



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA
MECANICA Y ELECTRICA**

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS A
CORTO PLAZO EN EL MERCADO ELÉCTRICO
USANDO PROGRAMACIÓN LINEAL**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA ELECTRICA

P R E S E N T A :

FABIÁN VÁZQUEZ RAMÍREZ

DIRECTOR: Dr. RICARDO MOTA PALOMINO

CODIRECTOR: M. en. C. GILBERTO HENRIQUEZ HARPER



MEXICO, D. F. FEBRERO DE 2006



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
COORDINACIÓN GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

CARTA SESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, distrito Federal, el día **13** del mes de **ENERO** del año **2006**, el (la) que suscribe **FABIÁN VÁZQUEZ RAMÍREZ** alumno(a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA** con número de registro **B031513**, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del **DR. RICARDO OCTAVIO MOTA PALOMINO** y cede los derechos del trabajo intitulado: **“ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS A CORTO PLAZO EN EL MERCADO ELÉCTRICO USANDO PROGRAMACIÓN LINEAL”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: varafa80@hotmail.com, rmotap@ipn.mx.

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo

FABIAN VAZQUEZ RAMIREZ
Nombre y Firma



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 17:00 horas del día 13 del mes de Enero del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E. S. I. M. E. para examinar la tesis de grado titulada

“ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS A CORTO PLAZO EN EL MERCADO ELÉCTRICO USANDO PROGRAMACIÓN LINEAL”

Presentada por el alumno:

VÁZQUEZ

RAMÍREZ

FABIÁN

Apellido paterno

materno

nombre(s)

Con registro:

B	0	3	1	5	1	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

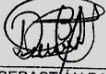
Director de tesis

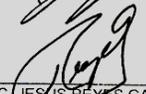

DR. RICARDO MOTA PALOMINO


DR. JAIME ROBLES GARCÍA


DR. DANIEL RUIZ VEGA


M. EN C. GILBERTO ENRIQUEZ HARPER


DR. DAVID SEBASTIÁN BALTAZAR


M. EN C. JESÚS REYES GARCÍA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


DR. JAIME ROBLES GARCÍA



*Nunca consideres el estudio como
una obligación, sino como una
oportunidad para penetrar en el bello y
maravilloso mundo del saber.*

DEDICATORIA

A mis padres, por su permanente esfuerzo y apoyo:

*Fabián Vázquez López
Minerva Ramírez Gil*

Que con el pasar de los años solo los han dedicado a llevarme siempre por el buen camino, por inculcarme unos principios, una educación y por entregarme todo su cariño, amor y amistad.

A mis hermanos y cuñada:

*Berenice Vázquez Ramírez
Roberto Vázquez Ramírez
Arianna Pineda Arellano*

Por todo el amor, comprensión y apoyo brindado hacia mí

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, salud, fortaleza y permitirme cumplir con una de mis metas

A mi familia por el apoyo brindado para la realización de esta tesis, por su cariño, por motivarme a seguir adelante, por su paciencia. Mil gracias

Le estoy particularmente agradecido al Dr. Ricardo Mota Palomino, mi director de tesis. Que gracias a su apoyo y sugerencias se realizó esta tesis. También le agradezco por brindarme su amistad, su confianza y por los consejos brindados para superarme profesional y personalmente.

A los profesores de la SEPI-ESIME-IPN, por participar y colaborar en mi formación y en adquirir las herramientas utilizadas en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Daniel Olguín Salinas por los apoyos y consejos brindados para mi formación profesional, personal y en el desarrollo de este trabajo

A los miembros del jurado: Dr. Jaime Robles García, Dr. David Sebastián Baltasar Dr. Daniel Ruiz Vega, M. en C. Gilberto Enríquez Harper, y M. en C. Jesús Reyes García por sus comentarios y sugerencias enriquecedoras para este trabajo.

A mis amigos: Obed Zarate Mejía por su permanente comprensión, aliento y consejos brindados para dar lo mejor de mí. Jonathan, Miguel, Águila, Alexandro, Mercedes, Ismael, Manuel, Marco, Enríque, Toño, Leticia, jahel, Francisco, Carla, Pilar, y David por su apoyo y con quien compartí momentos agradables en el transcurso de mis estudios de maestría.

Al CONACYT por el apoyo económico recibido durante mis estudios de maestría.



RESUMEN

En esta tesis se presenta el problema de la programación de la generación de corto plazo para la asignación de unidades termoeléctricas en un sistema convencional y en los mercados eléctricos mayoristas.

Esta asignación de unidades es usada para determinar que unidades generadoras estarán proporcionando energía al sistema en cada una de las etapas de la planeación contemplando restricciones físicas y operativas de los componentes del sistema, con el fin de minimizar los costos de generación

Se desarrolla y se presenta un modelo para resolver dicho problema usando programación Lineal. Este desarrollo contempla un esquema de optimización de asignación de unidades termoeléctricas en un sistema convencional y su extensión a los mercados eléctricos mayoristas desarrollado en el software MINOS 5.51 MR.

Como resultado de la optimización se tiene para cada una de las plantas generadoras un programa de generación para cada una de las etapas del horizonte de planeación; esta optimización es hecha para reducir los costos de generación

El método es probado numéricamente, desarrollando el software y los resultados de las simulaciones son comparados con resultados que existen en la literatura.



ABSTRACT

In this thesis the problem of the short term generation programming for the units commitment thermoelectric in a conventional system and in wholesale electrical markets is presented.

The unit commitment is used to determine which generating units will be supplying energy to the system in each of the planning stages. Physical and operative constraints of the system components are taken in account in order to minimize the generation costs.

A model based on linear programming is developed and presented to solve such problem. It considers an optimization scheme for the commitment of thermoelectric units in a conventional system and its extension to wholesale electrical markets. The model is developed using the software MINOS 5.51_{MR}.

For each generating plant a generation program is obtained for each of the stages of the planning horizon as a result from the optimization. The generation costs are reduced with such optimization.

The method is numerically proved, the software is developed, and the simulation results are compared with results found in literature.



CONTENIDO

Resumen	i
Abstract	ii
Contenido	iii
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	xv
Nomenclatura	xviii
1. Introducción	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivos	4
1.4. Justificación	5
1.5. Métodos de solución a la programación de generación termoeléctrica	6
1.5.1. Lista de prioridad/heurística	6
1.5.2. Programación dinámica	7
1.5.3. Método de ramificación y cotas	8
1.5.4. Relajación de Lagrangiana	8
1.5.5. Sistemas expertos/redes neuronales	9
1.5.6. Métodos con técnicas orientadas a la confiabilidad	10
1.5.7. Programación entera y entera/mixta	11
1.5.8. Programación lineal	11
1.6. Estructura de la tesis	12
1.7. Aportaciones	14
2. Asignación de unidades generadoras en un Sistema Eléctrico Convencional	
2.1. Introducción	16
2.2. Sistemas puramente térmicos	16
2.2.1. Características principales	16
2.2.2. Costos de operación para las unidades termoeléctricas	17



2.2.3. Costo del combustible en unidades termoeléctricas	19
2.2.4. Restricciones en la operación de unidades termoeléctricas	23
2.3. Asignación de unidades termoeléctricas	24
2.3.1. Descripción del problema	24
2.3.2. Planteamiento matemático	26
2.4. Despacho económico de generación	27
2.4.1. Descripción del problema	27
2.4.2. Formulación matemática	27
2.5. Formulación matemática del problema de asignación de unidades termoeléctricas	29
2.5.1. Función a minimizar	29
2.5.2. Restricciones	29
2.6. MINOS 5.51 (Modular In-core Nonlinear Optimization System) (Nov 2002)	30
2.6.1. Descripción	32
2.6.2. Interfaces	33
2.6.3. Ventajas dominantes	34
2.6.4. Aplicación	34
2.7. Simulador de la Asignación de Unidades en un Sistema Eléctrico Convencional (SAUSEC)	35
2.7.1. Programa principal del simulador de la Asignación de Unidades en un Sistema Eléctrico Convencional (SAUSEC)	35
2.7.2. Subrutina MPS-SAUSEC	35
2.7.3. Archivo SPC	37
2.7.4. Subrutina MINOS1	37
2.7.5. Subrutina ESCR-SAUSEC	38
2.7.6. Limitaciones del SAUSEC	38
2.8. Ejemplos ilustrativos de aplicación de asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional	38
2.8.1. Ejemplo A.2	38
2.8.2. Ejemplo B.2	41
2.8.3. Ejemplo C.2	44



2.8.4. Ejemplo D.2	46
2.8.5. Ejemplo E.2	48
2.8.6. Ejemplo F.2	50
2.9. Conclusiones	52

3. Asignación de unidades en un mercado eléctrico centralizado

3.1. Introducción	53
3.2. Mercados mayoristas	53
3.2.1. Modelos centralizados	54
3.2.2. Modelos descentralizados	54
3.2.3. Modelos híbridos	56
3.3. Estructura de las empresas eléctricas	57
3.4. Principales transformaciones en el sector eléctrico	57
3.4.1. El cambio tecnológico	57
3.4.2. El cambio en la regulación	58
3.5. Beneficios asociados a la competencia	59
3.6. Asignación de unidades	59
3.6.1. Datos	60
3.6.2. Variables	61
3.7. Linealización de la red eléctrica	61
3.8. Formulación de asignación de unidades en un mercado eléctrico centralizado	64
3.8.1. Datos	64
3.8.2. Variables	65
3.9. Simulador de la Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Centralizado (SAUMEC)	66
3.9.1. Programa principal del SAUMEC	66
3.9.2. Subrutina MPS-SAUMEC	66
3.9.3. Archivo SPC	67
3.9.4. Subrutina MINOS1	68



3.9.5. Subrutina ESCR-SAUMEC	68
3.9.6. Limitaciones del SAUMEC	68
3.10. Ejemplos ilustrativos de aplicación del mercado eléctrico centralizado	69
3.10.1. Ejemplo A.3	69
3.10.2. Ejemplo B.3	72
3.10.3. Ejemplo C.3	76
3.10.4. Ejemplo D.3	79
3.11. Conclusiones	82
4. Asignación de unidades en un mercado eléctrico descentralizado	
4.1. Introducción	83
4.2. Modelo del mercado descentralizado	83
4.3. Formulación de asignación de unidades en un mercado eléctrico descentralizado	84
4.3.1. Formulación del operador del mercado	84
4.3.1.1. Datos	85
4.3.1.2. Variables	85
4.3.2. Formulación del operador del sistema	86
4.3.2.1. Detección de congestión por el operador del sistema	86
4.3.2.1.1. Datos	86
4.3.2.1.2. Variables	87
4.3.2.2. Liberación de la congestión por el operador del sistema	87
4.3.2.2.1. Datos	88
4.3.2.2.2. Variables	88
4.4. Simulador de la Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Descentralizado (SAUMED)	89
4.4.1. Programa principal del operador del mercado	89
4.4.1.1. Subrutina MPS del operador del mercado	89
4.4.1.2. Archivo SPC del operador del mercado	90
4.4.1.3. Subrutina MINOS1	91



4.4.1.4.	Subrutina ESCR del operador del mercado	91
4.4.1.5.	Limitaciones del operador del mercado	91
4.4.2.	Programa principal del operador del sistema	92
4.4.2.1.	Subrutina MPS del operador independiente del sistema (detección de congestión)	92
4.4.2.2.	Archivo SPC del operador independiente del sistema (detección de congestión)	93
4.4.2.3.	Subrutina MINOS1	93
4.4.2.4.	Subrutina ESCR del operador independiente del sistema (detección de congestión)	94
4.4.2.5.	Subrutina MPS del operador independiente del sistema (liberación de congestión)	94
4.4.2.6.	Archivo SPC del operador independiente del sistema (liberación de congestión)	95
4.4.2.7.	Limitaciones	95
4.5.	Ejemplos ilustrativos de aplicación del mercado eléctrico centralizado	96
4.5.1.	Ejemplo A.4	96
4.5.2.	Ejemplo B.4	100
4.5.3.	Ejemplo C.4	105
4.5.4.	Ejemplo D.4	110
5.6.	Conclusiones	118
5.	Asignación de unidades en un mercado eléctrico híbrido	
5.1.	Introducción	119
5.2.	Modelo del mercado eléctrico híbrido	119
5.3.	Formulación de la asignación de unidades en el mercado eléctrico híbrido	121
5.3.1.	Datos	122
5.3.2.	Variables	122
5.4.	Simulador de la Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Híbrido (SAUMEH)	123



5.4.1. Programa principal (SAUMEH)	123
5.4.2. Subrutina MPS-SAUMEH	124
5.4.3. Archivo SPC	125
5.4.4. Subrutina MINOS1	126
5.4.5. Subrutina ESCR-SAUMEH	126
5.4.6. Limitaciones	126
5.5. Ejemplos de Aplicación del mercado mayorista híbrido	127
5.5.1. Ejemplo A.5	127
5.5.2. Ejemplo B.5	131
5.5.3. Ejemplo C.5	134
5.5.4. Ejemplo D.5	139
5.6. Análisis de resultados de las diferentes metodologías	144
5.7. Conclusiones	147
6. Conclusiones, aportaciones y recomendaciones	
6.1. Conclusiones	148
6.2. Aportaciones	150
6.3. Recomendaciones	151
Bibliografía	152
Apéndice A	159
Apéndice B	166
Apéndice C	171
Apéndice D	186
Apéndice E	189
Apéndice F	212
Apéndice G	218
Apéndice H	274
Apéndice I	282
Apéndice J	305

**TABLAS****Capítulo 2**

Tabla 2.1.	Datos característicos de las unidades generadoras del ejemplo A.2	39
Tabla 2.2.	Solución al problema de asignación de unidades del ejemplo A.2	39
Tabla 2.3.	Solución óptima a la asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional del ejemplo A.2	40
Tabla 2.4.	Datos característicos de las unidades generadoras y de la demanda del ejemplo B.2	42
Tabla 2.5.	Resumen de los casos 1,2 y 3 del ejemplo B.2	42
Tabla 2.6.	Solución óptima a la asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional del ejemplo B.2	43
Tabla 2.7.	Datos característicos de las unidades generadoras del ejemplo C.2	44
Tabla 2.8.	Datos característicos de la demanda para las 4 etapas del ejemplo C.2	44
Tabla 2.9.	Solución óptima a la asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional del ejemplo C.2	45
Tabla 2.10.	Datos característicos de las unidades generadoras del ejemplo D.2	46
Tabla 2.11.	Datos característicos de la demanda para las 24 etapas del ejemplo D.2	46
Tabla 2.12.	Solución óptima a la asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional del ejemplo D.2	47
Tabla 2.13.	Datos característicos de las unidades generadoras del ejemplo E.2	48
Tabla 2.14.	Datos característicos de la demanda para las 5 etapas del ejemplo E.2	48



Tabla 2.15. Solución óptima a la asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional del ejemplo E.2	48
Tabla 2.16. Datos característicos de las unidades generadoras del ejemplo F.2	50
Tabla 2.17. Datos característicos de la demanda para las 5 etapas del ejemplo F.2	50
Tabla 2.18. Solución óptima a la asignación de unidades en un sistema eléctrico convencional del ejemplo F.2	50

Capítulo 3

Tabla 3.1. Ofertas de generación del ejemplo A.3	69
Tabla 3.2. Demandas nodales del ejemplo A.3	69
Tabla 3.3. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del ejemplo A.3	70
Tabla 3.4. Ángulo nodal para cada una de las etapas del ejemplo A.3	71
Tabla 3.5. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del ejemplo A.3	71
Tabla 3.6. Ofertas de generación del ejemplo B.3	72
Tabla 3.7. Demandas Nodales del ejemplo B.3	72
Tabla 3.8. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del ejemplo B.3	73
Tabla 3.9. Ángulo nodal para cada una de las etapas del ejemplo B.3	74
Tabla 3.10. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del ejemplo B.3	75
Tabla 3.11. Ofertas de generación del ejemplo C.3	76
Tabla 3.12. Demandas Nodales del ejemplo C.3	76
Tabla 3.13. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del ejemplo C.3	77
Tabla 3.14. Ángulo nodal para cada una de las etapas del ejemplo C.3	78



Tabla 3.15. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del ejemplo C.3	78
Tabla 3.16. Ofertas de generación del ejemplo D.3	79
Tabla 3.17. Demandas Nodales del ejemplo D.3	79
Tabla 3.18. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del ejemplo D.3	80
Tabla 3.19. Ángulo nodal para cada una de las etapas del ejemplo D.3	80
Tabla 3.20. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del ejemplo D.3	81

Capítulo 4

Tabla 4.1. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo A.4	96
Tabla 4.2. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo A.4	97
Tabla 4.3. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo A.4 (retribuciones)	97
Tabla 4.4. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo A.4 (pagos)	98
Tabla 4.5. Ángulo nodal para el Ejemplo A.4	99
Tabla 4.6. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del Ejemplo A.4	99
Tabla 4.7. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo B.4	100
Tabla 4.8. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo B.4	100
Tabla 4.9. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (retribuciones)	100
Tabla 4.10. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (pagos)	101
Tabla 4.11. Ofertas de ajuste de los productores de energía del Ejemplo B.4	102
Tabla 4.12. Ofertas de ajuste de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo B.4	102



Tabla 4.13. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (retribuciones) obtenida por el operador del sistema	103
Tabla 4.14. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (pagos) obtenida por el operador del sistema	104
Tabla 4.15. Ángulo nodal para la etapa del Ejemplo B. 4	104
Tabla 4.16. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del Ejemplo B.4	104
Tabla 4.17. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo C.4	105
Tabla 4.18. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo C.4	105
Tabla 4.19. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo C.4 (retribuciones)	106
Tabla 4.20. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo C.4 (pagos)	107
Tabla 4.21. Ángulo nodal para las etapas del Ejemplo C.4	108
Tabla 4.22. Flujos de potencia en las líneas de transmisión para las etapas del Ejemplo C.4	109
Tabla 4.23. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo D.4	110
Tabla 4.24. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo D.4	110
Tabla 4.25. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado Descentralizado del Ejemplo D.4 (retribuciones)	111
Tabla 4.26. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado Descentralizado del Ejemplo D.4 (pagos)	112
Tabla 4.27. Ofertas de ajuste de los productores de energía del Ejemplo D.4	113
Tabla 4.28. Ofertas de ajuste de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo D.4	114
Tabla 4.29. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo D.4 (retribuciones) obtenida por el operador del sistema	115



Tabla 4.30. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo D.4 (pagos) obtenida por el operador del sistema	116
Tabla 4.31. Ángulos nodales para el horizonte de planeación del Ejemplo D.4	116
Tabla 4.32. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para las etapas del Ejemplo D.4	117

Capítulo 5

Tabla 5.1. Ofertas de generación del Ejemplo A.5	128
Tabla 5.2. Ofertas de demanda del Ejemplo A.5	128
Tabla 5.3. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado eléctrico Híbrido del Ejemplo A.5	128
Tabla 5.4. Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo A.5	129
Tabla 5.5. Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo A.5	130
Tabla 5.6. Ángulo Nodal para la etapa del Ejemplo A.5	130
Tabla 5.7. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del ejemplo A.5	130
Tabla 5.8. Ofertas de generación del Ejemplo B.5	131
Tabla 5.9. Ofertas de demanda del Ejemplo B.5	131
Tabla 5.10. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado eléctrico Híbrido para las potencias generadas del Ejemplo B.5	132
Tabla 5.11. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado eléctrico Híbrido para las potencias demandadas adjudicadas del Ejemplo B.5	133
Tabla 5.12. Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo B.5	133
Tabla 5.13. Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo B.5	133
Tabla 5.14. Ángulo Nodal para la etapa del Ejemplo B.5	134
Tabla 5.15. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del ejemplo B.5	134
Tabla 5.16. Ofertas de generación del Ejemplo C.5	134
Tabla 5.17. Demandas nodales por etapa del ejemplo C.5	135



Tabla 5.18. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado eléctrico Hibrido para las potencias demandadas adjudicadas del Ejemplo C.5	135
Tabla 5.19. Precio de la potencia por nodo por etapa del horizonte de planeación del Ejemplo C.5	136
Tabla 5.20. Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo C.5	137
Tabla 5.21. Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo C.5	137
Tabla 5.22. Ángulo Nodal para cada una de las etapas del Ejemplo C.5	138
Tabla 5.23. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para las etapas del ejemplo C.5	138
Tabla 5.24. Ofertas de generación del Ejemplo D.5	139
Tabla 5.25. Demandas nodales por etapa del Ejemplo D.5	139
Tabla 5.26. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado hibrido Del Ejemplo D.5	140
Tabla 5.27. Precio de la potencia por nodo por etapa del horizonte de planeación del Ejemplo D.5	141
Tabla 5.28. Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo D.5	142
Tabla 5.29. Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo D.5	142
Tabla 5.30. Ángulo Nodal para cada una de las etapas del Ejemplo D.5	143
Tabla 5.31. Flujo de potencia en las líneas de transmisión por etapa del ejemplo D.5	143
Tabla 5.32. Análisis de resultados de las potencias generadas por las unidades en los diferentes escenarios	144



FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1. Diagrama de una unidad termoeléctrica	16
Figura 2.2. Costo de partida vs. Tiempo de apagado	18
Figura 2.3. Curvas características de una unidad termoeléctrica	20
Figura 2.4. Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo A.2	40
Figura 2.5. Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo B.2	43
Figura 2.6. Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo C.2	45
Figura 2.7. Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo E.2	49
Figura 2.8. Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo F.2	51

Capítulo 3

Figura 3.1. Funcionamiento de los mercados eléctricos mayoristas centralizados	54
Figura 3.2. Funcionamiento de los mercados eléctricos mayoristas descentralizados	55
Figura 3.3. Funcionamiento de los mercados eléctricos mayoristas híbridos	56
Figura 3.4. Circuito π de un elemento de transmisión, sus flujos de potencia y tensiones nodales	61
Figura 3.5. Sistema de simulación del modelo centralizado en 4 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	70
Figura 3.6. Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del ejemplo A.3	70
Figura 3.7. Sistema de simulación del modelo centralizado en 24 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	73



Figura 3.8. Sistema de simulación del modelo centralizado en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del ejemplo C.3	76
Figura 3.9. Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo C.3	77
Figura 3.10. Sistema de simulación del modelo centralizado en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	79
Figura 3.11. Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo D.3	80

Capítulo 4

Figura 4.1. Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo A.4	97
Figura 4.2. Sistema de simulación del modelo centralizado en 1 hora. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	98
Figura 4.3. Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo B.4	101
Figura 4.4. Sistema de simulación del modelo centralizado en 1 hora. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	102
Figura 4.5. Potencia generada del Ejemplo B.4 obtenida por el operador del sistema	103
Figura 4.6. Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del Ejemplo C.4	106
Figura 4.7. Sistema de simulación del modelo centralizado en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	108



Figura 4.8. Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del Ejemplo D.4	111
Figura 4.9. Sistema de simulación del modelo centralizado del Ejemplo D.4. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea	113
Figura 4.10. Potencia generada del Ejemplo D.4 obtenidas por el operador del sistema	115

Capítulo 5

Figura 5.1. Sistema de simulación del mercado eléctrico mayorista híbrido del Ejemplo A.5	127
Figura 5.2. Resultados de la simulación del SAUMEH del Ejemplo A.5	128
Figura 5.3. Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del Ejemplo A.5	129
Figura 5.4. Resultados de la simulación del SAUMEH del Ejemplo B.5	131
Figura 5.5. Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del Ejemplo B.5	132
Figura 5.6. Sistema de simulación del modelo híbrido en 5 Horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo C.5	135
Figura 5.7. Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del Ejemplo C.5	136
Figura 5.8. Sistema de simulación del modelo híbrido en 5 Horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo D.5	140
Figura 5.9. Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del Ejemplo D.5	141



NOMENCLATURA

A	Matriz de restricciones
$2 \cdot a_j \cdot P_j + b_j$	Función de costo marginal
A_1, A_2, A_3	Matrices Constantes de MINOS
a_{ij}	Coefficientes tecnológicos. forman la matriz de restricciones A
A_j	Es el costo fijo de la central j .
$a_j \cdot P_j^2 + b_j \cdot P_j + c_j$	Función cuadrática de Costos de Generación
AMPL.	Herramienta computacional para la solución de problemas de optimización
b	Vector columna
B	Matriz de variables básicas
b_i	Vector del lado derecho
B_j	Es el costo variable de la central j
c	Vector renglón
c, d, b_1, b_2, l, u	Vectores de MINOS
C_0	Costo de Partida en frío de la unidad j
c_1, c_2, \dots, c_n	Coefficientes de costo
$c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$	Función Objetivo
C_{Gja}	Precio de oferta de ajuste de generación de la central j
C_{Djja}	Precio de oferta de ajuste de la demanda jj
C_j	Costo de Arranque de la unidad j
$\frac{dB_j(P_j)}{dP_j}$	Derivada de la función cuadrática de Costos de Generación
δ_1^k	Angulo de la tensión compleja nodal en el nodo 1 $\delta_1^k = 0.0$
δ_i^k	Angulo de la tensión compleja nodal para $i \neq 1$
δ_i	Angulo de tensión en el nodo i
δ_m	Angulo de tensión en el nodo m
$\frac{\Delta B_j}{\Delta P}$	Derivada de la función cuadrática de Costos de Generación
D_{jj}	Costo de Oferta de la demanda jj
D^k	Demanda total predicha para el sistema en el período k
$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i$	i -ésima restricción
E_j	Es el costo de paro de la central j
$f(x)$	Vector de la función linealizada



$F(x)$	Función escalar de MINOS
$F(x) + c^T x + d^T y$	Función objetivo de MINOS
GAMS	Herramienta computacional para la solución de problemas de optimización
G_{im}	Admitancia de la línea
i	Nodo i
J	Número de centrales Termoeléctricas de producción
JJ	Número de demandas de energía eléctrica en el sistema
j	Unidad Termoeléctrica
jj	Demanda energética
jb_{i0}	Susceptancia capacitiva de la línea
jb_{im}	Susceptancia inductiva de la línea
k	Número de períodos k en el horizonte de programación (generalmente K corresponde a 168 horas)
l	Limite inferior
m	Nodo m
m	Restricciones Generales
$m \times n$	Dimensión de la matriz A
m_1	Restricciones no lineales
m_2	Restricciones lineales
MINOS 5.51 MR	Sistema Modular Central de Optimización No lineal (Modular In-core Nonlinear Optimization System)
n	Componentes Generales
N	Matriz de variables no básicas
n_1	Componentes no lineales
n_2	Componentes lineales
PD	Programación Dinámica
P_{Di}	Potencia demandada en el nodo i
P_{Gi}	Potencia generada en el nodo i
P_{GiR}	Potencia generada en el nodo i de Referencia
P_{im}^{\max}	Potencia máxima de transferencia en el elemento conectando a los nodos i y m .
Φ	Es la razón de enfriamiento de la unidad j
P_i	Potencia neta inyectada al nodo i
P_{im}	Flujo de potencia real del nodo i al nodo m
\bar{P}_j	Potencia máxima de generación de la unidad j .
\bar{P}_{Dij}	Potencia máxima de demanda de la demanda jj .
\bar{P}_{Gja}	Oferta de producción de ajuste de generación máxima de la central j
\bar{P}_{Djja}	Oferta de demanda máxima de la demanda jj
\underline{P}_j	Potencia mínima de generación de la unidad j .



