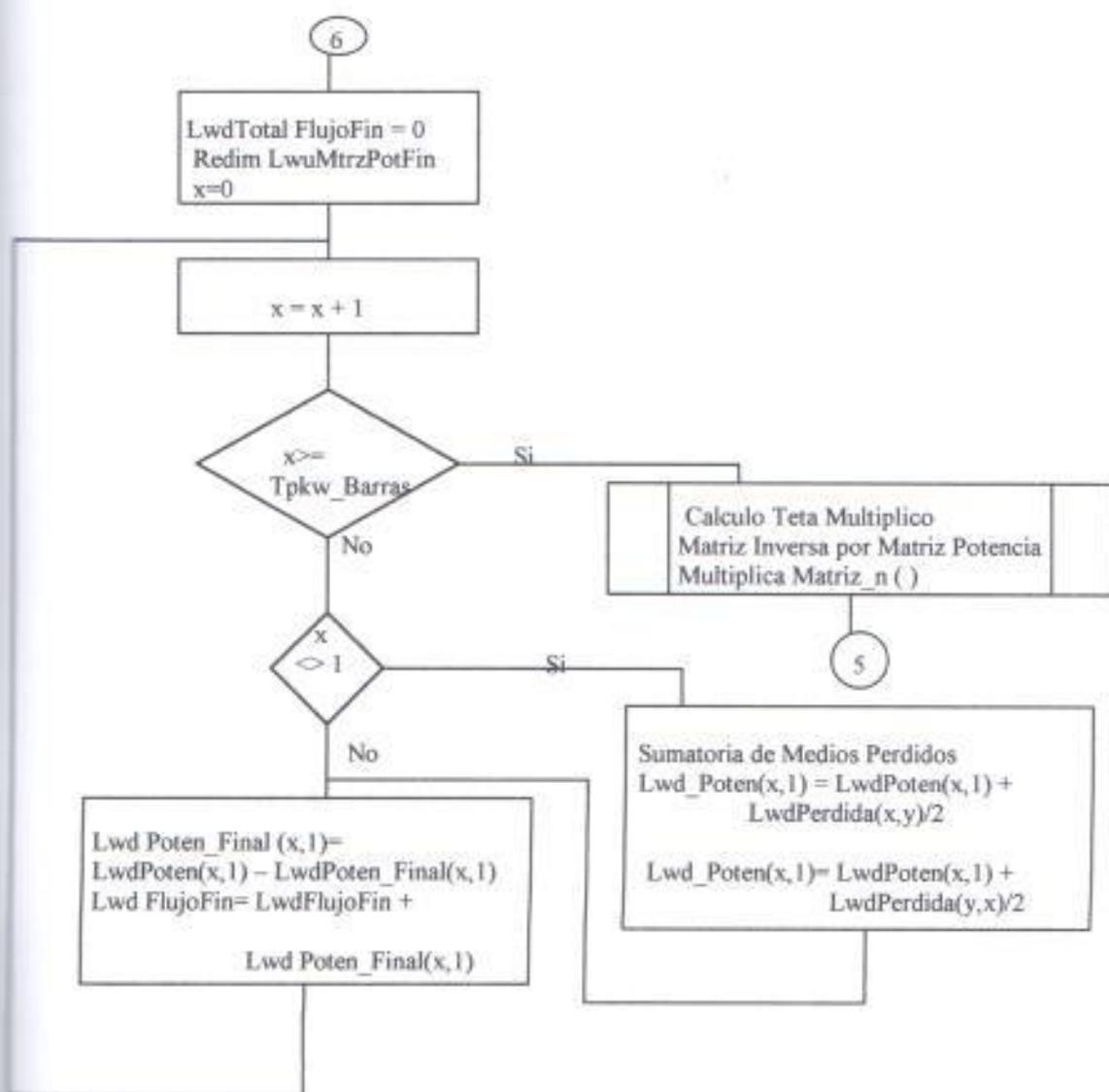
CALCULO_FACTOR_NODO (CONTINUACIÓN)



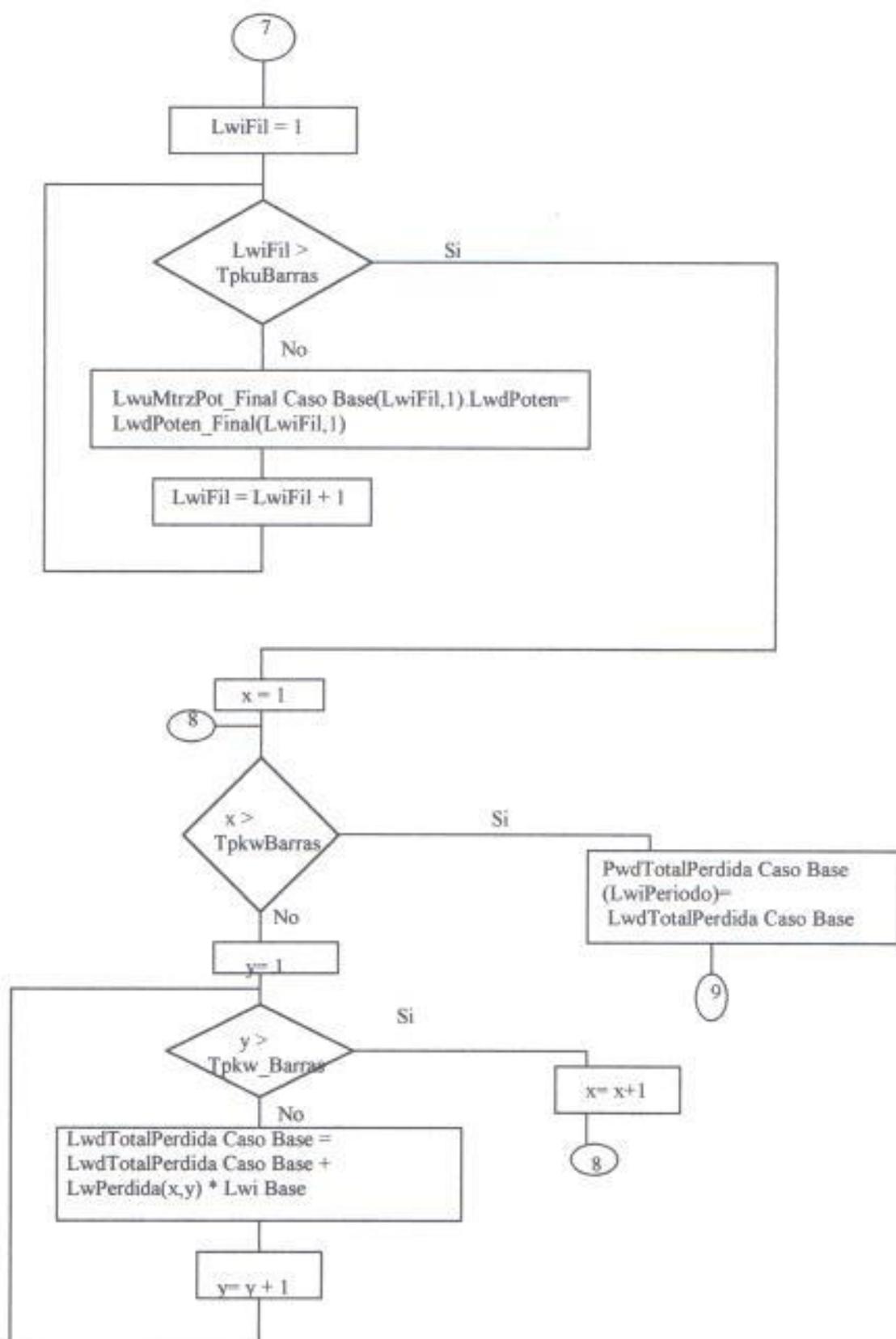
CALCULO_FACTOR_NODO (CONTINUACIÓN)



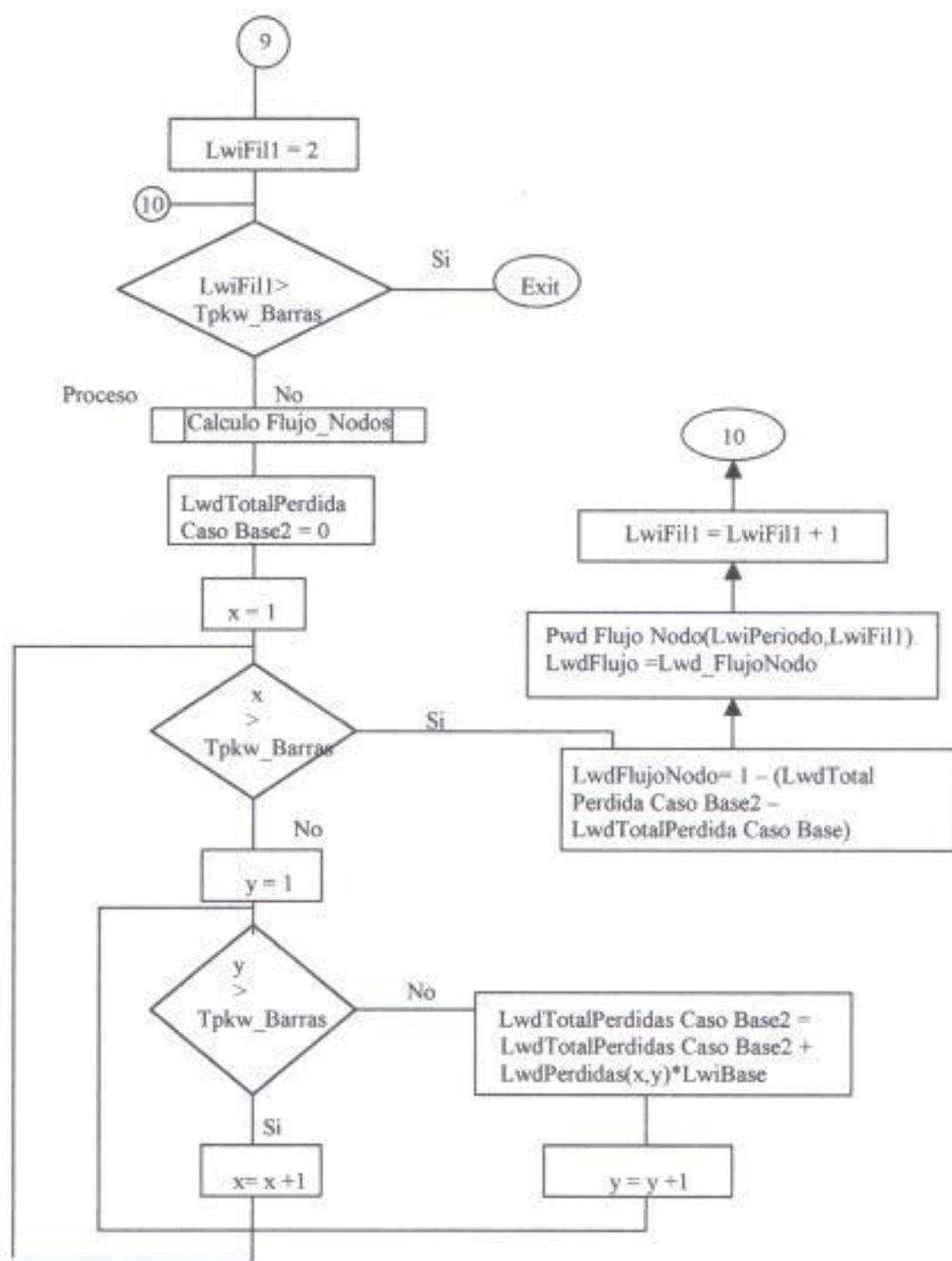
CALCULO_FACTOR_NODO (CONTINUACIÓN)



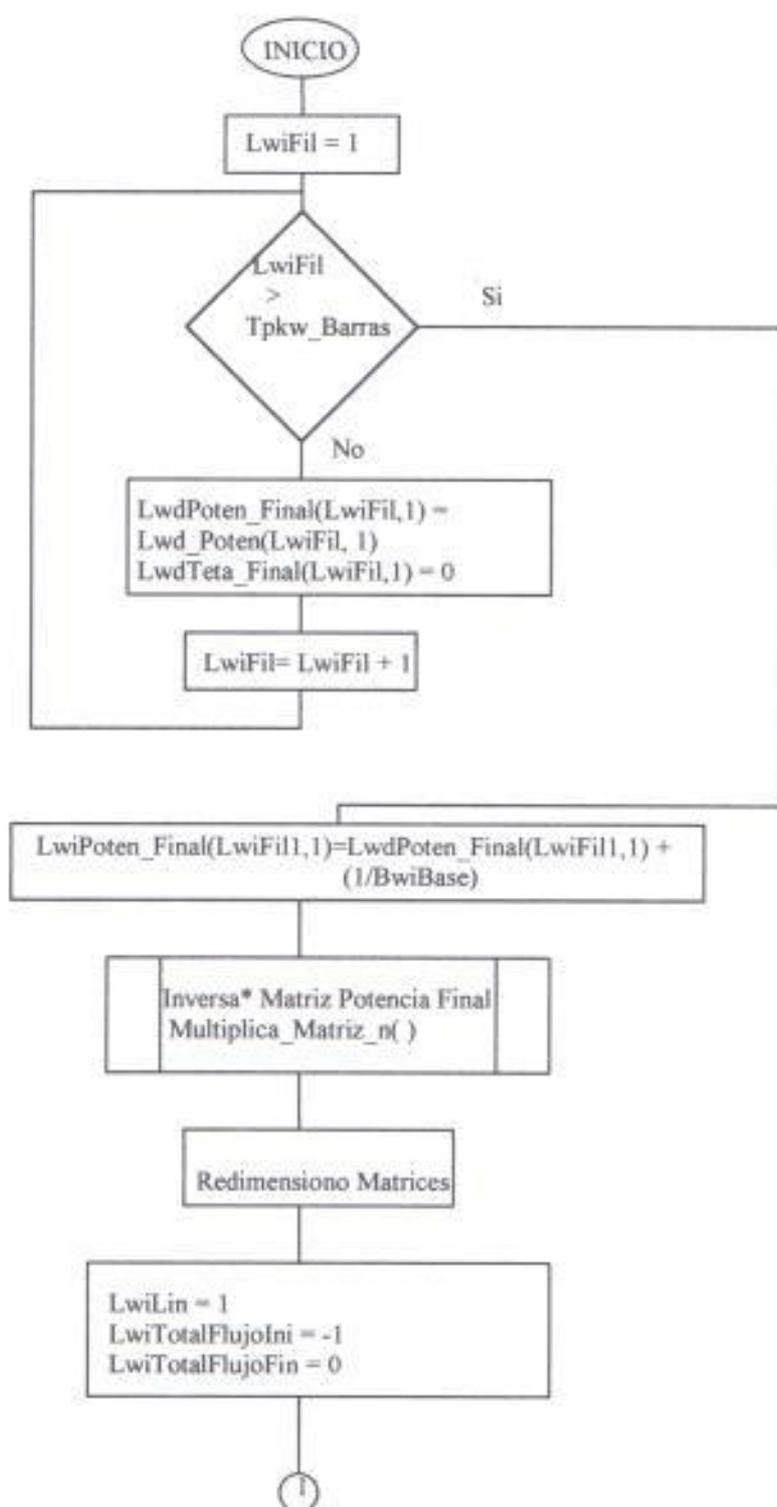
CALCULO_FACTOR_NODO (CONTINUACIÓN)



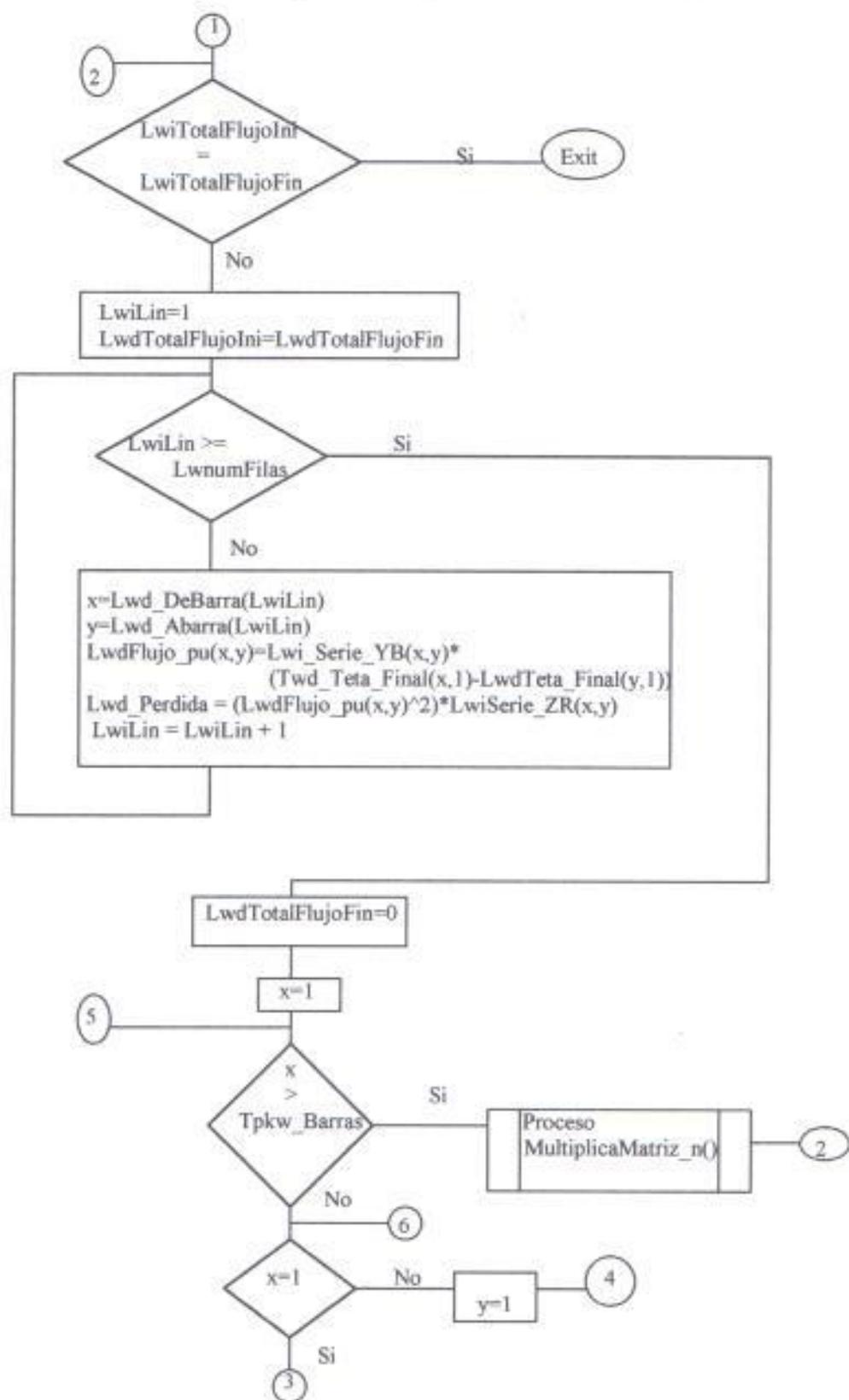
CALCULO_FACTOR_NODO (CONTINUACIÓN)



PROCESO FLUJO_NODOS



PROCESO FLUJO_NODOS (CONTINUACION)



