



Software para la Planificación de la Operación del Sistema Eléctrico Nacional.

Miriam López Pérez
Manuel Barroso Baeza

Resumen / Abstract

La operación de la planificación del Sistema Eléctrico Nacional es una tarea compleja que exige de herramientas computacionales para ello. Con este propósito los autores han desarrollado un software cuyas características se resumen en este trabajo.

Palabras claves: Sistemas de potencia, Planificación, seguridad.

The National Electric Power System plan operation is a very complex task that needs computational tools. The authors have developed software for that purpose which characteristics are resume in this work.

Key words: Power system, planning, Security.

Introducción

Los sistemas eléctricos de potencia trabajan en estado normal en régimen estable o estacionario como también suele llamársele, en tal régimen el objetivo fundamental es brindar un servicio con calidad, continuidad y seguridad al menor costo posible. Para cumplimentar con tales objetivos desde la etapa de planificación del sistema como tal se trata de garantizar de forma económica la operación del mismo, siendo esta una tarea compleja que requiere del uso de varias herramientas.

Una vez diseñado y puesto en explotación el sistema eléctrico, la operación en estado estable se garantiza en la etapa de planificación de la misma, previéndose de antemano los niveles de combustibles, mantenimientos a los componentes del sistema, y otras medidas que aseguran la operación del sistema eléctrico.

En la planificación de la operación tanto a corto como a mediano plazo juega un papel preponderante el pronóstico de la demanda, así como las tareas del predespacho de la generación y las relativas a garantizar la seguridad del sistema, para ello se han desarrollado un conjunto de herramientas computacionales que facilitan y aseguran la obtención de regímenes óptimos y seguros con el propósito de cumplimentar los requerimientos y objetivos de la operación del sistema eléctrico de potencia.

En el Sistema Eléctrico Nacional la tarea de la planificación de la operación juega un papel preponderante dado que se carece aún de medios técnicos adecuados para un control más efectivo de la misma en tiempo real.

El presente trabajo trata acerca de las características de un software desarrollado para la planificación de la operación del Sistema Eléctrico Nacional, el mismo se encuentra en explotación en el Despacho Nacional de Carga desde enero del 2000, con resultados totalmente satisfactorios.

Antes de la fecha mencionada anteriormente sólo se contaba con un programa de cubrimiento que empleaba técnicas heurísticas para realizar la tarea de despacho, este no consideraba la red y por tanto no contemplaba el efecto de las pérdidas en distribución de la carga entre las distintas unidades generadoras, además el control de los límites de transferencias se realizaba de una manera

muy rudimentaria, entre otros aspectos superados por este nuevo software.

Se incorporaron además otra serie de funciones tales como:

- *Asignación de unidades.*
- *Flujo de carga.*
- *Selector de contingencias*
- *Análisis de seguridad.*

Estas nuevas funciones posibilitan realizar un estudio más completo de la planificación de la operación del SEN, brindándose con ello respuestas técnicamente superiores con respecto a las que antes podían ofrecerse.

Este trabajo resume los algoritmos empleados, así como las particularidades de cada una de las funciones que componen este software.

Asignación de Unidades.

Debido al tiempo requerido en las tareas necesarias para poner en línea una unidad térmica, el costo de arranque y parada de las unidades, en ciertas circunstancias es más económico mantener una unidad ligeramente cargada en línea que apagarla y dado que las curvas de demanda poseen generalmente una forma irregular, el problema de la obtención de la configuración óptima de las unidades generadoras que participarán en el cubrimiento de esa demanda se convierte en un problema combinatorial complejo de optimización.

El objeto de la asignación de unidades (AU) es decidir cuáles de los generadores disponibles deben ser arrancados y cuáles deben apagarse, en fin definir las unidades que deben participar en el cubrimiento de una curva de carga dada, así como el instante en que cada una de ellas debe arrancarse o pararse, con el propósito de minimizar el costo de producción de forma tal que los requerimientos de la demanda y la reserva sean satisfechos, así como un conjunto importante de restricciones.