P_{Gja}	Oferta de producción de ajuste de generación mínima de la central j
P_{Djja}	Oferta de demanda mínima de la demanda jj
P_{Dij}^k	Potencia demanda adjudicada a la demanda jj en la etapa k .
P_{Gja}	Producción de energía ajustada de la central j
P_{Djja}	Demanda de energía ajustada de la demanda jj
P_j	Potencia que genera la unidad j .
p_j^k	Producción de la central j durante el periodo k
P_{mi}	Flujo de potencia real del nodo m al nodo i
P_R	Potencia de Rendimiento máximo
Q_{im}	Flujo de potencia reactiva del nodo i al nodo m
Q_{mi}	Flujo de potencia reactiva del nodo m al nodo i
r_{im}	Resistencia de la línea
R^k	Reserva requerida en el periodo k
RL	Relajación de Lagrange
s	Variables lógicas
S_j	Es la rampa máxima de incremento de carga de la central j .
T_j	Es la rampa máxima de decremento de la central j .
u	Limite superior
v_i	Tensión en el nodo i
v_j^k	Variable binaria que toma el valor 1 , si la central Termoeléctrica j está en funcionamiento durante el periodo k y 0 , en otro caso
v_m	Tensión en el nodo m
\mathbf{x}	Vector columna
x	Variables no lineales
x_1, x_2, \dots, x_n	Variables de decisión
x_{im}	Reactancia de la línea
x_N	Variables no básicas
x_s	Variables básicas
y	Variables Lineales
y_j^k	Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j se arranca al comienzo del periodo k y 0 , en otro caso
Y^k	Costo de combustibles de las unidades termoeléctricas en el período k
Z	Costo total de operación de las unidades térmicas para el horizonte de programación
z_j^k	Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j se para al comienzo del periodo k , y 0 , en otro caso



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La necesidad energética mundial ha motivado un aumento sostenido en la capacidad generadora de los sistemas eléctricos de potencia. La necesidad de un suministro eléctrico eficiente, confiable y de bajo costo ha conducido a la integración e interconexión de distintos sistemas, así como a la permanente incorporación de nuevos dispositivos y tecnologías que permiten una mejor operación. Por lo anterior, los sistemas eléctricos de potencia son sistemas dinámicos de enorme complejidad, y su operación eficiente requiere del uso de técnicas de análisis que permitan la toma de decisiones bajo estas condiciones.

El anticipar las consecuencias futuras de la aplicación de los métodos de toma de decisión en la operación de un sistema productor de energía eléctrica requiere de la utilización de modelos matemáticos que representan las incertidumbres y las complejidades involucradas en la operación de sistemas reales y que simulen la evolución de sus condiciones operativas a lo largo de un periodo de análisis.

El objetivo de la operación económica de un sistema de potencia es usar los recursos (térmicos, hidráulicos, solares, viento, etc.) disponibles para la generación de energía eléctrica en una forma óptima de tal manera que se cubra la demanda de electricidad a un mínimo costo y con un determinado grado de confiabilidad, calidad y seguridad.

En este contexto, es deber de los operadores garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema, preservando la seguridad y calidad del suministro de energía eléctrica.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando en el sistema eléctrico de potencia existe un cambio en la demanda eléctrica surge la necesidad de determinar que unidades deben de entrar a generar o salir de generar para cumplir con este cambio de demanda cumpliendo a su vez con las restricciones físicas y operativas de los componentes del sistema, disposiciones y salidas de servicio de generadores que se tienen en ese momento en el sistema eléctrico de potencia.

El aspecto que resulta prioritario en la operación de un sistema eléctrico de potencia es el uso eficiente de los recursos energéticos. En un sistema hidrotérmico como el Sistema Interconectado Mexicano, el suministro de energía eléctrica está supeditado a la disponibilidad de recursos hídricos y a la capacidad limitada de almacenamiento de energía, así como a la importación de combustibles fósiles (gas 13%).

El combustible que se consume es gas natural importado por PEMEX de Estados Unidos, conducido a través de un gasoducto desde la frontera Sonora-Arizona. El gasoducto parte de la Ciudad de Naco, Sonora, hasta esta Central en Hermosillo, Sonora. El gas es empacado para su suministro a una presión de 900 psi.

Para tener un uso eficiente de los recursos energéticos disponibles, es fundamental la elaboración de los programas de generación sobre la base de minimizar los costos y asegurar la confiabilidad del suministro energético.

La asignación de unidades generadoras a corto plazo en los mercados eléctricos mayoristas (centralizado, descentralizado e híbrido) y en un sistema convencional, es un problema con un alto grado de complejidad.

Los programas de generación consisten en un manejo óptimo de la operación de las unidades generadoras. La asignación en su forma más simple es cumplir con la demanda energética al menor costo posible cumpliendo con las restricciones físicas y eléctricas de las unidades y del sistema eléctrico



Con la predicción horaria de la demanda, el operador del sistema decide que centrales térmicas estarán en funcionamiento en cada una de las etapas del horizonte de planeación satisfaciendo la demanda energética del sistema y las restricciones del mismo, minimizando el costo de producción de energía eléctrica.

Estos programas de generación procuran minimizar el costo total de operación del sistema, esta minimización considera los costos fijos, variables, costos de encendido y apagado de las centrales térmicas entre otros.

Las restricciones de operación pueden ser de las centrales térmicas y las propias del sistema.

Para las unidades térmicas se consideran las siguientes restricciones por ejemplo, potencia mínima y máxima de generación, las rampas de decremento e incremento de potencia de generación, entre otras.

En el sistema eléctrico las principales restricciones es la satisfacción de la demanda, seguridad del sistema (reserva), mantenimiento de unidades y limitaciones del sistema de transmisión (líneas y transformadores).

Para realizar la asignación de unidades se han desarrollado algunas herramientas importantes; por ejemplo: programación heurística y las lista de prioridad entre otras, que para tomar una decisión deben de contar con la información siguiente: las unidades con que se cuenta, el costo de generación de cada unidad y diversas restricciones como por ejemplo: número de máquinas que se encuentran en mantenimiento, flujos de potencia y operación de la red (líneas dentro o fuera del sistema), limitaciones de generación de cada uno de los generadores, tiempo máximo y mínimo de conexión de los generadores, entre otras. Para realizar cada uno de estos análisis existen herramientas especializadas y muy completas como el simulador PSS de PTI, etc.



1.3 OBJETIVOS

Los objetivos a desarrollar en esta tesis son los siguientes:

- Investigar el problema de la programación de la generación de corto plazo para sistemas térmicos y los enfoques utilizados previamente para enfrentar el problema.

- Desarrollar y probar un método basado en programación lineal para implementar el modelo utilizado para la asignación de unidades generadoras en un sistema convencional, en el mercado eléctrico centralizado, en el descentralizado y en el híbrido



1.4 JUSTIFICACIÓN

Las empresas eléctricas están inmersas desde hace ya algunos años en profundos procesos de transformación y reorientación de sus negocios. Estos cambios responden fundamentalmente a la búsqueda de eficiencia en un sector considerado como estratégico, no solo por el hecho de ser la electricidad un bien de servicio público, o por el tamaño o importancia de las empresas que lo componen, que es muy significativo, sino por su directa relación con el resto de los sectores que componen la industrial de un país o área económica.

Las tendencias liberalizadoras, privatizadoras y de reestructuración y el abandono de modelos ya obsoletos de organización del sector, que han dado lugar a una nueva cadena de valor en el negocio eléctrico, han situado a las empresas ante grandes retos estratégicos, organizativos y de toda índole, que deben de afrontar con la mayor serenidad y firmeza.

El sector eléctrico esta inmerso, desde hace ya algunos años en un profundo proceso de transformación. Las tendencias liberalizadoras, es decir el paso de un modelo de planificación centralizada, que otorga a las empresas eléctricas escaso margen de maniobra y que, en la practica, no incentivaba la búsqueda de eficiencia, hacia un modelo de mercado, con la introducción de competencia en determinadas actividades del negocio, representan uno de los impulsos claves en la modernización del sector.

Por lo que en esta tesis se desarrollan las herramientas computacionales para enfrentar el problema de la asignación de unidades tanto en los sistemas convencionales como en los distintos mercados eléctricos. Esta herramienta computacional esta diseñada por medio de programación lineal, la cual nos garantiza la solución óptima de la asignación de unidades como la potencia que debe de generar cada unidad por etapa de planeación.



1.5 MÉTODOS DE SOLUCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DE GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA

1.5.1 Listas de prioridad / Heurística

Las listas de prioridad es el orden en que las unidades son encendidas o apagadas [Wood & Wollenberg, 1996], [Khodaverdia, 1986], [Sheble, 1994]. La elaboración de la lista de prioridad suele realizarse en base al rendimiento a plena carga de cada unidad. Además, a la lista de prioridad se le pueden incorporar reglas heurísticas para mejorar el desempeño [Kerr, 1966].

En 1959 Baldwin, Dale y Dittrich presentaron un método de lista de prioridad que procede a los usados actualmente. La novedad de su enfoque fue la inclusión explícita de los costos de arranque y las restricciones sobre los tiempos mínimos de paro y operación de las unidades [Baldwin, 1959].

Se han hecho un gran número de refinamientos sobre este método de lista de prioridad. En 1966 Kerr, lo mejoró incluyendo la reserva del sistema. En 1971 Happ, Jonson y Wrigth, [Happ, 1971] reportan un método heurístico que ha sido utilizado en un sistema de 100 unidades. En 1975 Burns y Gibson [Burns, 1975], presentaron una interesante evolución basada en diferentes enfoques de lista de prioridad. Estos métodos, aunque proporcionan una solución económicamente aceptable, en tiempos razonables de computo, no garantizan optimalidad y tampoco ofrecen cotas que permitan estimar la cercanía a la solución óptima. La ventaja de estos métodos se hace notoria cuando son combinados con alguna otra técnica de solución.

Si bien estos enfoques pueden entregar soluciones aceptables para sistemas pequeños, para sistemas grandes las soluciones que entregan suelen estar lejos de la solución óptima.

En los últimos años estos métodos se han combinado con sistemas expertos [Tong, 1991], [Li, 1993], para aprovechar la experiencia adquirida a través de los años por parte los operadores del sistema.



1.5.2 Programación Dinámica

La programación dinámica es la búsqueda del espacio de solución que consiste en el estado de las unidades para una solución óptima. La búsqueda puede realizarse en una dirección hacia delante o dirigida hacia atrás. Los periodos de tiempo del horizonte de estudio son conocidos como las fases del problema de programación dinámica. Típicamente cada fase representa una hora de operación. Las combinaciones de unidades dentro de un periodo de tiempo son conocidas como los estados del problema de la programación dinámica. La PD hacia delante encuentra el horario más barato empezando en la fase inicial que aumenta los costos totales. Hacia atrás se tiene que la combinación de costos acumulados que empezó en la última fase y acaba en la fase inicial [Sheble, 1994].

La programación dinámica es un método enumerativo que utiliza los resultados anteriores en vez de volverlos a calcular (*memorization*).

La PD padece de la bien conocida ‘maldición de la dimensionalidad’, lo que limita su desempeño para sistemas con muchas unidades generadoras. Esto se debe a que el problema crece rápidamente con el número de unidades generadoras que son asignadas. Para reducir el espacio de la búsqueda y de la dimensión del problema de PD, se han adoptado varios enfoques. La mayoría de los enfoques están basados en las técnicas de las listas de prioridad anteriormente mencionadas (2.2.1)

Este es uno de los métodos más extensamente empleados a través de los años para enfrentar el predespacho de unidades térmicas [Lowery, 1966], [Pang, 1981], [Van Den Bosch, 1985], [Ouyang, 1991], [Al-kalaani, 1996], [Al-Shakarchi, 2000]. Una buena descripción del método aplicado al problema puede encontrarse en [Wood & Wollenberg, 1996].



1.5.3 Método de Ramificación y Cotas

El método de Ramificación y Cotas se acerca esencialmente a la determinación del límite más bajo de la solución óptima, y entonces los hallazgos casi-óptimos son factibles para la asignación de un horario. El árbol de Ramificación y Cotas se investiga para la mejor solución. Si una cota superior es encontrada, solo se examinan pocos nodos del árbol de Ramificación y cotas, para obtener las soluciones casi-óptimas.

La Ramificación y Cotas es una técnica de búsqueda enumerativa usada para resolver problemas de variables discretas a través de la solución de problemas más simples que se derivan del problema original [Cohen, 1983]. La búsqueda de la solución óptima se organiza mediante un árbol de decisión.

Al igual a lo que sucede con la programación dinámica (y en general con todas las técnicas de optimización enumerativas), este método empeora dramáticamente su desempeño en la medida que aumenta el número de unidades generadoras.

1.5.4 Relajación Lagrangiana

La técnica de optimización de relajación de Lagrange, descompone el problema en un problema maestro y subproblemas más manejables que se resuelven iterativamente hasta que se obtenga una solución casi óptima. Los subproblemas son resueltos independientemente. Cada subproblema determina la solución de una unidad generadora. Los subproblemas se unen por multiplicadores de Lagrange que se agregan al problema maestro para obtener un problema dual, este problema dual tiene dimensiones menores que el problema original y por ende es más fácil de resolver. Para el problema, la función original es siempre mayor o igual que la función que se define como la dualidad débil. La diferencia entre los dos rendimientos de las funciones es el intervalo de dualidad, para que la función original sea un límite superior. El intervalo de dualidad proporciona una medida casi-óptima de la solución. Los multiplicadores de Lagrange se calculan al nivel del problema maestro, una vez calculados, estos son llevados a los subproblemas, la solución de los subproblemas se hace por medio de programación dinámica hacia atrás del problema



maestro y se obtienen los multiplicadores actualizados y son usados de nuevo por los subproblemas, este proceso se repite hasta que la solución converja [Sheble, 1994].

La RL es un método que descompone el problema total en subproblemas de sólo un generador cada uno, incorporando las restricciones a la función objetivo a través del uso de multiplicadores de Lagrange y relajando algunas restricciones [Muckstadt, 1977], [Wood & Wollenberg, 1996]. Otras aplicaciones de la RL al predespacho pueden encontrarse en [Merlin, 1983], [Zhuang, 1988] y [Bard, 1988].

Si bien la RL es capaz de enfrentar problemas con un gran número de generadores, en la medida que el sistema crece sus resultados se alejan del óptimo. Además, las restricciones de las unidades y del sistema deben simplificarse demasiado para incorporarlas al modelo.

1.5.5 Sistemas expertos / Redes neuronales

Los sistemas expertos combinan la identificación de problemas existentes con los algoritmos del problema, con el conocimiento de operadores expertos del sistema de potencia y la asignación que programan los expertos, esto se hace para crear una base de reglas del sistema experto (base de proceso de datos). El sistema experto mejora la solución ajustando los parámetros del programa a través de la interacción con el operador del sistema. Los sistemas expertos están llamados como el conocimiento de las bases de datos.

Las estimaciones de parámetros de las Redes Neuronales artificiales son basadas en una base de datos que sostiene curvas típicas y los horarios correspondientes de la asignación de unidades. El modelo de la curva de la carga actual se compara con la información de la base de datos para seleccionar el horario de asignación de unidades más barato. En el caso de que la solución de las Redes Neuronales artificiales no sea factible para un cierto período, se usará como un punto inicial de partida para una solución casi-óptima [Sheble, 1994].



Las redes neuronales son algoritmos que se basan en la forma en que funcionan las neuronas. Entre otras características, tienen capacidad de adaptación y generalización ante condiciones cambiantes de operación. Para que aprendan, se entrenan con una base de datos de soluciones anteriores.

El uso de redes neuronales (en particular de las redes recursivas de Hopfield) ha dado bastante buenos resultados [Sasaki, 1992]. En [Liu, 1992], se usó una máquina de Boltzmann, que corresponde a una generalización de las redes de Hopfield. En [Walsh, 1997] se usan redes neuronales para resolver el predespacho, pero integrando la coordinación hidrotérmica. En [Ouyang, 1992a] se combina el uso de redes neuronales con sistemas expertos.

1.5.6 Métodos con técnicas Orientadas a la Confiabilidad

La confiabilidad es un factor importante en las decisiones de la operación de los sistemas eléctricos de potencia. Algunas técnicas incluyen márgenes de reserva, tratamiento probabilísticos de carga y salidas forzadas. Una de estas técnicas fue desarrollada por Guy, que usa una lista de prioridad que requiere de un conjunto de criterios que deben ser satisfechos para un plan de generación [Wu, 2000].

Otro enfoque que verifica la confiabilidad y usa programación dinámica fue realizado por Yamashiro, pero como otras técnicas

1.5.7 Programación entera y entera/mixta

La programación entera es uno de los primeros métodos empleados para abordar el predespacho de unidades térmicas [Garver, 1963]. Cuando se desean incorporar variables continuas, resulta más conveniente el uso de programación entera/mixta [Muckstadt, 1968], [Habibollahzadeh, 1986].



Estos métodos en general requieren asumir algunas consideraciones que pueden limitar demasiado el espacio de búsqueda, con lo cual las soluciones obtenidas pueden estar alejadas de la solución óptima [Sheble, 1994].

1.5.8 Programación Lineal

La programación lineal estudia la optimización (minimización o maximización) de una función lineal que satisface un conjunto de restricciones lineales de igualdad y/o desigualdad. Se han adoptado varios enfoques de la programación lineal para resolver el gran problema de la programación de la generación de corto plazo en sistemas térmicos. El problema se resuelve con la técnica Simplex revisada. Esta técnica es un problema de la programación lineal con las variables discretas limitadas en un intervalo que va desde un nivel bajo a uno superior [Sheble, 1994].

El problema de programación lineal fue concebido por primera vez por George B. Dantzig alrededor de 1947, cuando trabajaba como consejero matemático de los controladores de la fuerza aérea de Estados Unidos. En 1949, George B. Dantzig publicó el “método simplex” para resolver programas lineales. A partir de entonces, muchas personas han contribuido al campo de la programación lineal de varias formas, incluyendo el desarrollo teórico, aspectos computacionales e investigación de nuevas aplicaciones del tema. El método simplex de programación lineal es ampliamente aceptado debido a su capacidad para modelar problemas importantes y complejos de decisiones administrativas y su capacidad para producir soluciones en un lapso razonable [Bazaraa, 2004].



1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La estructura principal de esta tesis está conformada por seis capítulos. Cada capítulo presenta una introducción al tema abordado, seguido por el desarrollo del tema y finalmente algunas conclusiones que conviene tener claras para entender dicho capítulo; los capítulos que conforman la tesis son los siguientes:

En el capítulo 2 se presentan los conceptos relacionados con la programación de la asignación de unidades en un sistema convencional, la formulación del problema con su representación matemática, la explicación del optimizador MINOS 5.51_{MR}, la explicación del simulador de la asignación de unidades, se muestran ejemplos de simulación y se analizan los resultados que el simulador de asignación de unidades obtiene.

En el capítulo 3 se presentan conceptos básicos de mercados mayoristas, estructuras de las empresas eléctricas. Se presenta nuevamente el problema de asignación de unidades para desarrollar el modelo de asignación de unidades en el mercado eléctrico centralizado, la formulación matemática de dicho modelo, la explicación del simulador empleado en este mercado, se reportan ejemplos desarrollados y se analizan los resultados obtenidos de estos ejemplos por el simulador de este mercado eléctrico.

En el capítulo 4 se tiene como objetivo presentar el modelo de la asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado, la formulación matemática del operador del mercado y del operador independiente del sistema, la explicación del simulador empleado para el mercado descentralizado, se presentan ejemplos ilustrativos y se analizan los resultados obtenidos por el simulador de dicho mercado.

En el capítulo 5 se presenta el modelo de la asignación de unidades en el mercado eléctrico híbrido, la formulación matemática del mismo, una breve explicación del simulador del mercado, también presenta ejemplos ilustrativos de la asignación de unidades en este tipo de mercado y se analizan los resultados obtenidos por el simulador.



En el capítulo 6 se describen las conclusiones, contribuciones y recomendaciones para trabajos futuros relacionados con este tema.

En el apéndice A se presenta la programación lineal

En el apéndice B se presenta la descripción de los simuladores para el sistema convencional así como para los mercados eléctricos

En el apéndice C se presenta el programa principal de asignación de unidades generadoras en un sistema convencional

En el apéndice D se presentan los archivos de datos de las termoeléctricas y de la demanda que se tiene en cada una de las etapas de optimización para la asignación de unidades en un sistema convencional así como los archivos de salida.

En el apéndice E se presenta el programa principal de asignación de unidades generadoras en el mercado eléctrico centralizado.

En el apéndice F se presentan los archivos de datos de las centrales termoeléctricas y de la demanda que se tiene en cada una de las etapas para la optimización para la asignación de unidades en el mercado eléctrico así como los archivos de salida.

En el apéndice G se presenta el programa principal de asignación de unidades generadoras en el mercado eléctrico descentralizado.

En el apéndice H se presentan los archivos de datos de las centrales termoeléctricas y de la demanda que se tiene en cada una de las etapas para la optimización para la asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado así como los archivos de salida.



En el apéndice I se presenta el programa principal de asignación de unidades generadoras en el mercado eléctrico híbrido.

En el apéndice J se presentan los archivos de datos de las centrales termoeléctricas y de la demanda que se tiene en cada una de las etapas para la optimización para la asignación de unidades en el mercado eléctrico híbrido así como los archivos de salida.

1.7 APORTACIONES.

Implementar los modelos de asignación de unidades convencional, del mercado eléctrico centralizado, descentralizado e híbrido.

Para el mercado centralizado se consideraron restricciones las cuales en otros modelos no son consideradas, estas restricciones son: costo de paro, costo de arranque, rampa de máximo incremento de potencia generada, rampa de máximo decremento de potencia generada y la condición inicial de las unidades.

En el mercado eléctrico descentralizado son consideradas las restricciones de rampas de incremento y decremento de la potencia generada así como la condición inicial de las unidades, estas restricciones y condiciones no son consideradas en otros modelos de la literatura

En el mercado eléctrico híbrido son contempladas las restricciones de incremento y decremento de la potencia de generación y la potencia inicial que esta generando la unidad.

La integración de herramientas computacionales para la solución de la asignación de unidades las cuales fueron desarrolladas en el programa Compaq Visual Fortran 6.0.



Estos modelos y herramientas computacionales permiten realizar diferentes simulaciones para la asignación de unidades de tal forma que se comprende el funcionamiento de la asignación de unidades convencional y en los mercados eléctricos mayoristas.

La herramienta computacional es de fácil entendimiento para la creación del archivo de datos de entrada así como la comprensión de resultados.

Utilización de MINOS 5.51 para dar solución al problema de asignación de unidades.

El desarrollo de esta tesis puede servir para un desarrollo de futuras herramientas computacionales y como base para el entendimiento del problema de la asignación de unidades.