ANEXO 3

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Ing. CarlosMora C. | Hidraulica | U1 | 0,60 | 0,60 | 0,30 | Bueno |
| Ing. CarlosMora C. | Hidraulica | U2 | 0,60 | 0,60 | 0,30 | Bueno |
| Ing. CarlosMora C. | Hidraulica | U3 | 1,20 | 1,20 | 1,00 | Bueno |
| Total | | | 2,40 | 2,40 | 1,60 | |
| Total Actual | | | 2,40 | 2,40 | 1,60 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Cumbaya | Hidraulica | U1 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | Bueno |
| Cumbaya | Hidraulica | U2 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | Bueno |
| Cumbaya | Hidraulica | U3 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | Bueno |
| Cumbaya | Hidraulica | U4 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | Bueno |
| Nayon | Hidraulica | U1 | 14,85 | 14,85 | 14,85 | Bueno |
| Nayon | Hidraulica | U2 | 14,85 | 14,85 | 14,85 | Bueno |
| Guangopolo | Hidraulica | U1 a U5 | 9,40 | 5,80 | 2,02 | Bueno |
| Guangopolo | Hidraulica | U6 | 11,52 | 7,10 | 2,48 | Bueno |
| Pasochoa | Hidraulica | U1 | 2,25 | 2,25 | 1,70 | Bueno |
| Pasochoa | Hidraulica | U2 | 2,25 | 2,25 | 1,70 | Bueno |
| Los Chillos | Hidraulica | U1 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | Bueno |
| Los Chillos | Hidraulica | U2 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | Bueno |
| Total | | | 96,92 | 88,90 | 79,40 | |
| Total Actual | | | 96,92 | 88,90 | 79,40 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Saymirin | Hidraulica | U1 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | Bueno |
| Saymirin | Hidraulica | U2 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | Bueno |
| Saymirin | Hidraulica | U3 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | Bueno |
| Saymirin | Hidraulica | U4 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | Bueno |
| Saymirin | Hidraulica | U5 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | Bueno |
| Saymirin | Hidraulica | U6 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | Bueno |
| Saucay | Hidraulica | U1 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | Bueno |
| Saucay | Hidraulica | U2 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | Bueno |
| Saucay | Hidraulica | U3 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | Bueno |
| Saucay | Hidraulica | U4 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | Bueno |
| Total | | | 38,40 | 38,40 | 36,40 | |
| Total Actual | | | 38,40 | 38,40 | 36,40 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Ambi | Hidraulica | U1 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | Bueno |
| Ambi | Hidraulica | U2 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | Bueno |
| San Miguel de C. | Hidraulica | U1 | 2,90 | 2,90 | 2,90 | Bueno |
| La Playa | Hidraulica | U1 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | Regular |
| La Playa | Hidraulica | U2 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | Regular |
| La Playa | Hidraulica | U3 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | Regular |
| Espejo | Hidraulica | U1 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | Regular |
| Espejo | Hidraulica | U2 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | Regular |
| San Gabriel | Hidraulica | U1 | 0,40 | 0,36 | 0,36 | Regular |
| Atuntaqui | Hidraulica | U1 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | Regular |
| Atuntaqui | Hidraulica | U2 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | Regular |
| Cotacachi | Hidraulica | U1 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | Regular |
| Cotacachi | Hidraulica | U2 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | Regular |
| Otavalo1 | Hidraulica | U1 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | Regular |
| Otavalo 1 | Hidraulica | U2 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | Regular |
| Otavalo 2 | Hidraulica | U1 | 0,40 | 0,38 | 0,38 | Regular |
| Total | | | 14,50 | 13,74 | 13,74 | |
| Total Actual | | | 14,50 | 13,74 | 13,74 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Peninsula | Hidraulica | U1 | 0,50 | 0,48 | 0,40 | Regular |
| Peninsula | Hidraulica | U2 | 0,50 | 0,48 | 0,40 | Regular |
| Peninsula | Hidraulica | U3 | 0,50 | 0,48 | 0,40 | Regular |
| Peninsula | Hidraulica | U4 | 1,50 | 1,50 | 0,00 | Regular |
| Total | | | 3,00 | 2,94 | 1,20 | |
| Total Actual | | | 3,00 | 2,94 | 1,20 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Alao | Hidraulica | U1 | 2,62 | 2,50 | 1,50 | Bueno |
| Alao | Hidraulica | U2 | 2,62 | 2,50 | 1,50 | Bueno |
| Alao | Hidraulica | U3 | 2,62 | 2,50 | 1,50 | Bueno |
| Alao | Hidraulica | U4 | 2,62 | 2,50 | 1,50 | Bueno |
| Río Blanco | Hidraulica | U1 | 3,00 | 2,70 | 1,50 | Bueno |
| Nizag | Hidraulica | U1 | 0,31 | 0,30 | 0,20 | Bueno |
| Total | | | 13,79 | 13,00 | 7,70 | |
| Total Actual | | | 13,79 | 13,00 | 7,70 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Chimbo | Hidraulica | U1 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | Bueno |
| Chimbo | Hidraulica | U2 | 0,90 | 0,80 | 0,00 | Bueno |
| Total | | | 1,35 | 1,20 | 0,35 | |
| Total Actual | | | 1,35 | 1,20 | 0,35 | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|----------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | |
| 1 | Paute | Hidraulica | U1 | 100 | 100 | Bueno |
| 2 | Paute | Hidraulica | U2 | 100 | 100 | Bueno |
| 3 | Paute | Hidraulica | U3 | 100 | 100 | Bueno |
| 4 | Paute | Hidraulica | U4 | 100 | 100 | Bueno |
| 5 | Paute | Hidraulica | U1 | 100 | 100 | Bueno |
| 6 | Paute | Hidraulica | U2 | 115 | 115 | Bueno |
| 7 | Paute | Hidraulica | U1 | 115 | 115 | Bueno |
| 8 | Paute | Hidraulica | U2 | 115 | 115 | Bueno |
| 9 | Paute | Hidraulica | U1 | 115 | 115 | Bueno |
| 10 | Paute | Hidraulica | U2 | 115 | 115 | Bueno |
| Total | | | | 1075 | 1075 | |
| Total Actual | | | | 1075 | 1075 | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|----------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | |
| 1 | Agoyán | Hidraulica | U1 | 78 | 78 | Bueno |
| 2 | Agoyán | Hidraulica | U2 | 78 | 78 | Bueno |
| Total | | | | 156 | 156 | |
| Total Actual | | | | 156 | 156 | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|----------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | |
| 1 | Pucará | Hidraulica | U1 | 35 | 35 | Bueno |
| 2 | Pucará | Hidraulica | U2 | 35 | 35 | Bueno |
| Total | | | | 70 | 70 | |
| Total Actual | | | | 70 | 70 | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|----------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | |
| 1 | Daule Peripa | Hidraulica | U1 | 71 | 71 | Bueno |
| 2 | Daule Peripa | Hidraulica | U2 | 71 | 71 | Bueno |
| 3 | Daule Peripa | Hidraulica | U3 | 71 | 71 | Bueno |
| Total | | | | 213 | 213 | |
| Total Actual | | | | 213 | 213 | |

| Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | Potencia Efectiva (MW) | | Estado Actual |
|-----------------------|------------|-------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|
| | | | Nominal | Invierno | Verano | |
| Illuchi 1 | Hidraulica | U1 | 0,85 | 0,60 | 0,50 | Bueno |
| Illuchi 1 | Hidraulica | U2 | 0,85 | 0,60 | 0,50 | Bueno |
| Illuchi 1 | Hidraulica | U3 | 1,75 | 1,70 | 1,20 | Bueno |
| Illuchi 1 | Hidraulica | U4 | 1,75 | 1,70 | 1,20 | Bueno |
| Illuchi 2 | Hidraulica | U1 | 2,60 | 2,60 | 2,00 | Bueno |
| Illuchi 2 | Hidraulica | U2 | 2,60 | 2,60 | 2,00 | Bueno |
| El Estado | Hidraulica | U1 | 0,85 | 0,40 | 0,30 | Bueno |
| El Estado | Hidraulica | U2 | 0,85 | 0,40 | 0,30 | Bueno |
| Catazación | Hidraulica | U1 | 0,40 | 0,30 | 0,25 | Bueno |
| Catazación | Hidraulica | U2 | 0,40 | 0,30 | 0,25 | Bueno |
| Total | | | 12,90 | 11,20 | 8,50 | |
| Total Actual | | | 12,90 | 11,20 | 8,50 | |

ANEXO 4

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Miaflores | Térmica | Grupo # 7 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 2 | Miaflores | Térmica | Grupo # 8 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 3 | Miaflores | Térmica | Grupo # 9 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 4 | Miaflores | Térmica | Grupo # 10 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 5 | Miaflores | Térmica | Grupo # 13 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 6 | Miaflores | Térmica | Grupo # 14 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 7 | Miaflores | Térmica | Grupo # 15 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 8 | Miaflores | Térmica | Grupo # 16 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 9 | Miaflores | Térmica | Grupo # 18 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 10 | Miaflores | Térmica | Grupo # 22 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 11 | Miaflores | Térmica | Grupo # 3 | 3,40 | 2,00 | Bunker | Regular |
| 12 | Miaflores | Térmica | Grupo # 11 | 6,00 | 3,50 | Diesel | Regular |
| 13 | Miaflores | Térmica | Grupo # 12 | 6,00 | 5,00 | Diesel | Fuera |
| Total | | | | 40,40 | 30,50 | | |
| Total Actual | | | | 34,40 | 25,50 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Machala | Térmica | U1 | 2,00 | 1,00 | Diesel | Fuera |
| 2 | Machala | Térmica | U2 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 3 | Machala | Térmica | U3 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 4 | Machala | Térmica | U1 | 4,09 | 3,00 | Bunker | Fuera |
| 5 | Machala | Térmica | U2 | 5,45 | 4,50 | Bunker | Fuera |
| 6 | Machala | Térmica | U3 | 5,45 | 4,50 | Bunker | Fuera |
| Total | | | | 21,99 | 17,00 | | |
| Total Actual | | | | 5,00 | 4,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Libertad | Térmica | Grupo # 1 | 2,40 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Libertad | Térmica | Grupo # 5 | 1,20 | 1,00 | Diesel | Bueno |
| 3 | Libertad | Térmica | Grupo # 8 | 4,00 | 3,30 | Bunker | Fuera |
| 4 | Libertad | Térmica | Grupo # 9 | 4,00 | 3,30 | Bunker | Bueno |
| 5 | Libertad | Térmica | Grupo # 10 | 2,40 | 2,00 | Diesel | Fuera |
| 6 | Libertad | Térmica | Grupo # 11 | 2,40 | 2,00 | Diesel | Fuera |
| 7 | Libertad | Térmica | Grupo # 12 | 2,40 | 2,00 | Diesel | Fuera |
| 8 | Playas | Térmica | Grupo # 4 | 1,20 | 1,00 | Diesel | Bueno |
| 9 | Playas | Térmica | Grupo # 5 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 22,50 | 18,60 | | |
| Total Actual | | | | 11,30 | 9,30 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Catamayo | Térmica | W H Allen 1 | 1,28 | 0,70 | Diesel | Fuera |
| 2 | Catamayo | Térmica | W H Allen 2 | 1,28 | 0,70 | Diesel | Bueno |
| 3 | Catamayo | Térmica | EMD 4 | 1,58 | 1,10 | Diesel | Bueno |
| 4 | Catamayo | Térmica | EMD 5 | 1,58 | 1,10 | Diesel | Bueno |
| 5 | Catamayo | Térmica | EMD 8 | 2,50 | 1,80 | Diesel | Bueno |
| 6 | Catamayo | Térmica | EMD 9 | 2,50 | 1,30 | Diesel | Bueno |
| 7 | Catamayo | Térmica | EMD 10 | 2,50 | 1,30 | Diesel | Bueno |
| 8 | Catamayo | Térmica | Mirreles BLACK 6 | 2,88 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 9 | Catamayo | Térmica | Mirreles BLACK 7 | 2,88 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 18,96 | 12,00 | | |
| Total Actual | | | | 17,70 | 11,30 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | G. Hernandez | Térmica | U1 | 5,72 | 5,30 | Bunker-Diesel | Fuera |
| 2 | G. Hernandez | Térmica | U2 | 5,72 | 5,30 | Bunker-Diesel | Fuera |
| 3 | G. Hernandez | Térmica | U3 | 5,72 | 5,30 | Bunker-Diesel | Fuera |
| 4 | G. Hernandez | Térmica | U4 | 5,72 | 5,30 | Bunker-Diesel | Bueno |
| 5 | G. Hernandez | Térmica | U5 | 5,72 | 5,30 | Bunker-Diesel | Fuera |
| 6 | G. Hernandez | Térmica | U6 | 5,72 | 5,30 | Bunker-Diesel | Fuera |
| 7 | Luluncoto | Térmica | U11 | 3,03 | 2,70 | Diesel | Bueno |
| 8 | Luluncoto | Térmica | U12 | 3,03 | 2,70 | Diesel | Bueno |
| 9 | Luluncoto | Térmica | U13 | 3,03 | 2,70 | Diesel | Fuera |
| Total | | | | 43,41 | 39,90 | | |
| Total Actual | | | | 11,78 | 10,70 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Milagro | Térmica | U3 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Fuera |
| 2 | Milagro | Térmica | U4 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 3 | Milagro | Térmica | U5 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Fuera |
| 4 | Milagro | Térmica | U6 | 2,50 | 2,00 | Bunker | Fuera |
| 5 | Milagro | Térmica | U7 | 2,50 | 2,00 | Bunker | Fuera |
| 6 | Milagro | Térmica | U8 | 2,50 | 2,00 | Bunker | Regular |
| Total | | | | 15,00 | 12,00 | | |
| Total Actual | | | | 5,00 | 4,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Toachi | Térmica | U9 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Toachi | Térmica | U11 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 5,00 | 4,00 | | |
| Total Actual | | | | 5,00 | 4,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Monay | Térmica | U1 | 1,50 | 1,00 | Diesel | Fuera |
| 2 | Monay | Térmica | U2 | 1,50 | 1,00 | Diesel | Fuera |
| 3 | Monay | Térmica | U3 | 1,50 | 1,00 | Diesel | Fuera |
| 4 | Monay | Térmica | U4 | 2,38 | 1,30 | Diesel | Fuera |
| 5 | Monay | Térmica | U5 | 2,38 | 1,30 | Diesel | Fuera |
| 6 | Monay | Térmica | U6 | 2,38 | 1,30 | Diesel | Fuera |
| 7 | El Descanso | Térmica | U1 | 4,80 | 4,00 | Diesel | Bueno |
| 8 | El Descanso | Térmica | U2 | 4,80 | 4,00 | Diesel | Bueno |
| 9 | El Descanso | Térmica | U3 | 4,80 | 4,00 | Diesel | Bueno |
| 10 | El Descanso | Térmica | U4 | 4,80 | 4,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 30,84 | 22,90 | | |
| Total Actual | | | | 19,20 | 16,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | La Propicia | Térmica | U1 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Fuera |
| 2 | La Propicia | Térmica | U2 | 1,25 | 1,10 | Diesel | Bueno* |
| 3 | La Propicia | Térmica | U3 | 4,00 | 3,50 | Bunker | Fuera |
| 4 | La Propicia | Térmica | U4 | 4,00 | 3,50 | Bunker | Bueno |
| Total | | | | 11,75 | 10,10 | | |
| Total Actual | | | | 5,25 | 4,60 | | |

* No está en sincronismo con el S N I

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | S. Francisco | Térmica | U1 | 2,50 | 1,50 | Diesel | Fuera |
| Total | | | | 2,50 | 1,50 | | |
| Total Actual | | | | 0,00 | 0,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | El Batán | Térmica | U1 | 0,75 | 0,50 | Diesel | Fuera |
| 2 | El Batán | Térmica | U2 | 1,50 | 1,00 | Diesel | Fuera |
| 3 | El Batán | Térmica | U3 | 2,98 | 1,00 | Diesel | Fuera |
| 4 | Ligua | Térmica | Grupo 1 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| 5 | Ligua | Térmica | Grupo 2 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Regular |
| Total | | | | 10,23 | 2,00 | | |
| Total Actual | | | | 5,00 | 4,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Riobamba | Térmica | U1 | 2,50 | 2,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Alausi | Térmica | U1 | 0,56 | 0,40 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 3,06 | 2,40 | | |
| Total Actual | | | | 3,06 | 2,40 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Guaranda | Térmica | U1 | 1,58 | 0,80 | Diesel | Regular |
| Total | | | | 1,58 | 0,80 | | |
| Total Actual | | | | 1,58 | 0,80 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Guayaquil | Térmica Vapor | TV1 | 5,00 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 2 | Guayaquil | Térmica Vapor | TV2 | 5,00 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 3 | Guayaquil | Térmica Vapor | TV3 | 10,00 | 10,00 | Bunker | Bueno |
| 4 | Guayaquil | Térmica Vapor | TV4 | 10,00 | 10,00 | Bunker | Bueno |
| 5 | Anibal Santos | Térmica Vapor | TV1 | 33,00 | 27,00 | Bunker | Bueno |
| 6 | Anibal Santos | Térmica a Gas | TG1 | 20,00 | 20,00 | Diesel | Bueno |
| 7 | Anibal Santos | Térmica a Gas | TG2 | 20,00 | 20,00 | Diesel | Bueno |
| 8 | Anibal Santos | Térmica a Gas | TG3 | 20,00 | 15,00 | Diesel | Bueno |
| 9 | Anibal Santos | Térmica a Gas | TG5 | 18,00 | 18,00 | Diesel | Bueno |
| 10 | Anibal Santos | Térmica a Gas | TG6 | 18,00 | 18,00 | Diesel | Bueno |
| 11 | Alvaro Tinajero | Térmica a Gas | AT1 | 40,00 | 35,00 | Diesel | Bueno |
| 12 | Alvaro Tinajero | Térmica a Gas | AT2 | 34,00 | 34,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 233,00 | 217,00 | | |
| Total Actual | | | | 233,00 | 217,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|----------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | G.Zevallos | T. Vapor | TV2 | 73,00 | 73,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | G.Zevallos | T. Vapor | TV3 | 73,00 | 73,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 146,00 | 146,00 | | |
| Total Actual | | | | 146,00 | 146,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | G. Zevallos | T. Gas | TG4 | 30,90 | 20,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 30,90 | 20,00 | | |
| Total Actual | | | | 30,90 | 20,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|----------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Esmeraldas | T. Vapor | U1 | 132,50 | 125,00 | Bunker | Bueno |
| Total | | | | 132,50 | 125,00 | | |
| Total Actual | | | | 132,50 | 125,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|----------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Trinitaria | T. Vapor | U1 | 132,50 | 125,00 | Bunker | Bueno |
| Total | | | | 132,50 | 125,00 | | |
| Total Actual | | | | 132,50 | 125,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Santa Rosa | T. Gas | TG1 | 18,00 | 18,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Santa Rosa | T. Gas | TG2 | 18,00 | 18,00 | Diesel | Bueno |
| 3 | Santa Rosa | T. Gas | TG3 | 18,00 | 18,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 54,00 | 54,00 | | |
| Total Actual | | | | 54,00 | 54,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|---------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Guangopolo | Termica | U1 | 5,20 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 2 | Guangopolo | Termica | U2 | 5,20 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 3 | Guangopolo | Termica | U3 | 5,20 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 4 | Guangopolo | Termica | U4 | 5,20 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 5 | Guangopolo | Termica | U5 | 5,20 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| 6 | Guangopolo | Termica | U6 | 5,20 | 5,00 | Bunker | Bueno |
| Total | | | | 31,20 | 30,00 | | |
| Total Actual | | | | 31,20 | 30,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Pascuales | T. Gas | U1 | 102,00 | 92,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 102,00 | 92,00 | | |
| Total Actual | | | | 102,00 | 92,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Electroquil 2 | T. Gas | U1 | 42,40 | 39,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Electroquil 2 | T. Gas | U2 | 42,40 | 39,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 84,80 | 78,00 | | |
| Total Actual | | | | 84,80 | 78,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Electroquil 3 | T. Gas | U3 | 40,00 | 40,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Electroquil 3 | T. Gas | U4 | 40,00 | 40,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 80,00 | 80,00 | | |
| Total Actual | | | | 80,00 | 80,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Ecuapower | T. Gas | TG91 | 55,00 | 52,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | Ecuapower | T. Gas | TG92 | 48,00 | 44,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 103,00 | 96,00 | | |
| Total Actual | | | | 103,00 | 96,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | Ecuapower | T. Gas | U1 | 40,00 | 34,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 40,00 | 34,00 | | |
| Total Actual | | | | 40,00 | 34,00 | | |

| ITEM | Central de Generación | Tipo | Grupos y/o Clave de Identidad | Potencia (MW) | | Tipo de Combustible | Estado Actual |
|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | | | Nominal | Efectiva | | |
| 1 | G. Mexicanos | T. Gas | U1 | 5,00 | 5,00 | Diesel | Bueno |
| 2 | G. Mexicanos | T. Gas | U2 | 5,00 | 5,00 | Diesel | |
| 3 | G. Mexicanos | T. Gas | U3 | 5,00 | 5,00 | Diesel | |
| 4 | G. Mexicanos | T. Gas | U4 | 5,00 | 5,00 | Diesel | Bueno |
| Total | | | | 20,00 | 20,00 | | |
| Total Actual | | | | 20,00 | 20,00 | | |

ANEXO 5

CENTRAL TERMICA ESMERALDAS

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 34 | 12,91 | 0,08 | 2834,4 |
| 1 | 2 | 47 | 14,06 | 0,07 | 3342,2 |
| 1 | 3 | 65 | 15,17 | 0,07 | 4284,3 |
| 1 | 4 | 105 | 15,69 | 0,06 | 6693,2 |
| 1 | 5 | 120,4 | 15,88 | 0,06 | 7584,3 |

CENTRAL GONZALO CEVALLOS

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| TV2 | 1 | 25 | 12,4 | 0,080 | 2011,3 |
| TV2 | 2 | 53 | 13,2 | 0,076 | 4006,0 |
| TV2 | 3 | 62 | 13,4 | 0,074 | 4617,0 |
| TV2 | 4 | 64 | 13,5 | 0,074 | 4725,8 |
| TV2 | 5 | 69 | 13,8 | 0,073 | 5015,6 |
| TV3 | 1 | 26 | 12,8 | 0,078 | 2026,7 |
| TV3 | 2 | 43 | 13,7 | 0,073 | 3142,0 |
| TV3 | 3 | 53 | 13,7 | 0,073 | 3855,3 |
| TV3 | 4 | 69 | 13,8 | 0,072 | 5000,0 |