El horizonte normalmente se divide en un número discreto de períodos cortos de media hora o una hora de duración, usualmente de igual paso, aunque no se requiere que así sea. En cada subperíodo la demanda se establece en su valor medio.

En la operación económica de un sistema de potencia, la asignación de unidades tiene una gran importancia debido al gran porcentaje de reducción en costo que representa anualmente la realización de esta tarea en forma óptima.

Formulación del problema de asignación de unidades

El problema de asignación de unidades puede ser formulado en forma genérica como sigue:

Minimizar el Costo de Operación

Sujeto a:

Restricciones de tiempo mínimo de parada y de funcionamiento.

Restricciones dadas por los incrementos y decrementos de generación permisibles de cada unidad.

Restricciones dadas por el número máximo de unidades que pueden ser arrancadas en una misma planta.

Restricciones de generación.

La función objetivo no es más que el costo de operación agrupado en las siguientes categorías.

1. Costo del combustible.
2. Costo del mantenimiento.
3. Costo de arranque.

Los costos de arranque y parada se incluyen pues el combustible requerido para llevar la caldera a su temperatura de operación es una función no lineal en el tiempo que lleve la unidad parada. El costo de parada es independiente del tiempo que lleve la máquina funcionando, este consiste principalmente en el costo de la mano de obra y el costo de mantenimiento.

Las restricciones con mayor no-linealidad son el tiempo mínimo de funcionamiento y el tiempo mínimo de parada, estos tiempos indican que una unidad debe estar un tiempo mínimo funcionando una vez que ha sido arrancada, de igual forma debe estar un tiempo mínimo parada antes de volver a arrancarse, tales tiempos pueden ser violados sólo si se realizan ciertas acciones especiales sobre la unidad que no son objeto de este curso.

Las restricciones dadas en el conjunto denominado estado de la unidad están dadas por lo siguiente:

- Una unidad puede estar disponible en línea (encendida) o fuera de línea (apagada).
- Una unidad puede estar en régimen de mantenimiento por lo que puede estar no disponible.
- Una unidad puede trabajar en régimen base (en línea siempre).
- Una unidad puede trabajar a potencia fija.
- Una unidad puede trabajar en régimen pico (turbinas de gas), son unidades con tiempos mínimos de parada y arranque muy cortos.

Además de las restricciones planteadas la generación debe satisfacer la demanda del sistema más las pérdidas con un nivel de reserva adecuado.

Para resolver este problema de optimización con restricciones la literatura recoge el uso de múltiples métodos, más se ha demostrado que con el empleo de técnicas heurísticas en sistemas relativamente pequeños como el SEN se obtienen resultados bastante aceptables, que difieren sólo entre un 1 %-2% en relación a los que se obtienen con el uso de técnicas más sofisticadas que por lo general consumen una gran cantidad de tiempo.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente y dado que en el SEN existen muy pocas unidades generadoras con posibilidades de arranque y parada se decidió utilizar las técnicas heurísticas para resolver esta tarea.

La función asignación de unidades se activa a solicitud del usuario, quien la selecciona en el menú principal del software, actualizando luego los datos correspondientes a cada una de las unidades disponibles en el SEN, la respuesta que se obtiene en este caso es justamente el momento en que deben arrancar y parar cada una de las unidades especificadas como disponible, no se determina la magnitud de la generación de cada unidad, este problema lo resuelve la función Despacho Económico.

Despacho Económico.

La tarea de Despacho Económico se resuelve usando técnicas de programación lineal, para ello se ha planteado el siguiente modelo, que dado que contempla el control de los límites de transferencias por los elementos de la red, se ha denominado Despacho Económico con Restricciones de Seguridad.

El modelo se plantea minimizar:

Costo de la generación.

Sujeto a:

1. *Límites de capacidad de generación de cada unidad.*
2. *Límites de transferencias.*
3. *Balance de potencia.*

Contempla la red en detalles si así lo desea el usuario e incluye el efecto de las pérdidas por medio del empleo de los factores de penalización.