CAPÍTULO 2

ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS EN UN SISTEMA VERTICALMENTE INTEGRADO

2.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de hacer la planeación de la operación de corto plazo mediante la asignación de unidades es determinar el programa óptimo de generación de tal forma que se minimice los costos de producción de la energía eléctrica necesaria para satisfacer la demanda del sistema, satisfaciendo restricciones de generación de energía termoeléctrica y un conjunto de restricciones de operación tanto del parque generador como del sistema en conjunto, considerando un horizonte de tiempo de una semana discretizada en intervalos horarios.

El capítulo describe aspectos de importancia para los sistemas térmicos, especialmente en aquellos que influyen en la programación de la generación.

2.2 SISTEMAS PURAMENTE TÉRMICOS

2.2.1 Características principales

Para la producción de energía eléctrica mediante unidades térmicas se necesita realizar el quemado de algún combustible (carbón, gas, diesel, combustóleo), el cual generará vapor en una caldera, y este vapor hará girar una turbina que proporcionará la fuerza mecánica al generador para que este gire y produzca la energía eléctrica (Figura 2.1).

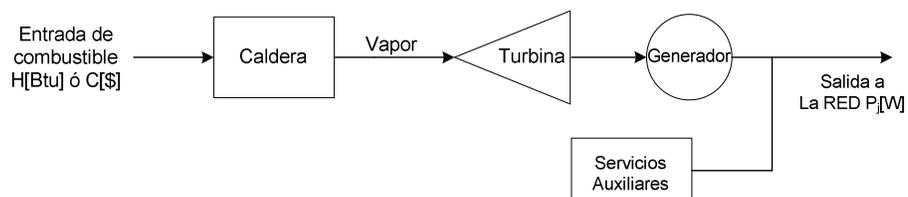


Figura 2.1. Diagrama de unidad termoeléctrica



En los sistemas en donde únicamente se cuentan con este tipo de unidades generadoras tienen características que resultan importantes para nuestro estudio:

Separación temporal de largo plazo

En estos sistemas de generación puramente termoeléctricos las decisiones que se toman en el horizonte de planeación (168 horas), no tendrá consecuencias para los siguientes períodos de planeación [Pereira, 1998].

Pero esta afirmación empieza a perder validez ante ciertos tipos de contrato de compra del combustible y los cuales pueden restringir el consumo de los mismos.

La disponibilidad de una determinada unidad (j) no depende de cuanto genera otra unidad [Pereira, 1998]. Aunque puede variar si existen limitaciones por las capacidades de las líneas de transmisión o por algunas restricciones ambientales (contaminación).

Los costos de operación de una unidad termoeléctrica (j) no dependen de la energía entregada por otra unidad termoeléctrica [Pereira, 1998].

2.2.2 Costos de operación para las unidades termoeléctricas

Los principales costos de operación de una unidad termoeléctrica son:

Costo de arranque

El costo de arranque de las unidades termoeléctricas depende del combustible requerido para que en la caldera se tenga la temperatura y presión necesaria para operar la turbina, también se toma en cuenta el costo de operación y el costo de mantenimiento de dicha planta.

El costo de arranque de una central es una función exponencial del tiempo que la central lleva parada. No es igual poner en funcionamiento una unidad fría que una unidad recientemente apagada y que no necesita volver a calentarse desde la temperatura ambiente.



Y puesto que es una función exponencial dependiente del tiempo, por ende el costo de partida es proporcional al enfriamiento de la unidad, éste puede expresarse como:

$$C_j = C_0 \cdot (1 - e^{-\Phi \cdot t}) \quad (2.1)$$

Donde:

C_0 Es el costo de partida en frío y

Φ Es la razón de enfriamiento de la unidad [Kerr, 1966].

La característica correspondiente puede verse en la Figura 2.2.

Y una versión aproximada de la Ecuación 2.1:

$$C_j = \frac{C_0 \cdot \Phi \cdot y \cdot t}{1 + \Phi \cdot t} \quad (2.2)$$

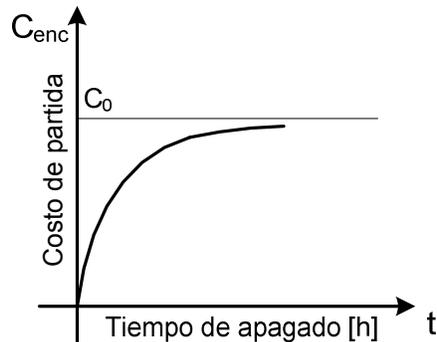


Figura 2.2 Costo de partida vs. Tiempo de apagado.

Pero se considerara constante (lo que es una simplificación razonable en la mayoría de los casos). Cada vez que una central se arranca se origina un gasto, lo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$C_j y_j^k \quad (2.3)$$

Donde:

C_j Es el costo de arranque de la central j



y_j^k Es una variable binaria que toma el valor 1 si la central j se arranca al comienzo del periodo k y 0, en otro caso.

Costo de paro

Es el costo que tiene la máquina al ser parada (operación y mantenimiento). Este costo no es una función exponencial del tiempo que la central lleva operando.

$$E_j z_j^k \tag{2.4}$$

Donde:

E_j Es el costo de paro de la central j

z_j^k Es una variable binaria que toma el valor 1 si la central j se para al comienzo del periodo k , y 0 en otro caso.

Costo del combustible

Una vez puesta en marcha una unidad termoeléctrica, su potencia de salida depende directamente de la energía calorífica que recibe a través de la quema de combustible. Por ende, si se conoce el precio unitario del combustible, puede establecerse una relación entre el costo del combustible que entra y la potencia eléctrica que sale. El costo asociado al consumo de combustible en unidades termoeléctricas se describirá con más detalle en el siguiente punto.

2.2.3 Costo del combustible en unidades termoeléctricas

En las unidades termoeléctricas, principalmente el costo de operación depende del consumo de combustible. Por esta cuestión es importante contar con un modelo adecuado del costo del combustible.

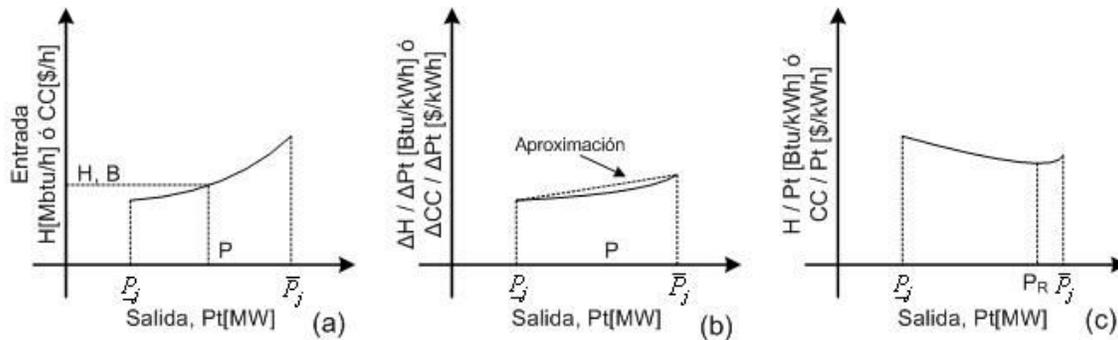


Figura 2.3 Curvas características de una unidad termoeléctrica

En la Figura 2.3 pueden verse las curvas propias de una unidad termoeléctrica típica [Wood & Wollenberg, 1996], las cuales se describen a continuación.

Curva de Entrada / Salida

La gráfica 2.3.a representa la característica de la curva de costos de combustible o Entrada / Salida, donde la entrada es la energía calorífica H (MBtu/h) o el costo del combustible B (\$/h). El valor del costo del combustible no es más que H multiplicado por el costo unitario del combustible (\$/MBtu). La salida corresponde a la potencia eléctrica que entrega la unidad termoeléctrica.

Estos costos matemáticamente son representados como una función cuadrática [Wood & Wollenberg, 1996] de la forma:

$$B_j(P_j) = a_j \cdot P_j^2 + b_j \cdot P_j + c_j \quad (2.5)$$

con $P_j \leq P_j \leq \bar{P}_j$

Donde:

P_j y \bar{P}_j Son respectivamente la potencia mínima y máxima que técnicamente es capaz de producir la unidad térmica.



B_j Es el costo del combustible y

P_j Es la potencia que genera la unidad j .

La función cuadrática de costos de combustible ya mencionada, la curva Entrada / Salida es representada a través de una función lineal por tramos [Kirchmayer, 1958].

Curva de costos marginales del combustible

La gráfica 2.3.b representa la función de costo marginal de combustible la cual corresponde a la derivada de la función Entrada / Salida. Cuando la función del costo de combustible sea modelada como una función cuadrática, la función de costo marginal será:

$$\frac{\Delta B_j}{\Delta P} = \frac{dB_j(P_j)}{dP_j} = 2 \cdot a_j \cdot P_j + b_j \quad (2.6)$$

con $\underline{P}_j \leq P_j \leq \bar{P}_j$

Y quedando así una función lineal.

Cuando la curva de Entrada / Salida se modela a través de una función lineal por tramos, la curva de costos marginales corresponde a una función escalonada. Lógicamente, cada escalón tiene un valor que corresponde a la pendiente de cada tramo de la función de Entrada / Salida.

Curva de costo unitario de combustible

La gráfica 2.3.c corresponde a la función de costo unitario de combustible. Que es el cociente entre el costo del combustible y la potencia de salida, el cual puede interpretarse como el recíproco del rendimiento de la unidad.



El valor P_R que se indica en la curva corresponde al punto de rendimiento máximo. En general, las unidades térmicas se diseñan procurando que el valor de P_R sea cercano al de \bar{P}_j , de forma de tener rendimiento máximo a plena carga. Esto implica que la energía entregada tendrá un costo medio menor en la medida que su potencia de salida se acerque a la potencia máxima.

La aplicación de los métodos de solución para la programación de la generación dependerán del tipo de representación que se quiera de la curva de costos, y con ello las características como continuidad, monotonía, convexidad o diferenciabilidad tendrán un papel muy importante al momento de elegir el método de solución.

Para la solución a este problema en los capítulos 2 y 3 se utilizará una aproximación lineal del costo (Fijo y Variable):

El costo fijo se puede expresar como

$$A_j v_j^k \tag{2.7}$$

Donde:

A_j Es el costo fijo de la central j

v_j^k Es una variable binaria que toma el valor 1 si la central j está arrancada durante el período k y 0, en otro caso.

El costo variable puede considerarse proporcional a la producción de la central:

$$B_j p_j^k \tag{2.8}$$



Donde:

B_j Es el costo variable de la central j

p_j^k La producción de la central j durante el periodo k .

2.2.4 Restricciones en la operación de unidades termoeléctricas

Debido a las características técnicas y mecánicas las unidades térmicas tienen una serie de restricciones que deben tomarse en cuenta al momento de hacer la planeación:

Límites de potencia de generación.

Las unidades térmicas tienen una potencia de salida mínima para un funcionamiento estable (\underline{P}_j en la Figura 2.3.a). Típicamente, este valor corresponde del 10% al 30% de la potencia máxima (\bar{P}_j en la Figura 2.3.a) para unidades alimentadas con gas natural o petróleo y del 20% al 50% de la potencia máxima para unidades alimentadas con carbón [Stoll, 1989].

Incremento o decremento de generación.

Una unidad termoeléctrica no puede incrementar su producción de energía por encima de un cambio gradual (máximo). Esta característica se denominada rampa de incremento máximo de generación y/o rampa de incremento de generación.

Al pasar de un período de tiempo al siguiente, cualquier central térmica no puede incrementar su producción por encima de un máximo, denominado rampa máxima de incremento de carga. Esta restricción se expresa de la siguiente manera:

$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad (2.9)$$



Donde:

S_j Es la rampa máxima de incremento de carga de la central j .

Análogamente, ninguna central puede bajar su producción por encima de un máximo, que se denomina rampa máxima de bajada de carga. Por tanto:

$$p_j^k - p_j^{k+1} \leq T_j \quad (2.10)$$

Donde:

T_j Es la rampa máxima de decremento de la central j .

2.3 ASIGNACIÓN DE UNIDADES TERMOELÉCTRICAS

2.3.1 Descripción del problema

El problema a resolver ahora es satisfacer la energía de la demanda al menor precio por las unidades generadoras térmicas del sistema.

En cada período debe cumplirse que:

$$\sum_{j=1}^J \bar{P}_j v_j^k > D^k + R^k \quad (2.11)$$

Donde:

J : Número de centrales Termoeléctricas de producción

D^k : Demanda total predicha para el sistema en el período k

R^k : Reserva requerida en el periodo k

\bar{P}_j : Producción máxima de la central Termoeléctrica j

v_j^k : Variable binaria que toma el valor 1 , si la central Termoeléctrica j está en funcionamiento durante el periodo k y 0 , en otro caso



En la ecuación 2.11 la parte de la derecha corresponde a la demanda que debe ser cumplida por las unidades generadoras térmicas en el periodo k . y el término de la izquierda corresponde a la potencia máxima de generación que pueden entregar las unidades en la hora k .

Con todas las unidades generadoras térmicas encendidas se satisface la demanda de energía (en horas de demanda baja), puesto que la carga se repartiría entre todas ellas, por lo que algunas de estas unidades estarían operando casi en su nivel de potencia mínima de generación (\underline{P}_j) y de acuerdo a la figura 2.3.c, el costo de operación sería más elevado que si se tuvieran menor número de generadores operando a un nivel mucho mayor que su nivel de potencia mínima de generación y por tanto no se tendría un costo mínimo de generación.

Por consecuencia, cuando se tiene el menor número de unidades térmicas (aquellas más eficientes) se tiene la operación más económica de generación puesto que las unidades estarían operando muy cercanas a su potencia máxima de generación (\bar{P}_j).

En las horas en que la demanda es baja se apagan las unidades menos eficientes y en horas en que la demanda es alta se ponen a generar. Pero como todas estas unidades térmicas tienen ciertas características de generación (restricciones), por ejemplo el tiempo mínimo de generación, tiempo mínimo de ser apagada, costo de arranque y de paro, entre otras, la optimización debe de realizarse en un horizonte de planeación de más de una etapa (hora) para tomar en cuenta estas restricciones.

Definición 2: *La Asignación de unidades termoeléctricas (unit commitment en inglés), en adelante predespacho, consiste en decidir qué unidades se encontrarán en funcionamiento en cada etapa (1 hora) del horizonte de programación, de forma de minimizar los costos de combustible, de arranque y de apagado de las unidades termoeléctricas, cumpliendo simultáneamente las restricciones de operación.*



2.3.2 Planteamiento matemático

El predespacho usualmente no considera el largo plazo. Es por ello que para resolver el problema se asume un horizonte de programación (diario o semanal), subdividido apropiadamente en períodos (horas).

La programación de la generación de corto plazo puede plantearse como sigue:

$$Z = \min \left(\sum_{k=1}^K Y^k + \sum_{j=1}^J [C_j y_j^k + E_j z_j^k] \right) \quad (2.12)$$

Donde:

- Z : Costo total de operación de las unidades térmicas para el horizonte de programación
- k : Número de períodos k en el horizonte de programación (generalmente K corresponde a 168 horas)
- Y^k : Costo de combustibles de las unidades termoeléctricas en el período k obtenido del despacho económico de carga (según se verá en el punto 2.4)
- C_j : Costo de arranque de la unidad j
- E_j : Costo de paro de la unidad j
- y_j^k : Es una variable binaria que toma el valor 1 si la central j se arranca al comienzo del periodo k y 0, en otro caso.
- z_j^k : Es una variable binaria que toma el valor 1 si la central j se para al comienzo del periodo k , y 0 en otro caso.

La minimización debe estar sujeta a las restricciones de operación de las unidades térmicas (límites técnicos) ya descritas en el punto 2.2.4, además de las restricciones propias del sistema (reserva en giro y satisfacción de la demanda).



2.4 DESPACHO ECONÓMICO DE GENERACIÓN

2.4.1 Descripción del problema

Como ya se tiene que unidades térmicas generadoras entrarán en cada una de las etapas del horizonte de planeación, el siguiente punto es determinar la potencia de generación de la unidad térmica para cada una de las etapas del horizonte de planeación.

***Definición 3:** El despacho económico de generación consiste en asignar la cantidad de potencia que suministrará cada unidad termoeléctrica durante un período determinado (1 hora), de forma de satisfacer la demanda a mínimo costo y cumpliendo simultáneamente las restricciones de operación.*

El despacho económico de generación aprovecha varias de las características de los sistemas puramente térmicos descritas en 2.2.1: es desacoplado en el tiempo (la operación en un período no afecta los períodos siguientes), las unidades poseen un costo directo de operación y existe independencia en la generación de las unidades.

El costo a minimizar está formado por la suma de los costos debidos al consumo de combustible por parte de las unidades térmicas, más las pérdidas del sistema. El despacho económico de generación debe también considerar ciertas restricciones básicas como la satisfacción de la demanda del sistema (incluyendo la reserva) y los límites técnicos de operación de los generadores.

Cuando el despacho económico de generación es realizado dentro del problema de predespacho, es común realizarlo en la forma más simple por ejemplo despreciando las reservas ya que no afectan a los resultados del problema de predespacho [Muckstadt, 1977].

2.4.2 Formulación matemática

El planteamiento (sin considerar el sistema de transmisión ni flujos de carga), de un despacho económico de generación en un período k (una hora) matemáticamente es de la siguiente forma:



$$Y^k = \min \sum_{j=1}^J A_j + B_j(P_j) \quad (2.13)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^J \bar{P}_j > D^k + R^k \quad (2.14)$$

Donde:

Y^k : Costo total de operación en el período k

P_j : Potencia suministrada por la unidad térmica j

A_j : Costo Fijo de la unidad térmica j

B_j : Costo variable de la unidad térmica j

D^k : Demanda total predicha para el sistema en el período k

R^k : Reserva requerida en el periodo k

\underline{P}_j : La potencia mínima técnica de la unidad j

\bar{P}_j : La potencia máxima técnica de la unidad j

En la ecuación 2.13, el valor de Y_k (optimizado mediante alguna técnica) es una variables de la ecuación 2.12. Es posible apreciar que el despacho económico de generación forma parte de un proceso de optimización de mayor jerarquía temporal. Es un proceso de optimización dentro de otro.



2.5 FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES TERMOELÉCTRICAS

El planteamiento general (sin considerar el sistema de transmisión ni flujos de carga), de la asignación de unidades termoeléctricas de generación en un período k (una hora) matemáticamente es de la siguiente forma:

2.5.1 Función a minimizar

El objetivo de la programación horaria de centrales de producción de energía eléctrica es minimizar los costos totales; esto objetivo es por tanto minimizar

$$Z = \min \left(\sum_{k=1}^K Y_k + \sum_{j=1}^J [C_j y_j^k + E_j z_j^k] \right)$$

$$Y_k = \min \sum_{j=1}^J A_j v_j^k + B_j (P_j) \quad \forall j \quad (2.15)$$

Sustituyendo :

$$Z = \min \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J [A_j v_j^k + B_j p_j^k + C_j y_j^k + E_j z_j^k]$$

Sujeto a:

2.5.2 Restricciones

Las restricciones de este problema son las siguientes. Cualquier central debe funcionar por encima de su producción mínima y por debajo de su producción máxima, por tanto:

$$\underline{p}_j v_j^k \leq p_j^k \leq \bar{p}_j v_j^k \quad \forall j, k \quad (2.16)$$

Las restricciones de rampa de subida han de satisfacerse:

$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (2.17)$$



La demanda ha de satisfacerse en cada periodo, por tanto

$$\sum_{j=1}^J p_j^k \geq D^k, \quad \forall k \quad (2.18)$$

Finalmente y por razones de seguridad, la reserva ha de mantenerse en todos los periodos, por tanto

$$\sum_{j=1}^J \bar{P}_j^k v_j^k \geq D^k + R^k, \quad \forall k \quad (2.19)$$

En esta formulación no se considera la rampa de decremento de energía eléctrica es por ello que ya no se menciona en el punto 2.5.2

2.6 MINOS 5.51 (Modular In-core Nonlinear Optimization System) (Nov 2002)

Desde mediados de 1980 aproximadamente 150 instituciones académicas y de investigación alrededor del mundo han instalado MINOS/AUGMENTED, el antecesor del sistema actual. Más de 30 instalaciones existen en la industria privada. Con las continuas investigaciones llegando casi diariamente, la necesidad de un sistema combinado de programación lineal y no lineal es evidente en ambos ambientes. Hasta la fecha, muchos de los usuarios han podido desarrollar los modelos no lineales sustanciales y han venido hacer bastante confidentes con los mensajes óptimos de la solución que realmente significan lo que dice. Ciertamente, otros mensajes menos alegres de la salida a menudo habrán saludado a ojos impacientes. Estos sirven para acentuar que sin embargo la tarifa del éxito ha sido alta, y la respuesta positiva de usuarios con usos diversos nos han inspirado a que persigamos el desarrollo adicional.



MINOS 5.0 es el resultado de refinamientos prolongados a los mismos algoritmos básicos que estaban en MINOS/AUMENTADO.

- El método Simplex (Dantzig, 1951, 1963)
- El método de quasi-Newton (Muchos autores desde Davidon, 1959, en adelante)
- El método de la reducción del gradiente (Wolfe, 1962) y
- El método de proyección del lagrangiano (Robinson, 1972; Rosen y Kreuser, 1972).

De numerosas opciones potenciales, ha sido posible desarrollar estos algoritmos particulares en algo relativamente armonioso. El sistema que resulta permite la solución de problemas pequeños y grandes en las cuatro áreas de la optimización:

- Programación lineal
- Optimización sin restricciones
- Optimización con restricciones lineales y
- Optimización con restricciones no lineales

En casos raros, el método de Quasi-Newton puede requerir almacenaje. Hemos elegido no proporcionar un método no lineal del gradiente conjugado o un método lineal truncado del gradiente conjugado, para esta situación en lugar del otro, conservamos el método de Quasi-Newton en todas partes, restringiéndolo a ciertos subespacios cuando sea necesario (La estrategia para alterar los subespacios sigue siendo experimental).

Lamentamos que otros algoritmos obvios (Tales como la programación entera, el método simplex dual) todavía no estén disponibles. El análisis de sensibilidad todavía se confina a la interpretación generalmente de los multiplicadores de Lagrange.



2.6.1 Descripción.

MINOS es un sistema computacional basado en FORTRAN diseñado para la solución óptima de problemas de gran tamaño, expresados en la forma estándar mediante subrutinas fabricadas por el usuario (apéndice B).

MINOS (inventado por Bruce Murtagh y Michael Saunders) es un software para solucionar los grandes problemas de optimización (programas lineales y no lineales). Es especialmente eficaz para los programas lineales y para los problemas con una función objetivo no lineal y escasas restricciones lineales (ejemplo. programas cuadráticos). MINOS puede también procesar una gran cantidad de restricciones no lineales. Las funciones no lineales deben ser lisas pero no necesitan ser convexas.

Para los programas lineales, MINOS utiliza la ejecución del método simplex primal.

Para las funciones objetivo no lineales (y las restricciones lineales), MINOS utiliza un método del gradiente reducido con aproximaciones de quasi-Newton para el hessiano reducido.

Para los problemas con restricciones no lineales, MINOS utiliza un algoritmo de SLC (un método lagrangiano proyectado, relacionado con el método de Robinson). Soluciona una secuencia de subproblemas en los cuales se linealizan las restricciones y el objetivo es un lagrangiano aumentado (implicando todas las funciones no lineales). La convergencia es rápida cercana a la solución.

MINOS hace uso de valores no lineales de la función y del gradiente. La solución obtenida será un óptimo local (que puede o no puede ser un óptimo global). Si algunos de los gradientes son desconocidos, serán estimados por diferencias finitas. Si las restricciones lineales no tienen ninguna solución factible, MINOS termina tan pronto como se confirme el infactibilidad. Las restricciones no lineales infactibles son difíciles de diagnosticar. (Son tratados más metódicamente por SNOPT.)



Para los grandes problemas, se mejora la validez si solamente algunas de las variables no lineales entran, o si el número de restricciones activas es casi tan grande como el número de variables (es decir, si hay pocos grados de libertad en una solución). MINOS puede acomodar problemas con muchos grados de libertad (quizás millares), pero es preferible algunos cientos o menos.

MINOS es conveniente para los problemas generales de QP (pero puede encontrar apenas un óptimo local si la ecuación cuadrática es indefinida). LSSOL y QPOPT son convenientes para los problemas LP y de QP de tamaño arbitrario si la matriz de restricciones es esencialmente llena, pero las soluciones de MINOS y SNOPT serán generalmente más eficientes incluso para los problemas robustos.

Si las restricciones son altamente no lineales, o las funciones y los gradientes son difíciles de evaluar, SNOPT o NPSOL puede ser más eficiente. (Utiliza un algoritmo de SQP en el cual los subproblemas tienen las mismas restricciones linealizadas que en MINOS, pero el objetivo es una aproximación cuadrática del lagrangiano. Por lo tanto, no hay función o valores del gradiente necesarios durante la solución de cada QP. Una función del mérito promueve convergencia de puntos de partida arbitrarios.)