CENTRAL GONZALO CEVALLOS GAS # 4

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 4 | 1 | 9 | 6,2 | 0,16 | 1449,7 |
| 4 | 2 | 10 | 6,8 | 0,15 | 1481,5 |
| 4 | 3 | 11 | 7,2 | 0,14 | 1534,2 |
| 4 | 4 | 12 | 7,7 | 0,13 | 1564,5 |
| 4 | 5 | 13 | 7,9 | 0,13 | 1650,8 |
| 4 | 6 | 14 | 8,5 | 0,12 | 1764,7 |
| 4 | 7 | 15 | 8,8 | 0,11 | 1819,8 |
| 4 | 8 | 16 | 9,1 | 0,11 | 1863,0 |
| 4 | 9 | 17 | 9,3 | 0,11 | 1935,5 |
| 4 | 10 | 18 | 9,8 | 0,10 | 1940,8 |
| 4 | 11 | 19 | 10,1 | 0,10 | 1990,0 |

CENTRAL SANTA ROSA

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 2 | 2,9 | 0,34 | 690,3 |
| 1 | 2 | 9 | 7,1 | 0,14 | 1276,6 |
| 1 | 3 | 13 | 9,3 | 0,11 | 1405,4 |
| 1 | 4 | 15 | 9,4 | 0,11 | 1595,7 |
| 2 | 1 | 2 | 3,6 | 0,28 | 554,0 |
| 2 | 2 | 9 | 8,1 | 0,12 | 1118,0 |
| 2 | 3 | 13 | 9,3 | 0,11 | 1405,4 |
| 2 | 4 | 15 | 9,9 | 0,10 | 1512,1 |
| 3 | 1 | 2 | 5,1 | 0,20 | 395,7 |
| 3 | 2 | 9 | 8,6 | 0,12 | 1043,5 |
| 3 | 3 | 13 | 10,0 | 0,10 | 1305,2 |
| 3 | 4 | 15 | 10,4 | 0,10 | 1436,8 |

CENTRAL GUANGOPOLO

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 2,384 | 17,2 | 0,058 | 138,6 |
| 1 | 2 | 2,98 | 17,8 | 0,056 | 167,4 |
| 1 | 3 | 3,725 | 18,5 | 0,054 | 201,9 |
| 1 | 4 | 4,47 | 18,8 | 0,053 | 238,1 |
| 1 | 5 | 4,843 | 18,8 | 0,053 | 257,1 |
| 1 | 6 | 5 | 18,8 | 0,053 | 265,8 |
| 1 | 7 | 5,215 | 18,8 | 0,053 | 277,8 |
| 1 | 8 | 5,364 | 18,7 | 0,054 | 287,0 |
| 1 | 9 | 5,96 | 18,4 | 0,054 | 323,9 |

CENTRAL TERMICA TRINITARIA

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 45,7 | 14,4 | 0,069 | 3173,6 |
| 1 | 2 | 66,5 | 15,5 | 0,065 | 4290,3 |
| 1 | 3 | 99,75 | 15,4 | 0,061 | 6100,9 |
| 1 | 4 | 133 | 16,7 | 0,060 | 7988 |

CENTRAL TERMICA EL CAMBIO

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 | 12,3 | 0,081 | 81,30 |
| 1 | 2 | 3 | 14,7 | 0,068 | 204,08 |
| 1 | 3 | 4,5 | 12,84 | 0,078 | 350,47 |

CENTRAL ELECTROQUIL (U1)

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 5 | 5,5 | 0,182 | 909,09 |
| 1 | 2 | 10 | 8,5 | 0,119 | 1176,47 |
| 1 | 3 | 15 | 10,2 | 0,098 | 1470,59 |
| 1 | 4 | 20 | 11,5 | 0,087 | 1739,13 |
| 1 | 5 | 25 | 12,7 | 0,079 | 1968,50 |
| 1 | 6 | 30 | 13,2 | 0,076 | 2272,73 |
| 1 | 7 | 35 | 14,3 | 0,070 | 2447,55 |
| 1 | 8 | 39 | 14,0 | 0,071 | 2785,71 |

CENTRAL ELECTROQUIL (U2)

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 2 | 1 | 5 | 5,8 | 0,172 | 862,07 |
| 2 | 2 | 10 | 8,8 | 0,114 | 1136,36 |
| 2 | 3 | 15 | 10,6 | 0,094 | 1415,09 |
| 2 | 4 | 20 | 11,9 | 0,084 | 1680,67 |
| 2 | 5 | 25 | 12,8 | 0,078 | 1953,13 |
| 2 | 6 | 30 | 13,3 | 0,075 | 2255,64 |
| 2 | 7 | 35 | 13,8 | 0,072 | 2538,23 |
| 2 | 8 | 39 | 14,1 | 0,071 | 2765,96 |

CENTRAL ELECTROQUIL (U3)

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 3 | 1 | 5 | 5,7 | 0,175 | 877,19 |
| 3 | 2 | 10 | 8,8 | 0,114 | 1136,36 |
| 3 | 3 | 15 | 10,6 | 0,094 | 1415,09 |
| 3 | 4 | 20 | 12,1 | 0,083 | 1652,89 |
| 3 | 5 | 25 | 13,0 | 0,077 | 1923,08 |
| 3 | 6 | 30 | 13,7 | 0,073 | 2189,78 |
| 3 | 7 | 35 | 14,2 | 0,070 | 2464,79 |
| 3 | 8 | 39 | 14,1 | 0,071 | 2765,96 |

CENTRAL ELECTROQUIL (U4)

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 4 | 1 | 5 | 5,7 | 0,175 | 877,19 |
| 4 | 2 | 10 | 8,5 | 0,116 | 1178,47 |
| 4 | 3 | 15 | 10,1 | 0,099 | 1485,15 |
| 4 | 4 | 20 | 11,5 | 0,087 | 1739,13 |
| 4 | 5 | 25 | 12,3 | 0,081 | 2032,52 |
| 4 | 6 | 30 | 13,0 | 0,077 | 2307,69 |
| 4 | 7 | 35 | 13,6 | 0,074 | 2573,53 |
| 4 | 8 | 39 | 13,7 | 0,073 | 2946,72 |

CENTRAL TERMICA GUALBERTO HERNANDEZ

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 2,86 | 16,1 | 0,062 | 177,64 |
| 1 | 2 | 4,29 | 16,6 | 0,060 | 258,43 |
| 1 | 3 | 5,72 | 17,0 | 0,059 | 336,47 |
| 1 | 4 | 5,72 | 16,4 | 0,061 | 348,78 |

CENTRAL TERMICA LULUNCOTO

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 0,5 | 8,7 | 0,115 | 57,47 |
| 1 | 2 | 1,3 | 13,4 | 0,075 | 97,01 |
| 1 | 3 | 2,7 | 14,3 | 0,070 | 188,81 |

ELECTROECUADOR

CENTRAL TERMICA GUAYAQUIL

VAPOR GUAYAQUIL

UNIDAD 1 Y 2

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 4 | 7,8 | 0,128 | 512,82 |
| 1 | 2 | 4,5 | 8,3 | 0,120 | 542,17 |
| 1 | 3 | 5 | 8,8 | 0,114 | 566,18 |

CENTRAL TERMICA GUAYAQUIL

VAPOR GUAYAQUIL
UNIDAD 3 Y 4

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 3 | 1 | 8 | 8,2 | 0,122 | 975,61 |
| 3 | 2 | 9 | 8,6 | 0,116 | 1046,51 |
| 3 | 3 | 10 | 9,1 | 0,110 | 1098,90 |

CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 15 | 11,9 | 0,084 | 1260,50 |
| 1 | 2 | 20 | 11,8 | 0,085 | 1694,92 |
| 1 | 3 | 26 | 12,1 | 0,083 | 2148,76 |

CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS

GAS ANIBAL SANTOS (TIPO JET)
UNIDAD 1,2 Y 3

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 15 | 11,9 | 0,084 | 1260,50 |
| 1 | 2 | 20 | 11,8 | 0,085 | 1694,92 |
| 1 | 3 | 26 | 12,1 | 0,083 | 2148,76 |

CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS

GAS ANIBAL SANTOS (TIPO INDUSTRIAL)
UNIDAD 5 Y 6

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 5 | 1 | 5 | 4,6 | 0,217 | 1066,96 |
| 5 | 2 | 10 | 7,0 | 0,143 | 1428,57 |
| 5 | 3 | 17 | 8,6 | 0,116 | 1976,74 |

CENTRAL TERMICA ALVARO TINAJERO

GAS ALVARO TINAJERO
UNIDAD 1

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 15 | 11,4 | 0,088 | 1315,79 |
| 1 | 2 | 25 | 14,3 | 0,070 | 1748,25 |
| 1 | 3 | 35 | 14,1 | 0,071 | 2482,27 |

CENTRAL TERMICA ALVARO TINAJERO

GAS ALVARO TINAJERO
UNIDAD 2

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 2 | 1 | 15 | 6,5 | 0,118 | 1784,71 |
| 2 | 2 | 25 | 10,4 | 0,096 | 2403,85 |
| 2 | 3 | 34,5 | 11,1 | 0,090 | 3108,11 |

CENTRAL TERMICA ENRIQUE GARCIA RODRIGUEZ

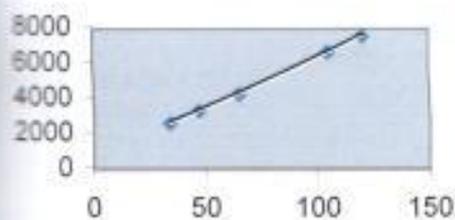
GAS PASCUALES

RENDIMIENTO

| Unidad | No de Medición | Potencia MW | Consumo Especifico KWH/gal | gal/KWh | Función E/S gal/h |
|--------|----------------|-------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 1 | 1 | 20 | 6,4 | 0,156 | 3125,00 |
| 1 | 2 | 30 | 7,7 | 0,130 | 3896,10 |
| 1 | 3 | 40 | 9,3 | 0,108 | 4301,08 |
| 1 | 4 | 50 | 10,0 | 0,100 | 5000,00 |
| 1 | 5 | 60 | 10,6 | 0,094 | 5660,36 |
| 1 | 6 | 70 | 11,4 | 0,088 | 6140,35 |
| 1 | 7 | 80 | 12,5 | 0,080 | 6400,00 |
| 1 | 8 | 90 | 11,7 | 0,085 | 7692,31 |

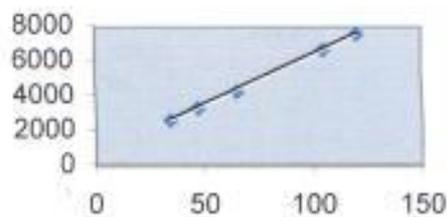
ANEXO 6

Función E/S ESMERALDAS



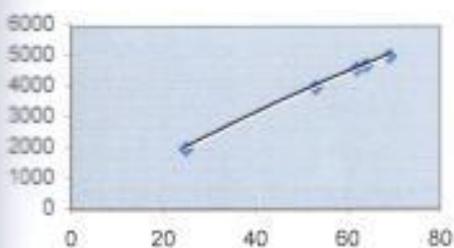
$$0,0585x^2 + 48,514x + 916,63$$
$$R^2 = 0,9998$$

Función E/S ESMERALDAS



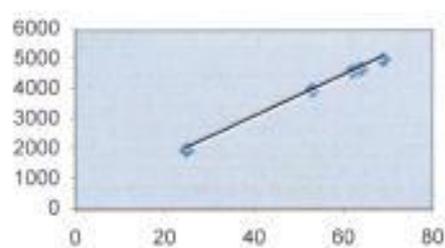
$$y = 57,636x + 626,48$$
$$R^2 = 0,9994$$

Función E/S GONZALO CEVALLOS TV2



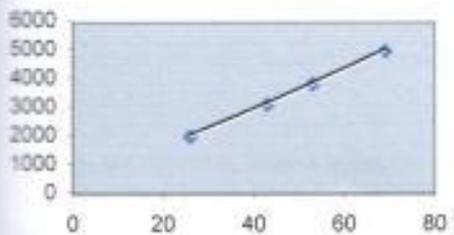
$$0,198x^2 + 87,167x - 45,245$$
$$R^2 = 0,9999$$

Función E/S GONZALO CEVALLOS TV2



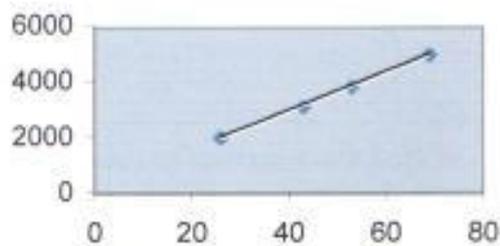
$$y = 69,044x + 305,34$$
$$R^2 = 0,999$$

FUNCION E/S GONZALO CEVALLOS TV3



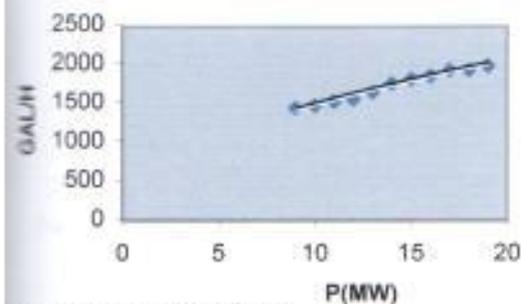
$$0,1134x^2 + 58,481x + 427,37$$
$$R^2 = 1$$

FUNCION E/S GONZALO CEVALLOS TV3



$$y = 69,233x + 200,11$$
$$R^2 = 0,9994$$

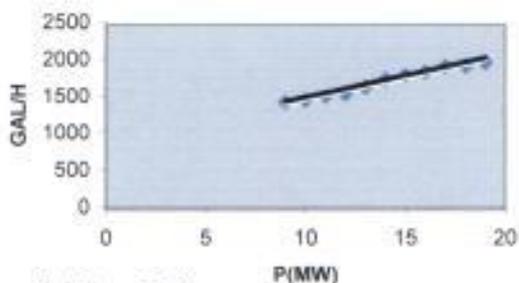
Función E/S GONZALO CEVALLOS GAS #4



$$y = 9182x^2 + 84,878x + 727,82$$

$$R^2 = 0,9807$$

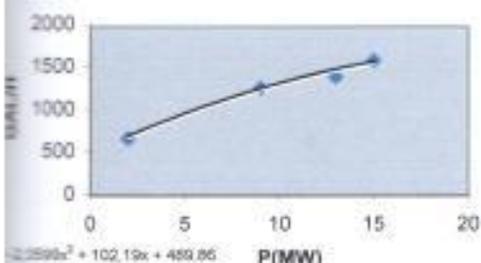
Función E/S GONZALO CEVALLOS GAS #4



$$y = 59,169x + 898,41$$

$$R^2 = 0,9788$$

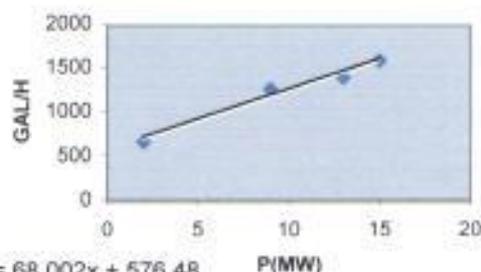
Función E/S CENTRAL SANTA ROSA U1



$$y = 2599x^2 + 102,19x + 489,86$$

$$R^2 = 0,9857$$

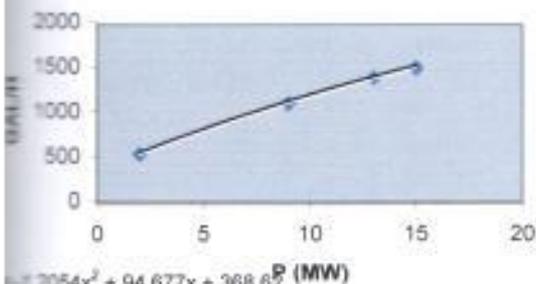
Función E/S CENTRAL SANTA ROSA U1



$$y = 68,002x + 576,48$$

$$R^2 = 0,9747$$

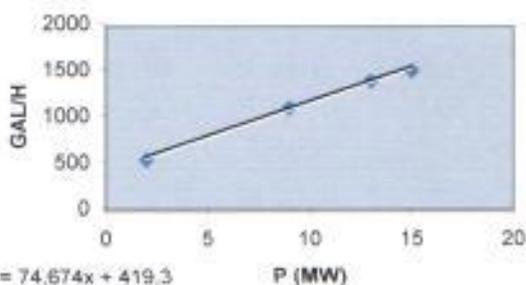
Función E/S CENTRAL SANTA ROSA U2



$$y = 1,2054x^2 + 94,677x + 368,62$$

$$R^2 = 0,9997$$

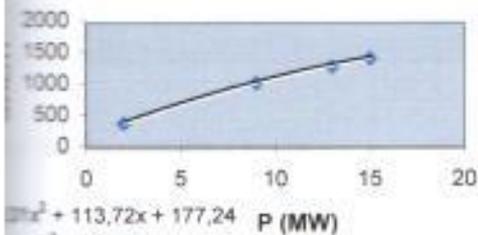
Función E/S CENTRAL SANTA ROSA U2



$$y = 74,674x + 419,3$$

$$R^2 = 0,9966$$

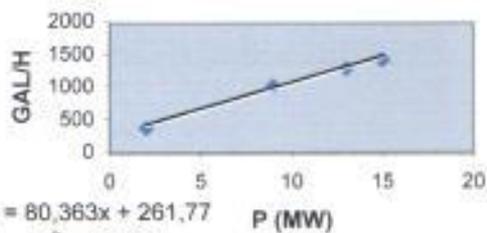
Función E/S CENTRAL SANTA ROSA U3



$$y = 20x^2 + 113,72x + 177,24$$

$$R^2 = 0,9997$$

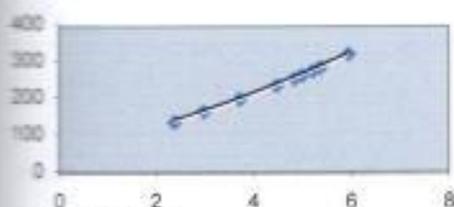
Función E/S CENTRAL SANTA ROSA U3



$$y = 80,363x + 261,77$$

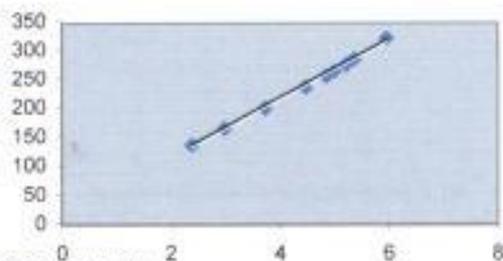
$$R^2 = 0,9921$$

Función E/S CENTRAL GUANGOPOLO



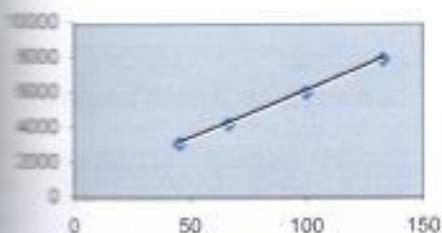
$$y = 28,472x + 58,93$$
$$R^2 = 0,9998$$

Función E/S CENTRAL GUANGOPOLO



$$y = 50,69x + 14,779$$
$$R^2 = 0,9968$$

Función E/S CENTRAL TERMICA TRINITARIA



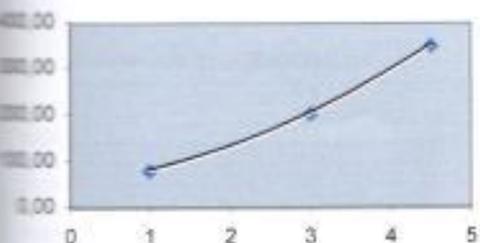
$$y = 50,21x + 824,52$$
$$R^2 = 1$$

Función E/S CENTRAL TERMICA TRINITARIA



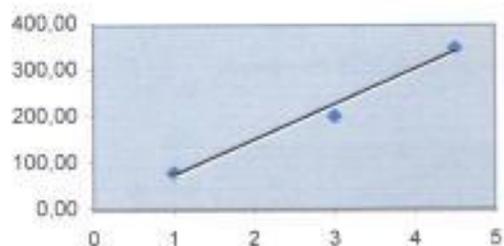
$$y = 55,12x + 634,8$$
$$R^2 = 0,9998$$

Función E/S CENTRAL EL CAMBIO



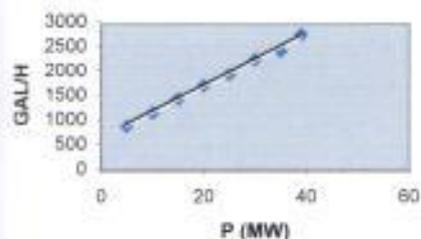
$$y = 10,343x^2 + 20,019x + 50,939$$
$$R^2 = 1$$