Los detalles acerca de este modelo de despacho aparecen en un trabajo que debe ser publicado antes que este en esta revista.

Flujo de Carga

Una vez obtenida la solución acerca de la magnitud de potencia activa que debe generar cada unidad que se ha dispuesto que esté en línea, la tarea siguiente es chequear la seguridad del SEN acorde al cumplimiento de los límites de voltaje y de generación de potencia reactiva, ello es posible con la utilización de un flujo de carga, con el cual puedan verificarse tales parámetros.

Por esa razón se ha incorporado al software un flujo de carga que carga automáticamente la información necesaria para obtener la respuesta deseada en cualesquiera de las 24 hora que comúnmente se analizan.

La función Flujo de Carga utiliza el método Desacoplado Rápido y ofrece resultados de interés para los especialistas del DNC, para lo cual antes empleaban un buen tiempo dado que se necesitaba teclear toda la información relativa a las cargas, la generación, líneas y/o transformadores fuera de servicio, etcétera, ahora con este nuevo software el sistema se encarga de transferir de forma automática toda la información de una función a otra, sin la intervención del usuario.

Selector de Contingencias

La seguridad de un sistema eléctrico de potencia se define como la capacidad del mismo de soportar cualquier contingencia sin que se violen los límites de operación especificados, por tanto este análisis exige del estudio del comportamiento del sistema ante las posibles contingencias que pueden ocurrir (salidas de líneas, transformadores y/o generadores) y para ello es preciso obtener

la respuesta de un flujo de carga con el cual se obtiene tal respuesta..

Para acometer esta tarea se pueden emplear cualesquiera de las filosofías siguientes:

- Trabajar con una lista preespecificada de contingencias. Tiene el inconveniente de que puede que se de analizar alguna contingencia no prevista en dicha lista que provoca violaciones en la seguridad, además es necesario analizarlas todas en detalle.
- Utilizar selectores de contingencias. Los selectores generan dos listas de contingencias ordenadas por su grado de severidad en cuanto a problemas de transferencias y otra en cuanto problemas de voltaje, el orden se determina acorde a la magnitud de los índices de comportamiento determinados para cada contingencia, tales índices se calculan empleando técnicas que proporcionan de manera muy aproximada la respuesta del sistema ante tales contingencias. Esta filosofía salda todas las desventajas de la anterior, por cuanto se tienen en cuenta de esta forma todas las posibles contingencias, también es mucho más rápida ya que no se analizan todas en detalle, se comienza por la primera de la lista y se termina cuando existan tres contingencias sucesivas que no provoquen violación de la seguridad del sistema.

El selector de contingencias emplea el modelo de flujo de carga de «Corriente Directa», con técnicas de compensación para simular cada una de las contingencias.

Análisis de la seguridad.

Esta función es la encargada de realizar un estudio en detalle de cada una de las contingencias ordenadas por medio del selector de contingencias. El análisis se realiza de forma automática, es decir sin intervención del usuario, ofreciendo como resultados las violaciones que producen cada contingencia, en caso de que existan, el estudio termina cuando existan tres contingencias sucesivas que no violan la seguridad del sistema.

Plan de generación mensual.

La planificación de las fuentes generadoras a largo y mediano plazo es también una tarea de vital importancia, con ella se determina la posibilidad de realizar mantenimientos a las unidades generadoras, así como las cantidades y tipos de combustibles a utilizar en cada planta y

por consiguiente las cifras de moneda libremente convertible necesaria para garantizar la generación de energía eléctrica en el país.

Características del software desarrollado.

El software objeto de este trabajo, fue desarrollado utilizando para ello el Borland Delphi V, por tanto posee todas las características de los software modernos sobre Windows. Posee un menú principal tal y como se muestra en la fig. 1 y una barra con diversos botones para facilitar el acceso a las opciones más utilizadas.