2.6.2 Interfaces

MINOS se ejecuta en FORTRAN 77 y se distribuye como código fuente. Se puede utilizar en cualquier máquina con una cantidad razonable de memoria y con un compilador de FORTRAN. Puede ser llamado como una subrutina de algún programa principal (típicamente en el FORTRAN, C o MATLAB). También MINOS puede utilizarse como programa independiente, la lectura de datos se hace en el formato de MPS usado por los sistemas comerciales de programación matemática.



2.6.3 Ventajas Dominantes.

- Código portátil (FORTRAN 77).
- Algoritmos numéricos estables; por ejemplo, un paquete base de LU esparcida confiable.
- Opcional la entrada de archivos de datos escritos en la forma industrial estándar de MPS.
- Procedimiento práctico de anti-degeneración.
- Manejo eficiente de restricciones lineales y cotas.
- Escalamiento automático de restricciones lineales y no lineales.
- Disposición para las modificaciones internas del problema.

2.6.4 Aplicación.

De uso general en programación lineal y programación no lineal, donde las funciones y los gradientes no sea excesivamente grandes.

Utilizado en: Ingeniería, Economía, Finanzas, Economía Agrícola, Control óptimo, redes no lineales, modelos comerciales, análisis de la lista, equilibrio espacial.

MINOS es muy usado para soluciones no lineales de sistemas modelados algebraicamente en los optimizadores GAMS y AMPL.



2.7 SIMULADOR DE LA ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN SISTEMA ELÉCTRICO CONVENCIONAL (SAUSEC)

La integración del SAUSEC se hace a través de un archivo de datos realizado en bloc de notas en el cual se escriben los datos característicos del sistema, de las unidades y la demanda de energía eléctrica en el horizonte de planeación. La herramienta principal que implementa el modelo de asignación de unidades es el software MINOS 5.51_{MR} (resuelve el problema lineal). El SAUSEC cuenta con diferentes archivos de salida en los cuales se encuentra la asignación de unidades y el despacho económico

El SAUSEC está compuesto principalmente de tres subrutinas en las cuales se hace la lectura de datos, ejecución de MINOS 5.51_{MR} y por último la escritura del archivo de salida.

2.7.1 Programa principal del Simulador de Asignación de Unidades en sistemas Eléctricos Convencionales (SAUSEC)

El SAUSEC es el programa principal y es donde se llaman a todas las subrutinas que componen dicho simulador, la primer subrutina de llamado es la de lectura de datos y creación del archivo MPS, posteriormente a esta subrutina se leen los archivos MPS y SPC, una vez leídos estos archivos el SAUSEC llama a la subrutina MINOS1 en la cual se hacen diferentes llamados de subrutinas para resolver el problema lineal y por último es llamada la subrutina de escritura de resultados.

2.7.2 Subrutina MPS-SAUSEC

En esta subrutina se leen los datos característicos de las unidades que pueden ser asignadas, demanda para cada una de las etapas del horizonte de planeación. Para tener una mejor idea a continuación se da el orden en que se escriben los datos en el archivo .DAT.



- Nombre del sistema.
- Número de termoeléctricas para la asignación.
- Por ciento de la reserva rodante del sistema.
- Nombre de la Termoeléctrica:
- Potencia máxima de Generación.
- Potencia mínima de Generación.
- Límite de Rampa de Incremento de Potencia
- Costo Fijo de Generación
- Costo de Arranque del Generador
- Costo de Paro del Generador
- Costo Variable del Generador
- Potencia Generada antes de iniciar el horizonte
- Número de etapas que tienes el horizonte
- Demanda de Energía en la hora k

Después de la lectura de los datos esta subrutina determina automáticamente el nombre de los archivos de salida, posteriormente crea el archivo MPS. Una vez con este archivo se procede a calcular el número de filas, número de variables, número de apariciones que tendrá la variable, límites de cada variable que se tendrá en el problema, unido a esto la subrutina crea la función objetivo, la matriz de restricciones, vector de desigualdades, y por último los escribe en este archivo MPS que tiene una estructura muy especial puesto que MINOS 5.51_{MR} necesita para que sea leído correctamente ya que necesita en forma muy especial el número de filas, el tipo de fila (\leq , $=$, \geq), la fila en que esta cada variable y el coeficiente que tiene en esa fila, una vez llena la matriz de restricciones necesita el vector de desigualdades y ya por último los límites de las variables que están en el problema.



2.7.3 Archivo SPC

En el archivo SPC es utilizado por MINOS 5.51_{MR}, en el cual se hace la declaración del nombre del problema, el tipo de problema, el número probable de filas, número probable de variables entre otros. La estructura de este archivo puede verse en el manual de MINOS 5.51_{MR}. Los datos que conforman este archivo son los siguientes:

- Nombre del problema que se va a resolver
- Tipo de función objetivo a optimizar (minimizar o maximizar)
- Número de filas probables que tendrá el problema y en caso de no conocerlo sobredimensionar el número de filas
- Número de columnas que tendrá el problema y en caso de no conocerlo sobredimensionar el número de columnas
- Número de elementos que tendrá el problema y en caso de no conocerlo sobredimensionar el número de elementos
- Unidad de donde va hacer leído el archivo .MPS
- Número máximo de iteraciones para resolver el problema

2.7.4 Subrutina MINOS1

La subrutina MINOS1 es la parte modular del SAUSEC puesto que en ella se tienen muchas subrutinas que son llamadas para dar solución al problema lineal que fue creado y escrito en el archivo MPS el cual es resuelto por el método simplex (ver manual de MINOS).



2.7.5 Subrutina ESCR-SAUSEC

En esta subrutina se escriben los archivos de salida de los resultados de la optimización. Para la creación de estos archivos se hace el llamado de la subrutina MATRI de IMSL en la cual se escriben los resultados de la optimización en una forma matricial para que se pueda comprender rápidamente la solución óptima del problema. En este archivo aparece una pequeña portada, la solución numérica a la función objetivo y por último la matriz de producción de energía eléctrica de cada unidad para cada etapa del horizonte de planeación. De la matriz de la asignación de unidades las filas representan las unidades generadoras y las columnas representan las etapas del horizonte de planeación.

2.7.6 Limitaciones del SAUSEC

Las limitaciones que tiene el SAUSEC es el no considerar las rampas de decremento de potencia de generación de las unidades, la falta de los tiempos mínimos de conexión y de desconexión.

2.8 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN SISTEMA CONVENCIONAL

Se presentan ejemplos de la asignación de unidades para un sistema eléctrico convencional con diferentes características de las unidades generadoras así como restricciones y condiciones iniciales de estas unidades, esto se hace con el fin de tener un mejor entendimiento del problema y como afecta a la solución las consideraciones y simplicidades que se tienen. También se realizan simulaciones de libros conocidos con el fin de comprobar que la herramienta computacional funciona satisfactoriamente.

2.8.1 Ejemplo A.2

La asignación de unidades en este ejemplo es el de comprender el uso adecuado de todas las limitaciones físicas y eléctricas de las unidades, el comportamiento de las mismas con el cambio de la demanda de energía eléctrica (incremento y/o decremento) así como determinar la energía generada por unidad en cada etapa del horizonte de planeación.



Programación horaria de centrales del libro Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. De los autores **Enrique Castillo, Antonio J. Conejo, Pablo Pedregal, Ricardo García y Natalia Alguacil** (pp. 43 y 44), [Conejo, 2002]. Se considera un horizonte de planificación de 3 horas. Las demandas en esas horas son respectivamente 150, 500, y 400 MW. Las reservas son respectivamente 15, 50, y 40 MW. Se considera 3 centrales de producción de energía eléctrica. Los datos de esas centrales se muestran a continuación:

Tabla 2.1. Datos característicos de las unidades generadoras del Ejemplo A.2

Tipo de Central	1	2	3
Producción máxima	350.0	200.0	140.0
Producción mínima	50.0	80.0	40.0
Límite de rampa de subida	200.0	100.0	100.0
Límite de rampa de bajada	300.0	150.0	100.0
Costo fijo	5.0	7.0	6.0
Costo de arranque	20.0	18.0	5.0
Costo de paro	0.5	0.3	1.0
Costo variable	0.100	0.125	0.150

Se considera que todas las centrales están paradas en el periodo previo al primero del horizonte de planificación.

La producción óptima de cada central se muestra a continuación de acuerdo con la referencia [Conejo, 2002].

Tabla 2.2. Solución al problema de asignación de unidades del Ejemplo A.2

Central	Hora		
	1	2	3
1	150.0	350.0	320.0
2	0.0	100.0	80.0
3	0.0	050.0	0.0
Total	150.0	500.0	400.0

El costo mínimo de producción es \$ 191.0 de acuerdo con la referencia antes citada [Conejo, 2002].



La producción óptima de cada central se muestra a continuación de acuerdo al programa computacional desarrollado para la solución de la asignación de unidades a corto plazo (SAUSEC).

Tabla 2.3. Solución óptima a la asignación de unidades para el sistema eléctrico convencional del Ejemplo A.2

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	150.0	150.0	0.0	0.0	
2	500.0	350.0	100.0	050.0	
3	400.0	320.0	080.0	0.0	
Total					191.0

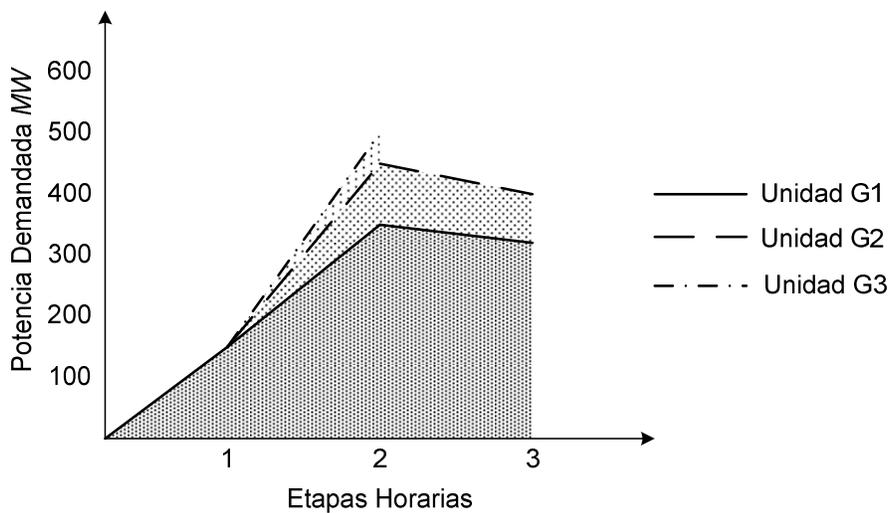


Figura 2.4 Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo A.2

El costo mínimo de producción de acuerdo al programa computacional desarrollado para la solución de la asignación de unidades a corto plazo es \$ 191.0

Con los resultados obtenidos por el SAUSEC para este ejemplo (tabla 2.3 y figura 2.4) en los siguientes párrafos se describe el comportamiento de las unidades en el horizonte de planeación.



El generador G1 en las tres etapas está en operación, en la etapa uno solo entrega 150 MW y esto se debe a la demanda de energía que se tiene en el sistema, en la segunda etapa entrega su máxima potencia y para la etapa tres entrega 320 MW y se debe a que el generador G2 lo mínimo que puede entregar es una potencia de 80 MW.

La unidad G2 está en servicio en la etapa dos y tres, en la etapa dos entrega 100 MW debido a que la unidad G1 entrega su potencia máxima de generación, y en la etapa tres entrega la potencia mínima de generación puesto que el resto de la energía demandada lo entrega la unidad G1.

El generador G3 únicamente participa en la segunda etapa y se debe a que el generador G2 solo puede entregar 100 MW debido a la rampa de incremento de potencia, por lo que sumando la potencia máxima del generador G1 y la potencia entregada por el generador G2, tenemos una potencia de 450 MW y los 50MW restantes lo proporciona esta unidad.

2.8.2 Ejemplo B.2

Programación horaria de centrales del libro Power Generation, Operation, and Control. De los autores **Allen J. Wood & Bruce F. Wollenberg** (pp. 145 a la 151). [Wood & Wollenberg, 1996]. Para el ejemplo, la gama completa de la búsqueda será utilizada y tres casos serán estudiados. El primer caso es un horario de la lista de prioridad, el segundo es una cierta enumeración completa del ejemplo. Los primeros dos casos ignoran el costo de arranque en caliente y el tiempo mínimo dentro y/o fuera. El tercer caso incluye los costos de arranque en caliente así como el tiempo mínimo dentro y fuera. Cuatro unidades deben ser asignadas para servir un patrón de carga de 8 horas. Los datos de las unidades y del patrón de carga están contenidos en la tabla 2.4.



Tabla 2.4 Características de las unidades, patrón de carga y el estado inicial para este ejemplo.

Tabla 2.4. Datos característicos de las unidades generadoras y de demanda del Ejemplo B.2

Unidad	PMax (MW)	PMin (MW)	Incremento de calor (Btu/kWh)	Costo de operación en vacío (\$/h)	Costo promedio a plena carga (\$/h)	Tiempo mínimo	
						Conectado	Desconectado
G1	080	25	10440	213.00	23.54	4	2
G2	250	60	9000	585.62	20.34	5	3
G3	300	75	8730	684.74	19.74	5	4
G4	060	20	11900	252.00	28.00	1	1
Condición inicial				Costo de Arranque			
Unidad	Horas fuera de línea (-)		Horas en de línea (+)		Caliente (\$)	Frió (\$)	Arranque frío (h)
G1			-5		150	350	4
G2			+8		170	400	5
G3			+8		500	1100	5
G4			-6		0.0	0.02	0
Patrón de Carga							
			Hora	Carga (MW)			
			1	450.0			
			2	530.0			
			3	600.0			
			4	540.0			
			5	400.0			
			6	280.0			
			7	290.0			
			8	500.0			

La solución óptima que se tiene en la referencia citada con anterioridad [Wood & Wollenberg, 1996] es la siguiente:

Tabla 2.5. Resumen de los casos 1, 2 y 3 del Ejemplo B.2

Caso	Condiciones	Costo Total (\$)
1	Orden prioritario. Sin considerar tiempo dentro y fuera	73439
2	Enumeración ($X \leq 15$) con 4 estrategias(N) ahorradas. Sin considerar tiempo dentro y fuera	73274
3	$X \leq 15$ considerando tiempos dentro y fuera	
	N = 4 estrategias	Sin solución
	B = 8 estrategias	74110
	N= 10 estrategias	74110



La producción óptima de cada central se muestra a continuación de acuerdo al programa computacional desarrollado para la solución de la asignación de unidades a corto plazo (tabla 2.6).

Tabla 2.6. Solución óptima a la asignación de unidades para el sistema eléctrico convencional del Ejemplo B.2

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	P_{G4}	f^* (\$)
1	450.0	0.0	150.0	300.0	0.0	
2	530.0	0.0	230.0	300.0	0.0	
3	600.0	50.0	250.0	300.0	0.0	
4	540.0	0.0	240.0	300.0	0.0	
5	400.0	0.0	100.0	300.0	0.0	
6	280.0	0.0	0.0	280.0	0.0	
7	290.0	0.0	0.0	290.0	0.0	
8	500.0	0.0	200.0	300.0	0.0	
					Total	73129.64

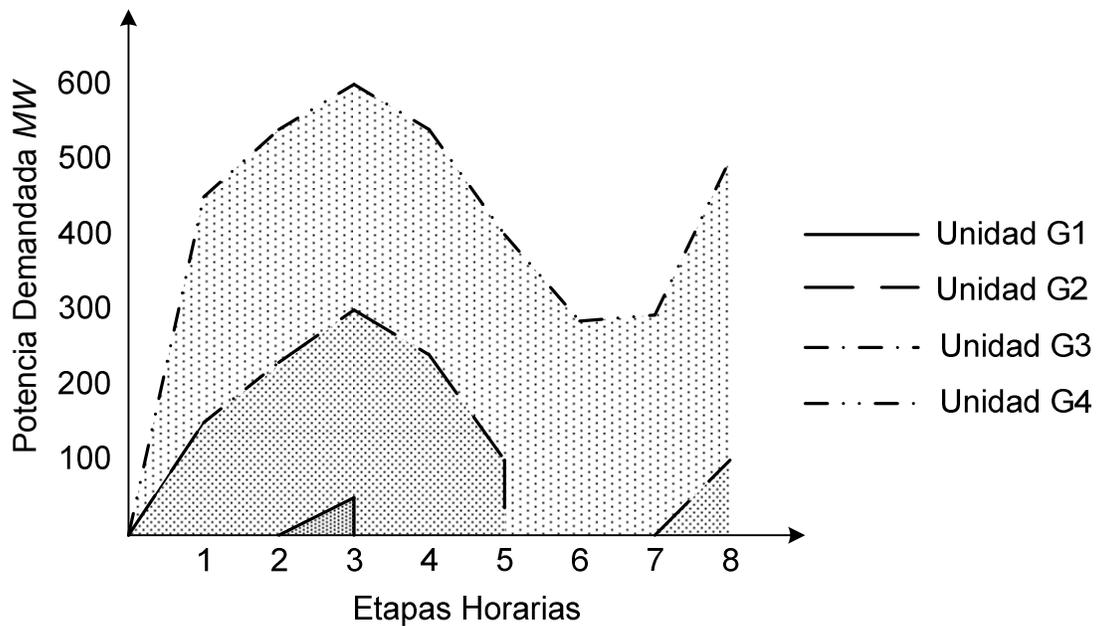


Figura 2.5 Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo B.2

El costo mínimo de producción de acuerdo al programa computacional desarrollado para la solución de la asignación de unidades a corto plazo es \$ 73129.64



Aunque para este ejemplo no se tienen todos los datos de las unidades generadoras se hicieron algunas suposiciones las cuales son: la rampa de incremento y decremento son iguales a la potencia máxima de generación y como no se conoce la potencia inicial de la unidad G2 y G3 se supuso que estaban generando su potencia mínima.

Los resultados se comparan con los que vienen en la referencia [Wood & Wollenberg, 1996], aunque no se menciona que cantidad de energía debe de generar cada unidad, solo indica que unidades deben de entrar en funcionamiento.

El comportamiento de la potencia generada por unidad en las etapas del horizonte de planeación se muestra en la figura 2.5

2.8.3 Ejemplo C.2

Programación horaria, se considera un horizonte de planificación de 4 horas en el cual existen 5 generadores termoeléctricos que pueden ser asignados; las características de estas unidades y el comportamiento de la demanda se encuentran en las tablas 2.7. y 2.8 respectivamente.

Tabla 2.7. Datos característicos de las unidades generadoras del Ejemplo C.2

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	10.0	5.0	10.0	15.0	5.0	110.0	110.0	0.0
G2	10.0	5.0	15.0	20.0	5.0	110.0	110.0	0.0
G3	10.0	5.0	15.0	25.0	5.0	60.0	60.0	0.0
G4	10.0	5.0	20.0	30.0	5.0	60.0	60.0	0.0
G5	10.0	5.0	20.0	30.0	5.0	60.0	60.0	0.0

Tabla 2.8. Datos característicos de la demanda para las 4 etapas del Ejemplo C.2

Demanda	Hora	P_D (MW)
D1	1	230.0
D1	2	300.0
D1	3	350.0
D1	4	400.0



En la tabla 2.9 se presentan las potencias generadas por unidad por etapa del horizonte de planeación obtenidos por SAUSEC.

Tabla 2.9. Solución óptima a la asignación de unidades para el sistema eléctrico convencional del Ejemplo C.2

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	P_{G4}	P_{G5}	f^* (\$)
1	230.0	110.0	110.0	10.0	0.0	0.0	
2	300.0	110.0	110.0	60.0	20.0	0.0	
3	350.0	110.0	110.0	60.0	60.0	10.0	
4	400.0	110.0	110.0	60.0	60.0	60.0	
						Total	26760.00

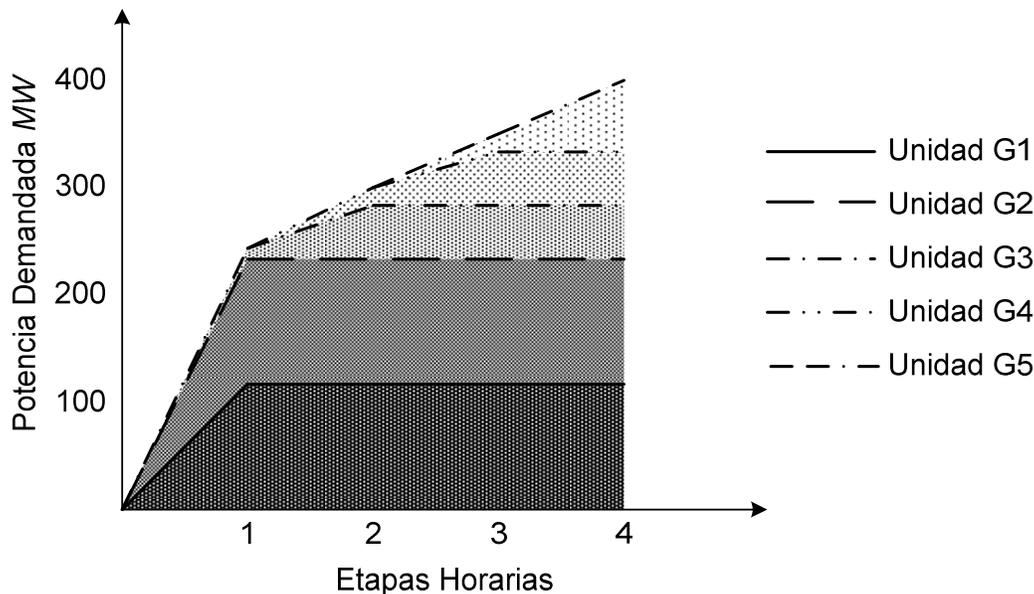


Figura 2.6 Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo C.2

En esta simulación se aprecia claramente que las unidades más económicas están generando a su mayor potencia (figura 2.6), la unidad G1 y G2 en todas las etapas están entregando su potencia máxima que es de 110 MW, la unidad G3 entra en operación desde la primera etapa aunque en esta solo genera 10 MW y en el resto de las etapas genera su máxima potencia, la unidad G4 entra en operación a partir de la etapa dos con una potencia de 20 MW y esto se debe a que las unidades G1, G2 y G3 están entregando su potencia máxima y no pueden satisfacer la demanda, en la etapa tres y cuatro genera su potencia



máxima y por último la unidad G5 entre en funcionamiento en la etapa tres con una potencia de 10 MW y en la última etapa entrega su máxima potencia. En la última etapa del horizonte de planeación todas las unidades están generando su máxima potencia y se debe a que en esta etapa se tiene una demanda de 400 MW.

2.8.4 Ejemplo D.2

Programación horaria, se considera un horizonte de planificación de 24 horas. Se tienen 3 generadores que pueden ser asignados, en la tabla 2.10 se encuentran las características, restricciones físicas y eléctricas de dichas unidades. En la tabla 2.11 se tiene el comportamiento de la demanda durante el horizonte de planeación. Estas tablas se muestran a continuación:

Tabla 2.10. Datos característicos de las unidades generadoras del Ejemplo D.2

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	30.0	5.0	17.0	22.0	25.0	247.5	100.0	50.0
G2	40.0	3.0	20.0	26.0	19.0	192.0	101.0	95.0
G3	20.0	1.0	23.0	28.0	13.0	128.0	70.0	80.0

Tabla 2.11. Datos característicos de la demanda para las 24 etapas del Ejemplo D.2

Demanda Horaria					
Hora	P_D (MW)	Hora	P_D (MW)	Hora	P_D (MW)
1	315.0	9	350.0	17	335.0
2	305.0	10	260.0	18	275.0
3	325.0	11	360.0	19	325.0
4	295.0	12	250.0	20	285.0
5	335.0	13	355.0	21	315.0
6	285.0	14	255.0	22	295.0
7	345.0	15	355.0	23	305.0
8	270.0	16	265.0	24	305.0

El SAUSEC determina las potencias que deben de generar las unidades por etapa del horizonte de planeación, este comportamiento se observa en la tabla 2.12.



Tabla 2.12. Solución óptima a la asignación de unidades para el sistema eléctrico convencional del Ejemplo D.2

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	315.0	247.5	67.5	0.0	
2	305.0	247.5	57.5	0.0	
3	325.0	247.5	77.5	0.0	
4	295.0	247.5	47.5	0.0	
5	335.0	247.5	87.5	0.0	
6	285.0	247.5	37.5	0.0	
7	345.0	247.5	97.5	0.0	
8	270.0	247.5	22.5	0.0	
9	350.0	247.5	102.5	0.0	
10	260.0	241.0	19.0	0.0	
11	360.0	247.5	112.5	0.0	
12	250.0	231.0	19.0	0.0	
13	355.0	247.5	107.5	0.0	
14	255.0	236.0	19.0	0.0	
15	355.0	247.5	107.5	0.0	
16	265.0	246.0	19.0	0.0	
17	335.0	247.5	87.5	0.0	
18	275.0	247.5	27.5	0.0	
19	325.0	247.5	77.5	0.0	
20	285.0	247.5	37.5	0.0	
21	315.0	247.5	67.5	0.0	
22	295.0	247.5	47.5	0.0	
23	305.0	247.5	57.5	0.0	
24	305.0	247.5	57.5	0.0	
Total					168763.00

Debido a que la potencia demanda en el horizonte de planeación es menor a la que pueden proporcionar los generadores G1 y G2, el generador G3 no entra en servicio y se debe a su costo de producción de energía el cual es más elevado con respecto a las otras dos unidades. La unidad G1 en la mayoría de las etapas está entregando su potencia máxima y cuando disminuye su producción es debido a que la unidad G2 esta produciendo su potencia mínima de generación que es de 19 MW y por esta razón el generador G1 disminuye su potencia generada. La unidad G2 entra en operación cuando la unidad G1 no puede satisfacer completamente la demanda de energía eléctrica y en algunas etapas produce su potencia mínima.