Función E/S CENTRAL EL CAMBIO



$$y = 76,066x - 3,5707$$
$$R^2 = 0,9824$$

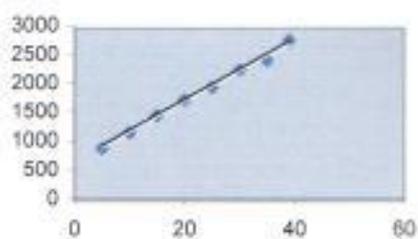
Función E/S CENTRAL ELECTROQUIL U1



$$0,0072x^2 + 53,212x + 651,1$$

$$R^2 = 0,9967$$

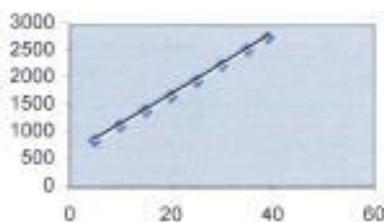
Función E/S CENTRAL ELECTROQUIL U1



$$y = 53,53x + 648,5$$

$$R^2 = 0,9967$$

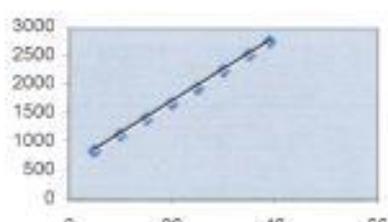
Función E/S CENTRAL ELECTROQUIL U2



$$0,0711x^2 + 52,825x + 599,06$$

$$R^2 = 0,9999$$

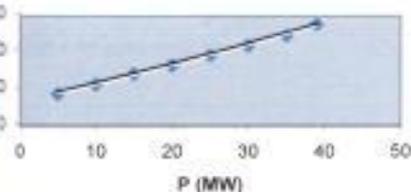
Función E/S CENTRAL ELECTROQUIL U2



$$y = 55,973x + 573,25$$

$$R^2 = 0,9996$$

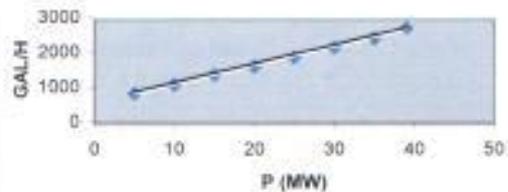
Función E/S CENTRAL ELECTROQUIL U3



$$0,1891x^2 + 45,948x + 656,38$$

$$R^2 = 0,999$$

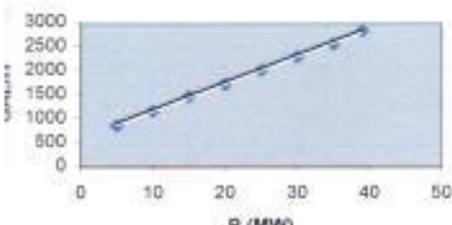
Función E/S CENTRAL ELECTROQUIL U3



$$y = 54,319x + 587,75$$

$$R^2 = 0,9979$$

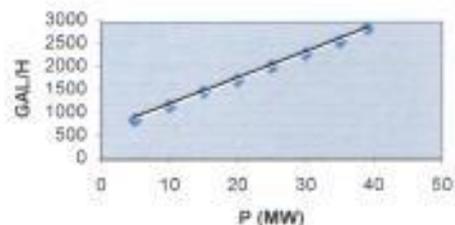
Función E/S ELECTROQUIL U4



$$y = -0,0128x^2 + 57,527x + 600,66$$

$$R^2 = 0,9994$$

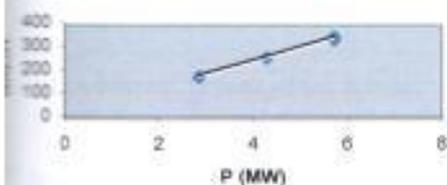
Función E/S ELECTROQUIL U4



$$y = 56,981x + 605,29$$

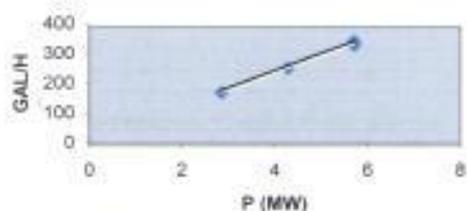
$$R^2 = 0,9994$$

Función E/S TERMICA GUALBERTO HERNANDEZ



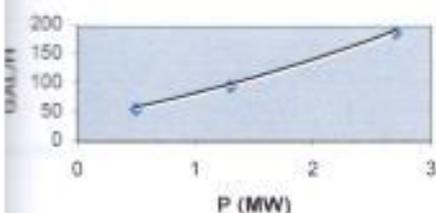
$$y = 50,308x^2 + 50,559x + 26,245$$
$$R^2 = 0,996$$

Función E/S TERMICA GUALBERTO HERNANDEZ



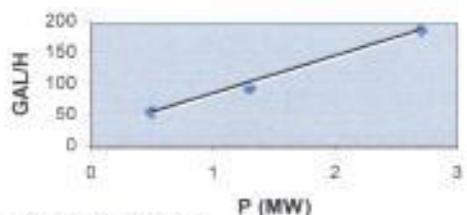
$$y = 57,795x + 11,727$$
$$R^2 = 0,9959$$

Función E/S CENTRAL TERMICA LULUNCOTO



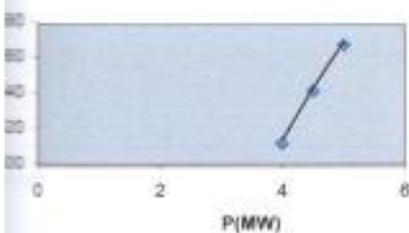
$$y = 33,336x^2 + 36,225x + 37,525$$
$$R^2 = 1$$

Función E/S CENTRAL TERMICA LULUNCOTO



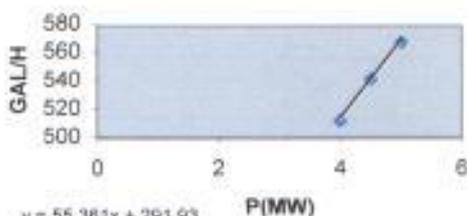
$$y = 60,363x + 23,689$$
$$R^2 = 0,9952$$

Función E/S CENTRAL TERMICA VAPOR GUAYAQUIL U1 Y U2



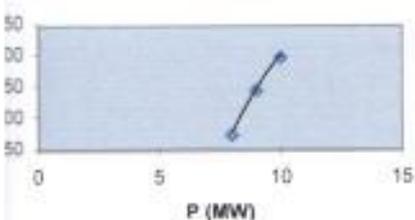
$$y = 115,39x^2 + 115,39x + 157,97$$
$$R^2 = 1$$

Función E/S CENTRAL TERMICA VAPOR GUAYAQUIL U1 Y U2



$$y = 55,381x + 291,93$$
$$R^2 = 0,9988$$

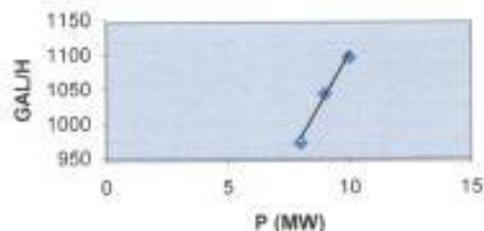
Función E/S CENTRAL TERMICA VAPOR
GUAYAQUIL U3 Y U4



$$562x^2 + 228,26x - 258,05$$

$$R^2 = 1$$

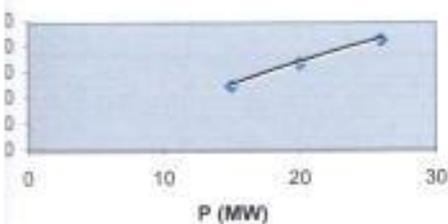
Función E/S CENTRAL TERMICA VAPOR
GUAYAQUIL U3 Y U4



$$y = 61,646x + 485,53$$

$$R^2 = 0,9925$$

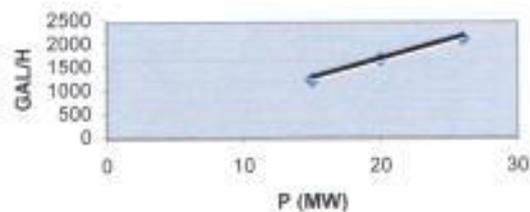
Función E/S CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS



$$19x^2 + 122,65x - 349,31$$

$$R^2 = 1$$

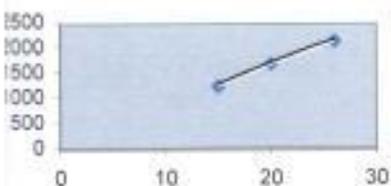
Función E/S CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS



$$y = 80,582x + 62,89$$

$$R^2 = 0,9984$$

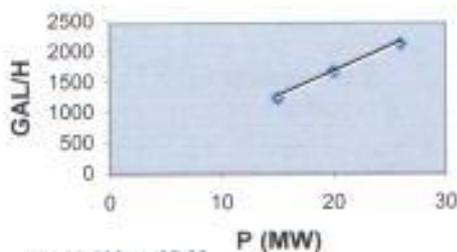
Función E/S CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS
GAS TIPO JET U1, U2 Y U3



$$0219x^2 + 122,65x - 349,31$$

$$R^2 = 1$$

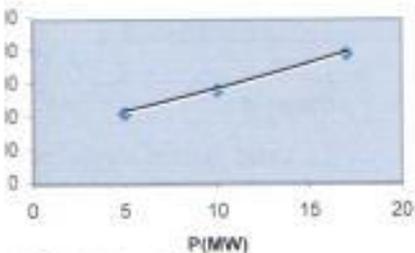
Función E/S CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS GAS
TIPO JET U1, U2 Y U3



$$y = 80,582x + 62,89$$

$$R^2 = 0,9984$$

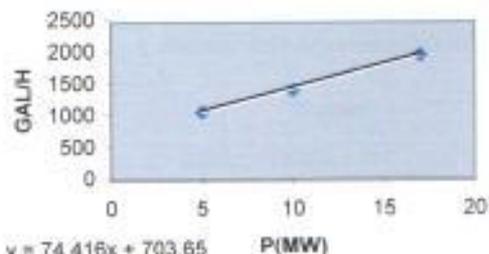
Función E/S CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS
TIPO INDUSTRIAL U5 Y U6



$$123x^2 + 55,839x + 786,96$$

$$R^2 = 1$$

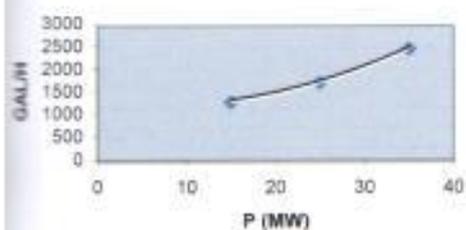
Función E/S CENTRAL TERMICA ANIBAL SANTOS
TIPO INDUSTRIAL U5 Y U6



$$y = 74,416x + 703,65$$

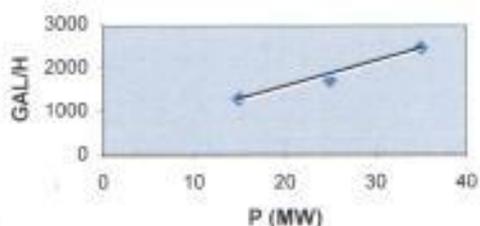
$$R^2 = 0,9986$$

Función E/S CENTRAL TERMICA GAS ALVARO TINAJERO U1



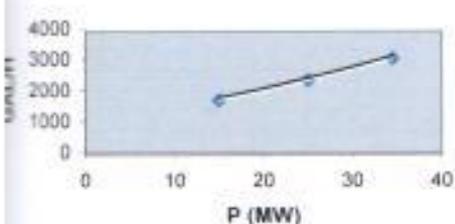
$$y = 1,5078x^2 - 17,065x + 1232,5$$
$$R^2 = 1$$

Función E/S CENTRAL TERMICA GAS ALVARO TINAJERO U1



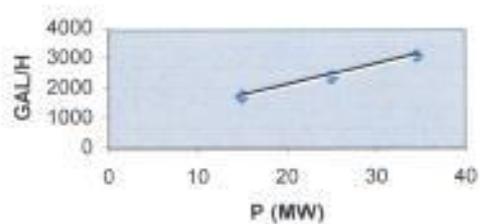
$$y = 58,324x + 390,67$$
$$R^2 = 0,9762$$

Función E/S CENTRAL TERMICA GAS ALVARO TINAJERO U2



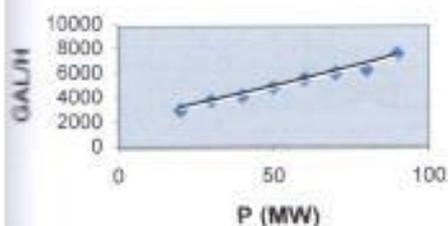
$$y = 0,524x^2 + 42,952x + 1002,5$$
$$R^2 = 1$$

Función E/S CENTRAL TERMICA GAS ALVARO TINAJERO U2



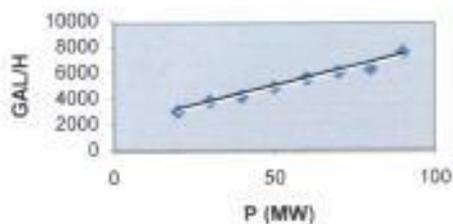
$$y = 68,849x + 715,81$$
$$R^2 = 0,9982$$

Función E/S CENTRAL TERMICA ENRIQUE GARCIA RODRIGUEZ GAS PASCUALES U1



$$y = 0,0828x^2 + 51,212x + 2166,3$$
$$R^2 = 0,9632$$

Función E/S CENTRAL TERMICA ENRIQUE GARCIA RODRIGUEZ GAS PASCUALES U1



$$y = 60,32x + 1959,3$$
$$R^2 = 0,9825$$

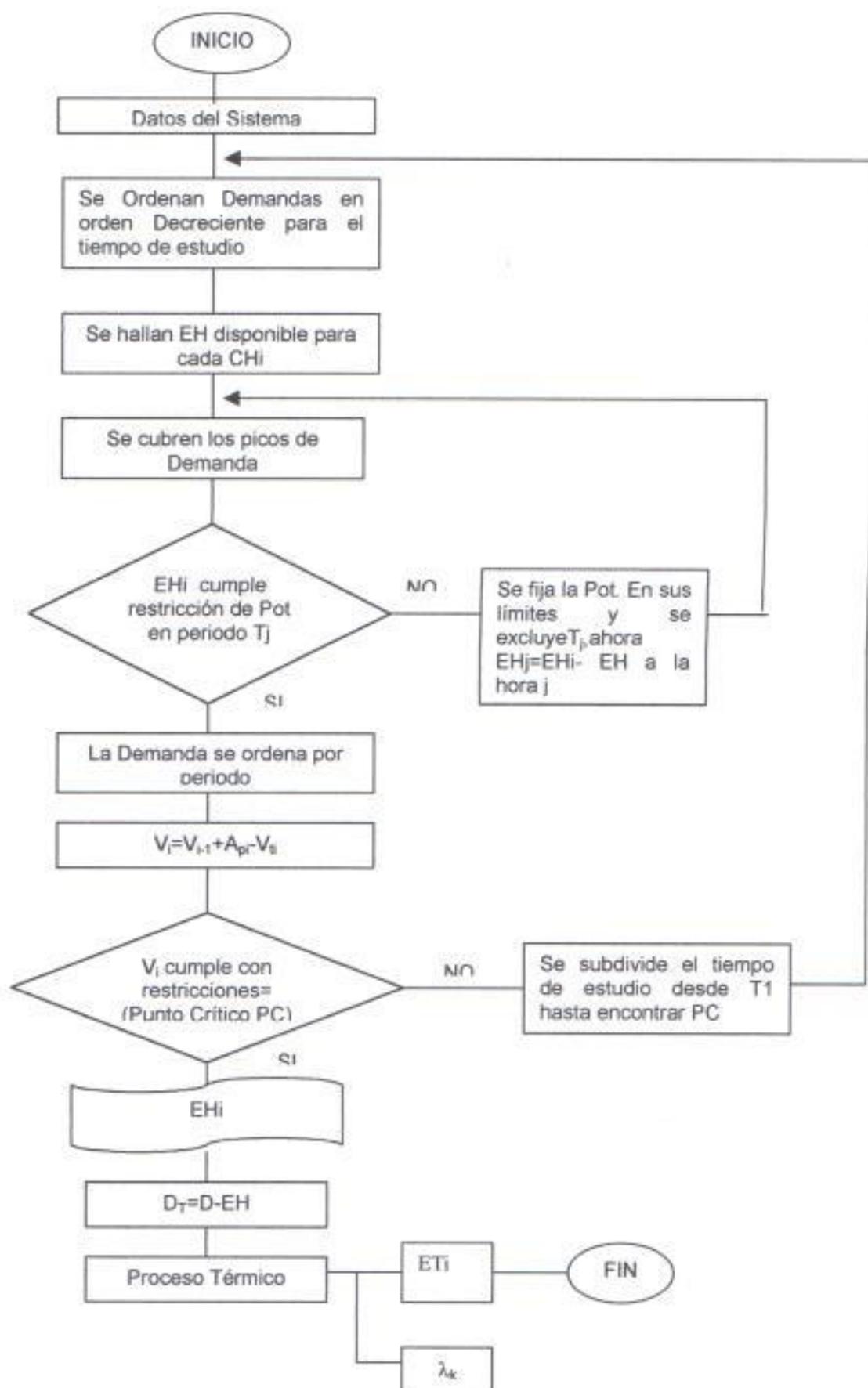
ANEXO 7

POTENCIA INSTALADA Y NÚMERO DE CENTRALES DE GENERACIÓN POR EMPRESA

| Tipo de Empresa | Empresa | Hidráulica | | Térmica Gas | | Térmica MCI | | Térmica Vapor | | Total Instalada (MW) | Total No. |
|---------------------|------------------|----------------|-----|----------------|--------|----------------|-----|----------------|----------|----------------------|-----------|
| | | Instalada (MW) | No. | Instalada (MW) | No. | Instalada (MW) | No. | Instalada (MW) | No. | | |
| Generadora | EQUAPOWER | | | 150,00 | 2 | | | | | 150,00 | 2 |
| | ELECTROECUADOR | | | 188,44 | 3 | | | 63,00 | | 251,44 | 5 |
| | ELECTROGUAYAS | | | 132,94 | 2 | | | 279,00 | | 411,94 | 4 |
| | ELECTROQUIL | | | 160,00 | 2 | | | | | 160,00 | 2 |
| | ELECTROQUITO | | | 33,00 | 1 | | | | | 33,00 | 1 |
| | EX - INECEL | | | 23,40 | 1 | 12,15 | 15 | | | 35,55 | 19 |
| | HIDROGAYAN | | | 196,00 | 1 | | | | | 196,00 | 1 |
| | HIDRONACIÓN | | | 213,00 | 1 | | | | | 213,00 | 1 |
| | HIDROPALUTE | | | 1.075,00 | 1 | | | | | 1.075,00 | 1 |
| | HIDROPUCARA | | | 76,00 | 1 | | | | | 76,00 | 1 |
| Distribuidora | TERMOPICHINCHA | | | 51,30 | 1 | 31,20 | 1 | | | 82,50 | 2 |
| | TERMOESMERALDAS | | | | | | | 132,50 | | 132,50 | 1 |
| | Total Generadora | 1.520,35 | 7 | 739,08 | 12 | 43,35 | 18 | 474,50 | | 2.777,28 | 40 |
| | AMBATO | 4,18 | 2 | | | 10,98 | 2 | | | 15,16 | 4 |
| | BOLIVAR | 1,79 | 1 | | | 2,35 | 1 | | | 4,14 | 2 |
| | CENTRO SUR | 38,96 | 5 | | | 30,83 | 2 | | | 69,79 | 7 |
| | COTOPAXI | 12,16 | 5 | | | | | | | 12,16 | 5 |
| | EL ORO | | | | | 41,74 | 6 | | | 41,74 | 6 |
| | ESMERALDAS | | | | | 11,89 | 5 | | | 11,89 | 5 |
| | GALAPAGOS | | | | | 7,89 | 4 | | | 7,89 | 4 |
| Distribuidora | GUAYAS-LOS RIOS | | | | | 0,70 | 1 | | | 0,70 | 1 |
| | LOS RIOS | | | | | 11,46 | 1 | | | 11,46 | 1 |
| | MANABI | | | | | 50,60 | 1 | | | 50,60 | 1 |
| | MILAGRO | | | | | 15,00 | 1 | | | 15,00 | 1 |
| | NORTE | 14,90 | 11 | | | 2,50 | 1 | | | 17,40 | 12 |
| | QUITO | 96,90 | 5 | | | 43,40 | 2 | | | 140,29 | 7 |
| | RIOBAMBA | 14,51 | 4 | | | 3,06 | 2 | | | 17,57 | 6 |
| | SUCUMBIOS | 0,40 | 1 | | | 22,55 | 3 | | | 22,95 | 4 |
| | SUR | 2,84 | 2 | | | 19,74 | 1 | | | 22,58 | 3 |
| | STA. ELENA | | | | | 22,55 | 3 | | | 22,55 | 3 |
| STO. DOMINGO | | | | | 5,00 | 1 | | | 5,00 | 1 | |
| Total Distribuidora | 186,42 | 36 | | | 302,20 | 37 | | | 488,62 | 73 | |
| Total general | 1.706,77 | 43 | | | 346,55 | 53 | | | 3.265,90 | 113 | |

ANEXO 8

FLUJOGRAMA DEL DESPACHO HIDROTERMICO



Descripción de las variables del Flujograma de despacho hidrotérmico.