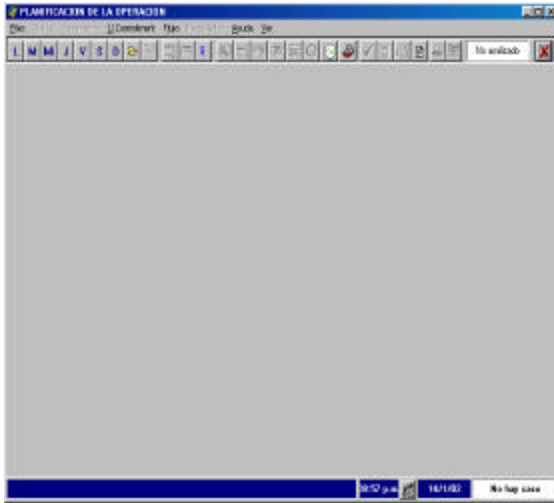


Fig. 1. Ventana principal del software.

El software emplea varios files para su trabajo, ellos son:

1. Biblioteca de unidades. Contiene toda la información acerca de las características de las unidades generadoras.
2. Datos de combustibles. Posee la información sobre la denominación del combustible, valor calórico, precio, etc.
3. Datos de la red. Contenida en tres files cada uno de los cuales corresponde con uno de los tres regímenes básicos de operación : mínima, media y máxima. Estos regímenes se utilizan para calcular los factores de distribución de la carga por barra.
4. File del caso. Contiene la información sobre la curva de demanda, las unidades que participarán en su cubrimiento, tipos de combustibles a emplear por cada una, límites de transferencias permisibles, etc.

Una vez leído el file del caso, pues los primeros files se leen automáticamente por el programa al ser cargado en memoria, según la configuración elaborada, el usuario puede modificar cualesquiera de las informaciones que contienen los mismos, para ello se ha desarrollado todo un sistema de ventana con fácil acceso y manipulación.

La asignación de unidades debido a la poca cantidad de generadores con que se cuenta actualmente con capacidad de arranque y parada no ha sido explotada aún, para ello se disponen de forma manual el período en que estarán en línea cada una de las unidades generadoras, mediante un ambiente elaborado para tal propósito.

La función Despacho Económico puede ejecutarse con varias opciones que son:

1. Despacho Económico sin pérdidas.
2. Despacho Económico con pérdidas y sin penalización.
3. Despacho Económico con pérdidas y con penalización.

La opción primera realiza la tarea del cubrimiento óptimo sin considerar las pérdidas en la red de transmisión, simplemente se tienen en cuenta las cargas en barras, que de hecho fueron determinadas a partir de un nivel de demanda pronosticado que tiene en cuenta las pérdidas del sistema, en este caso el error que se comete es el de considerar que las pérdidas no varían mucho por la distribución de la generación que se determine.

La segunda resuelve este problema, solo que no penaliza las unidades por este efecto. La tercera en cambio resuelve estos problemas. Se desarrollaron a solicitud del usuario, a modo de estudio.

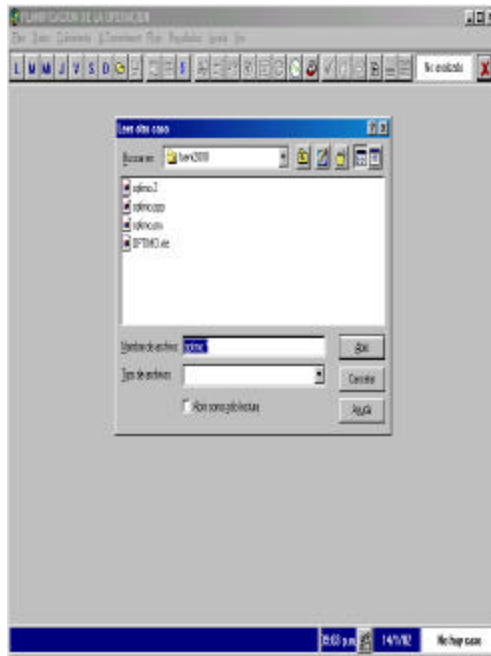


Fig. 2. Caja de diálogo para la selección del file de datos de cubrimiento.