2.85 Ejemplo E.2

Programación horaria, para este ejemplo se considera un horizonte de planeación de 5 horas, en el cual se tienen tres generadores que pueden ser asignados, para estas unidades no se considera la condición inicial ni la rampa de incremento de potencia generada es por ello que los datos característicos están en la tabla 2.13. La demanda presenta el comportamiento que se tiene en la tabla 2.14.

Tabla 2.13. Datos característicos de las unidades generadoras del Ejemplo E.2

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	30.0	5.0	17.0	22.0	25.0	247.5	247.5	00.00
G2	40.0	3.0	20.0	26.0	19.0	192.0	192.0	00.00
G3	20.0	1.0	23.0	28.0	13.0	128.0	128.0	00.00

Tabla 2.14. Datos característicos de la demanda para las 5 etapas del Ejemplo E.2

Demanda Horaria	
Hora	P_D (MW)
1	315.0
2	305.0
3	325.0
4	295.0
5	335.0

La tabla 2.15 muestra la Potencia Generada por cada unidad por etapa del horizonte de planeación.

Tabla 2.15. Solución óptima a la asignación de unidades para el sistema eléctrico convencional del Ejemplo E.2

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	315	247.5	67.5	0.0	
2	305	247.5	57.5	0.0	
3	325	247.5	77.5	0.0	
4	295	247.5	47.5	0.0	
5	335	247.5	87.5	0.0	
				Total	36255.00

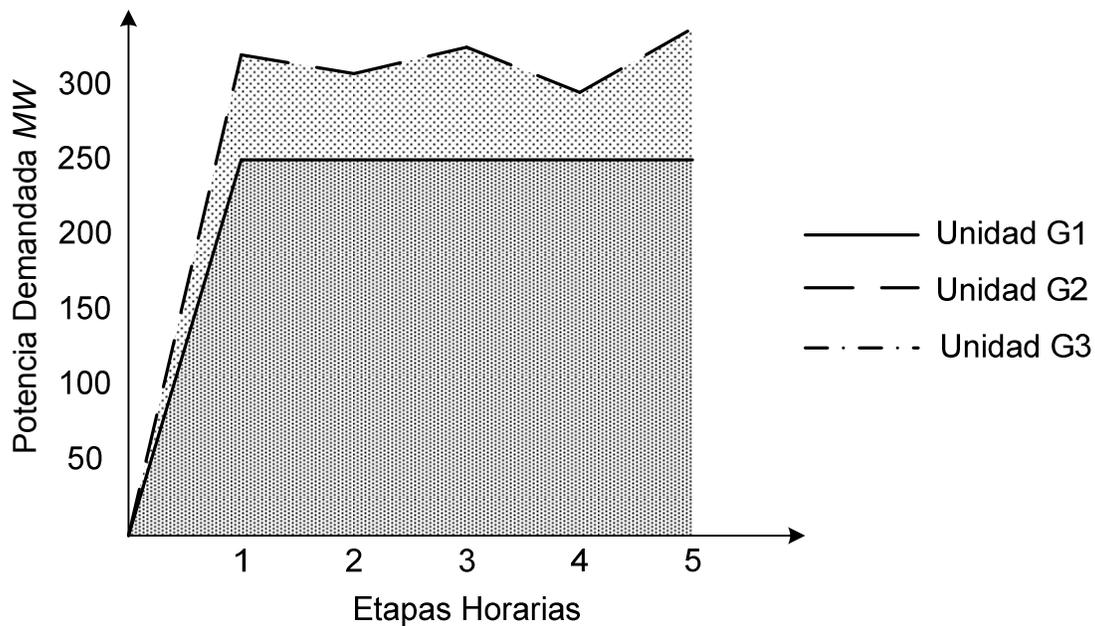


Figura 2.7 Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo E.2

En las unidades térmicas se tiene una mejor eficiencia cuando se está generando cerca de su potencia máxima, es por ello que la unidad G1 en todo el horizonte de planeación está generando su potencia máxima y la potencia restante la unidad G2 la genera. Cuando no se tienen los datos de la rampa de incremento de potencia a ese valor se le pone la potencia máxima de generación de las unidades, puesto que si se pone cero estas unidades no podrían efectuar algún cambio de potencia, es decir sería un generador de potencia constante y esta potencia constante sería la potencia de condición inicial pero como en este caso no se considera la condición inicial todas las unidades no generarían es decir estarían fuera de operación.

Este comportamiento es observable en la figura 2.7 en donde se observa la cantidad de energía que genera cada unidad para satisfacer la demanda energética que tiene el sistema



2.8.6 Ejemplo F.2

La simulación de asignación de unidades en sistema eléctrico convencional, es igual al que se analizó en el ejemplo E.2 con solo 5 etapas, pero con otras características de los generadores. Para estas unidades se considera la condición inicial y la rampa de incremento de potencia generada es por ello que los datos característicos están en la tabla 2.16. La demanda presenta el comportamiento que se tiene en la tabla 2.17.

Tabla 2.16. Datos característicos de las unidades generadoras del Ejemplo F.2

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	30.0	5.0	17.0	22.0	25.0	247.5	120.00	40.00
G2	40.0	3.0	20.0	26.0	19.0	192.0	080.00	20.00
G3	20.0	1.0	23.0	28.0	13.0	128.0	050.0	15.00

Tabla 2.17. Datos característicos de la demanda para las 5 etapas del Ejemplo F.2

Demanda Horaria	
Hora	P_D (MW)
1	315.0
2	305.0
3	325.0
4	295.0
5	335.0

Potencia Generada por cada unidad para cada una de las Etapas.

Tabla 2.18. Solución óptima a la asignación de unidades para el sistema eléctrico convencional del Ejemplo F.2

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	315	160.0	100.0	55.0	
2	305	247.5	57.5	0.0	
3	325	247.5	77.5	0.0	
4	295	247.5	47.5	0.0	
5	335	247.5	87.5	0.0	
				Total	36669.00

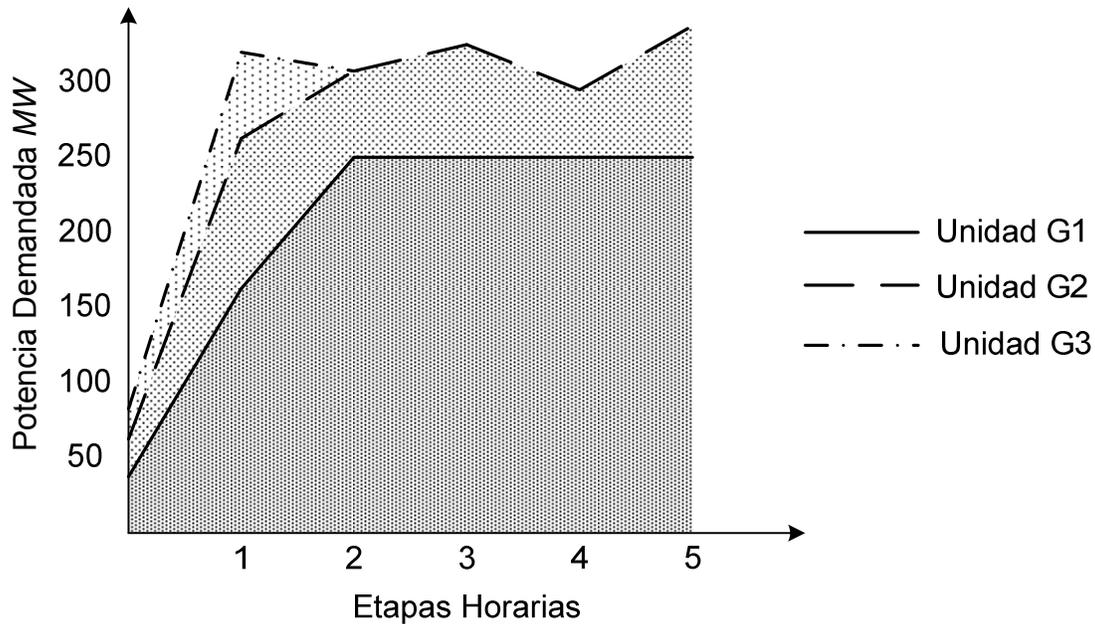


Figura 2.8 Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo F.2

Cuando se consideran condiciones iniciales y la rampa de incremento de potencia las unidades están más restringidas a generar, para este caso se tiene que la unidad G1 en la primer etapa puede generar una potencia máxima de 160 MW, ya que el incremento de potencia es de 120 MW y la condición inicial es de 40 MW, para las demás etapas esta unidad ya puede generar su potencia máxima, ya que en la primera etapa genera 160 MW más el incremento de potencia podría generar 280 MW pero recordando que solo puede generar 247.5 MW. La unidad G2 en la primera etapa genera 100 MW de los cuales 20 MW son de condición inicial y 80 MW son de la rampa de incremento de potencia, en las siguientes etapas esta unidad solo genera la potencia que no puede ser satisfecha por la unidad G1. Y la unidad G3 por ser la menos económica únicamente genera en la primera etapa debido a que las otras dos unidades no pueden generar la totalidad de la potencia demanda

El comportamiento de los generadores en el horizonte de planeación es mostrado en la figura 2.8



2.9 CONCLUSIONES

Con la predicción de la demanda y con el modelo de asignación de unidades generadoras se determina que unidades térmicas estarán generando para cada una de las etapas y que tanta energía deben de estar generando para satisfacer la demanda del sistema y cumplir con las restricciones del mismo y de las unidades.

La función a minimizar es el costo de operación del sistema, el cual debe considerar los costos del combustible usado por las centrales térmicas, los costos de arranque y paro de las centrales térmicas

Además, la minimización debe realizarse tomando en cuenta las restricciones de cada una de las unidades generadoras (límites técnicos de operación), así como también las principales restricciones del sistema (satisfacción de la demanda, los requerimientos de reserva, el mantenimiento de unidades generadoras y las limitaciones del sistema de transmisión).

En consecuencia, de acuerdo a lo observado en el presente capítulo, la programación de asignación de unidades generadoras de corto plazo es un complejo problema de optimización combinatoria, con variables enteras y continuas y con un amplio y variado conjunto de restricciones.

Cuando se realizan las simulaciones y no son consideradas las rampas de incremento de potencia se tiene una solución más económica que cuando es considerada esta restricción (2.7.5 y 2.7.6).

Cuando no se considera la condición inicial de las unidades el costo de generación es mayor debido a que algunas unidades que estaban generando en la etapa anterior al comienzo del análisis se les cobra el costo de arranque.



CAPÍTULO 3

ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN MERCADO ELÉCTRICO CENTRALIZADO

3.1 INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la década de 1990 se han venido produciendo importantes cambios en el sector eléctrico de numerosos países [Hong, 2000]. Estos cambios están encaminados, en general, a la introducción de competencia en el sector y están basados en tres puntos:

- Reestructuración de las diferentes empresas para la separación de actividades.
- Liberalización de la normativa referente a las transacciones económicas entre los agentes para las actividades a realizar en régimen de competencia.
- Privatización, en su caso, de las empresas públicas, evitando así los conflictos de interés que pueden surgir al permanecer el Estado como juez y parte en las diversas actividades eléctricas.

La existencia de competencia, unida a la propia complejidad del sector eléctrico, ha hecho también necesaria la creación de entidades reguladoras que velen por la competencia y resuelvan los conflictos que surjan en el funcionamiento del mercado [Hong, 2000].

3.2 MERCADOS MAYORISTAS

Hoy en día los mercados eléctricos tienen diferentes formas y no existen dos mercados mayoristas iguales, aunque estos se pueden clasificar por su diseño en tres grandes grupos para hacer la transacción de energía eléctrica.

- Modelos Centralizados
- Modelos Descentralizados
- Modelos Híbridos

3.2.1 Modelos centralizados

De las primeras estructuras utilizadas en la creación del mercado mayorista es la llamada Pool [Madrigal, 2000a], [Madrigal, 2001], la cual agrupa a modelaciones de mercados considerados como centralizados. Para este tipo de mercados se requiere de una optimización centralizada que requiere un algoritmo de asignación de unidades para determinar la cantidad de energía que se debe de comprar a cada generador en cada etapa (Hora) del día, esta asignación debe de considerar restricciones físicas de generadores como de la red eléctrica (figura 3.1).

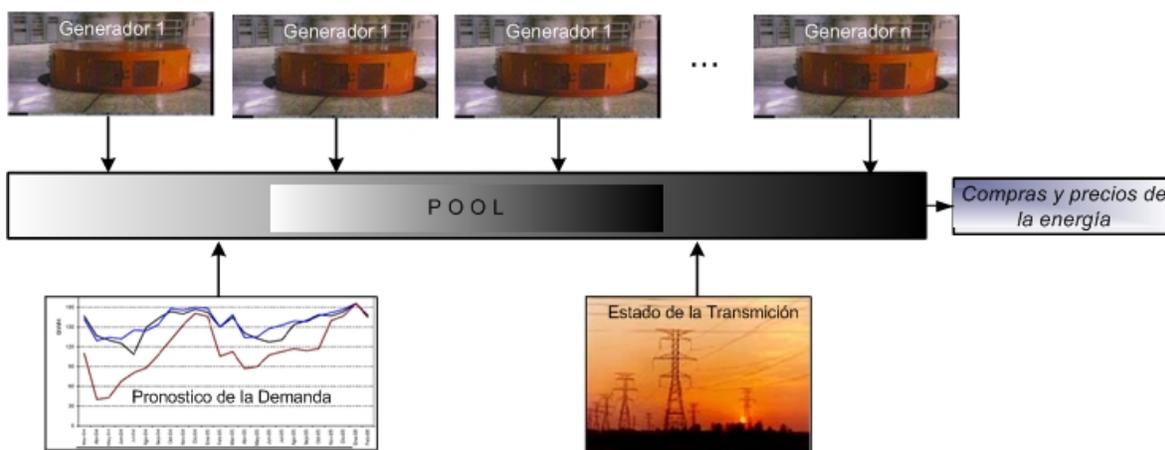


Figura 3.1 Funcionamiento de los mercados eléctricos mayoristas centralizados.

3.2.2 Modelos descentralizados

En el mercado de energía eléctrica descentralizado, se presentan ofertas simples de compra y venta de energía eléctrica, las cuales las ejecuta el operador del mercado en forma exclusiva. Otra parte fundamental en el mercado descentralizado corresponde al manejo del sistema eléctrico lo cual lo hace el operador del sistema y este manejo se realiza de acuerdo a los resultados del operador del mercado (figura 3.2). En estos mercados la subasta

se realiza con ofertas simples, es decir, los suministradores especifican la cantidad de energía que pueden producir y su precio y los compradores especifican la cantidad de energía que requieren y cuanto están dispuestos a pagar por dicha energía. La base para el mercado descentralizado son: el operador del mercado, coordinadores de programación y del operador del sistema y sus características son las siguientes [Hong, 2000].

Operador del mercado:

- Usa una subasta estándar para implementar el mercado
- Determina el precio del mercado diario sin considerar el derecho de transmisión
- Reporta al operador de sistema el resultado del mercado
- Realiza funciones de contabilidad y facturación.

Coordinadores de programación:

- Coordinan contratos bilaterales
- Reportan las inyecciones y extracciones programas al operador del sistema

Operador del sistema:

- Recibe información del mercado y coordinadores
- Maneja la transmisión con un esquema predeterminado

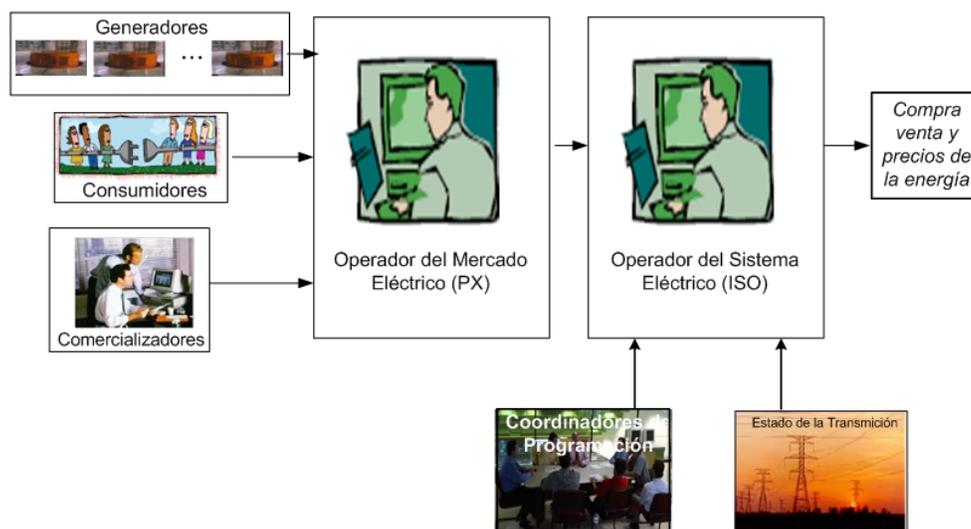


Figura 3.2 Funcionamiento de los mercados eléctricos mayoristas descentralizados.



3.2.3 Modelos híbridos

En los sistemas de mercados híbridos combinan características de mercados centralizados y descentralizados [Hong, 2000], [Madrigal, 2000a]. Este mercado no es subastado con ofertas simples de precio de compra y venta de energía ni con subastas de asignación de unidades, por lo que este mercado está basado en un despacho simplificado. Al realizar la subasta de energía (Despacho), se considera la red de transmisión en forma simplificada. El operador del mercado y de sistema (un solo operador), ejecuta el mercado en el modelo de despacho simplificado para realizar la subasta híbrida. La subasta realizada no es tan compleja como lo es en el mercado centralizado y no tan simple como en el mercado descentralizado (figura 3.3).

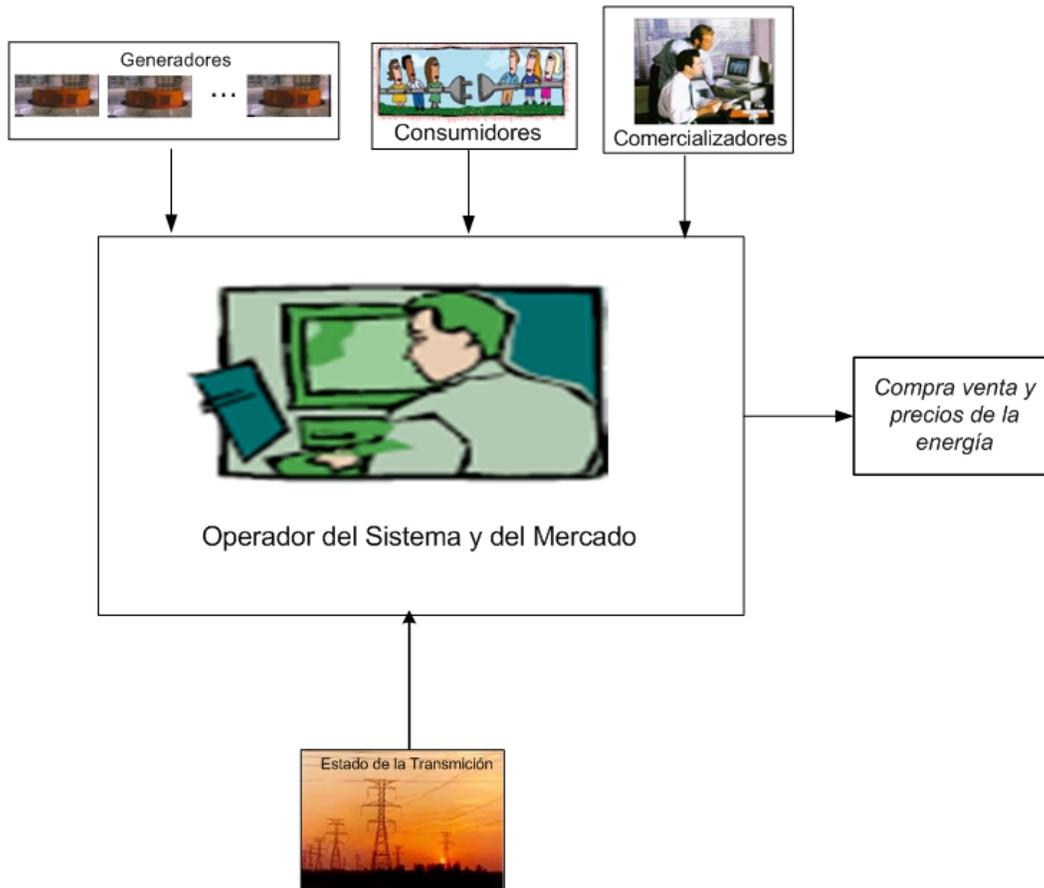


Figura 3.3 Funcionamiento de los mercados eléctricos mayoristas híbridos.



3.3 ESTRUCTURA DE LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS

El esquema inicial de las compañías eléctricas, fue a través de inversiones privadas o el estado tomó posesión e iniciativa de las inversiones para la evolución de estas empresas, este tipo de organización permaneció por más de 100 años y aun hasta la fecha algunos sistemas continúan operando con esta estructura. Con esta disposición, las empresas han sido especificadas como compañías eléctricas verticalmente integradas (Tradicional) y realizan principalmente tres funciones en el sistema eléctrico: generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica. Las compañías horizontalmente integradas están formadas por cuatro segmentos: generación, transmisión, distribución y comercialización. Únicamente en la generación y comercialización se establece un ambiente de competencia y las áreas de transmisión y distribución permanecen bajo un monopolio.

3.4 PRINCIPALES TRANSFORMACIONES EN EL SECTOR ELÉCTRICO

3.4.1 El cambio tecnológico

Tradicionalmente, la actividad de generación eléctrica, suponía por parte de las empresas la realización de un volumen muy importante de inversiones en inmovilizado. Adicionalmente, el transporte de electricidad presenta unas pérdidas que, entre otros factores, dependían básicamente de la distancia y la congestión de la red. La realización de estas actividades en régimen de monopolio, permitía el aprovechamiento de las economías de escala en generación y alcance, al permitir una mayor coordinación en las decisiones sobre la red en empresas verticalmente integradas.

Desde finales de los años 80 y sobre todo en los años 90, se han puesto de manifiesto importantes avances tecnológicos relacionados con las actividades de suministro eléctrico como es en los generadores. La mejora tecnológica también alcanza a las redes, sobre todo al tratamiento de la información, lo que permite gestionar de forma más adecuada y en tiempo real, las restricciones en el transporte, disminuyendo la congestión y disminuyendo los costos. El desarrollo de las redes y el aumento en su capacidad ha



conseguido aumentar el tamaño de los mercados potenciales, permitiendo que la aparición de competencia no suponga duplicidad en las instalaciones.

3.4.2 El cambio en la regulación

El concepto básico que nos permite entender los cambios en la regulación, es la insatisfacción por los resultados ofrecidos por los enfoques tradicionales. Los objetivos atribuidos por la regulación a las empresas de servicios públicos consistían, básicamente, en la garantía de un suministro universal al conjunto de los ciudadanos, bajo unos niveles de calidad estándares, y al mínimo costo posible. Para ello, estas empresas actuaban como monopolios naturales de carácter territorial y percibían por los servicios anteriormente mencionados el derecho a percibir unas tarifas reguladas, que garantizan la recuperación de las inversiones realizadas, más la retribución a una tasa establecida, de los capitales invertidos.

En ocasiones, es el mismo Estado quien, mediante empresas públicas, sustituye la iniciativa privada en estos mercados, con la finalidad teórica de poder fijar precios más eficientes y hacer máximo el excedente de los consumidores de estos servicios.

La nueva regulación parte de la consideración del proceso económico e industrial de abastecimiento eléctrico como un fenómeno complejo. Dentro del mismo se dan multitud de actividades, susceptibles de recibir un tratamiento regulatorio diferenciado, pudiendo alguna de ellas ser realizada en régimen de competencia. El esquema comúnmente asumido divide las actividades relacionadas con el suministro eléctrico en cuatro: Generación, Transporte, Distribución y Comercialización. De estas, la primera y la última son susceptibles de ser llevadas a cabo en mercados abiertos a la competencia, mientras que el transporte y la distribución presentan características de monopolio natural, por lo que se mantienen como actividades reguladas.



3.5 BENEFICIOS ASOCIADOS A LA COMPETENCIA

Por los argumentos expuestos con anterioridad, podemos concluir que los mercados eléctricos que actúan en régimen de competencia ofrecen resultados más satisfactorios que la regulación tradicional. La idea básica es que al no tener garantizados sus ingresos, las empresas tendrán que comportarse de forma eficiente si quieren subsistir en el mercado.