CH_i = Central hidráulica i

EH_i = Energía hidroeléctrica de la Central hidráulica i

T_j = Periodo de tiempo j

T_k = Periodo de tiempo k

E = Energía hidroeléctrica despachada

V_i = Volumen de la central hidráulica i

Ap_i = Aportes naturales en la central hidráulica i

V_t = Volumen turbinado en la central hidráulica i

PC = Punto Crítico (se rompe las restricciones)

D_T = Demanda Térmica

D = Demanda Total

ET_i = Energía Térmica de la unidad i

λ_k = costo marginal de energía a la hora k (multiplicador de Lagrange)

ANEXO 9

**Resultado del Despacho Hidrotérmico Paper del Consultor Argentino.
Solo se considera hasta el periodo 24 para la comparación.**

| | |
|-----------|------|
| Vol. máx | 7000 |
| Vol. min. | 4000 |
| Qtur. max | 3000 |
| Qtur. min | 0 |

Objetivo 377847,7

| Mes | Aporte | Volumen | Turbinado | Vertido | Salto | Energía | Demanda | Dem. Tér. | Costo | Cmarg. |
|-----|----------|---------|-----------|---------|-------|---------|---------|-----------|----------|--------|
| 0 | | 7000,0 | | | | | | | | |
| 1 | 1400 | 6899,4 | 1500,8 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,6 | 20,5 |
| 2 | 900 | 6301,5 | 1497,9 | 0,0 | 62,2 | 186,3 | 800,0 | 613,7 | 11134,5 | 20,6 |
| 3 | 700 | 5501,0 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 4 | 600 | 4600,5 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 5 | 900 | 4000,0 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 6 | 2300 | 4342,9 | 1957,1 | 0,0 | 62,2 | 243,5 | 800,0 | 556,5 | 10043,4 | 17,8 |
| 7 | 2700 | 5084,9 | 1958,0 | 0,0 | 62,2 | 243,6 | 800,0 | 556,4 | 10041,5 | 17,8 |
| 8 | 2600 | 5727,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 9 | 2200 | 5970,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 10 | 2400 | 6413,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 11 | 2500 | 6957,0 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 12 | 2000 | 7000,0 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 13 | 1400 | 6899,4 | 1500,6 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,6 | 20,5 |
| 14 | 900 | 6301,5 | 1497,9 | 0,0 | 62,2 | 186,3 | 800,0 | 613,7 | 11134,5 | 20,6 |
| 15 | 700 | 5501,0 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 16 | 600 | 4600,5 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 17 | 900 | 4000,0 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 18 | 2300 | 4342,9 | 1957,1 | 0,0 | 62,2 | 243,5 | 800,0 | 556,5 | 10043,4 | 17,8 |
| 19 | 2700 | 5084,9 | 1958,0 | 0,0 | 62,2 | 243,6 | 800,0 | 556,4 | 10041,5 | 17,8 |
| 20 | 2600 | 5727,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 21 | 2200 | 5970,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 22 | 2400 | 6413,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 23 | 2500 | 6957,0 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 24 | 2000 | 7000,0 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 25 | 1400 | 6899,4 | 1500,6 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,6 | 20,5 |
| 26 | 900 | 6301,5 | 1497,9 | 0,0 | 62,2 | 186,3 | 800,0 | 613,7 | 11134,5 | 20,6 |
| 27 | 700 | 5501,0 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 28 | 600 | 4600,5 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 29 | 900 | 4000,0 | 1500,5 | 0,0 | 62,2 | 186,7 | 800,0 | 613,3 | 11127,7 | 20,5 |
| 30 | 2300 | 4342,9 | 1957,1 | 0,0 | 62,2 | 243,5 | 800,0 | 556,5 | 10043,4 | 17,8 |
| 31 | 2700 | 5084,9 | 1958,0 | 0,0 | 62,2 | 243,6 | 800,0 | 556,4 | 10041,5 | 17,8 |
| 32 | 2600 | 5727,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 33 | 2200 | 5970,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 34 | 2400 | 6413,9 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 35 | 2500 | 6957,0 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| 36 | 2000 | 7000,0 | 1957,0 | 0,0 | 62,2 | 243,4 | 800,0 | 556,6 | 10043,8 | 17,8 |
| | 1766,667 | 5733,3 | 63600,0 | 0,0 | 62,2 | 7911,8 | 800,0 | 580,2 | 377847,7 | 19,0 |

METODOLOGIA NUESTRO PROGRAMA DESPACHO TERMICO

| PERIODO | LAMBDA \$/ (MW.h) | GENERACION TOTAL (MW) | Generador 1 (MW) | Costos (\$) |
|---------|----------------------|--------------------------|---------------------|-------------|
| 1 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 2 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 3 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 4 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 5 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 6 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 7 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 8 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 9 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 10 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 11 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 12 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 13 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 14 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 15 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 16 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 17 | 19,485 | 613,37 | 613,37 | 11128,8428 |
| 18 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 19 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 20 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 21 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 22 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 23 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |
| 24 | 18,724 | 556,49 | 556,49 | 10042,1586 |

Total costos de generación \$251.879

DE LA COMPARACION DE NUESTRO PROGRAMA VS METODOLOGIA CENACE

Programa de Despacho Hidrotérmico

del Problema

Plantas Hidroeléctricas

| | Paute | Hidronación | |
|-------------------|----------|-------------|---------------|
| pot | 84540000 | 5430100000 | |
| pot | 32180000 | 2149300000 | |
| pot/ha/1000 | 1,552 | 0,136 | fuerza cenace |
| pot (por periodo) | 223200 | 65160 | |
| pot (MW) | 1075 | 213 | |
| pot (MW) | 0 | 0 | |
| pot (MW) | 80000000 | 5200000000 | |
| pot (MW) | 81500000 | 5200000000 | |

Plantas Térmicas

| Barra | val_pot_min | val_pot_max |
|-------|-------------|-------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 |

| Barra | costo_cold | costo_hot | time_min_conex |
|-------|------------|-----------|----------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2804,46 | 2804,46 | 6 |
| 4 | 14774,94 | 14774,94 | 6 |

| Barra | val time_min desconex | val costo sin carga | val costo full carga | val costo Combustible |
|-------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 0 | 68,32452727 | 1,1 |
| 2 | 0 | 0 | 127,4400182 | 1 |
| 3 | 6 | 560,892 | 72,61358356 | 1,1 |
| 4 | 6 | 2954,988 | 63,15954 | 1 |

| Barra | A | B | C |
|-------|----------|-------|--------|
| 1 | 0,0072 | 53,21 | 651,1 |
| 2 | 0,00194 | 7,85 | 310 |
| 3 | 0,002134 | 8,481 | 427,37 |
| 4 | 0,00142 | 7,2 | 510 |

DOLOGIA NUESTRO PROGRAMA ESTADO DEL DESPACHO HIDROELECTRICO

Energía Generada por Centrales Hidroeléctricas

| Periodo | Demanda | Generador 1 (MW) | Generador 2 (MW) |
|---------------------------|---------|------------------|------------------|
| 1 | 600 | 0 | 0 |
| 2 | 850 | 0 | 0 |
| 3 | 950 | 0 | 0 |
| 4 | 1200 | 15,1914 | 131,6965 |
| 5 | 1300 | 15,1914 | 231,6965 |
| 6 | 1450 | 15,1914 | 381,6965 |
| 7 | 1500 | 15,1914 | 431,6965 |
| 8 | 1477 | 15,1914 | 408,6965 |
| 9 | 1280 | 15,1914 | 211,6965 |
| 10 | 1100 | 15,1914 | 31,6966 |
| 11 | 850 | 0 | 0 |
| 12 | 750 | 0 | 0 |
| Energía Disponible | | 106,3398 | 1828,8756 |

Estado de Volúmenes en (m³)

| Periodo | Embalse G1 m3 | Embalse G2 m3 |
|---------|---------------|---------------|
| 1 | 5200085160 | 80223200 |
| 2 | 5200130320 | 80446400 |
| 3 | 5200195480 | 80669600 |
| 4 | 5200148937 | 80807943,89 |
| 5 | 5200102394 | 80881854,79 |
| 6 | 5200055851 | 80859116,2 |
| 7 | 5200009309 | 80804161,12 |
| 8 | 5199962766 | 80764025,63 |
| 9 | 5199916223 | 80850823,12 |
| 10 | 5199869680 | 81053600 |
| 11 | 5199934840 | 81276800 |
| 12 | 5200000000 | 81500000 |

Aportes Naturales al Embalse

| Periodo | Aportes m3 Embalse 1 | Aportes m3 Embalse 2 |
|---------|----------------------|----------------------|
| 1 | 65160 | 223200 |
| 2 | 65160 | 223200 |
| 3 | 65160 | 223200 |
| 4 | 65160 | 223200 |
| 5 | 65160 | 223200 |
| 6 | 65160 | 223200 |
| 7 | 65160 | 223200 |
| 8 | 65160 | 223200 |
| 9 | 65160 | 223200 |
| 10 | 65160 | 223200 |
| 11 | 65160 | 223200 |
| 12 | 65160 | 223200 |
| | 781920 | 2678400 |

DOLOGIA NUESTRO PROGRAMA

de los Embalses (m³)

Periodo Desborde Embalse 1 (m3) Desborde Embalse 2 (m3)

| | | |
|---------------|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 |
| (m3) Desborde | 0 | 0 |

Potencia Generada por Centrales Termicas

| PERIODO | LAMBDA \$(/MW.H) | GENERACION TOTAL (MW) | Unidad # 10 (MW) | Unidad # 7 (MW) | Unidad # 8 (MW) | Unidad # 6 (MW) |
|---------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 8,481 | 600 | 437,5 | 162,5 | 0 | 0 |
| 2 | 9,754 | 650 | 437,5 | 322 | 90,5 | 0 |
| 3 | 10,223 | 950 | 437,5 | 322 | 190,5 | 0 |
| 4 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 5 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 6 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 7 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 8 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 9 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 10 | 11,313 | 1053,11 | 437,5 | 322 | 219 | 74,61 |
| 11 | 9,754 | 650 | 437,5 | 322 | 90,5 | 0 |
| 12 | 8,063 | 750 | 437,5 | 312,5 | 0 | 0 |

Costos de Produccion y Energia (\$)

| PERIODO | Unidad # 10 | Unidad # 7 | Unidad # 8 | Unidad # 6 | COSTO POR PERIODO |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|-------------------|
| 1 | 3931,7969 | 1636,8531 | 560,892 | 0 | 6129,542 |
| 2 | 3931,7969 | 3038,847 | 4138,0763 | 0 | 11108,7202 |
| 3 | 3931,7969 | 3038,847 | 2332,4883 | 0 | 9303,1322 |
| 4 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 5 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 6 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 7 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 8 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 9 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 10 | 3931,7969 | 3038,847 | 2625,7636 | 1516,1718 | 11112,5793 |
| 11 | 3931,7969 | 3038,847 | 1333,6163 | 1516,1718 | 8304,2602 |
| 12 | 3931,7969 | 2952,5761 | 560,892 | 0 | 7445,267 |
| Total Costos Generacion | | | | 27306,3101 | 120078,9767 |
| | | | | 10613,2026 | |

Metodología Cenace

Problema de Despacho Hidrotérmico

Centrales Hidroeléctricas

| Datos Técnicos | Paute | Hidronación |
|------------------------------|----------|-------------------------------------|
| Volumen Máximo | 84540000 | 6430100000 |
| Volumen Mínimo | 32180000 | 2149300000 |
| Coef. k (9.81*h*Ng*Nb/1000) | 1.552 | 0.136 <small>fuentes cenace</small> |
| Aportes n. (m3 por periodo) | 223200 | 65160 |
| Potencia Máxima (MW) | 1075 | 213 |
| Potencia Mínima (MW) | 0 | 0 |
| Volumen inicial (m3) | 80000000 | 5200000000 |
| Volumen final (m3) | 81500000 | 5200000000 |

El problema será resuelto para 12 horas

| Hora | Demanda (Mwh) |
|------|---------------|
| 1 | 600 |
| 2 | 850 |
| 3 | 950 |
| 4 | 1200 |
| 5 | 1300 |
| 6 | 1450 |
| 7 | 1500 |
| 8 | 1477 |
| 9 | 1280 |
| 10 | 1100 |
| 11 | 850 |
| 12 | 750 |

Obtener el volumen disponible y energía disponible

Volumen disponible (m³) = (Volumen inicial - Volumen final) + Σ (Aportes naturales) (m³)

Volumen disponible (m³) = **Paute** **Hidronación**
1178400 **781920**

Energía disponible (Mwh)= Volumen disponible*Coeficiente K/1000 (MWH)

Energía disponible (Mwh)= **Paute** **Hidronación**
1828,8768 **106,34112**

Metodología Cenace

Despachar la energía hidroeléctrica disponible de manera uniforme en la base de la curva de carga

Gen. por periodo (Mwh)= Energía disponible (Mwh) / número de periodos

Gen. por periodo (Mwh)= **Paute** 152,4064 **Hidronación** 8,86176

Obtener demanda restante que cubran las centrales térmicas

| Periodo | Dem. (Mwh) | Generación Hidroeléctrica | | Demanda parque térmico (Mw) |
|---------|------------|---------------------------|-------------|-----------------------------|
| | | Paute | Hidronación | |
| 1 | 600 | 152,4064 | 8,86176 | 438,7 |
| 2 | 850 | 152,4064 | 8,86176 | 688,7 |
| 3 | 950 | 152,4064 | 8,86176 | 788,7 |
| 4 | 1200 | 152,4064 | 8,86176 | 1038,7 |
| 5 | 1300 | 152,4064 | 8,86176 | 1138,7 |
| 6 | 1450 | 152,4064 | 8,86176 | 1288,7 |
| 7 | 1500 | 152,4064 | 8,86176 | 1338,7 |
| 8 | 1477 | 152,4064 | 8,86176 | 1315,7 |
| 9 | 1280 | 152,4064 | 8,86176 | 1118,7 |
| 10 | 1100 | 152,4064 | 8,86176 | 938,7 |
| 11 | 850 | 152,4064 | 8,86176 | 688,7 |
| 12 | 750 | 152,4064 | 8,86176 | 588,7 |

Centrales Térmicas

Datos Técnicos

| num_barra | val_pot_min | val_pot_max | costo_cold | costo_hot | me_min_conex |
|-----------|-------------|-------------|------------|-----------|--------------|
| 1 | 30 | 132 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 105 | 322 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 69 | 219 | 2804,46 | 2804,46 | 6 |
| 4 | 210 | 437,5 | 14774,94 | 14774,94 | 6 |
| 5 | 60 | 260 | 0 | 0 | 0 |

| num_barra | time_min_descon | costo_sin_carga | costo_full_carga | costo_Combus | A | B | C | Orden |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 68,32452727 | 1,1 | 0,0072 | 9,21 | 651,1 | 16,602 |
| 2 | 0 | 0 | 127,4400182 | 1 | 0,00194 | 7,85 | 310 | 9,4374 |
| 3 | 6 | 560,892 | 72,61358356 | 1,1 | 0,002134 | 8,481 | 427,4 | 11,99 |
| 4 | 6 | 2954,988 | 63,15954 | 1 | 0,00142 | 7,2 | 510 | 8,987 |
| 5 | 0 | 0 | 70 | 1 | 0,006 | 13,5 | 430 | 16,72 |

Metodología Cenace

La columna orden se calcula evaluando la potencia máxima en la función de costos y esta indicará la lista de prioridades

Características de Centrales en orden de prioridades

| num_barra | val_pot_min | val_pot_max | costo_cold | costo_hot | lme_min_conex |
|-----------|-------------|-------------|------------|-----------|---------------|
| 4 | 210 | 437,5 | 14774,94 | 14774,94 | 6 |
| 2 | 105 | 322 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 69 | 219 | 2604,46 | 2604,46 | 6 |
| 1 | 30 | 132 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 60 | 260 | 0 | 0 | 0 |

| num_barra | time_min_descopl | costo_sin_carga | costo_full_carga | costo_Combus | A | B | C | Orden |
|-----------|------------------|-----------------|------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|
| 4 | 6 | 2954,988 | 63,15954 | 1 | 0,00142 | 7,2 | 510 | 8,987 |
| 2 | 0 | 0 | 127,4400182 | 1 | 0,00194 | 7,85 | 310 | 9,4374 |
| 3 | 6 | 560,892 | 72,61358356 | 1,1 | 0,002134 | 8,481 | 427,4 | 11,99 |
| 1 | 0 | 0 | 68,32452727 | 1,1 | 0,0072 | 9,21 | 651,1 | 16,602 |
| 5 | 0 | 0 | 70 | 1 | 0,006 | 13,5 | 430 | 16,72 |

Se procede a despachar las centrales para cubrir cada demanda

| Periodo | Demanda parque térmico (Mw) | Despacho de Centrales Térmicas | | | | |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Central 4 | Central 2 | Central 3 | Central 1 | Central 5 |
| 1 | 438,7 | 333,7 | 105,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 688,7 | 437,5 | 251,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | 788,7 | 437,5 | 282,2 | 69,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 1038,7 | 437,5 | 322,0 | 219,0 | 60,2 | 0,0 |
| 5 | 1138,7 | 437,5 | 322,0 | 219,0 | 110,2 | 50,0 |
| 6 | 1288,7 | 437,5 | 322,0 | 219,0 | 132,0 | 178,2 |
| 7 | 1338,7 | 437,5 | 322,0 | 219,0 | 132,0 | 228,2 |
| 8 | 1315,7 | 437,5 | 322,0 | 219,0 | 132,0 | 205,2 |
| 9 | 1118,7 | 437,5 | 322,0 | 219,0 | 90,2 | 50,0 |
| 10 | 938,7 | 437,5 | 322,0 | 179,2 | 0,0 | 0,0 |
| 11 | 688,7 | 437,5 | 251,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 12 | 588,7 | 437,5 | 151,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Se procede a calcular los costos por periodo

| Hora | Costo de Centrales Térmicas | | | | | Costos (\$) |
|------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | Central 4 | Central 2 | Central 3 | Central 1 | Central 5 | |
| 1 | 3071,02 | 1155,64 | 560,89 | 0,00 | 0,00 | 4787,56 |
| 2 | 3931,80 | 2404,62 | 560,89 | 0,00 | 0,00 | 6897,31 |
| 3 | 3931,80 | 2680,05 | 3929,45 | 0,00 | 0,00 | 10541,30 |
| 4 | 3931,80 | 3038,85 | 2625,76 | 1355,15 | 0,00 | 10951,56 |
| 5 | 3931,80 | 3038,85 | 2625,76 | 1929,21 | 1120,00 | 12645,61 |
| 6 | 3931,80 | 3038,85 | 2625,76 | 2191,50 | 3026,73 | 14814,64 |
| 7 | 3931,80 | 3038,85 | 2625,76 | 2191,50 | 3823,67 | 15611,58 |
| 8 | 3931,80 | 3038,85 | 2625,76 | 2191,50 | 3453,35 | 15241,26 |
| 9 | 3931,80 | 3038,85 | 2625,76 | 1694,83 | 1120,00 | 12411,24 |
| 10 | 3931,80 | 3038,85 | 2217,59 | 0,00 | 0,00 | 9188,23 |
| 11 | 3931,80 | 2404,62 | 560,89 | 0,00 | 0,00 | 6897,31 |
| 12 | 3931,80 | 1541,54 | 560,89 | 0,00 | 0,00 | 6034,23 |

Costo Total de Generación Térmica

\$126.021,81

Metodología Cenace

Costos Marginales por Periodo

| Hora | Lambda |
|------|--------|
| 1 | 9,44 |
| 2 | 9,44 |
| 3 | 11,99 |
| 4 | 16,60 |
| 5 | 16,72 |
| 6 | 16,72 |
| 7 | 16,72 |
| 8 | 16,72 |
| 9 | 16,72 |
| 10 | 11,99 |
| 11 | 9,44 |
| 12 | 9,44 |