Los resultados del cubrimiento se muestran en la fig.3, un volumen de información muy abundante se vierte en pantalla, con diversos resultados muy importantes para la planificación de la operación, ejemplo de ello se muestra en las figuras 4,5 ,6 y 7.

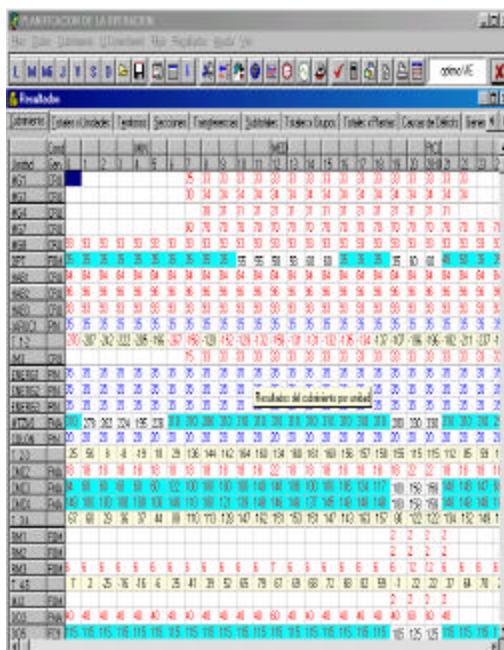


Fig. 3. Resultados que muestran la generación determinada hora a hora para cada unidad del sistema.

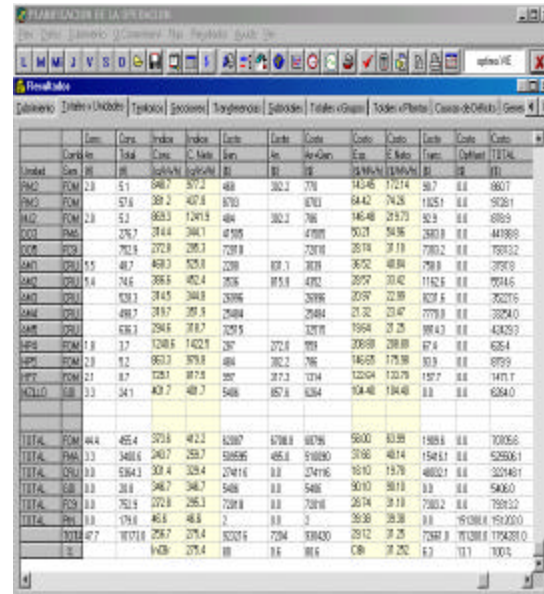
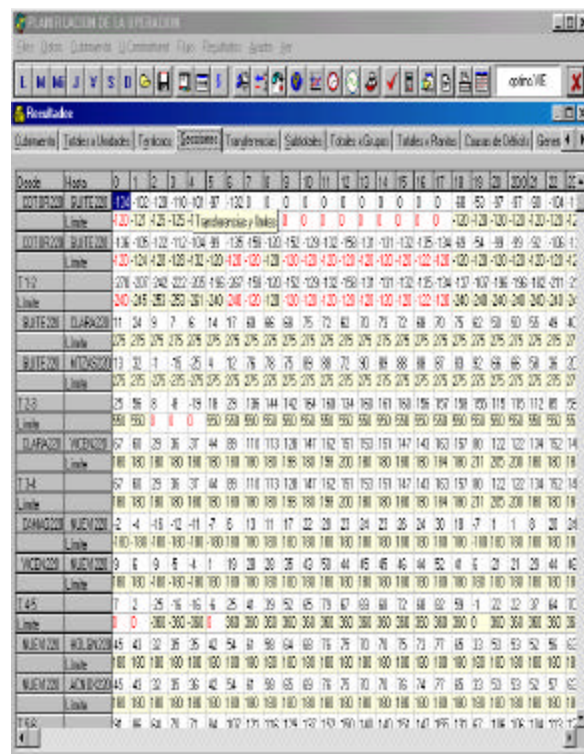


Fig.4. Resumen de resultados para cada unidad del sistema y resultados totales.

Pantallas similares a la anterior se generan por grupos de unidades y plantas.