3.6 ASIGNACIÓN DE UNIDADES

El problema de Asignación de Unidades es un problema de corto plazo, que involucra distintos costos y restricciones operativas de los generadores [Conejo, 2002], [Flores, 2002], [Sheble, 1994], [Wood & Wollenberg, 1996].

Función a minimizar El objetivo de la programación horaria de centrales de producción de energía eléctrica es minimizar los costos totales; esto objetivo es por tanto minimizar

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J [A_j v_j^k + B_j p_j^k + c_j y_j^k + E_j z_j^k] \quad (3.1)$$

Sujeto a:

Las centrales térmicas no pueden funcionar ni por debajo de una producción mínima, ni por encima de una producción máxima. Estas restricciones se pueden formular de la siguiente manera:

$$\underline{P}_j v_j^k \leq p_j^k \leq \bar{P}_j v_j^k \quad (3.2)$$

Al pasar de un periodo de tiempo al siguiente, cualquier central térmica no puede incrementar su producción por encima de un máximo, denominado rampa máxima de subida de carga. Esta restricción se expresa de la siguiente manera:



$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad (3.3)$$

Análogamente, ninguna central puede bajar su producción por encima de un máximo, que se denomina rampa máxima de bajada de carga. Por tanto:

$$p_j^k - p_j^{k+1} \leq T_j \quad (3.4)$$

La demanda debe suministrarse en cada periodo, por tanto

$$\sum_{j=1}^J p_j^k = D^k \quad (3.5)$$

3.6.1 Datos

K	Número de periodos de tiempo que tiene el horizonte temporal
C_j	Costo de arranque de la central j
E_j	Costo de parada de la central j
A_j	Costo fijo de la central j
B_j	Costo variable de la central j
\underline{P}_j	Producción mínima de la central j
\bar{P}_j	Producción máxima de la central j
S_j	Rampa máxima de incremento de carga de la central j
T_j	Rampa máxima de decremento de carga de la central j
J	Número de centrales de producción
D_k	Demanda en el periodo k



3.6.2 Variables

Las variables de este problema son las siguientes:

- y_j^k Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j se arranca al comienzo del periodo k y 0 , en otro caso
- z_j^k Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j se para al comienzo del periodo k , y 0 , en otro caso
- v_j^k Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j está en funcionamiento durante el periodo k y 0 , en otro caso
- p_j^k Producción de la central j durante el periodo k

3.7 LINEALIZACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA

Así como el modelo de producción de los generadores define la técnica de solución del problema de asignación de unidades, el modelo de la red eléctrica también ejerce una influencia determinante en este aspecto. Entonces, puede utilizarse un modelo de la red de corriente alterna, donde las restricciones de tensiones complejas nodales con los flujos de potencia son no lineales, o un modelo de red de corriente directa donde estas relaciones se simplifican, obteniéndose un modelo lineal.

Para ambas formulaciones, se parte del circuito π de los elementos de transmisión, tal como el mostrado en la figura 3.4.

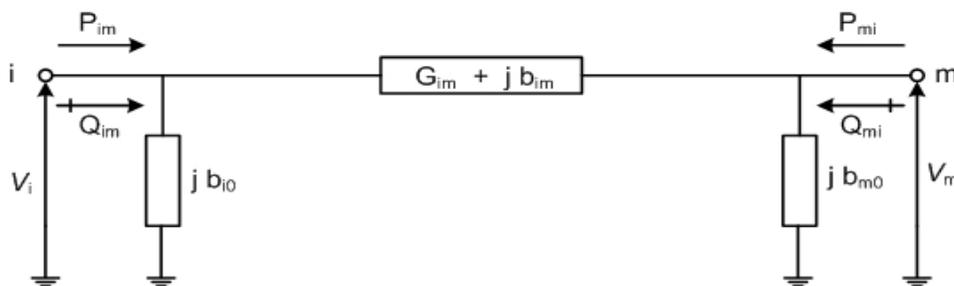


Figura 3.4 circuito π de un elemento de transmisión, sus flujos de potencia y tensiones nodales.



El flujo de potencia del nodo i al nodo m estará dado por:

$$\begin{aligned} P_{im} + jQ_{im} &= \bar{V}_i \left[(\bar{V}_i - \bar{V}_m)(g_{im} + jb_{im}) \right]^* + \bar{V}_i (j\bar{V}_i b_{i0})^* \\ &= V_i e^{j\delta_i} \left[(V_i e^{j\delta_i} - V_m e^{j\delta_m})(g_{im} + jb_{im}) \right]^* - jV_i^2 b_{i0} \\ &= \left[V_i^2 - V_i V_m \cos(\delta_i - \delta_m) - V_i V_m \text{Sen}(\delta_i - \delta_m) \right] (g_{im} - jb_{im}) - jV_i^2 b_{i0} \end{aligned}$$

De donde:

$$P_{im} = V_i^2 g_{im} - V_i V_m g_{im} \cos(\delta_i - \delta_m) - V_i V_m b_{im} \text{Sen}(\delta_i - \delta_m) \quad (3.6)$$

Suponiendo:

(a) $V_i = V_m = 1.0$

(b) $x_{im} \gg r_{im}$ Lo cual indica que:

$$\begin{aligned} g_{im} &= \frac{r_{im}}{r_{im}^2 + x_{im}^2} \approx 0.0 \\ b_{im} &= -\frac{x_{im}}{r_{im}^2 + x_{im}^2} \approx -\frac{1}{x_{im}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

(c) $(\delta_i - \delta_m) \rightarrow 0$, de lo que se deduce:

$$\begin{aligned} \cos(\delta_i - \delta_m) &\approx 1.0 \\ \text{Sen}(\delta_i - \delta_m) &\approx (\delta_i - \delta_m) \end{aligned}$$

Por lo tanto, el flujo de potencia activa a través del elemento conectado a los nodos i y m se simplifica a:

$$P_{im} = \frac{1}{x_{im}} (\delta_i - \delta_m) \quad (3.8)$$



Donde esta forma linealizada puede utilizarse para calcular todos los ángulos de fase θ_i del sistema

La potencia neta inyectada puede expresarse en términos de los flujos de potencia incidentes al nodo i como:

$$P_i = \sum_{m \in i} P_{im} = \sum_{m \in i} \frac{1}{x_{im}} (\delta_i - \delta_m) \quad (3.9)$$

Y de aquí,

$$P_i = \sum_{m \in i} \left(\frac{1}{x_{im}} \delta_i - \frac{1}{x_{im}} \delta_m \right) \quad (3.10)$$

Donde $m \in i$ indica los nodos conectados al nodo i . con estas expresiones, la ecuación de balance de potencia nodal se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_{Gi} = P_{Di} + P_i = P_{Di} + \sum_{m \in i} \left(\frac{\delta_i - \delta_m}{x_{im}} \right) \quad (3.11)$$

Los límites de transmisión se pueden representar como se indica en la siguiente expresión:

$$\left(\frac{\delta_i - \delta_m}{x_{im}} \right) \leq P_{im}^{\max} \quad (3.12)$$



3.8 FORMULACIÓN DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN MERCADO ELÉCTRICO CENTRALIZADO

Por lo tanto la formulación del problema de asignación de unidades, considerando los aspectos modelados anteriormente (asignación de unidades y red eléctrica) se presenta en el siguiente modelo matemático [Madrigal, 2001].

Minimizar:

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J [A_j v_j^k + B_j p_j^k + c_j y_j^k + E_j z_j^k] \quad (3.13)$$

Sujeto a:

$$P_{Gi}^k = P_{Di}^k + \sum_{M \in i} \frac{(\delta_i^k - \delta_m^k)}{x_{im}} \quad \forall i, k \quad (3.14)$$

$$\frac{(\delta_i^k - \delta_m^k)}{x_{im}} \leq P_{im}^{\max} \quad \forall i, k, m \quad (3.15)$$

$$p_j^k - p_j^{k+1} \leq T_j \quad \forall i, k = 0, \dots, K-1 \quad (3.16)$$

$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad \forall i, k = 0, \dots, K-1 \quad (3.17)$$

$$\underline{P}_j v_j^k \leq p_j^k \leq \bar{P}_j v_j^k \quad \forall i, k \quad (3.18)$$

Donde:

3.8.1 Datos

- K Número de periodos de tiempo que tiene el horizonte temporal
- C_j Costo de arranque de la central j
- E_j Costo de parada de la central j
- A_j Costo fijo de la central j



- B_j Costo variable de la central j
- \underline{P}_j Producción mínima de la central j
- \bar{P}_j Producción máxima de la central j
- S_j Rampa máxima de incremento de carga de la central j
- T_j Rampa máxima de decremento de carga de la central j
- P_{Di}^k Potencia de demanda en el nodo i . para el periodo k
- P_{Gi}^k Potencia de generación en el nodo i . para el periodo k
- x_{im} Reactancia de la línea conectando a los nodos i y m .
- P_{im}^{\max} Potencia máxima de transferencia en el elemento conectando a los nodos i y m .
- δ_1^k Ángulo de la tensión compleja nodal en el nodo 1 $\delta_1^k = 0.0$
- J Número de centrales de producción

3.8.2 Variables

Las variables de este problema son las siguientes:

- y_j^k Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j se arranca al comienzo del periodo k y 0 , en otro caso
- z_j^k Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j se para al comienzo del periodo k , y 0 , en otro caso
- v_j^k Variable binaria que toma el valor 1 , si la central j está en funcionamiento durante el periodo k y 0 , en otro caso
- p_j^k Producción de la central j durante el periodo k
- δ_i^k Ángulo de la tensión compleja nodal para $i \neq 1$



El problema es mucho más complicado de resolver que el problema de asignación de unidades sin considerar límites de transmisión. Existen técnicas que han sido usadas para resolverlo y, por lo general, se logra resolverlo con éxito si se considera modelos lineales de la red de transmisión.

3.9 SIMULADOR DE LA ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN MERCADO ELÉCTRICO CENTRALIZADO (SAUMEC)

La integración del SAUMEC se hace de igual forma que en el punto 2.7. La herramienta principal que implementa el modelo de asignación de unidades es el software MINOS 5.51_{MR} (resuelve el problema lineal), el simulador cuenta con diferentes archivos de salida en los cuales se encuentra la asignación de unidades y el despacho económico.

3.9.1 Programa principal del SAUMEC

El SAUMEC es el programa principal y lleva a cabo el mismo procedimiento que el punto 2.7.1

3.9.2 Subrutina MPS-SAUMEC

En esta subrutina se leen los datos característicos de las unidades que pueden ser asignadas, elementos que tiene la red, conexiones entre los nodos y las reactancias de estos elementos al igual que en el punto 2.7.2 con la diferencia que existen las líneas de transmisión, reactancia, límites de sus flujos y a continuación se da el orden en que se escriben los datos en el archivo .DAT.

- Nombre del sistema.
- Número de termoeléctricas para la asignación.
- Por ciento de la reserva rodante del sistema.
- Nombre de la Termoeléctrica



- Potencia Máxima de Generación.
- Potencia Mínima de Generación.
- Limite de Rampa de Incremento de Potencia
- Limite de Rampa de Decremento de Potencia
- Costo Fijo de Generación
- Costo de Arranque del Generador
- Costo de Paro del Generador
- Costo Variable del Generador
- Potencia Generada antes de iniciar el horizonte
- Número de líneas de transmisión del sistema
- Nodo de envío
- Nodo de Recepción
- Reactancia
- Potencia limite de la línea
- Número de etapas que tienes el horizonte
- Demanda de Energía en el nodo 1 en la hora 01
- Demanda de Energía en el nodo 1 en la hora 02
- Demanda de Energía en el nodo 2 en la hora 01
- Demanda de Energía en el nodo 2 en la hora 02

Después de la lectura de datos se tiene el mismo procedimiento que en el punto 2.7.2 solo que se agrega el balance nodal y las restricciones de los flujos de potencia en las líneas de transmisión así como la rampa de decremento de potencia de generación para cada uno de los generadores del sistema

3.9.3 Archivo SPC

En el archivo SPC es utilizado por MINOS 5.51_{MR}, tiene el mismo procedimiento que el punto 2.7.3



3.9.4 Subrutina MINOS1

La subrutina MINOS1 es la parte modular del SAUMEC puesto que en ella se tienen muchas subrutinas para dar solución al problema lineal que fue creado y escrito en el archivo MPS el cual es resuelto por el método simplex (ver manual de MINOS).

3.9.5 Subrutina ESCR-SAUMEC

En esta subrutina se escriben en los archivos de salida los resultados de la optimización. Para la creación de estos archivos se hace el llamado de la subrutina MATRI de IMSL en la cual se escriben los resultados de la optimización en una forma matricial para que se puedan comprender rápidamente la solución óptima del problema. En este archivo primero aparece una pequeña portada, después aparece la solución numérica a la función objetivo, el costo del mercado eléctrico para cada una de las etapas del horizonte de planeación, la matriz de producción de energía eléctrica de cada unidad en cada una de las etapas del horizonte de planeación, en donde las filas representan las unidades generadoras y las columnas representan las etapas del horizonte de planeación, después de las potencia de generación se presenta el ángulo nodal para cada nodo en cada una de las etapas del horizonte y por último se presenta el flujo de potencia en cada líneas para cada una de las etapas del horizonte de planeación.

3.9.6 Limitaciones del SAUMEC

Las limitaciones que tiene el SAUMEC es el no considerar los tiempos mínimos de conexión y de desconexión de los generadores.

Este programa computacional tiene la facilidad de que su archivo de datos tiene una forma muy simple de entender puesto que para cada unidad indica que variable va en cada fila y para las líneas de transmisión se tiene una lectura de datos muy parecida al archivo de datos de flujos de potencia y en la demanda de energía eléctrica también tiene un fácil entendimiento para saber como escribir los datos en el archivo de entrada.



3.10 EJEMPLOS ILUSTRATIVOS DE APLICACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO CENTRALIZADO

Se presentan ejemplos de la asignación de unidades dentro de un mercado centralizando considerando diferentes características de la red como de las unidades generadoras, esto se hace con el fin de tener un mejor entendimiento del problema de la asignación de unidades en el mercado centralizado.

3.10.1 Ejemplo A.3

En este ejemplo de simulación de mercado centralizado, se analizan 4 horas diferentes de la operación del sistema de la figura 3.5. Se tienen 5 ofertas de generación, de acuerdo a la tabla 3.1 la demanda presenta el comportamiento que se tiene en la tabla 3.2

Tabla 3.1. Ofertas de generación del Ejemplo A.3

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	T_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	10.0	5.0	10.0	15.0	5	110	110.0	110.0	0.0
G2	10.0	5.0	15.0	20.0	5	110	110.0	110.0	0.0
G3	10.0	5.0	15.0	25.0	5	60	60.0	60.0	0.0
G4	10.0	5.0	20.0	30.0	5	60	60.0	60.0	0.0
G5	10.0	5.0	20.0	30.0	5	60	60.0	60.0	0.0

Tabla 3.2. Demanda nodal del Ejemplo A.3

Demanda	Nodo	Hora	P_D (MW)
D1	1	1	130
D1	1	2	150
D1	1	3	200
D1	1	4	150
D2	3	1	100
D2	3	2	150
D2	3	3	150
D4	3	4	250

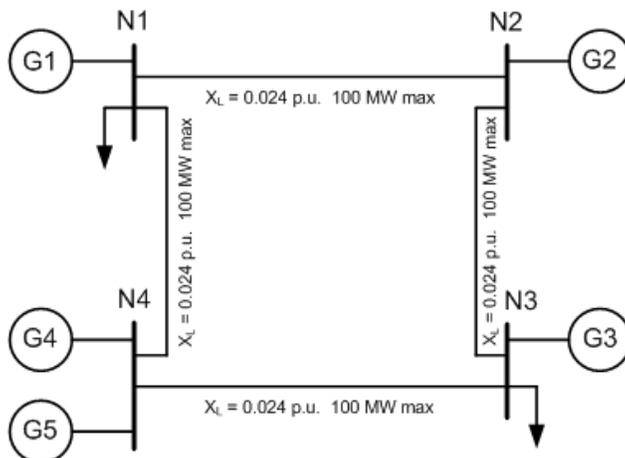


Figura 3.5. Sistema de simulación del modelo centralizado en 4 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea

Solución del mercado considerando la red de transmisión de acuerdo al programa computacional desarrollado para la solución de la asignación de unidades a corto plazo.

Tabla 3.3. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del Ejemplo A.3

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	P_{G4}	P_{G5}	f^* (\$)
1	230.0	110.0	110.0	10.0	0.0	0.0	
2	300.0	110.0	110.0	60.0	20.0	0.0	
3	350.0	110.0	110.0	60.0	10.0	60.0	
4	400.0	110.0	110.0	60.0	60.0	60.0	
						Total	26760.0

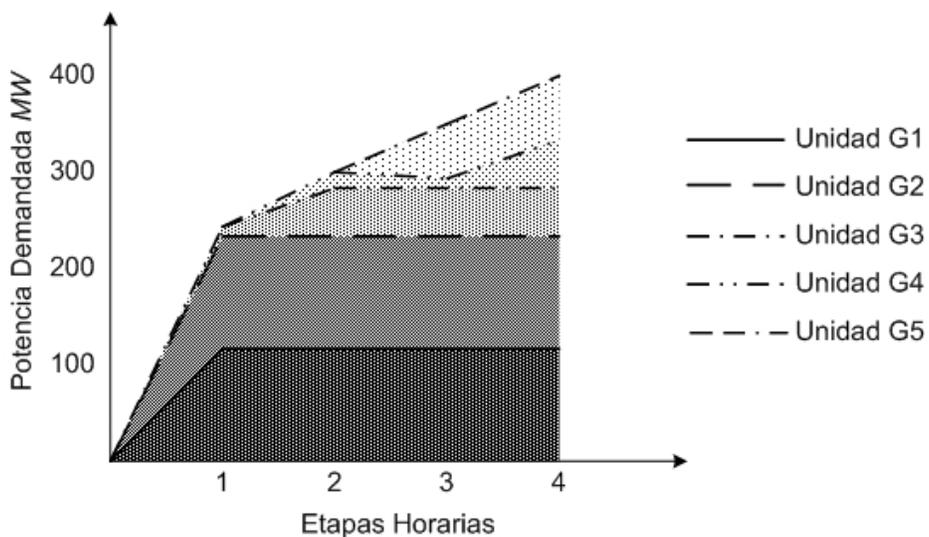


Figura 3.6 Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del ejemplo A.3



La figura 3.6 muestra el comportamiento de las unidades de acuerdo a los resultados obtenidos por el SAUMEC para las etapas del horizonte de planeación. En la tabla 3.4 se muestra los ángulos nodales para cada una de las etapas del horizonte de optimización.

Tabla 3.4. Ángulo nodal para cada una de las etapas del Ejemplo A.3

		Hora			
		1	2	3	4
Ángulo Nodal	N1	0.0	0.0	0.0	0.0
	N2	0.90	1.02	1.32	0.42
	N3	-0.84	-0.60	0.0	-1.80
	N4	-0.42	-0.06	0.84	0.54

En la tabla 3.5 se muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para cada una de las etapas del horizonte de optimización.

Tabla 3.5. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del Ejemplo A.3

		Hora				
		Nodos de Conexión	1	2	3	4
Línea de Transmisión	E1	N1 – N2	-37.50	-42.50	-55.00	-17.50
	E2	N1 – N4	17.50	2.50	-35.00	-22.50
	E3	N2 – N3	72.50	67.50	55.00	92.50
	E4	N3 – N4	-17.50	-22.50	-35.00	-97.50

Como se observa en la tabla 3.5 ninguna de las líneas de transmisión esta en su límite máximo de flujo de energía en ninguna de las etapas de operación del sistema y el costo de generación lo proporciona la unidad más cara que está generando en cada una de las horas del horizonte (tabla 3.3) de planeación. Para este caso en la primer etapa el costo es de 25 \$/MW, en cambio en las demás etapas el costo es de 30 \$/MW y esto se debe a que la unidad generadora G4 y G5 tiene el mismo costo variable. La unidad G1 y G2 están generando la máxima potencia en todas las etapas del horizonte, la unidad G3 en la etapa uno genera una potencia de 10 MW mientras que en las etapas restantes entrega su potencia máxima. La unidad G4 genera desde la etapa dos en adelante, en esta etapa genera 20 MW, en la etapa tres 10 MW y en la última etapa su potencia máxima y por último la unidad G5 sola entra en servicio en dos de las etapas del horizonte de planeación entregando su potencia máxima de generación.



3.10.2 Ejemplo B.3

En el ejemplo de simulación de mercado centralizado se analizan 24 horas diferentes de la operación del sistema de la figura 3.7. En este ejemplo ofertan tres generadores y sus datos característicos son mostrados en la tabla 3.6. El pronóstico de la demanda de energía eléctrica durante el horizonte de planeación se presenta en la tabla 3.7.

Tabla 3.6. Ofertas de generación del Ejemplo B.3

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	P_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	T_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	30.0	5.0	17.0	22.0	25.0	247.5	100.0	150.0	50.0
G2	40.0	3.0	20.0	26.0	19.0	192.0	80.0	110.0	70.0
G3	20.0	1.0	23.0	28.0	13.0	128.0	70.0	128.0	80.0

Tabla 3.7. Demanda Nodal del Ejemplo B.3

Demanda Nodal								
Nodo	Hora	P_D (MW)	Nodo	Hora	P_D (MW)	Nodo	Hora	P_D (MW)
4	1	90	5	1	125	6	1	100
4	2	100	5	2	115	6	2	90
4	3	110	5	3	105	6	3	110
4	4	120	5	4	95	6	4	80
4	5	130	5	5	85	6	5	120
4	6	140	5	6	75	6	6	70
4	7	150	5	7	65	6	7	130
4	8	140	5	8	70	6	8	60
4	9	130	5	9	80	6	9	140
4	10	120	5	10	90	6	10	50
4	11	110	5	11	100	6	11	150
4	12	100	5	12	110	6	12	40
4	13	090	5	13	120	6	13	145
4	14	080	5	14	130	6	14	45
4	15	070	5	15	140	6	15	135
4	16	060	5	16	150	6	16	55
4	17	070	5	17	140	6	17	125
4	18	080	5	18	130	6	18	65
4	19	090	5	19	120	6	19	115
4	20	100	5	20	110	6	20	75
4	21	110	5	21	100	6	21	105
4	22	120	5	22	90	6	22	85
4	23	125	5	23	85	6	23	95
4	24	130	5	24	80	6	24	95

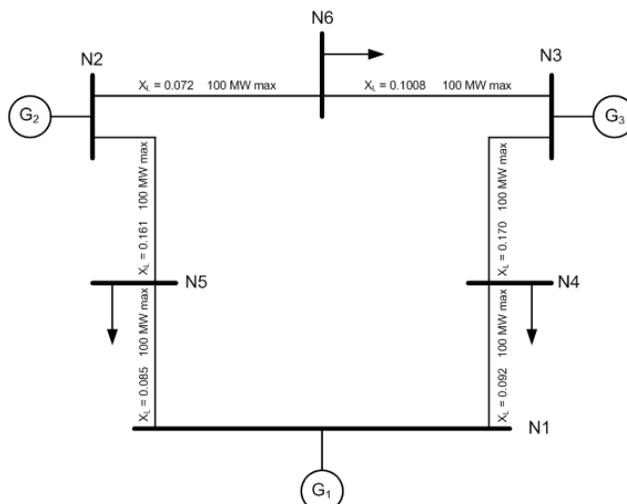


Figura 3.7. Sistema de simulación del modelo centralizado en 24 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea

Tabla 3.8. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del Ejemplo B.3

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	315	150.0	150.0	15.0	
2	305	200.0	85.5	19.5	
3	325	200.0	68.0	57.0	
4	295	200.0	21.4	73.6	
5	335	198.6	19.0	117.4	
6	285	182.4	0.0	102.6	
7	345	162.1	54.9	128.0	
8	270	176.0	0.0	94.0	
9	350	196.9	25.1	128.0	
10	260	189.8	19.0	51.2	
11	360	200.0	81.7	78.3	
12	250	196.1	40.9	13.0	
13	355	188.7	120.0	46.3	
14	255	179.0	76.0	0.0	
15	345	167.3	140.0	37.7	
16	265	157.4	107.6	0.0	
17	335	171.1	140.0	23.9	
18	275	182.3	92.7	0.0	
19	325	197.0	115.0	13.0	
20	285	200.0	67.1	17.9	
21	315	200.0	55.5	59.5	
22	295	198.2	19.0	77.8	
23	305	194.6	19.0	91.4	
24	305	196.4	0.0	108.6	
				Total	177466.33



La potencia generada por etapa por unidad determinada por el SAUMEC es mostrada en la tabla 3.8

En la tabla 3.9 se muestran los ángulos nodales para cada etapa del horizonte de optimización obtenidos por el SAUMEC.

Tabla 3.9. Ángulo Nodal para cada una de las etapas del Ejemplo B.3.