ANEXO 10

PARAMETROS ELECTRICOS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION DEL S N I

| BARRAS | | PARAMETROS | | | CAPACIDAD |
|--------|-----|------------|-------|--------------|-----------|
| DE | A | R (%) | X (%) | CARGA (MVAR) | (MVA) |
| 2 | 4 | 5,95 | 18,53 | 4,41 | 141 |
| 2 | 4 | 5,95 | 18,53 | 4,41 | 141 |
| 3 | 16 | 1,57 | 12,81 | 25,58 | 442 |
| 3 | 16 | 1,57 | 12,81 | 25,58 | 442 |
| 3 | 24 | 2,15 | 17,53 | 35,26 | 442 |
| 3 | 24 | 2,15 | 17,53 | 35,26 | 442 |
| 3 | 85 | 2,3 | 19,05 | 36,92 | 442 |
| 3 | 86 | 1,83 | 15,15 | 29,36 | 442 |
| 4 | 14 | 11,46 | 35,76 | 8,4 | 141 |
| 16 | 24 | 0,45 | 3,58 | 7,84 | 442 |
| 18 | 21 | 11,3 | 34,66 | 8,51 | 141 |
| 18 | 21 | 11,3 | 34,66 | 8,51 | 141 |
| 18 | 25 | 1,25 | 9,94 | 2,82 | 265 |
| 19 | 18 | 3,99 | 11,8 | 3,08 | 141 |
| 24 | 33 | 0,28 | 2,24 | 4,53 | 442 |
| 24 | 44 | 1,61 | 12,91 | 26,96 | 442 |
| 24 | 44 | 1,61 | 12,91 | 26,96 | 442 |
| 25 | 26 | 9,08 | 27,3 | 7,02 | 141 |
| 25 | 34 | 1,23 | 4,47 | 1,1 | 160 |
| 25 | 42 | 1,13 | 4,19 | 0,91 | 160 |
| 25 | 42 | 1,13 | 4,19 | 0,91 | 160 |
| 25 | 130 | 0,999 | 2,48 | 0,66 | 141 |
| 25 | 729 | 3,327 | 10,02 | 2,56 | 141 |
| 27 | 43 | 4,52 | 16,76 | 0,23 | 72 |
| 29 | 729 | 7,54 | 22,69 | 5,8 | 141 |
| 31 | 39 | 3,12 | 9,41 | 0,19 | 72 |
| 31 | 39 | 3,12 | 9,41 | 0,19 | 72 |
| 38 | 115 | 3,111 | 24,89 | 0,41 | 100 |
| 44 | 49 | 1,17 | 9,36 | 19,55 | 442 |
| 44 | 49 | 1,17 | 9,36 | 19,55 | 442 |
| 45 | 94 | 3,4 | 10,42 | 2,56 | 141 |
| 45 | 94 | 3,4 | 10,42 | 2,56 | 141 |
| 94 | 47 | 8,24 | 25,28 | 6,21 | 141 |
| 94 | 47 | 8,24 | 25,28 | 6,21 | 141 |
| 48 | 148 | 17,18 | 18,32 | 0,75 | 55 |
| 48 | 148 | 17,18 | 18,32 | 0,75 | 55 |
| 49 | 57 | 0,87 | 7,22 | 14,11 | 442 |
| 49 | 57 | 0,87 | 7,22 | 14,11 | 442 |
| 50 | 52 | 13,08 | 40,13 | 9,86 | 141 |
| 50 | 52 | 13,08 | 40,13 | 6,86 | 141 |
| 55 | 62 | 0,454 | 2,17 | 0,56 | 186 |
| 57 | 85 | 1,18 | 9,76 | 18,91 | 442 |
| 57 | 85 | 1,18 | 9,76 | 18,91 | 442 |
| 58 | 62 | 1,34 | 6,38 | 1,64 | 186 |
| 58 | 62 | 1,34 | 6,38 | 1,64 | 186 |
| 58 | 71 | 1,31 | 4,83 | 1,18 | 160 |

PARAMETROS ELECTRICOS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION DEL S N I

| BARRAS | | PARAMETROS | | | CAPACIDAD |
|--------|-----|------------|-------|--------------|-----------|
| DE | A | R (%) | X (%) | CARGA (MVAR) | (MVA) |
| 58 | 122 | 3,7 | 13,59 | 3,33 | 160 |
| 62 | 102 | 9,61 | 4,6 | 1,18 | 186 |
| 71 | 72 | 0,64 | 2,35 | 0,5 | 160 |
| 71 | 74 | 6,39 | 23,56 | 5,68 | 160 |
| 71 | 78 | 5,68 | 20,87 | 5,12 | 160 |
| 71 | 78 | 5,68 | 20,87 | 5,12 | 160 |
| 74 | 80 | 2,49 | 9,16 | 2,21 | 160 |
| 78 | 91 | 4,95 | 18,27 | 4,42 | 160 |
| 80 | 82 | 2,12 | 7,83 | 1,89 | 160 |
| 82 | 84 | 0,59 | 1,85 | 0,44 | 141 |
| 84 | 88 | 1,76 | 8,42 | 2,16 | 186 |
| 84 | 88 | 1,76 | 8,42 | 2,16 | 186 |
| 85 | 86 | 0,47 | 3,9 | 7,56 | 442 |
| 87 | 112 | 15,1 | 31 | 0,57 | 32 |
| 91 | 191 | 1,34 | 4,96 | 1,2 | 111 |
| 131 | 165 | 2,8 | 8,6 | 0,17 | 72 |
| 131 | 165 | 2,8 | 8,6 | 0,17 | 72 |

PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS TRANSFORMADORES DEL S N I

| BARRAS | | PARAMETROS | CAPACIDAD | BARRAS | | PARAMETROS | CAPACIDAD |
|--------|-----|------------|-----------|--------|-----|------------|-----------|
| DE | A | X (%) | (MVA) | DE | A | X (%) | (MVA) |
| 2 | 1 | 10,34 | 375 | 31 | 35 | 13,76 | 86 |
| 303 | 202 | 2,37 | 375 | 31 | 36 | 13,76 | 86 |
| 202 | 2 | -0,43 | 375 | 31 | 37 | 42,6 | 35 |
| 202 | 302 | 10,54 | 125 | 32 | 208 | 6,49 | 150 |
| 3 | 204 | 2,37 | 375 | 38 | 208 | -0,88 | 150 |
| 204 | 2 | -0,43 | 375 | 208 | 308 | 26,69 | 50 |
| 204 | 304 | 10,54 | 125 | 32 | 632 | 6,88 | 160 |
| 2 | 601 | 10,34 | 114 | 33 | 210 | 2,37 | 375 |
| 2 | 701 | 10,34 | 114 | 210 | 32 | -0,43 | 375 |
| 2 | 801 | 10,34 | 114 | 210 | 310 | 10,54 | 125 |
| 2 | 901 | 10,34 | 114 | 34 | 232 | 6,49 | 150 |
| 3 | 7 | 11,2 | 134 | 232 | 31 | -0,88 | 150 |
| 3 | 607 | 11,2 | 134 | 232 | 332 | 16,87 | 30 |
| 3 | 707 | 11,2 | 134 | 38 | 138 | 0,01 | 333 |
| 3 | 807 | 11,2 | 134 | 39 | 600 | 13,76 | 86 |
| 3 | 907 | 11,2 | 134 | 39 | 700 | 13,76 | 86 |
| 4 | 234 | 7,74 | 100 | 45 | 41 | 36,5 | 33 |
| 234 | 5 | -0,9 | 100 | 42 | 230 | -6,45 | 150 |
| 234 | 334 | 26,21 | 33 | 43 | 230 | 11,72 | 150 |
| 14 | 244 | 12,33 | 63 | 230 | 330 | 26,69 | 50 |
| 15 | 244 | -1,58 | 63 | 44 | 242 | 4,79 | 167 |
| 244 | 344 | 25,93 | 21 | 242 | 45 | -0,39 | 167 |
| 16 | 212 | 4,98 | 150 | 242 | 342 | 10,76 | 56 |
| 212 | 17 | -0,48 | 167 | 45 | 245 | 26,86 | 30 |
| 212 | 312 | 10,76 | 56 | 46 | 245 | -3,97 | 30 |
| 118 | 214 | 8,49 | 100 | 245 | 345 | 51,83 | 11 |
| 214 | 17 | -1,31 | 100 | 94 | 93 | 16,6 | |
| 214 | 314 | 17,11 | 33 | 94 | 693 | 16,6 | |
| 19 | 216 | 11,25 | 66 | 94 | 793 | 16,6 | |
| 20 | 216 | -1,25 | 66 | 47 | 246 | -17,09 | 75 |
| 216 | 316 | 34,58 | 20 | 48 | 246 | 29,59 | 75 |
| 21 | 218 | 8,49 | 100 | 246 | 346 | 65,07 | 25 |
| 22 | 218 | -1,31 | 100 | 47 | 247 | -17,09 | 75 |
| 218 | 318 | 17,11 | 33 | 48 | 247 | 29,59 | 75 |
| 22 | 622 | 47,22 | 20 | 247 | 347 | 65,07 | 25 |
| 24 | 222 | 2,37 | 375 | 49 | 248 | 4,85 | 167 |
| 222 | 25 | -0,43 | 375 | 248 | 50 | -0,44 | 167 |
| 222 | 322 | 10,54 | 125 | 248 | 348 | 10,78 | 56 |
| 26 | 226 | 12,5 | 66 | 49 | 649 | 10,44 | 175 |
| 28 | 226 | -1,55 | 66 | 50 | 250 | 7,98 | 100 |
| 226 | 326 | 25,9 | 22 | 250 | 51 | -1,1 | 100 |
| 27 | 627 | 30 | 114 | 250 | 350 | 26,59 | 30 |
| 28 | 628 | 15,45 | 65 | 52 | 53 | 6,88 | 160 |
| 29 | 229 | 26,86 | 33 | 52 | 252 | -16,9 | 75 |
| 30 | 229 | -3,97 | 33 | 54 | 252 | 29,4 | 75 |
| 229 | 329 | 54,83 | 11 | 252 | 352 | 67,9 | 25 |

PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS TRANSFORMADORES DEL S N I

| BARRAS | | PARAMETROS | CAPACIDAD | BARRAS | | PARAMETROS | CAPACIDAD |
|--------|-----|------------|-----------|--------|------|------------|-----------|
| DE | A | X (%) | (MVA) | DE | A | X (%) | (MVA) |
| 55 | 255 | 8,49 | 100 | 82 | 282 | 16,96 | 44 |
| 56 | 255 | -1,31 | 100 | 282 | 90 | -1,05 | 44 |
| 255 | 355 | 17,11 | 33 | 282 | 382 | 37,87 | 14,6 |
| 57 | 254 | 2,42 | 375 | 294 | 83 | -1,87 | 100 |
| 254 | 58 | -0,42 | 375 | 84 | 294 | 10,28 | 100 |
| 254 | 354 | 10,58 | 125 | 294 | 394 | 25,22 | 30 |
| 58 | 60 | 32,6 | 30 | 280 | 84 | -1,75 | 120 |
| 58 | 64 | 46,86 | 28 | 85 | 280 | 10,41 | 120 |
| 58 | 288 | 22,89 | 75 | 280 | 380 | 30,05 | 33 |
| 59 | 288 | -2,31 | 75 | 86 | 284 | 17,92 | 100 |
| 288 | 388 | 17,25 | 25 | 87 | 284 | -1,51 | 100 |
| 58 | 664 | 46,86 | 28 | 284 | 284 | 10,42 | 33 |
| 58 | 764 | 46,86 | 28 | 88 | 89 | 14,64 | 85 |
| 62 | 262 | 8,49 | 100 | 88 | 689 | 14,64 | 85 |
| 63 | 262 | -1,31 | 100 | 91 | 291 | 26,86 | 33 |
| 262 | 362 | 17,11 | 33 | 92 | 291 | -3,97 | 33 |
| 258 | 70 | -1,42 | 43 | 291 | 391 | 51,83 | 11 |
| 71 | 258 | 22,94 | 43 | 103 | 102 | 22,88 | 33 |
| 258 | 358 | 10,98 | 14 | 131 | 631 | 24,23 | 40 |
| 259 | 70 | -1,42 | 48 | 131 | 731 | 41,47 | 30 |
| 71 | 259 | 22,94 | 48 | 131 | 831 | 47,22 | 30 |
| 259 | 359 | 10,98 | 14 | 131 | 931 | 41,47 | 30 |
| 70 | 670 | 27,91 | 44 | 131 | 1031 | 35,51 | 30 |
| 70 | 770 | 29,59 | 44 | 131 | 1131 | 35,51 | 26,7 |
| 70 | 870 | 66,18 | 44 | 131 | 1231 | 14 | 66 |
| 70 | 970 | 45,48 | 44 | 131 | 1331 | 19,44 | 48 |
| 72 | 73 | 22,06 | 40 | 138 | 638 | 13,76 | 66,6 |
| 77 | 275 | -0,5 | 33 | 138 | 738 | 11,67 | 60 |
| 78 | 275 | 27,5 | 33 | 165 | 665 | 55,89 | 16 |
| 275 | 375 | 53,28 | 11 | 165 | 765 | 42,35 | 32 |
| 78 | 278 | 34,76 | 50 | 191 | 293 | 12,33 | 33 |
| 79 | 278 | -3,92 | 50 | 192 | 293 | -1,58 | 33 |
| 278 | 378 | 25,89 | 16,7 | 293 | 393 | 25,93 | 11 |
| 80 | 81 | 25,4 | 40 | 729 | 829 | 32,66 | 50 |
| 80 | 681 | 25,4 | 40 | 729 | 929 | 32,66 | 50 |

NOMBRE DE LAS BARRAS DEL S N I

| Barra # | Nombre | Barra # | Nombre |
|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 89 | AGOYAN | 638 | CONS-EQL |
| 689 | AGOYAN | 5 | CUENCA |
| 90 | AMBAT-BA | 649 | ECUAP-SD |
| 738 | CONS-EQT | 1231 | G-ALTI1 |
| 670 | CUMBA | 1131 | G EMEL6 |
| 628 | ECUAP-SE | 700 | G-EQIL-2 |
| 54 | ESMERALD | 929 | G-EQIL-3 |
| 731 | G EMEL1 | 627 | G PASCUA |
| 931 | G EMEL3 | 664 | G-S.ROSA |
| 1331 | G-ALTI2 | 665 | GPVG-EME |
| 831 | G EMEL2 | 870 | GUAN+CHI |
| 1031 | G EMEL5 | 79 | IBARR-B |
| 600 | G-EQIL-2 | 22 | MACHALA1 |
| 829 | G-EQIL-3 | 622 | MEXICO |
| 37 | G INEC 4 | 770 | NAYON13 |
| 64 | G-S.ROSA | 601 | PAUTE AB |
| 764 | G-S.ROSA | 801 | PAUTE AB |
| 970 | GUAL-HER | 7 | PAUTE C |
| 73 | GUANGOPO | 707 | PAUTE C |
| 15 | LOJA | 907 | PAUTE C |
| 148 | MANTA | 681 | PUCARA |
| 17 | MILAGRO | 51 | S.DOMING |
| 1 | PAUTE AB | 92 | TULCAN69 |
| 701 | PAUTE AB | 35 | V INEC 2 |
| 901 | PAUTE AB | 632 | V-TRIN-1 |
| 607 | PAUTE C | 93 | DAUL PER |
| 807 | PAUTE C | 793 | DAUL PER |
| 81 | PUCARA | 27 | PASCUALS |
| 87 | RIOBA-69 | 31 | SALITR69 |
| 28 | S. ELENA | 41 | QUEVEDO |
| 631 | V-EMEL-1 | 46 | QUEVEDO |
| 36 | V INEC 3 | 56 | S/E19-BA |
| 765 | VPVG-M | 60 | SROS-MOV |
| 693 | DAUL PER | 70 | VICEN-BA |
| 20 | BABAHOYO | 77 | IBARR-BA |
| 30 | POSORJA9 | 103 | POMA-BA |
| 38 | TRINIT69 | 115 | EMELG-DD |
| 43 | POLICENT | 130 | CEDEG138 |
| 48 | PORTOVIE | | |
| 59 | S.ROS-DA | | |
| 63 | S.ALE-BA | | |
| 72 | GUANG138 | | |
| 83 | TOTOR-BA | | |
| 112 | GUARA-BA | | |
| 122 | PAPA-AL | | |
| 131 | EMEL-SAL | | |

CARACTERISTICAS TECNICAS DE CAPACITORES Y REACTORES DEL S N I

| COMPENSADORES | | | | | |
|---------------|--------|------|-----------|-----------|--------------|
| Barra # | Nombre | MVAR | VOLT.ALTO | VOLT.BAJO | BARRA REG. # |
| 302 | PAU-T1 | 0 | 1,1 | 0,9 | 3 |
| 304 | PAU-T2 | -20 | 1,1 | 0,9 | 3 |
| 312 | MIL-T1 | 18 | 1,1 | 0,9 | 17 |
| 316 | BAB-T | 0 | 1,1 | 0,9 | 316 |
| 318 | MAC-T1 | 12 | 1,1 | 0,9 | 21 |
| 322 | PAS-T1 | -20 | 1,1 | 0,9 | 24 |
| 330 | POL-T | 12 | 1,1 | 0,9 | 43 |
| 342 | QUE-T1 | -10 | 1,1 | 0,9 | 45 |
| 348 | SDO-T1 | -10 | 1,1 | 0,9 | 50 |
| 354 | SRO-T1 | -20 | 1,1 | 0,9 | 57 |
| 380 | TOT-T1 | -10 | 1,1 | 0,9 | 85 |
| 384 | RIO-T | -10 | 1,1 | 0,9 | 86 |

ANEXO 11

DATOS CARGA - GENERACION

| Id | Num_Barra | Carga | Generación |
|----|-----------|-------|------------|
| 1 | 88 | 0 | 0 |
| 2 | 689 | 0 | 75 |
| 3 | 89 | 0 | 75 |
| 4 | 90 | 47,3 | 5 |
| 5 | 82 | 0 | 0 |
| 6 | 19 | 0 | 0 |
| 7 | 20 | 37,6 | 0 |
| 8 | 53 | 0 | 119,9 |
| 9 | 130 | 9,7 | 0 |
| 10 | 4 | 0 | 0 |
| 11 | 5 | 107,5 | 38 |
| 12 | 670 | 0 | 40 |
| 13 | 649 | 0 | 0 |
| 14 | 628 | 0 | 0 |
| 15 | 138 | 0 | 0 |
| 16 | 115 | 54,1 | 0 |
| 17 | 39 | 0 | 0 |
| 18 | 729 | 0 | 0 |
| 19 | 52 | 0 | 0 |
| 20 | 54 | 37 | 0 |
| 21 | 1231 | 0 | 5 |
| 22 | 1331 | 0 | 5 |
| 23 | 731 | 0 | 5 |
| 24 | 831 | 0 | 5 |
| 25 | 931 | 0 | 5 |
| 26 | 1031 | 0 | 5 |
| 27 | 1131 | 0 | 5 |
| 28 | 600 | 0 | 30 |
| 29 | 700 | 0 | 0 |
| 30 | 829 | 0 | 0 |
| 31 | 929 | 0 | 0 |
| 32 | 37 | 0 | 0 |
| 33 | 627 | 0 | 30 |
| 34 | 64 | 0 | 10 |
| 35 | 764 | 0 | 10 |
| 36 | 664 | 0 | 10 |
| 37 | 665 | 0 | 0 |
| 38 | 970 | 0 | 5 |
| 39 | 870 | 0 | 12,8 |
| 40 | 72 | 14,2 | 0 |
| 41 | 73 | 0 | 25 |
| 42 | 112 | 10,3 | 0 |
| 43 | 77 | 19,6 | 0 |
| 44 | 78 | 0 | 0 |
| 45 | 79 | 17,6 | 0 |

| Id | Num_Barra | Carga | Generación |
|----|-----------|-------|------------|
| 46 | 74 | 0 | 0 |
| 47 | 15 | 33,9 | 0 |
| 48 | 14 | 0 | 0 |
| 49 | 21 | 0 | 0 |
| 50 | 22 | 73 | 0 |
| 51 | 148 | 39,2 | 5 |
| 52 | 18 | 0 | 0 |
| 53 | 16 | 0 | 0 |
| 54 | 17 | 80,5 | 0 |
| 55 | 770 | 0 | 29,5 |
| 56 | 122 | 1,5 | 0 |
| 57 | 25 | 0 | 0 |
| 58 | 24 | 0 | 0 |
| 59 | 27 | 44,4 | 0 |
| 60 | 601 | 0 | 100 |
| 61 | 901 | 0 | 100 |
| 62 | 801 | 0 | 100 |
| 63 | 701 | 0 | 100 |
| 64 | 1 | 0 | 101,5 |
| 65 | 7 | 0 | 115 |
| 66 | 907 | 0 | 115 |
| 67 | 807 | 0 | 115 |
| 68 | 707 | 0 | 115 |
| 69 | 607 | 0 | 115 |
| 70 | 2 | 0 | 0 |
| 71 | 3 | 0 | 0 |
| 72 | 42 | 0 | 0 |
| 73 | 43 | 65,5 | 0 |
| 74 | 103 | 20,5 | 0 |
| 75 | 102 | 0 | 0 |
| 76 | 47 | 0 | 0 |
| 77 | 48 | 74,8 | 0 |
| 78 | 29 | 0 | 0 |
| 79 | 30 | 7,8 | 0 |
| 80 | 80 | 0 | 0 |
| 81 | 681 | 0 | 35 |
| 82 | 81 | 0 | 35 |
| 83 | 45 | 0 | 0 |
| 84 | 44 | 0 | 0 |
| 85 | 46 | 25,3 | 0 |
| 86 | 41 | 10,7 | 0 |
| 87 | 87 | 39 | 10 |
| 88 | 86 | 0 | 0 |
| 89 | 63 | 83,8 | 0 |
| 90 | 62 | 0 | 0 |
| 91 | 50 | 0 | 0 |
| 92 | 49 | 0 | 0 |
| 93 | 51 | 42,4 | 0 |
| 94 | 26 | 0 | 0 |

| Id | Num_Barra | Carga | Generación |
|-----|-----------|-------|------------|
| 95 | 28 | 28,1 | 0 |
| 96 | 59 | 61,8 | 0 |
| 97 | 58 | 0 | 0 |
| 98 | 57 | 0 | 0 |
| 99 | 55 | 0 | 0 |
| 100 | 56 | 49 | 0 |
| 101 | 34 | 0 | 0 |
| 102 | 31 | 376,5 | 0 |
| 103 | 60 | 24,2 | 0 |
| 104 | 83 | 43,8 | 0 |
| 105 | 84 | 0 | 0 |
| 106 | 85 | 0 | 0 |
| 107 | 32 | 0 | 0 |
| 108 | 33 | 0 | 0 |
| 109 | 38 | 72,2 | 0 |
| 110 | 91 | 0 | 0 |
| 111 | 92 | 13,3 | 13 |
| 112 | 631 | 0 | 25 |
| 113 | 35 | 0 | 70 |
| 114 | 36 | 0 | 70 |
| 115 | 632 | 0 | 0 |
| 116 | 165 | 0 | 0 |
| 117 | 70 | 162,2 | 0 |
| 118 | 71 | 0 | 0 |
| 119 | 765 | 0 | 20 |
| 120 | 94 | 0 | 0 |
| 121 | 93 | 0 | 0 |
| 122 | 693 | 0 | 0 |
| 123 | 793 | 0 | 0 |
| 124 | 622 | 0 | 0 |
| 125 | 638 | 0 | 0 |
| 126 | 738 | 0 | 0 |