Se genera también una pantalla correspondiente a las transferencias hora a hora por las ramas que sean seleccionadas por el usuario.

En la pantalla de resultados que aparece en la fig.3 el usuario puede conformar un caso para ser analizado por la función flujo de cargas tan sólo haciendo clic sobre la hora cuyos datos desea que contenga el file que contendrá la información para el flujo, luego selecciona la opción la correspondiente y ejecuta el flujo, obteniendo resultados con el formato que aparece en la fig.8.

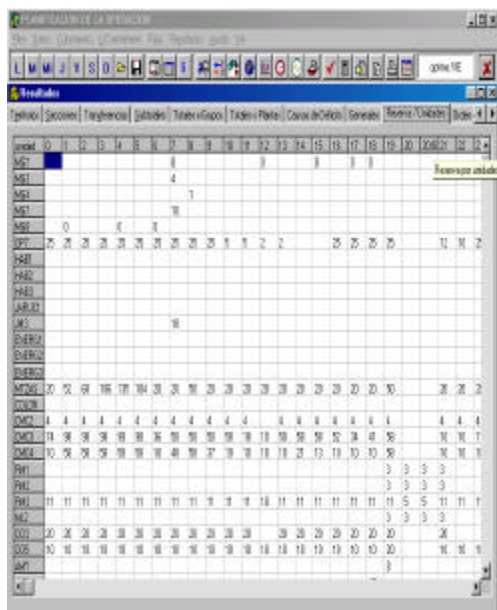


Fig. 6. Reserva por unidades hora a hora y total del sistema.

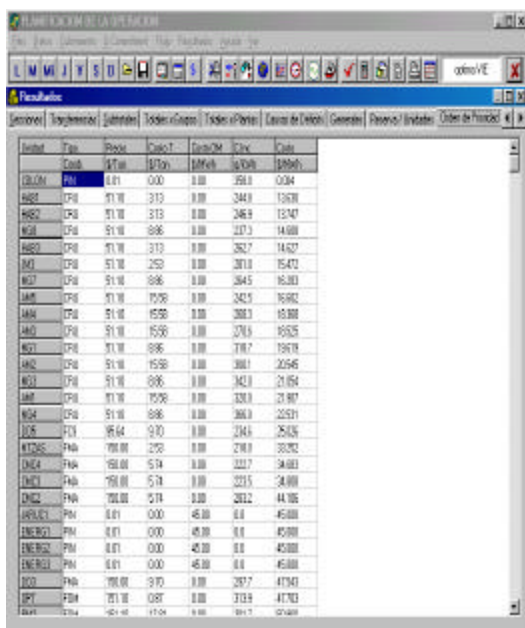


Fig. 7. Lista de orden de prioridad de las unidades.

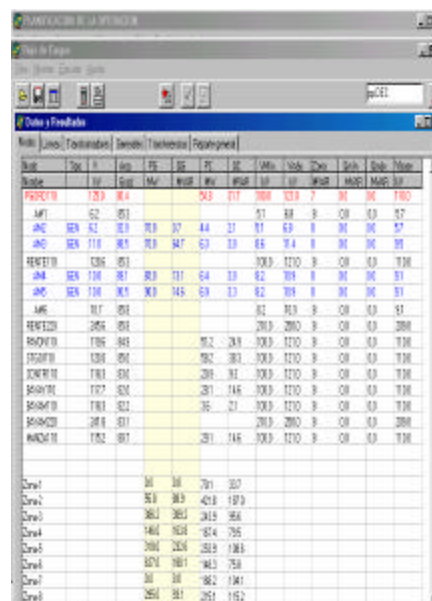


Fig.8. Resultados obtenidos por el flujo de carga (resultados de nodos).

También pueden ser visualizados las transferencias y los resultados generales, toda la información que contiene el caso puede ser modificada muy fácilmente y almacenada si así lo desea el usuario. Una vez ajustado el caso, para lo cual se han determinado las fuentes de reactivo necesarias, así como la posición de las derivaciones de los transformadores, etcétera, el usuario puede realizar un análisis de contingencias, para ello debe hacer clic en el sexto botón de derecha a izquierda y aparecerá en pocos segundos resultados con el formato de la fig. 9. Para culminar el análisis deberá hacer clic sobre el botón siguiente con lo cual se procederá a realizar un estudio en detalle de cada contingencia.