		Ángulo Nodal					
		N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora	1	0.0	2.10	-4.80	-7.06	-6.23	-4.98
	2	0.0	-6.08	-9.20	-9.20	-8.50	-11.16
	3	0.0	-7.69	-7.50	-9.20	-8.50	-12.23
	4	0.0	-9.30	-5.80	-9.20	-8.50	-11.20
	5	0.0	-10.57	-4.10	-9.20	-8.38	-12.91
	6	0.0	-8.18	-2.40	-9.20	-7.00	-8.71
	7	0.0	-4.82	-0.70	-9.20	-5.28	-8.56
	8	0.0	-7.42	-2.40	-9.20	-6.46	-7.85
	9	0.0	-10.95	-4.10	-9.20	-8.24	-13.98
	10	0.0	-7.59	-5.80	-9.20	-7.63	-8.95
	11	0.0	-8.50	-7.50	-9.20	-8.50	-14.38
	12	0.0	-6.89	-8.19	-8.85	-8.50	-9.11
	13	0.0	-5.28	-7.94	-8.16	-8.50	-12.48
	14	0.0	-3.67	-7.09	-7.26	-8.50	-6.98
	15	0.0	-2.06	-5.73	-6.19	-8.50	-9.26
	16	0.0	-0.45	-4.85	-5.28	-8.50	-4.59
	17	0.0	-2.06	-6.74	-6.55	-8.50	-9.26
	18	0.0	-3.67	-7.96	-7.57	-8.50	-8.19
	19	0.0	-5.28	-10.11	-8.92	-8.50	-12.12
	20	0.0	-6.89	-9.20	-9.20	-8.50	-11.00
	21	0.0	-8.50	-7.50	-9.20	-8.50	-12.49
	22	0.0	-9.67	-5.80	-9.20	-8.35	-11.63
	23	0.0	-9.58	-4.95	-9.20	-8.04	-11.64
	24	0.0	-10.84	-4.10	-9.20	-8.20	-12.02

El SAUMEC al minimizar los precios determina en forma paralela los flujos en las líneas de transmisión cumpliendo con las restricciones de balance nodal y límites en las líneas. Estos flujos determinados por el simulador son mostrados en la tabla 3.10



Tabla 3.10. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del Ejemplo B.3

Línea de Transmisión						
Hora	N1 – N4	N1 – N5	N2 – N5	N2 – N6	N3 – N4	N3 – N6
1	76.723	73.272	51.728	98.271	13.276	1.725
2	99.996	99.998	15.002	70.521	0.004	19.474
3	99.996	99.998	5.002	63.032	10.004	46.963
4	99.996	99.998	-4.998	26.377	20.004	53.612
5	99.996	98.578	-13.579	32.576	30.003	87.418
6	99.996	82.353	-7.354	7.352	40.003	62.644
7	99.996	62.122	2.877	51.999	50.003	77.997
8	99.996	75.961	-5.962	5.961	40.003	54.036
9	99.996	96.883	-16.883	41.998	30.003	97.996
10	99.996	89.774	0.224	18.773	20.003	31.222
11	99.996	99.998	0.002	81.706	10.003	68.287
12	96.142	99.998	10.002	30.853	3.857	9.143
13	88.717	99.998	20.002	100.00	1.282	44.995
14	78.963	99.998	30.002	46.033	1.037	46.033
15	67.297	99.998	40.002	100.00	2.703	34.996
16	57.445	99.998	50.001	57.552	2.554	-2.554
17	71.144	99.998	40.002	100.00	-1.144	24.997
18	82.275	99.998	30.002	62.721	-2.275	2.275
19	96.975	99.998	20.002	95.019	-6.975	19.975
20	99.996	99.998	10.002	57.112	0.003	17.882
21	99.996	99.998	0.002	55.457	10.004	49.537
22	99.996	98.198	-8.199	27.197	20.003	57.798
23	99.9969	94.590	-9.591	28.589	25.003	66.406
24	99.996	96.415	-16.416	16.414	30.003	78.581

Para este ejemplo las líneas de transmisión en algunas etapas del horizonte de planeación están en su límite máximo de flujo de potencia y esto se debe al tratar de minimizar los costos de producción. Estos flujos se deben a que el generador G1 está produciendo una cantidad de energía considerable y su costo de producción es más económico que el de los otros dos generadores, aunque en la mayoría de las etapas los tres generadores están produciendo energía. Para las etapas 14, 16 y 18 el costo de producción de energía es de 26.00 \$/MW, en las restantes etapas el costo de producción es de 28 \$/MW, este precio lo asigna el generador G3 por ser el más caro en estas etapas.



3.10.3 Ejemplo C.3

El ejemplo C.3 de simulación de mercado centralizado, es igual al que se analizó en el ejemplo B.3 con solo 5 etapas y con otras características de la red y de los generadores, para este análisis es considerado la operación del sistema de la figura 3.8. Los productores de energía muestran las características de sus unidades que pueden ser asignadas las cuales se muestran en la tabla 3.11. La demanda de potencia eléctrica es pronosticada para las etapas del horizonte de planeación, la cual es mostrada en la tabla 3.12

Tabla 3.11. Ofertas de generación del Ejemplo C.3

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	T_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	30.0	5.0	17.0	22.0	25.0	247.5	247.5	247.5	00.00
G2	40.0	3.0	20.0	26.0	19.0	192.0	192.0	192.0	00.00
G3	20.0	1.0	23.0	28.0	13.0	128.0	128.0	128.0	00.00

Tabla 3.12. Demandas Nodales por etapa del Ejemplo C.3

Demanda Nodal								
Nodo	Hora	P_D (MW)	Nodo	Hora	P_D (MW)	Nodo	Hora	P_D (MW)
4	1	90	5	1	125	6	1	100
4	2	100	5	2	115	6	2	90
4	3	110	5	3	105	6	3	110
4	4	120	5	4	95	6	4	80
4	5	130	5	5	85	6	5	120

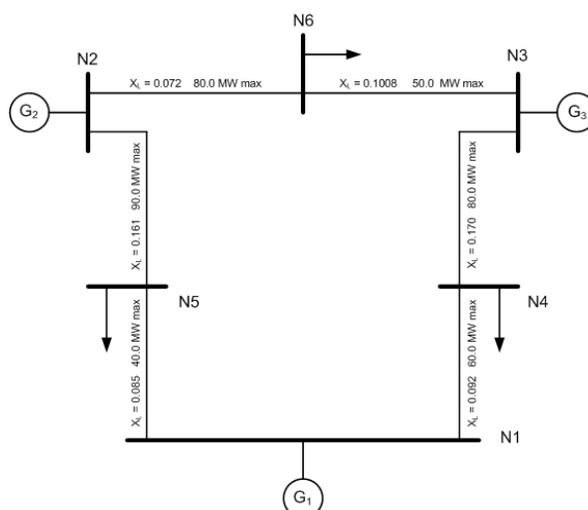


Figura 3.8. Sistema de simulación del modelo centralizado en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo C.3



El SAUMEC al minimizar los precios de producción determina las potencias que deben de generar las unidades, los ángulos nodales y los flujos en las líneas de transmisión para cada una de las etapas que componen al horizonte de planeación, estos resultados son mostrados en las siguientes tablas.

La tabla 3.13 muestra la potencia generada por unidad para las etapas del horizonte de planeación.

Tabla 3.13. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del Ejemplo C.3

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	315	73.4	165.0	76.6	
2	305	89.9	155.0	60.1	
3	325	94.9	145.0	85.2	
4	295	100.0	106.1	88.9	
5	335	89.7	125.3	120.0	
	Total				40410.038

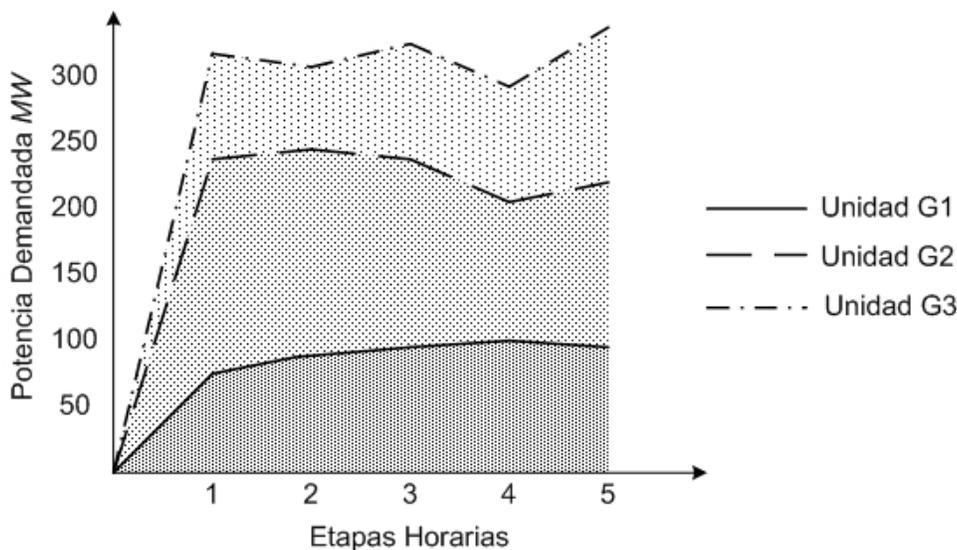


Figura 3.9 Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo C.3

En la tabla 3.14 se muestran los ángulos nodales para cada etapa del horizonte de optimización.



Tabla 3.14. Ángulo Nodal para cada una de las etapas del Ejemplo C.3

		Ángulo Nodal					
		N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora	1	0.0	10.29	6.54	-3.08	-3.40	4.53
	2	0.0	8.68	3.92	-4.59	-3.40	2.92
	3	0.0	7.07	4.33	-5.05	-3.40	1.31
	4	0.0	5.46	4.68	-5.52	-3.40	1.77
	5	0.0	6.38	6.38	-5.52	-2.52	1.34

Al realizar la simulación en todas las etapas los tres generadores están en funcionamiento es decir produciendo energía eléctrica y el costo de generación en cada una de las etapas es de 28\$/MW y las líneas de transmisión en casi todas las etapas están en sus límites de transmisión de potencia eléctrica, como se aprecia en la tabla 3.15. Todos los generadores están por debajo de su potencia máxima, lo cual nos indica que no se tiene un aprovechamiento máximo de generación en las diferentes etapas y esto se debe a los límites de las líneas de transmisión.

El comportamiento de los generadores en el horizonte de planeación es mostrado en la figura 3.9

La tabla 3.15 muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para cada etapa del horizonte de optimización determinadas por el SAUMEC.

Tabla 3.15. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del Ejemplo C.3

		Línea de Transmisión					
		N1 – N4	N1 – N5	N2 – N5	N2 – N6	N3 – N4	N3 – N6
Hora	1	33.429	40.00	85.00	80.00	56.57	20.00
	2	49.910	40.00	75.00	80.00	50.09	10.00
	3	54.85	40.00	65.00	80.00	55.15	30.00
	4	59.998	40.00	55.00	51.15	60.00	28.85
	5	59.998	29.69	55.31	70.00	70.00	50.00



3.10.4 Ejemplo D.3

La simulación de mercado centralizado, es igual al que se analizó en el ejemplo B.3 con solo 5 etapas, con las mismas características de la red pero con otras características de los generadores. Se analiza la operación del sistema de la figura 3.10. En este ejemplo los productores ofertan a tres unidades con los datos mostrados en la tabla 3.16. La demanda es pronosticada para el horizonte de planeación y es mostrada en la tabla 3.17

Tabla 3.16. Ofertas de generación del Ejemplo D.3

Oferta	C_j (\$)	E_j (\$)	A_j (\$)	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	T_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	30.0	5.0	17.0	22.0	25.0	247.5	120.00	120.00	40.00
G2	40.0	3.0	20.0	26.0	19.0	192.0	80.00	110.0	20.00
G3	20.0	1.0	23.0	28.0	13.0	128.0	050.0	090.0	15.00

Tabla 3.17. Demandas Nodales por etapa del Ejemplo D.3

Demanda Nodal								
Nodo	Hora	P_D (MW)	Nodo	Hora	P_D (MW)	Nodo	Hora	P_D (MW)
4	1	90	5	1	125	6	1	100
4	2	100	5	2	115	6	2	90
4	3	110	5	3	105	6	3	110
4	4	120	5	4	95	6	4	80
4	5	130	5	5	85	6	5	120

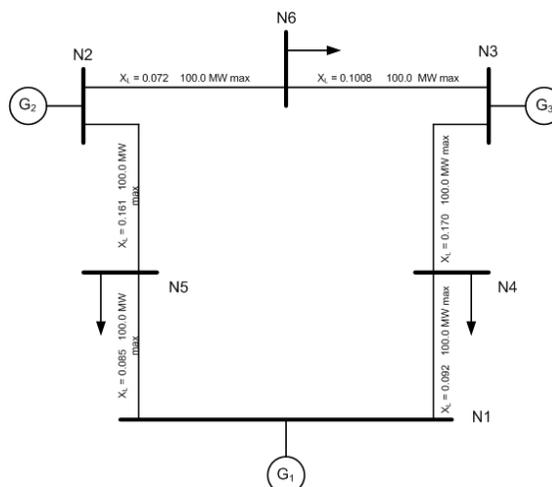


Figura 3.10. Sistema de simulación del modelo centralizado en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo D.3



La tabla 3.18 muestra la potencia generada por unidad para las etapas del horizonte de planeación.

Tabla 3.18. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado centralizado del Ejemplo D.3

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}	f^* (\$)
1	315	160.0	100.0	55.0	
2	305	200.0	85.5	19.5	
3	325	200.0	68.0	57.0	
4	295	200.0	21.4	73.6	
5	335	198.6	19.0	117.4	
Total					38060.632

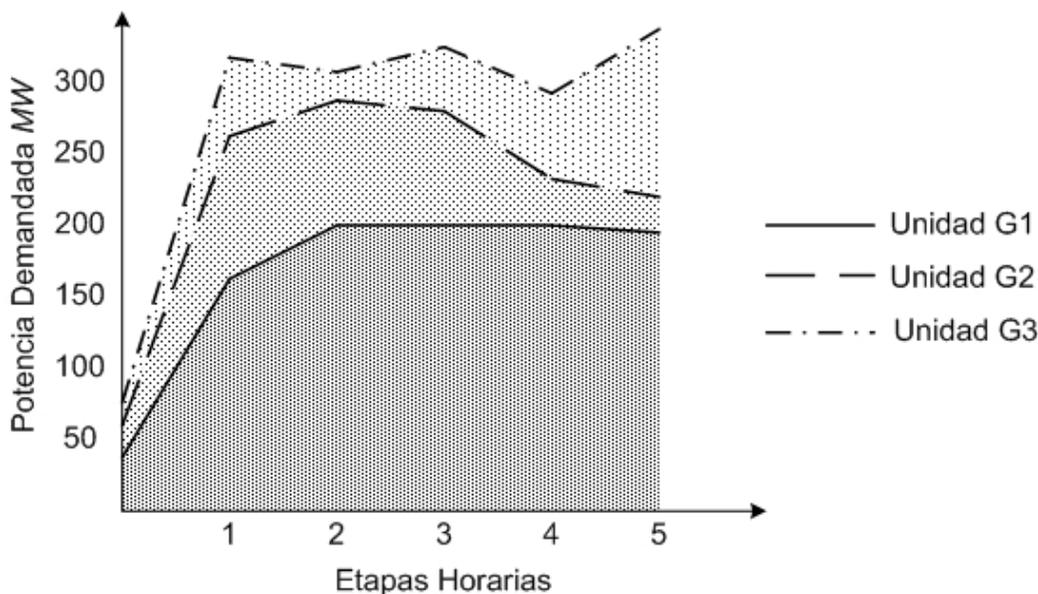


Figura 3.11 Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo D.3

En la tabla 3.19 se muestran los ángulos nodales para cada una de las etapas del horizonte de optimización.

Tabla 3.19. Ángulo Nodal para cada una de las etapas del Ejemplo D.3

		Ángulo Nodal					
		N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora	1	0.0	-1.97	-3.09	-6.46	-7.63	-6.64
	2	0.0	-6.08	-9.20	-9.20	-8.50	-11.16
	3	0.0	-7.69	-7.50	-9.20	-8.50	-12.23
	4	0.0	-9.30	-5.80	-9.20	-8.50	-11.20
	5	0.0	-10.57	-4.10	-9.20	-8.38	-12.91



En la tabla 3.20 se muestra la potencia que circula por líneas para cada una de las etapas del horizonte de optimización.

Tabla 3.20. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para cada etapa del Ejemplo D.3

		Línea de Transmisión					
		N1 – N4	N1 – N5	N2 – N5	N2 – N6	N3 – N4	N3 – N6
Hora	1	70.187	89.813	35.187	64.813	19.813	35.187
	2	100.00	100.00	15.00	70.527	00.00	19.473
	3	100.00	100.00	5.00	63.038	10.00	46.962
	4	100.00	100.00	-5.00	26.383	20.00	53.617
	5	100.00	98.581	-13.582	32.581	30.00	87.419

Considerando el incremento y decremento de potencia eléctrica y las condiciones iniciales de los generadores, en esta simulación los tres generadores están produciendo energía eléctrica en todas las etapas y el costo de producción es de 28 \$/MW existen razones para este comportamiento, por ejemplo, para la etapa uno la demanda es de 315 MW y se puede satisfacer con solo dos generadores sin considerar las líneas de transmisión ni los incrementos o decrementos de energía eléctrica, puesto que el generador G1 produciría su potencia máxima (247.5 MW) y el generador G2 la restante (67.5 MW), pero al momento de considerar las líneas de transmisión, las rampas de incremento y decremento y las condiciones iniciales tenemos que el generador G1 lo máximo que puede generar para esta son 160 MW (40 MW de condición inicial y 120 MW de la rampa de incremento máximo de generación), para el generador G2 la máxima energía que puede entregar son 100 MW (20 MW de condición inicial y 80 MW de la rampa de incremento máximo de generación), y el generador G3 generará lo restante 55 MW y las líneas de transmisión están por debajo de su límite máximo de flujo de potencia que para este caso es de 100 MW.

El comportamiento de los generadores a lo largo del horizonte de planeación se observa en la figura 3.11. Este comportamiento es debido a la potencia que el SAUMEC determina por unidad en cada etapa del horizonte.



3.11 CONCLUSIONES

Se presentó un modelo para la simulación del mercado centralizado, partiendo de la asignación de unidades en un sistema convencional y de la consideración de un modelo simplificado de las líneas de transmisión (modelación lineal), la variable dual del balance nodal es utilizada para definir el costo del mercado.

Los ejemplos desarrollados en este capítulo tienen diferentes enfoques y esto se debe al tratar de comparar los diferentes escenarios que se tienen cuando se consideran un mayor número de restricciones y cuando algunas de éstas están activas y cuando por alguna razón no son consideradas. Cuando no se consideran condiciones iniciales ni las rampas de incremento o decremento de energía eléctrica para cada generador se realizan las siguientes suposiciones, para las rampas de energía eléctrica se pone el dato de potencia máxima de generación y para no considerar la condición inicial se pone 0.0 lo cual indica que el generador puede entrar o no a generar potencia eléctrica. Cuando los límites de las líneas de transmisión no se desean considerar se les da un dato muy elevado (10000 MW) con el propósito de que no afecten a la simulación cuando no se quiera considerar estas líneas.



CAPÍTULO 4

ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO

4.1 INTRODUCCIÓN

Las compañías eléctricas estaban integradas verticalmente, lo que indica que estas empresas tenían el poder de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica. Con los cambios que se están dando en el sector eléctrico desde hace aproximadamente dos décadas, han surgido comercializadores de energía, siendo factores fundamentales en los mercados eléctricos descentralizados competitivos, también han surgido otros participantes y de acuerdo a sus funciones han dado lugar a los modelos de mercados mayoristas descentralizados [Hong, 2000], [Flores, 2002].

El modelo más conocido de mercado eléctrico descentralizado es el de California, cuya estructura básica consta de un operador del mercado o de la bolsa de energía (PX Power Exchange) y del operador independiente del sistema (ISO Independent System Operator).

4.2 MODELO DEL MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO

El mercado eléctrico descentralizado en su forma básica separa las funciones de la operación del mercado de la operación del sistema eléctrico.

La función del operador del mercado es proveer una plataforma para un mercado de energía eficiente para realizar la subasta de ofertas económicas de compra y venta de energía eléctrica utilizando un modelo simple de subastas. Para realizar estas subastas al operador del mercado cada participante le indica la cantidad de energía que puede generar y



el precio que tiene esta energía, los comercializadores del mercado eléctrico le indican la cantidad de energía que están dispuestos a comprar y el precio que oferta para que la energía se les adjudique. Con los datos anteriores el operador del mercado realiza las subastas.

Los resultados del operador del mercado pasan al operador del sistema y es quien supervisa que las ventas de energía puedan ser transportadas a los compradores siendo el operador del sistema el responsable de una operación segura y confiable del sistema eléctrico y es quien enfrenta la congestión de las líneas de transmisión en caso de que exista. Las capacidades de transmisión en las líneas son determinadas por el operador del sistema en base a estudios de límites térmicos, contingencias, de tensión y estabilidad transitoria [Madrigal, 2000b],

4.3 FORMULACIÓN DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO

La estructura del mercado descentralizado está basada en la separación de las funciones del mercadeo y las funciones del sistema.

4.3.1 Formulación del operador del mercado

El objetivo del operador del mercado es proporcionar un mercado de energía competitivo. El modelo de optimización que representa el funcionamiento del operador del mercado es el siguiente [Madrigal, 2000b] :

Minimizar:

$$Z = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j=1}^J B_j p_j^k - \sum_{ij=1}^{JJ} D_{ij} p_{Dij}^k \right] \quad (4.1)$$



Sujeto a:

$$0 \leq p_j^k \leq \bar{P}_j \quad (4.2)$$

$$0 \leq p_{Djj}^k \leq \bar{P}_{Djj} \quad (4.3)$$

$$p_j^k - p_j^{k+1} \leq T_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (4.4)$$

$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (4.5)$$

$$\sum_{jj=1}^{JJ} p_{Djj}^k \leq \sum_{j=1}^J p_j^k \quad (4.6)$$

4.3.1.1 Datos

K Número de periodos de tiempo que tiene el horizonte temporal

B_j Precio variable de la central j

D_{jj} Precio ofertado de la demanda jj

S_j Rampa máxima de incremento de carga de la central j

T_j Rampa máxima de decremento de carga de la central j

\bar{P}_j Producción máxima de la central j

\bar{P}_{Djj} Potencia demanda máxima de la demanda jj

4.3.1.2 Variables

Las variables de este problema son las siguientes:

p_j^k Producción de la central j durante el periodo k

p_{Djj}^k Potencia demandada de la demanda jj durante el periodo k

La solución de este modelo determina las ventas y compras efectivas y también determina el precio de cada MW para cada una de las etapas (Variables duales de las restricciones de demanda)



4.3.2 Formulación del operador del sistema

Con el resultado del operador del mercado los suministradores como consumidores especifican en el sistema de potencia el lugar en donde serán ingresadas y extraídas las potencias, esta información es transferida al operador del sistema quien se encarga de realizar los estudios correspondientes para determinar que no existan congestiones en la red eléctrica y si existe alguna congestión el operador del sistema resuelve dicha congestión.

4.3.2.1 Detección de congestión por el operador del sistema

En esta primera etapa el operador del mercado determina si existe o no la congestión, para realizar esta tarea utiliza la siguiente formulación de optimización.

Minimizar:

$$Z = P_{GiR} \quad (4.7)$$

Sujeto a:

$$P_{Gi} = P_{Di} + \sum_{M \in i} \frac{(\delta_i - \delta_m)}{x_{im}} \quad \forall i \quad (4.8)$$

$$\frac{(\delta_i - \delta_m)}{x_{im}} \leq P_{im}^{\max} \quad \forall i, m \quad (4.9)$$

Donde:

4.3.2.1.1. Datos

P_{Di} Potencia de demanda en el nodo i .

P_{Gi} Potencia de generación en el nodo i .

x_{im} Reactancia de la línea conectando a los nodos i y m .

P_{im}^{\max} Potencia máxima de transferencia en el elemento conectando a los nodos i y m .

δ_1 Ángulo de la tensión compleja nodal en el nodo 1 $\delta_1 = 0.0$



4.3.2.1.2. Variables

δ_i Ángulo de la tensión compleja nodal para $i \neq 1$

Para determinar que no exista alguna congestión se toma como referencia una potencia de generación y si la solución muestra un resultado diferente a la solución del operador del mercado, esto indica que existe congestión en las líneas por lo que está congestión debe de ser liberada.