ANEXO 12

DATOS PARA LA PREDICCIÓN DEL DÍA LUNES

| HORA | SEMANA 1 | SEMANA 2 | SEMANA 3 | SEMANA 4 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 933,4 | 973,8 | 964,2 | 982,1 |
| 2 | 899,9 | 939,2 | 932,5 | 965,1 |
| 3 | 884,3 | 916,5 | 916,4 | 941,6 |
| 4 | 874,0 | 902,8 | 899,2 | 930,7 |
| 5 | 912,3 | 938,9 | 944,7 | 971,7 |
| 6 | 1.039,2 | 1.065,5 | 1.059,2 | 1.028,6 |
| 7 | 1.037,2 | 1.061,5 | 1.054,0 | 972,5 |
| 8 | 1.113,6 | 1.106,0 | 1.102,1 | 999,5 |
| 9 | 1.214,3 | 1.216,6 | 1.234,7 | 1.086,0 |
| 10 | 1.231,7 | 1.254,5 | 1.262,1 | 1.095,5 |
| 11 | 1.256,2 | 1.279,4 | 1.298,6 | 1.126,5 |
| 12 | 1.268,3 | 1.279,9 | 1.300,5 | 1.139,1 |
| 13 | 1.221,0 | 1.246,7 | 1.274,4 | 1.109,9 |
| 14 | 1.243,2 | 1.276,4 | 1.300,4 | 1.116,0 |
| 15 | 1.240,5 | 1.302,5 | 1.330,2 | 1.137,8 |
| 16 | 1.245,1 | 1.293,5 | 1.324,6 | 1.132,0 |
| 17 | 1.262,1 | 1.274,5 | 1.299,2 | 1.118,6 |
| 18 | 1.361,7 | 1.369,8 | 1.393,6 | 1.245,8 |
| 19 | 1.780,0 | 1.787,8 | 1.805,9 | 1.721,0 |
| 20 | 1.735,9 | 1.739,4 | 1.753,5 | 1.666,1 |
| 21 | 1.593,6 | 1.604,2 | 1.607,5 | 1.535,6 |
| 22 | 1.397,1 | 1.405,2 | 1.401,2 | 1.340,5 |
| 23 | 1.155,0 | 1.186,0 | 1.190,0 | 1.135,1 |
| 24 | 1.009,5 | 1.042,7 | 1.043,3 | 971,7 |

ANEXO 13

MANUAL DE USUARIO

DEL SOFTWARE DEL DESPACHO

HIDROTERMICO APLICADO AL S.N.I.

PARA WINDOWS



Qué es Despacho Hidrotérmico aplicado al S.N.I.?

En un sistema como el ecuatoriano, cuya generación proviene de centrales Hidroeléctricas y Térmicas es conveniente diseñar una metodología con el fin de conseguir la mejor utilización de los recursos hídricos y optimizar el uso de los combustibles, de tal forma que se logre cubrir la demanda de la forma más económica.

Este método es el que se denomina Despacho Hidrotérmico y ha sido implementado al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) en el presente software.

Bienvenido al Proyecto

Despacho Hidrotérmico Aplicado al S.N.I. para Windows



1. OBJETIVO

Contar con una herramienta de fácil uso que permita ingresar y consultar los sistemas de generación, encontrar sus pérdidas, las unidades a despacharse con el fin de minimizar sus costos en forma automática a través de métodos de optimización.

Contar con una herramienta que ayude a la toma de decisiones en el proceso de despacho de generación dentro de un sistema de potencia.

Racionalización de los recursos Hídricos dentro de un periodo determinado

2. VENTAJAS

Uso de método interactivo sin necesidad de dar valores iniciales.

Describe el comportamiento de la generación térmica a partir de los recursos hidráulicos disponibles con el fin de minimizar los costos de maniobra del parque térmico.

Presentación de volúmenes por periodos lo que permite calcular con restricciones máximas y mínimas con el fin de obtener resultados reales.

3. CARACTERÍSTICAS

Funciones: Las transacciones han sido agrupadas en distintos menús de acuerdo a sus características comunes, con la finalidad de facilitar el acceso del usuario a lo que requiera utilizar.

Fácil Uso: La estructura de la aplicación, por el hecho de estar bajo el sistema de Windows, permite navegar en ella de una manera sencilla y rápida.

Simplicidad: Permite escoger entre diferentes opciones las información que requiere.

4. REQUERIMIENTOS

Sistema Requerido

El sistema requerido para realizar la instalación de la Aplicación Despacho Económico para Windows es el siguiente:

| | |
|-------------------|--|
| Computador | Requerimiento mínimo 486 o Superior PC Compatible Requerimiento recomendado Pentium II o superior PC Compatible |
| Recursos | 32 MB de RAM 4 MB espacio libre de disco duro. |
| Sistema | Windows 95, Windows 98 o superior |

5. COMO INGRESAR A LA APLICACIÓN

Para entrar a la aplicación de Despacho Económico bajo Windows realice los siguientes pasos:

1. Haga doble-clic sobre el icono del programa
2. Automáticamente le aparecerá la siguiente pantalla.
3. En esta pantalla se observa lo siguiente:

Barra de Menús en la cual constan el menú de Archivos – Salir ; y los botones de las opciones.

Barra de herramientas en la cual constan las siguientes opciones

- Crear Nueva Base de datos
- Abrir Base de Datos Existente



6. ¿Qué permite realizar cada una de las opciones?

6.1 MENU ARCHIVO

El menú archivo está compuesto de las siguientes opciones:

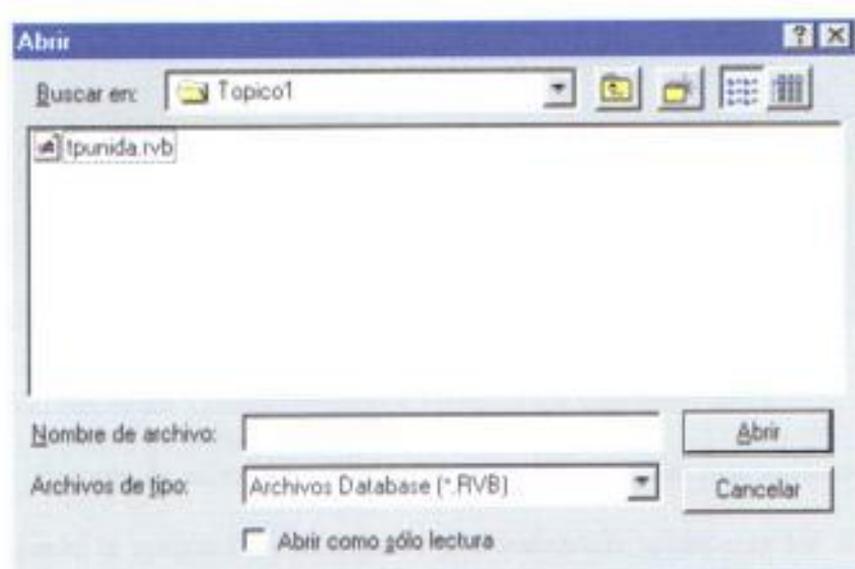
- Abrir
- Nuevo

6.1.1 ABRIR

Con esta opción se ingresa a la pantalla para elegir el archivo del cual se tiene guardados la información de los proyectos de generación.

Modo de empleo.

1. Seleccione la opción "Abrir" del menú "Archivo"
2. La aplicación presentará la siguiente pantalla:



3. Seleccione el Proyecto en el cual va a trabajar y dé clic en el botón "Abrir".
4. Luego de haber escogido el proyecto automáticamente aparecerá la siguiente pantalla el cual contendrá la información para el calculo del valor del agua:

Datos por Generador

Botón de Desplazamiento Generadores

Valor Agua

Numero de Generadores:

Numero de Periodos:

Numero Horas Periodo:

Barra de Oscilacion:

Demandas de Generadores por Periodos

| Periodo | DEMANDA | Generador H1 | Gener. 2 |
|---------|---------|--------------|----------|
| 1 | 892.74 | | |
| 2 | 871.29 | | |
| 3 | 864.55 | | |
| 4 | 861.98 | | |
| 5 | 879.94 | | |
| 6 | 975.02 | | |

| Periodo | Aportes Naturales M ³ Gen. 1 | Aportes Na. 2 |
|---------|---|---------------|
| 1 | 151.20 | |
| 2 | 151.20 | |
| 3 | 151.20 | |
| 4 | 151.20 | |
| 5 | 151.20 | |
| 6 | 151.20 | |

Valores Generador No. 1

Barra: Con Restriccion Volumen Sin Restriccion Volumen

K_A γ_G γ_I H_n

γ_G (Eficiencia Generador)

γ_I (Eficiencia Turbina)

H_n (Altura de Caída Neta)

Habilita Limite Volúmenes

Volumen Maximo Volumen Inicial (V₀)

Volumen Minimo Volumen Final (V_f)

Energia Hidro Disponible MWh

Habilita Limite Potencias

Potencia Maxima

Potencia Minima

Barra de Desplazamiento Generadores

En el Recuadro valores Generador incluyen los siguientes datos:

- Numero de Barra
- Botones de radio: Con restricción de Volúmenes, Sin restricción de Volúmenes

Cuando la opción *Con restricción* está encendida aparecerán los siguientes valores a ingresar:

- Valor de Constante K
- Valor de Eficiencia
- Valor de Eficiencia Turbina
- Altura de Caída Neta.
- Volumen Máximo
- Volumen Mínimo
- Volumen Inicial (V₀)
- Volumen Final (V_f)
- Potencia Máxima
- Potencia Mínima

Cuando la opción *Sin restricción* esta encendida aparecerán los siguientes valores a ingresar:

- Energía Hidro Disponible
- Potencia Máxima
- Potencia Mínima

Valor Agua

Numero de Generadores: 4

Numero de Periodos: 24

Numero Horas Periodo: 1

Banda de Oscilacion: 01

Demandas de Generadores por Periodos

| Periodo | DEMANDA | Generador H1 | Gener |
|---------|---------|--------------|-------|
| 1 | 830.74 | | |
| 2 | 871.29 | | |
| 3 | 864.55 | | |
| 4 | 861.88 | | |
| 5 | 873.34 | | |
| 6 | 975.02 | | |

Valores Generador No. 1

Banda: Con Restriccion Volumen Sin Restriccion Volumen

Energia Hido Disponible MWh: 0

Habilita Limite Potencias

Potencia Maxima: 70

Potencia Minima: 0

Aportes Naturales M³ Gen. 1

| Periodo | Aportes Naturales M ³ Gen. 1 | Aportes Na |
|---------|---|------------|
| 1 | 15120 | |
| 2 | 15120 | |
| 3 | 15120 | |
| 4 | 15120 | |
| 5 | 15120 | |
| 6 | 15120 | |

Botón Salir.- saldrá de la pantalla de cálculo del valor del agua y regresará al menú principal

Botón Procesar.- Procesará la información ingresada de antemano y procederá a realizar los cálculos de la generación de volúmenes. Al finalizar el proceso de Calculo mostrará la siguiente pantalla como resultado del proceso:

Resultados

RESULTADOS VOLUMENES

Volumenes por Generador

| Periodo | Gener. 1 | Gener. 2 | Gener. 3 |
|---------|--------------|----------|------------|
| 1 | 100700000 | 79407200 | 1755000 |
| 2 | 100700000 | 79630400 | 1771285.71 |
| 3 | 100700000 | 79853600 | 1806828.57 |
| 4 | 100700000 | 80076800 | 1850000 |
| 5 | 100699999.99 | 80300000 | 1850000 |

| Periodo | Gener. 1 |
|---------|----------|
| 24 | |
| | |
| | |
| | |
| | |

La pantalla de resultado muestra los siguientes valores

Volúmenes por Generador

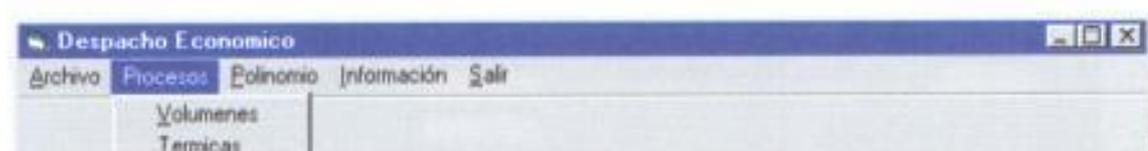
- Periodo
- Volumen Generador 1, Generador 2...

Rebosamiento de Generadores

- Periodo
- Rebosamiento Generador 1, 2...

El Botón Salir regresara cerrará la pantalla actual y aparecerá el menú principal.

5. Después de realizar los cálculos del valor del Agua aparecerá la pantalla de menú Principal y se deberá escoger la opción Térmicas del menú de Proceso:



Al escoger la opción térmicas mostrará los datos de los generadores térmicos que se utilizaran para el despacho:

Despacho Economico

Archivo Procesos Calcular Polinomio Información Salir

Datos Generales de los Generadores

| Unidad | Barra | Pot.Min | Pot.Max | Cost Frio | Cost Caliente | Tiempo Conex. | Tiempo Desconex. | Costo sin Carga |
|--------|-------|---------|---------|-----------|---------------|---------------|------------------|-----------------|
| 19 | 632 | 30 | 133 | 18269.33 | 18269.33 | 6 | 6 | 3653.866 |
| 10 | 53 | 60 | 125 | 14774.94 | 14774.94 | 6 | 6 | 2954.988 |
| 7 | 36 | 23 | 73 | 2804.46 | 2804.46 | 6 | 6 | 560.892 |
| 6 | 35 | 23 | 73 | 2804.46 | 2804.46 | 6 | 6 | 560.892 |
| 37 | 1231 | 12 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 1331 | 12 | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Despacho Economico

Generador No.

Barra No.

Costos

Costo Arranque en Frío (\$/h)

Costo Arranque en Caliente (\$/h)

Costo sin Carga (\$/h)

Costo Full Carga (\$/MWh)

Costo Combustible (\$/h)

Limites de la Unidad

Potencia Mínima (MW)

Potencia Máxima (MW)

Tiempo Mínimo Conexión (h)

Tiempo Mínimo Desconexión(h)

Nuevo **Eliminar** **Cancelar**

Modificar **Grabar** **Salir**

Los datos de ingreso que se mostraran en el grid son los siguientes:

- Generador No
- No de Barra

Valores de Costos:

- Costos de Arranque en Frío (\$/h)
- Costo de arranque en Caliente (\$/h)
- Costo sin Carga las unidades en \$/h,
- Costo full Carga las unidades en \$/h,
- Costo del Combustible(\$/h),

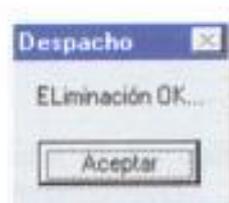
Limites de las Unidades Térmicas:

- Potencia Mínima (MW),
- Potencia Máxima (MW),
- Tiempo Mínimo de Conexión(h),
- Tiempo Mínimo de Desconexión (h)

Para ingresar los valores de los generadores térmicos se deberá presionar el botón Nuevo y llenar cada campo solicitado, si no se ingresa información en estos campos, la aplicación presentará un mensaje indicando qué información debe ingresar. Una vez ingresado los datos del generador o generadores, de clic en el botón "Grabar", la aplicación presentará el siguiente mensaje:



5. De clic en el botón "Aceptar".
6. Para Eliminar un Generador en uso Elija el generador en la cuadrícula y presione el botón Eliminar, la aplicación mostrará el siguiente mensaje:



7. Para Modificar los datos de un Generador Elija en la cuadrícula de los Generadores, el Generador al cual se le van a modificar los datos, esto provocará que el grupo de datos de Costos y Límites de la Unidad se activen mostrando los datos de la unidad a modificar, modifique la información necesaria y luego presione el botón "Grabar" caso contrario si los datos no quiere que sean modificados presione el Botón "Cancelar".

6.1.2 POLINOMIO

Esta opción permite consultar los datos de la Ecuación Polinómica de cada Generador en uso.

Modo de empleo

1. Haga clic en el Botón "Polinomio" de la barra de Menú, se visualizará la siguiente pantalla:

Grado del Polinomio

Coeficientes de cada Generador

| | C | X | X ² |
|---|-----|-----|----------------|
| 1 | 112 | 8 | 0.004 |
| 2 | 200 | 6.4 | 0.0048 |

Nuevo Grabar Cancelar

2. Podrá consultar los datos de los coeficientes de todos los generadores que se encuentran en uso dentro del proyecto.
3. En caso de que no existan datos de las ecuaciones mostrará el siguiente mensaje, deberá presionar el botón <Enter> para continuar:

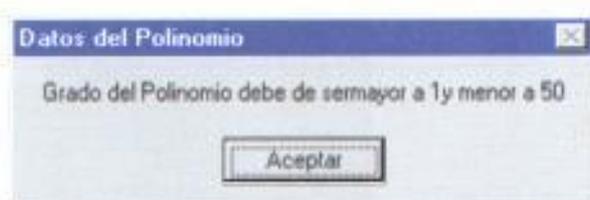
Datos del Polinomio

No existen Unidades de para Polinomio

Aceptar

4. Para ingresar un nuevo grado de polinomio deberá presionar el Botón "Nuevo" e ingresar el grado de polinomio con el cual se va a trabajar, y a su vez los datos de los coeficientes de cada Generador en uso, deberá ser llenado todos los campos de la cuadrícula y luego de ingresar la información requerida presionar el botón "Grabar",

la aplicación validará los datos ingresados los cuales, si estos no son bien ingresados mostrará lo siguiente pantalla:



5. Deberá dar clic en el botón "Aceptar " y deberá ingresar la información que se requiere.
6. Para salir de la transacción "Ecuación Polinómica" haga clic en el botón "Cancelar" de la pantalla, la misma que se muestra en el punto 1.

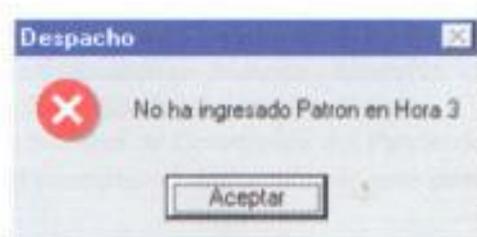
6.1.3 CALCULAR

Con esta opción se calcula las combinaciones óptimas de generación.

Modo de empleo

1. Presione el botón "Calcular " en la Barra de Menú de la pantalla de "Despacho Económico", inmediatamente visualizará la Ventana de "Selección Óptima de las Unidades".

- Validará también que el patrón de carga sea mayor a 0, de lo contrario mostrará el siguiente mensaje:



- Presione el botón "Aceptar" y Rectifique o actualice los datos del patrón de carga luego haga clic en el botón "Procesar".
- Para salir de esta transacción de Cálculo deberá presionar el botón "Regresar" y retornará a la pantalla de Despacho Económico.