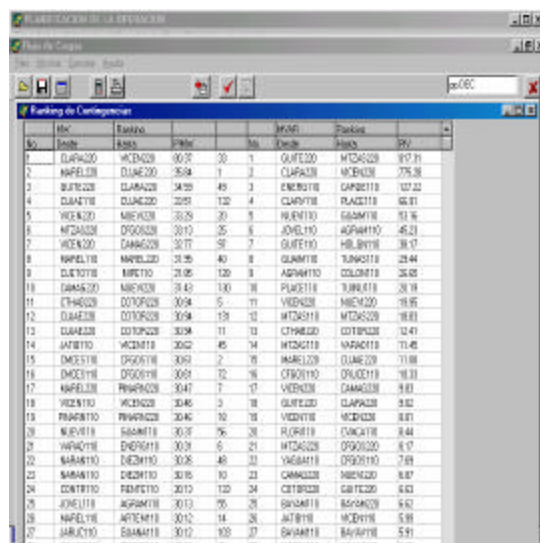


Fig.9. Resultados del selector de contingencias.

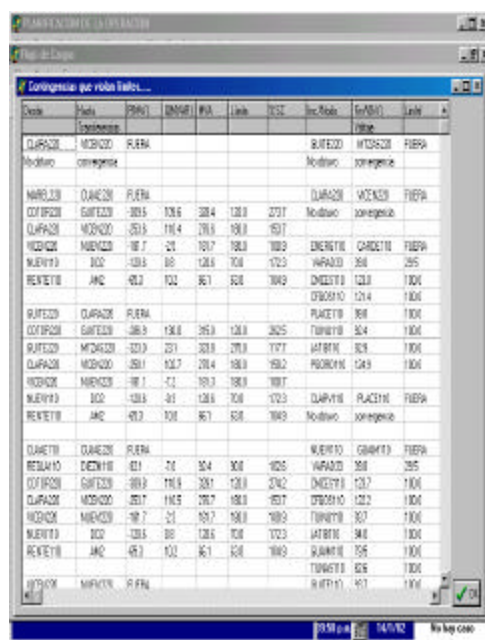


Fig. 10. Resultados del análisis de la seguridad.

Conclusiones.

1. El software desarrollado se encuentra en explotación desde enero del año 2000 en el Despacho Nacional de Carga , brindando resultados satisfactorios.

Con el empleo del mismo se ha logrado disminuir los gastos en la generación en 30 000,00 USD /día como promedio, por concepto de la optimización por costos.

2. Se ha elevado la productividad del trabajo de los especialistas dedicados a esta actividad.

3. La seguridad del sistema eléctrico se puede contemplar con este software desde la etapa de planificación de la operación.

4. Los resultados que se obtienen con la planificación a mediano plazo a posibilitado instaurar un sistema de intercambio de información muy útil entre la entidad encargada de adquirir el combustible necesario y el Despacho Nacional, siguiendo criterios técnicos - económicos, algo que anteriormente no se hacía.

Bibliografía.

1. Despacho Económico con Restricciones de Seguridad: Una modelación para el SEN. Ing. Miriam López. Dr. Manuel Barroso. Artículo en fase de publicación en la revista Energética del ISPJAE.

2. Software para la planificación de la Operación del SEN. Informe Final de Investigación, CIPEL , 1999.

3. Informe al XIII Forum de Ciencia y Técnica. La Habana , 2000.

Autores:

**Ing. Miriam López Pérez. Inv. Agregada del
CIPEL**

E-mail:mlopez@cipel.ispjae.edu.cu

**Dr.Ing. Manuel Barroso Baeza. Inv. Auxiliar
del CIPEL**

E-mail:mbarroso@cipel.ispjae.edu.cu