6.1.3.1 PROCESAR

- El botón "Procesar" realiza el Cálculo del Despacho Optimo de Potencia en cada hora que fue ingresada en el Patrón de Carga de la pantalla "Selección Optima de Unidades".
- El cálculo del Despacho Optimo de Potencias se mostrará de la siguiente forma.

| Despacho Optimo de Potencias | | | | | | |
|------------------------------|-------------|----------------|-----------|-----------|-----------|---|
| Generación Total MW/hora | | | | | | |
| Hora | Lambda \$/h | Generacion Tot | PG.# 1 MW | PG.# 2 MW | PG.# 3 MW | F |
| 1 | 48.49 | 763.89 | 133.00 | 125.00 | 73.00 | |
| 2 | 48.49 | 763.89 | 133.00 | 125.00 | 73.00 | |
| 3 | 48.49 | 763.89 | 133.00 | 125.00 | 73.00 | |
| 4 | 48.49 | 763.89 | 133.00 | 125.00 | 73.00 | |
| 5 | 49.115 | 766.84 | 133.00 | 125.00 | 73.00 | |

Costos
Regresar

| Cuadro de Selección de Unidades en Marcha | | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Hora | Carga Necesaria | Generador# 1 | Generador# 2 | Generador# 3 | Generador# 4 |
| 1 | 763.89 | En Línea | En Línea | En Línea | En Línea |
| 2 | 763.89 | En Línea | En Línea | En Línea | En Línea |
| 3 | 763.89 | En Línea | En Línea | En Línea | En Línea |
| 4 | 763.89 | En Línea | En Línea | En Línea | En Línea |
| 5 | 766.84 | En Línea | En Línea | En Línea | En Línea |

3. En esta pantalla aparecerán 2 cuadrículas:

Generación Total MW/Hora.- Mostrará la Generación Total requerida, la potencia generada por Generador en cada hora, el lambda calculado.

Cuadro de Selección de Unidades en Marcha.- Mostrará los generadores que están trabajando para la hora determinada y la carga necesaria.

4. Para mostrar los Costos Mínimo de Generación del Patrón de Carga deberá presionar el botón "Costos", caso contrario si desea salir de esta pantalla deberá presionar el botón "Regresar".

Para consultarlos costos de Generación presione el botón "Costos" y mostrará la siguiente pantalla:

Costos Mínimo de Operación

Cuadro de Encendido

| Generador | Hora 1 | Hora 2 | Hora 3 | Hora 4 | Hora 5 | Hora 6 | Hora 7 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|
| 1 | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Apagado | Apagar |
| 2 | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Apagado | Apagar |
| 3 | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Apagado | Apagar |
| 4 | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Apagado | Apagar |
| 5 | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Encendido | Apagado | Apagar |

Cuadro de Costos/hora

| Hora | Costos |
|------|------------|
| 1 | 32991.6389 |
| 2 | 65811.3187 |
| 3 | 65811.3187 |
| 4 | 65811.3187 |
| 5 | 65955.0577 |
| 6 | 7990.0751 |

Costo Total Generado (\$): 448192.0796

Regresar

5. En esta pantalla mostrará la siguiente información:

5.1 El primer cuadro muestra las unidades que estarán encendidas realmente por cada hora esto estará calculado según las especificaciones que se ingresaron en los datos generales de cada generador, el tiempo de conexión y desconexión.

5.2 El segundo cuadro, el de Costos que se han generado en cada hora.

5.3 Costo Total Generado, es el costo que producirá en forma total todo el Patrón de Carga.

5.4 El botón "Regresar" , regresará a la pantalla anterior.

6.1.4 FACTORES DE NODOS

Con esta Opción ingresaremos los datos de las Líneas y Barras para encontrar factores de nodos por cada hora.

Modo de empleo.

Seleccione en la barra de Menú la opción "Procesos" y escoja la opción Factores Nodos, esto mostrará la siguiente pantalla:

No. de Barras: Hora:

Datos de Línea

| De Barra a Barra | Serie Z | | Paralelo Y |
|------------------|----------|----------|-------------------|
| | R (p.u.) | X (p.u.) | 1/X (p.u.) |
| 1 2 | 0 | 0.1464 | -6.83060109289617 |
| 1 3 | 0 | 0.1464 | -6.83060109289617 |
| 5 4 | 0 | 0.1591 | -6.28535512256443 |
| 5 105 | 0.0059 | 0.0185 | -54.054054054054 |
| 6 7 | 0 | 0.1 | -10 |
| 6 52 | 0.0399 | 0.118 | -8.47457627118644 |
| 10 11 | 0 | 0.0684 | -14.6198830409357 |
| 10 48 | 0.1146 | 0.3576 | -2.79642058165548 |

Línea: ·
 Serie Z-R: Serie Z-X:

Base (Mw):

1.- Aquí se ingresarán el número de Barras del sistema, y los datos de Resistencia, Reactancia, Susceptancia en por Unidad de cada Línea de transmisión.

2.- Al Presionar el Botón de "Datos de Barra" mostrará la siguiente pantalla:

Datos de Lineas/Barras (Factor de Nodos)

No. de Barras: Hora:

Datos de Barra

No. de Barras:

| Barra | R | G | C | Generación | Carga |
|-------|---|---|---|------------|----------|
| | | | | Potencia | Potencia |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 114.03 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.99 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19.9 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 125 | 0 |

Base (Mw)

Generación
 Barra:
 Pot. Activa (p.u.):

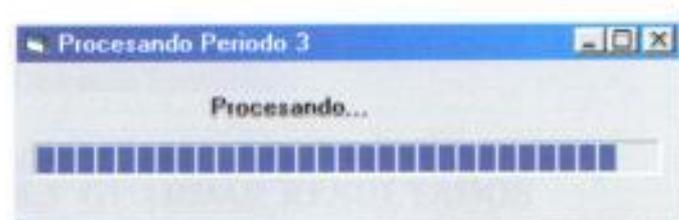
Carga
 Potencia Activa (p.u.):
 G
 C

3.- En esta pantalla se ingresaran los datos de la Corrida de Flujos del Sistema que se va a Analizar.

3.2 Para indicar si una barra es de Generación deberá seleccionar la opción "G", si la barra también es de carga deberá seleccionar la opción "C" o indistintamente.

4.- Para Eliminar los datos de una barra se deberá posicionar en la barra correspondiente y se presionará el botón <Eliminar>, en caso de modificación de alguna barra, de igual forma se deberá elegir la barra correspondiente y presionar el botón <Modificar>, cuando se haya modificado los datos de la barra elegida, deberá presionar el botón <Ingresar> para actualizar los datos y Presionar el botón <Grabar> para guardar los datos en la Base de Datos, caso contrario los datos se perderán.

5.- Al Presionar el Botón Factor, realizará el cálculo de Factores de Nodos mostrará la siguiente pantalla:



Terminado el proceso de cálculo mostrará los resultados como se muestra en la siguiente pantalla:

Resultado Factores de Nodos

Factores por Periodo

| | Periodo 1 | Periodo 2 | Peri |
|----|-----------|-----------|------|
| | 0 | 0 | |
| 2 | 1 | 1 | |
| 3 | 1 | 1 | |
| 4 | 0.9996071 | 0.9998328 | 0: |
| 5 | 0.9996071 | 0.9998328 | 0: |
| 6 | 0.994105 | 0.9936135 | 0: |
| 7 | 0.994105 | 0.9936135 | 0: |
| 8 | 1.0097819 | 1.0090781 | 1: |
| 9 | 0.9907599 | 0.9902301 | 0: |
| 10 | 0.9988163 | 0.9984215 | C |

Perdidas

| Periodo | Perdidas |
|---------|----------|
| 1 | 5.08221 |
| 2 | 4.98025 |
| 3 | 4.94536 |
| 4 | 4.99259 |
| 5 | 5.14156 |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |

Regresar

En el primer grid los factores de cada barra por cada uno de los periodos, en el segundo grid mostrará las pérdidas generadas por cada periodo.

Para regresar deberá presionar el Botón Regresar.

6.2 INFORMACION

Esta opción mostrará la información del sistema, versión e integrantes del Tópico de Despacho Económico.

6.3 GUARDAR RESULTADOS

Esta opción guardará los resultados obtenidos en una hoja de cálculos Excel

6.4 SALIR DE LA APLICACIÓN

Esta opción permite salir de la aplicación

Modo de empleo

1. Haga clic en el Menú "Archivo", y se escoge el SubMenú "Salir", o presione el botón Salir de la Barra de Herramientas de la pantalla principal de Despacho.
-

ANEXO 14

| Periodo | Demanda | Generador 1 (MW) | Generador 2 (MW) | Generador 3 (MW) | Generador 4 (MW) |
|----------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 892.74 | 14.8170 | 0 | 114.00 | 0 |
| 2 | 871.29 | 14.8170 | 0 | 82.5799 | 0 |
| 3 | 864.55 | 14.8170 | 0 | 85.8399 | 0 |
| 4 | 861.89 | 14.8170 | 0 | 83.17 | 0 |
| 5 | 879.94 | 14.8170 | 0 | 98.2798 | 0 |
| 6 | 875.82 | 14.8170 | 0 | 99.2699 | 0 |
| 7 | 873.04 | 14.8170 | 0 | 97.2899 | 0 |
| 8 | 888.19 | 14.8170 | 0 | 88.2798 | 0 |
| 9 | 1059.43 | 57.8028 | 0 | 105.8183 | 0 |
| 10 | 1064.54 | 57.8028 | 0 | 110.7283 | 0 |
| 11 | 1082.32 | 57.8028 | 0 | 122.8576 | 15.8508 |
| 12 | 1094.89 | 57.8028 | 0 | 122.8576 | 18.0208 |
| 13 | 1092.27 | 57.8028 | 0 | 98.4583 | 0 |
| 14 | 1052.35 | 57.8028 | 0 | 95.5383 | 0 |
| 15 | 1087.68 | 57.8028 | 0 | 122.8576 | 10.4108 |
| 16 | 1085.09 | 57.8028 | 0 | 122.8576 | 8.4108 |
| 17 | 1114.48 | 57.8028 | 0 | 122.8576 | 27.8207 |
| 18 | 1209.8 | 57.8028 | 86.9971 | 122.8576 | 48.2308 |
| 19 | 1611.27 | 57.8028 | 968.3672 | 122.8576 | 48.2308 |
| 20 | 1481.77 | 57.8028 | 338.8672 | 122.8576 | 48.2308 |
| 21 | 1387.55 | 57.8028 | 344.8471 | 122.8576 | 48.2308 |
| 22 | 1295.53 | 57.8028 | 82.1272 | 122.8576 | 0 |
| 23 | 1042.58 | 58.0812 | 0 | 95.1988 | 0 |
| 24 | 1058.42 | 58.0812 | 0 | 106.4488 | 0 |
| Sumable | | 1041.8198 | 1148.9688 | 2887.2178 | 321.4819 |

Volúmenes en (m³)

| Periodo | Embalse G1 m3 | Embalse G2 m3 | Embalse G3 m3 | Embalse G4 m3 |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 100700000 | 80223299 | 1755000 | 4420185199 |
| 2 | 100700000 | 80446400 | 1771285.714 | 4430030320 |
| 3 | 100700000 | 80999600 | 1808828.871 | 4430295480 |
| 4 | 100700000 | 80862800 | 1850000 | 4430390640 |
| 5 | 100700000 | 811199000 | 1890000 | 4435425800 |
| 6 | 100700000 | 813362000 | 1847171.429 | 4438490960 |
| 7 | 100700000 | 81562400 | 1850000 | 443858120 |
| 8 | 100700000 | 81755800 | 1850000 | 4438621280 |
| 9 | 100696015.1 | 820888000 | 1826032.983 | 4439886440 |
| 10 | 100612005.2 | 823200000 | 1793485.907 | 4439751680 |
| 11 | 100569045.3 | 824552000 | 1720244.17 | 4439701680 |
| 12 | 100524086.4 | 828784000 | 1833022.413 | 4439834034 |
| 13 | 100480075.6 | 829619000 | 1832012.519 | 4439899494 |
| 14 | 100438090.7 | 831248000 | 1851714.054 | 4439784054 |
| 15 | 100382105.8 | 833488000 | 1981552.297 | 4439753284 |
| 16 | 100348132.9 | 835712000 | 1611330.34 | 4439758579 |
| 17 | 100304136 | 837944000 | 1441188.784 | 4439543645 |
| 18 | 100290151.1 | 83861606.51 | 1370887.027 | 4439894039 |
| 19 | 100218186.2 | 83824572.88 | 1300866.27 | 4439713286 |
| 20 | 100172181.3 | 83839430.58 | 1230445.513 | 4439444473 |
| 21 | 100128196.4 | 84094997.04 | 1180321.757 | 4429188890 |
| 22 | 100084211.8 | 84173280 | 1080900 | 4429234840 |
| 23 | 100042105.8 | 84368480 | 1113342.857 | 4429300000 |
| 24 | 100000000 | 84580000 | 1090000 | 4429300000 |

Aportes al Embalse

| Periodo | Aportes m3 Embalse 1 | Aportes m3 Embalse 2 | Aportes m3 Embalse 3 | Aportes m3 Embalse 4 |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 2 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 3 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 4 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 5 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 6 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 7 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 8 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 9 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 10 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 11 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 12 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 13 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 14 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 15 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 16 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 17 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 18 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 19 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 20 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 21 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 22 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 23 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| 24 | 15120 | 223200 | 260800 | 85190 |
| Sumable | 362880 | 8388000 | 8739200 | 1962840 |

desbordamientos (m³)

| Periodo | Desborde Embalse 1 (m3) | Desborde Embalse 2 (m3) | Desborde Embalse 3 (m3) | Desborde Embalse 4 (m3) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sumable | 0 | 0 | 0 | 0 |

Potencia Generada por Centrales Térmicas

| PERIODO | LAMBDA \$(/MW.h) | GENERACION TOTAL (MW) | UNIDAD # 19 (MW) | UNIDAD # 10 (MW) | UNIDAD # 7 (MW) | PERIODO |
|---------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------|---------|
| 1 | 48.49 | 763.89 | 133 | 125 | 73 | 1 |
| 2 | 48.49 | 763.89 | 133 | 125 | 73 | 2 |
| 3 | 48.49 | 763.89 | 133 | 125 | 73 | 3 |
| 4 | 48.49 | 763.89 | 133 | 125 | 73 | 4 |
| 5 | 48.49 | 763.89 | 133 | 125 | 73 | 5 |
| 6 | 48.49 | 763.89 | 133 | 125 | 73 | 6 |
| 7 | 48.115 | 766.84 | 133 | 125 | 73 | 7 |
| 8 | 55.726 | 890.93 | 133 | 125 | 73 | 8 |
| 9 | 55.726 | 890.93 | 133 | 125 | 73 | 9 |
| 10 | 61.997 | 875.09 | 133 | 125 | 73 | 10 |
| 11 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 11 |
| 12 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 12 |
| 13 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 13 |
| 14 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 14 |
| 15 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 15 |
| 16 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 16 |
| 17 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 17 |
| 18 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 18 |
| 19 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 19 |
| 20 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 20 |
| 21 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 21 |
| 22 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 22 |
| 23 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 23 |
| 24 | 87.272 | 895.88 | 133 | 125 | 73 | 24 |

Costos de Producción y Energía (\$)

| PERIODO | UNIDAD # 19 | UNIDAD # 10 | UNIDAD # 7 | UNIDAD # 8 | UNIDAD # 37 | PERIODO |
|-------------------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|---------|
| 1 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 1 |
| 2 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 2 |
| 3 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 3 |
| 4 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 4 |
| 5 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 5 |
| 6 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 6 |
| 7 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 7 |
| 8 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 8 |
| 9 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 9 |
| 10 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 10 |
| 11 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 11 |
| 12 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 12 |
| 13 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 13 |
| 14 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 14 |
| 15 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 15 |
| 16 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 16 |
| 17 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 17 |
| 18 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 18 |
| 19 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 19 |
| 20 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 20 |
| 21 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 21 |
| 22 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 22 |
| 23 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 23 |
| 24 | 4246.3409 | 4197.3304 | 2822.2853 | 2822.2853 | 1558.8185 | 24 |
| Total Costos Generación | 101912.1816 | 106735.9296 | 87734.8472 | 67734.8472 | 37411.644 | |

| PERIODO | UNIDAD # 6 (MW) | UNIDAD # 37 (MW) | UNIDAD # 38 (MW) | UNIDAD # 18 (MW) | UNIDAD # 31 (MW) | UNIDAD # 24 (MW) |
|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 2 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 3 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 4 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 5 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 6 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 7 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 8 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 9 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 10 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 11 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 12 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 13 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 14 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 15 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 16 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 17 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 18 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 19 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 20 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 21 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 22 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 23 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |
| 24 | 73 | 35 | 34 | 33,1 | 12,9 | 44 |

| PERIODO | UNIDAD # 38 | UNIDAD # 18 | UNIDAD # 31 | UNIDAD # 24 | UNIDAD # 14 | UNIDAD # 32 |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 2 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 3 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 4 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 5 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 6 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 7 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 8 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 9 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 10 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 11 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 12 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 13 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 14 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 15 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 16 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 17 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 18 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 19 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 20 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 21 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 22 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 23 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| 24 | 1531,1173 | 1499,2999 | 680,2976 | 2335,326 | 2335,7046 | 2342,3754 |
| | 36746,8162 | 35981,1676 | 16327,1424 | 66047,824 | 66066,9104 | 66672,6776 |

| PERIODO | UNIDAD # 14 (MW) | UNIDAD # 32 (MW) | UNIDAD # 29 (MW) | UNIDAD # 34 (MW) | UNIDAD # 17 (MW) |
|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 44 | 43,5308 | 43,5308 | 31,8 | 31,0284 |
| 2 | 44 | 43,5308 | 43,5308 | 31,8 | 31,0284 |
| 3 | 44 | 43,5308 | 43,5308 | 31,8 | 31,0284 |
| 4 | 44 | 43,5308 | 43,5308 | 31,8 | 31,0284 |
| 5 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 33,04 |
| 6 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 7 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 8 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 9 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 10 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 11 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 12 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 13 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 14 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 15 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 16 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 17 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 18 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 19 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 20 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 21 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 22 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 23 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |
| 24 | 44 | 44 | 44 | 31,8 | 34 |

| PERIODO | UNIDAD # 29 | UNIDAD # 34 | UNIDAD # 17 | UNIDAD # 8 | UNIDAD # 30 |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 1 | 2342,3754 | 1715,7507 | 1743,4354 | 646,9371 | 0 |
| 2 | 2342,3754 | 1715,7507 | 1743,4354 | 646,9371 | 0 |
| 3 | 2342,3754 | 1715,7507 | 1743,4354 | 646,9371 | 0 |
| 4 | 2342,3754 | 1715,7507 | 1743,4354 | 646,9371 | 0 |
| 5 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1841,8076 | 646,9371 | 0 |
| 6 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 850,5759 | 1145,6794 |
| 7 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 850,5759 | 1145,6794 |
| 8 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1088,1226 | 1450,4691 |
| 9 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 10 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 11 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 12 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 13 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 14 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 15 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 16 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 17 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 18 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 19 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 20 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 21 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 22 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 23 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| 24 | 2365,1988 | 1715,7507 | 1888,9014 | 1424,656 | 1450,4691 |
| | 54472,6776 | 41176,0168 | 44704,4768 | 28818,4668 | 28949,3358 |

| PERIODO | UNIDAD # 8 (MW) | UNIDAD # 30 (MW) | UNIDAD # 35 (MW) | UNIDAD # 25 (MW) | UNIDAD # 20 (MW) | UNIDAD # 36 (MW) | UNIDAD # 16 (MW) |
|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 10,8623 | 14,7246 | 18 | 5 | 12 | 9,5432 | 30 |
| 7 | 10,8623 | 14,7246 | 18 | 5 | 12 | 9,5432 | 30 |
| 8 | 14,996 | 20 | 18 | 5 | 12 | 14,3602 | 30 |
| 9 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 10 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 11 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 12 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 13 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 14 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 15 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 16 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 17 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 18 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 19 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 20 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 21 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 22 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 23 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |
| 24 | 20 | 20 | 18 | 5 | 12 | 18 | 42,08 |

| PERIODO | UNIDAD # 35 | UNIDAD # 25 | UNIDAD # 20 | UNIDAD # 36 | UNIDAD # 16 | COSTO POR PERIODO |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| 1 | 0 | 171,9691 | 0 | 0 | 0 | 32962,6369 |
| 2 | 0 | 171,9691 | 0 | 0 | 0 | 32962,6369 |
| 3 | 0 | 171,9691 | 0 | 0 | 0 | 32962,6369 |
| 4 | 0 | 171,9691 | 0 | 0 | 0 | 32962,6369 |
| 5 | 0 | 171,9691 | 0 | 0 | 0 | 33140,3779 |
| 6 | 1321,2986 | 1242,5821 | 1051,9795 | 1064,3314 | 1763,6583 | 40829,8807 |
| 7 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1064,3314 | 1763,6583 | 39971,0852 |
| 8 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1369,7414 | 1763,6583 | 40799,8316 |
| 9 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42333,0149 |
| 10 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42334,0149 |
| 11 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42335,0149 |
| 12 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42336,0149 |
| 13 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42337,0149 |
| 14 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42338,0149 |
| 15 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42339,0149 |
| 16 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42340,0149 |
| 17 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42341,0149 |
| 18 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42342,0149 |
| 19 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42343,0149 |
| 20 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42344,0149 |
| 21 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42345,0149 |
| 22 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42346,0149 |
| 23 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42347,0149 |
| 24 | 1321,2986 | 382,7896 | 1051,9795 | 1601,8425 | 2727,2071 | 42348,0149 |
| | 28164,6734 | 8992,5364 | 18687,6105 | 29167,8842 | 48926,2885 | 964165,9694 |