4.3.2.2 Liberación de la congestión por el operador del sistema

Para el alivio de la congestión se realiza una nueva subasta en un mercado de ajustes basado en modelos de optimización. Estos modelos consisten en determinar el mejor uso de las ofertas de ajuste de tal manera que la congestión se libere. Las ofertas de ajuste están referidas a la potencia demandada y generada, representan la cantidad y el precio del ajuste que está disponible para que la congestión se libere, lo cual queda representado matemáticamente de la siguiente forma:

Minimizar:

$$Z = \sum_{j=1}^J C_{Gja} P_{Gja} + \sum_{jj=1}^{JJ} C_{Djja} P_{Djja} \quad (4.10)$$

Sujeto a:

$$P_{Gi} = P_{Di} + \sum_{M \in i} \frac{(\delta_i - \delta_m)}{x_{im}} \quad \forall i \quad (4.11)$$

$$\frac{(\delta_i - \delta_m)}{x_{im}} \leq P_{im}^{\max} \quad \forall i, m \quad (4.12)$$

$$\sum_{j=1}^J P_{Gja} = \sum_{jj=1}^{JJ} P_{Djja} \quad (4.13)$$

$$p_j^k - p_j^{k+1} \leq T_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (4.14)$$

$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (4.15)$$

$$\underline{P}_{Gja} \leq P_{Gja} \leq \bar{P}_{Gja} \quad (4.16)$$

$$\underline{P}_{Djja} \leq P_{Djja} \leq \bar{P}_{Djja} \quad (4.17)$$



Donde:

4.3.2.2.1 Datos

- C_{Gja} Precio de oferta de ajuste de generación de la central j
- C_{Djja} Precio de oferta de ajuste de la demanda jj
- \underline{P}_{Gja} Oferta de producción de ajuste de generación mínima de la central j
- \overline{P}_{Gja} Oferta de producción de ajuste de generación máxima de la central j
- \underline{P}_{Djja} Oferta de demanda mínima de la demanda jj
- \overline{P}_{Djja} Oferta de demanda máxima de la demanda jj
- S_j Rampa máxima de incremento de carga de la central j
- T_j Rampa máxima de decremento de carga de la central j
- P_{Di} Potencia de demanda en el nodo i .
- P_{Gi} Potencia de generación en el nodo i .
- x_{im} Reactancia de la línea conectando a los nodos i y m .
- P_{im}^{\max} Potencia máxima de transferencia en el elemento conectando a los nodos i y m .
- δ_1^k Ángulo de la tensión compleja nodal en el nodo 1 $\delta_1^k = 0.0$
- J Número de centrales de producción
- JJ Número de demandas en el sistema

4.3.2.2.2 Variables

- P_{Gja} Producción de energía ajustada de la central j
- P_{Djja} Demanda de energía ajustada de la demanda jj
- δ_i^k Ángulo de la tensión compleja nodal para $i \neq 1$



Para resolver el problema, se seleccionan ofertas de ajuste de generación más baratas y ofertas de ajuste de demanda de un mayor precio ofertado, esta optimización se hace de tal manera que se satisfaga el balance nodal, se respeten los límites de los flujos de las líneas de transmisión, los límites de generación, de demanda y exista un equilibrio entre generación y demanda.

4.4 SIMULADOR DE LA ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO (SAUMED)

La integración del SAUMED consta de dos programas principales, el primer programa está compuesto por el programa principal, una subrutina para la creación del archivo MPS y otra para la creación de los archivos de resultados que son utilizados por el operador del sistema. El otro programa está compuesto por dos subrutinas para la creación de los archivos MPS y dos subrutinas más para la escritura de los resultados obtenidos por el operador del sistema. La herramienta principal que implementa el modelo de asignación de unidades es el software MINOS 5.51_{MR} (resuelve el problema lineal), el SAUMED cuenta con diferentes archivos de salida en los cuales se encuentra la subasta del mercado eléctrico, detección y liberación de la congestión.

4.4.1 Programa principal del operador del mercado

El SAUMED en la parte del operador del mercado tiene diferentes subrutinas. Estas subrutinas tienen diferente participación en la ejecución de las subastas, las principales subrutinas son la de lectura de datos, la subrutina del optimizador y por último la subrutina de la impresión de resultados las cuales hacen el programa principal y este lleva a cabo el mismo procedimiento que el punto 2.7.1

4.4.1.1 Subrutina MPS del operador del mercado

La subrutina MPS del operador del mercado lee las ofertas de los productores de energía. Los datos de los productores de energía son los siguientes:



- Número del nodo al que está conectada
- Potencia máxima de generación
- Potencia Mínima de generación
- Límite de Rampa de Incremento de Potencia
- Límite de Rampa de Decremento de Potencia
- Precio Variable del generador
- Potencia generada antes de iniciar el horizonte

Esta subrutina también lee los datos característicos de los comercializadores del sistema los cuales son:

- Precio por la potencia adjudicada PreVarDem(1,01)
- Potencia Mínima de adjudicación PDmaxi(1,01)
- Potencia Máxima de adjudicación PDmin(1,01)
- Precio por la potencia adjudicada PreVarDem(1,02)
- Potencia Mínima de adjudicación PDmaxi(1,02)
- Potencia Máxima de adjudicación PDmin(1,02)

Ya teniendo los datos característicos de los productores y comercializadores del sistema la subrutina en forma inmediata crea el archivo MPS que es utilizado por MINOS 5.51_{MR} este archivo tiene la misma estructura que se describió en el punto 2.7.2

4.4.1.2 Archivo SPC del operador del mercado

En el archivo SPC es utilizado por MINOS 5.51_{MR}, tiene características especiales como el tipo de problema si es de minimización o maximización, número próximo de filas del problema (sobredimensionarlo), número próximo de columnas que tiene el problema (sobredimensionarlo) entre otros. Para un mejor entendimiento ver el manual de MINOS 5.51_{MR}.



4.4.1.3 Subrutina MINOS1

En la subrutina MINOS1 es la parte modular del SAUMED para el operador del mercado puesto que en ella se tienen muchas subrutinas para dar solución al problema lineal que fue creado y escrito en el archivo MPS el cual es resuelto por el método simplex (ver manual de MINOS).

4.4.1.4 Subrutina ESCR del operador del mercado

En esta subrutina se escriben en los archivos de salida los resultados de la optimización. Para la creación de estos archivos se hace el llamado de la subrutina MATRI de IMSL en la cual se escriben los resultados de la optimización en una forma matricial para que se pueda comprender rápidamente la solución óptima del problema. En este archivo primero aparece una pequeña portada, después aparece la solución numérica a la función objetivo, el precio del mercado eléctrico para cada una de las etapas del horizonte de planeación, la matriz de producción de energía eléctrica por unidad en cada una de las etapas del horizonte de planeación, las filas representan las unidades generadoras y las columnas representan las etapas del horizonte de planeación, después de las potencias de generación se presenta las potencias adjudicadas para los comercializadores del mercado eléctrico.

También crea un archivo con las potencias y demandas adjudicadas tanto a los productores y comercializadores del sistema, este archivo tiene una estructura muy especial y es utilizado por el operador independiente del sistema (ver apéndice H).

4.4.1.5 Limitaciones del operador del mercado

Las limitaciones que tiene el SAUMED es el no considerar los tiempos mínimos de conexión y de desconexión de los generadores.



Este programa computacional tiene la facilidad de que su archivo de datos tiene una forma muy simple de entender puesto que para cada unidad indica que variable va en cada fila y en la demanda de energía eléctrica también tiene un fácil entendimiento para saber como escribir los datos en el archivo de entrada.

4.4.2 Programa principal del operador independiente del sistema

El SAUMED en la parte del operador independiente del sistema tiene diferentes subrutinas. Estas subrutinas tienen diferente participación en la ejecución de la determinación de las posibles congestiones en la red del sistema, las principales subrutinas son las de lectura de datos, la subrutina del optimizador y por último las subrutinas de la impresión de resultados. El operador del sistema primero determina que no exista alguna contingencia en el sistema y en el caso de que exista pide el archivo característico de las ofertas de los productores y de los comercializadores para así liberar la contingencia en las líneas de transmisión.

4.4.2.1 Subrutina MPS del operador independiente del sistema (detección de congestión)

La subrutina MPS del operador independiente del sistema lee los resultados obtenidos por el operador del mercado eléctrico. Estos datos son:

- Nombre del sistema
- Número de termoeléctricas del sistema
- Número de nodos del sistema
- Número de etapas que tiene el horizonte
- Nombre de la termoeléctrica:
- Número del nodo al que está conectada
- Potencia adjudicada al generador en la etapa (1, 1)
- Potencia adjudicada al generador en la etapa (1, 2)



- Potencia adjudicada al generador en la etapa (1, 3)
- Potencia adjudicada al generador en la etapa (1, 4)
- Potencia adjudicada al generador en la etapa (1, 5)

Esta subrutina también lee los datos característicos de la red del sistema eléctrico de potencia. Estos datos son:

- Número de líneas de transmisión del sistema
- Nodoi Nodoj Reactancia Potencia límite de línea

Una vez que tiene los datos que obtuvo como resultado el operador del mercado y los datos del red de transmisión, esta subrutina de forma inmediata crea el archivo MPS que es utilizado por MINOS 5.51_{MR} este archivo tiene la misma estructura que se describió en el punto 2.7.2

4.4.2.2 Archivo SPC del operador independiente del sistema (detección de congestión)

El archivo SPC es utilizado por MINOS 5.51_{MR}, tiene características especiales como el tipo de problema si es de minimización o maximización, número próximo de filas del problema (sobredimensionarlo) número próximo de columnas que tiene el problema (sobredimensionarlo) entre otros. Para un mejor entendimiento ver el manual de MINOS 5.51_{MR}.

4.4.2.3 Subrutina MINOS1

La subrutina MINOS1 es la parte modular del SAUMED para el operador independiente del sistema puesto que en ella se tienen muchas subrutinas para dar solución al problema lineal que fue creado y escrito en el archivo MPS el cual es resuelto por el método simplex (ver manual de MINOS).



4.4.2.4 Subrutina ESCR del operador independiente del sistema (detección de congestión)

En este archivo primero aparece una pequeña portada, después aparece la solución numérica a la función objetivo, el precio del mercado eléctrico para cada una de las etapas del horizonte de planeación, la matriz de producción de energía eléctrica de cada unidad en cada una de las etapas del horizonte de planeación, las filas representan las unidades generadoras y las columnas representan las etapas del horizonte de planeación, después de las potencia de generación se presenta el ángulo nodal para cada nodo en cada una de las etapas del horizonte y por último se presenta el flujo de potencia en cada una de las líneas en cada una de las etapas del horizonte de planeación.

Una vez escritos los resultados de la detección de alguna congestión el programa determina si existe o no alguna congestión y en caso de que exista el programa pide el nombre del archivo en donde se encuentran las ofertas de los productores, comercializadores y de la red de transmisión (ver apéndice H)

4.4.2.5 Subrutina MPS del operador independiente del sistema (liberación de congestión)

La subrutina MPS del operador independiente del sistema lee el archivo en donde se encuentran los datos de los productores comercializadores y de la red de transmisión. Los datos característicos de estos participantes se muestran a continuación:

- Nombre del sistema
- Número de termoeléctricas del sistema
- Número de Nodos del Sistema
- Nombre de la termoeléctrica
- Número del nodo al que esta conectada
- Potencia máxima de generación
- Potencia Mínima de generación



- Límite de Rampa de Incremento de Potencia
- Límite de Rampa de Decremento de Potencia
- Precio Variable del Generador
- Potencia Generada antes de iniciar el horizonte
- Número de líneas de transmisión del sistema
- Nodoi Nodoj Reactancia Potencia límite de línea
- Número de etapas que tienes el horizonte
- Precio por la potencia adjudicada PreVarDem(1,01)
- potencia Mínima de adjudicación PDmaxi(1,01)
- Potencia Máxima de adjudicación PDmin(1,01)

Una vez con la lectura de este archivo, esta subrutina de forma inmediata crea el archivo MPS que es utilizado por MINOS 5.51_{MR} este archivo tiene la misma estructura que se describió en el punto 2.7.2

4.4.2.6 Subrutina ESCR del operador independiente del sistema (liberación de congestión)

En este archivo primero aparece una pequeña portada, después aparece la solución numérica a la función objetivo, el precio del mercado eléctrico para cada una de las etapas del horizonte de planeación, la matriz de producción de energía eléctrica de cada unidad en cada una de las etapas del horizonte de planeación, las filas representan las unidades generadoras y las columnas representan las etapas del horizonte de planeación, después de la potencia de generación se presenta el ángulo nodal para cada nodo en cada una de las etapas del horizonte y por último se presenta el flujo de potencia en cada una de las líneas en cada una de las etapas del horizonte de planeación.

4.4.2.7 Limitaciones

Las limitaciones que tiene el SAUMED es el no considerar los tiempos mínimos de conexión y de desconexión de los generadores.



Este programa computacional tiene la facilidad de que su archivo de datos tiene una forma muy simple de entender puesto que para cada unidad indica que variable va en cada fila y para las líneas de transmisión se tiene una lectura de datos muy parecida al archivo de datos de flujos de potencia y en la demanda de energía eléctrica también tiene un fácil entendimiento para saber como escribir los datos en el archivo de entrada.

4.5 EJEMPLOS ILUSTRATIVOS DE APLICACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO

Se presentan ejemplos de la asignación de unidades dentro de un mercado descentralizando considerando diferentes características de los productores, comercializadores y de la red del sistema, esto se hace con el fin de tener un mejor entendimiento del problema de la asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado.

4.5.1 Ejemplo A.4

En este ejemplo de simulación de mercado descentralizado, se analiza 1 hora de operación del sistema de la figura 4.2. Para este ejemplo se tienen tres ofertas de productores de energía mostrados en la tabla 4.1. La demanda de energía requerida por los comercializadores es inelástica (fija) la cual se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.1. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo A.4

Oferta	Nodo	Hora	$B_j (\$/MW)$	$\underline{P}_j (MW)$	$\bar{P}_j (MW)$
G1	N1	1	32.00	0.0	34.0
G2	N2	1	25.00	0.0	25.0
G3	N3	1	20.00	0.0	20.0



Tabla 4.2. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo A.4

Demanda	Nodo	Hora	$P_D (MW)$	Precio ($\$/MW$)
D1	N1	1	20.0	65.00
D2	N2	1	25.0	81.00
D3	N3	1	15.0	55.00

La solución del operador del mercado obtiene los resultados mostrados en la tabla 4.3 y 4.4. Correspondientes a la potencia adjudicada para la generación por productor y la potencia demandada adjudicada por comercializador respectivamente. En la simulación del mercado eléctrico la unidad menos económica (G1) que genera potencia es la unidad que determina el precio de la energía (32.00 $\$/MW$) de acuerdo al programa computacional desarrollado para la solución de la asignación de unidades a corto plazo del operador del mercado.

Tabla 4.3. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo A.4 (retribuciones)

Generador	Hora	Precio ($\$/MW$)	Generación (MW)	Retribución ($\$$)
G1	1	32.00	15.0	480.00
G2	1	32.00	25.0	800.00
G3	1	32.00	20.0	640.00
			Total	1920.00

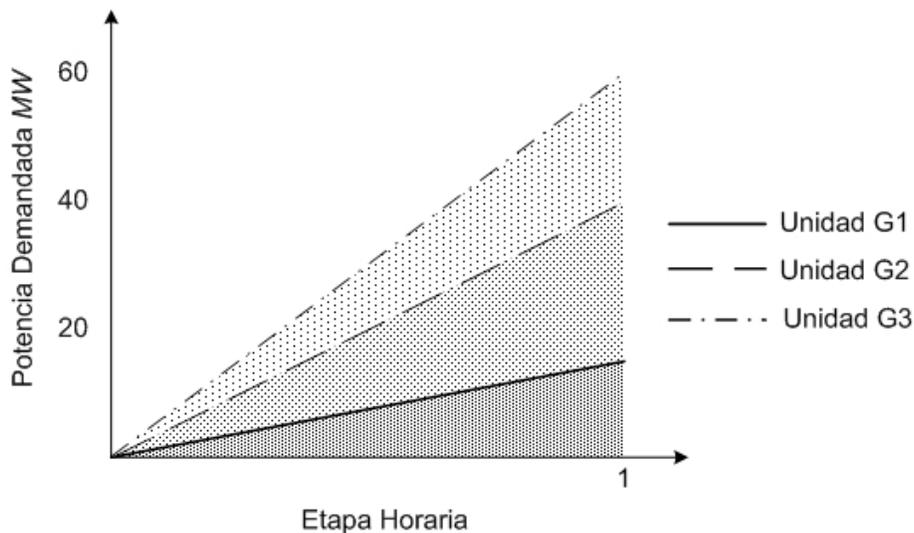


Figura 4.1 Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo A.4



La figura 4.1 muestra la potencia que generara cada unidad en la etapa del horizonte de planeación de acuerdo a los resultados obtenidos por el operador del mercado. La unidad G1 genera 15 MW, la unidad G2 genera 25 MW y la unidad G3 genera 20 MW. Si sumamos la potencia generada por las unidades es igual a la potencia demandada por los comercializadores del mercado eléctrico.

Tabla 4.4. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo A.4 (pagos)

Demanda	Hora	Precio (\$/MW)	Demanda (MW)	Pagos (\$)
D1	1	32.00	20.0	640.00
D2	1	32.00	25.0	800.00
D3	1	32.00	15.0	480.00
			Total	1920.00

Para que el operador independiente del sistema determine que no exista contingencia alguna necesita que el operador del mercado le entregue los resultados que obtuvo de la ejecución de subastas de compra y venta de energía.

La figura 4.2 muestra el diagrama de la red eléctrica con las características necesarias para determinar si existe o no contingencia alguna.

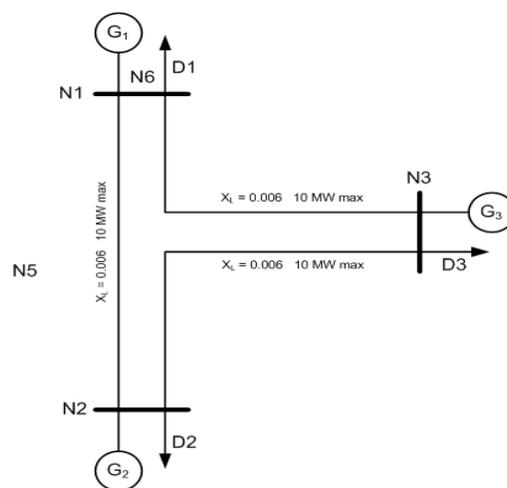


Figura 4.2 Sistema de simulación del modelo descentralizado en una hora. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea



El operador independiente del sistema realiza la ejecución de su programa para determinar que no exista contingencia alguna y debido a los datos de las líneas de transmisión este operador determina que no existe contingencia.

La tabla 4.5 muestra los ángulos nodales para la etapa del horizonte de optimización.

Tabla 4.5. Ángulo Nodal para la etapa del Ejemplo A.4

		Hora	
		1	
Ángulo Nodal	N1	0.0	
	N2	0.01	
	N3	0.02	

La tabla 4.6 muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para la etapa del horizonte de optimización obtenida por el operador independiente del sistema.

Tabla 4.6. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del Ejemplo A.4

		Hora	
		Nodos de Conexión	1
Línea de Transmisión	E1	N1 – N2	-1.667
	E2	N1 – N3	-3.333
	E3	N2 – N3	-1.667

Como se observa ninguna de las líneas de transmisión esta en su límite máximo de flujo de energía en la etapa de planeación de operación del sistema con lo que se concluye que la subasta realizada por el operador del mercado eléctrico es factible para el operador independiente del sistema.



4.5.1 Ejemplo B.4

En este ejemplo de simulación de mercado descentralizado, se analiza una hora de operación del sistema de la figura 4.4. Para este ejemplo se tienen tres ofertas de productores de energía mostrados en la tabla 4.7. La demanda de energía requerida por los comercializadores es elástica (variable) la cual se muestra en la tabla 4.8. A diferencia del ejemplo A.4 es que las líneas de transmisión tienen diferentes límites de transmisión y la potencia demanda por los comercializadores es variable.

Tabla 4.7. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo B.4

Oferta	Nodo	Hora	$B_j (\$/MW)$	$\underline{P}_j (MW)$	$\bar{P}_j (MW)$
G1	N1	1	32.00	0.0	34.0
G2	N2	1	25.00	0.0	25.0
G3	N3	1	20.00	0.0	20.0

Tabla 4.8. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico Ejemplo B.4

Demanda	Nodo	Hora	Precio ($\$/MW$)	$\underline{P}_D (MW)$	$\bar{P}_D (MW)$
D1	N1	1	65.00	0.0	20.0
D2	N2	1	81.00	0.0	25.0
D3	N3	1	55.00	0.0	15.0

El operador del mercado al realizar la subasta de compra y venta de energía determina la potencia que será consignada a los productores y comercializadores del mercado eléctrico. Estos resultados son mostrados en las tablas 4.9 y 4.10 respectivamente.

Tabla 4.9. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (retribuciones)

Generador	Hora	Precio ($\$/MW$)	Generación (MW)	Retribución (\$)
G1	1	32.00	15.0	480.00
G2	1	32.00	25.0	800.00
G3	1	32.00	20.0	640.00
			Total	1920.00

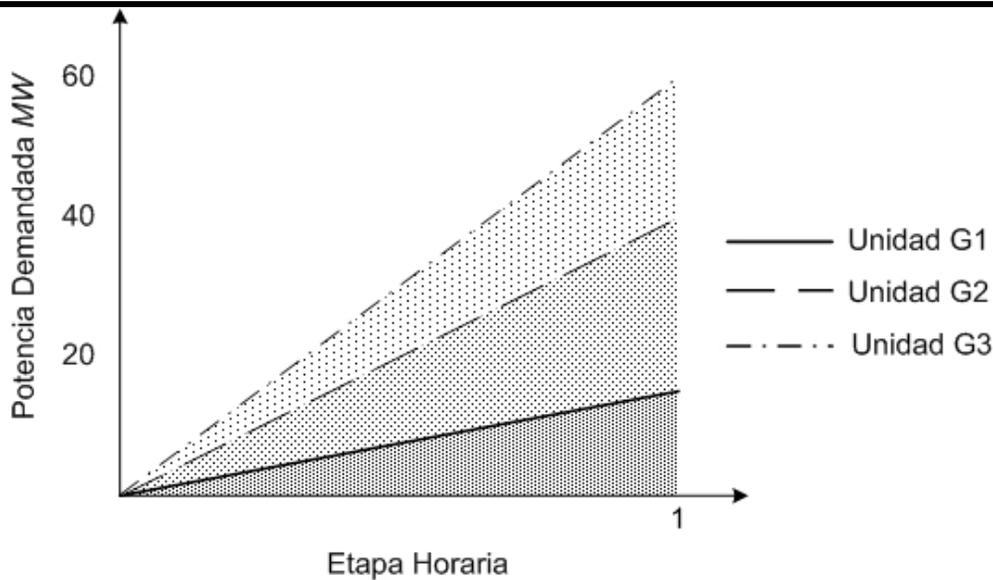


Figura 4.3 Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo B.4

La figura 4.3 muestra la potencia que generara cada unidad en la etapa del horizonte de planeación de acuerdo a los resultados obtenidos por el operador del mercado. Esta figura tiene el mismo comportamiento que el ejemplo A.4 esto se debe que el operador del mercado no considera la red de transmisión y también se debe al precio que ofertan los comercializadores del mercado.

Tabla 4.10. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (pagos)

Demanda	Hora	Precio (\$/MW)	Demanda (MW)	Pagos (\$)
D1	1	32.00	20.0	640.00
D2	1	32.00	25.0	800.00
D3	1	32.00	15.0	480.00
			Total	1920.00

Con los resultados obtenidos del operador del mercado el operador del sistema realiza la ejecución de su programa para determinar que no exista congestión alguna en las líneas de transmisión. La figura 4.4 muestra el diagrama de la red eléctrica con las características necesarias para determinar si existe o no contingencia alguna.

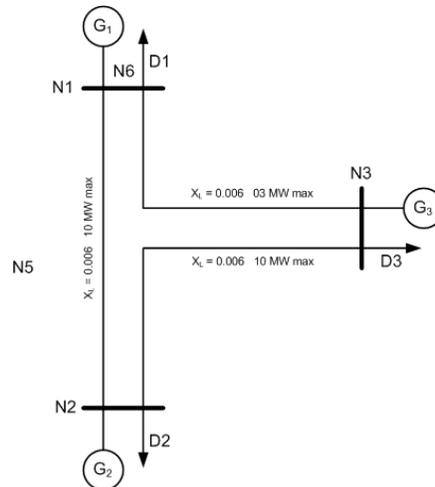


Figura 4.4 Sistema de simulación del modelo descentralizado en una hora.
Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea

El operador independiente del sistema realiza la ejecución de su programa para determinar que no exista contingencia alguna y debido a los datos de las líneas de transmisión el operador detecta una contingencia que se encuentra en la línea que va del nodo N1 al nodo N3 la cual excede al límite de la misma en 0.3 MW con lo que el operador del sistema le pide a los productores y comercializadores del sistema que le proporcionen los datos necesarios para realizar nuevamente la asignación de las potencias generadas y demandas para los productores y comercializadores respectivamente. La tabla 4.11 y 4.12 presentan las ofertas de ajuste del productor como del comercializador respectivamente.

Tabla 4.11. Ofertas de ajuste de los productores de energía del Ejemplo B.4

Oferta	Nodo	Hora	$B_j (\$/MW)$	$\underline{P}_j (MW)$	$\bar{P}_j (MW)$
G1	N1	1	32.00	0.0	34.0
G2	N2	1	25.00	0.0	25.0
G3	N3	1	20.00	0.0	20.0

Tabla 4.12. Ofertas de ajuste de los comercializadores del mercado eléctrico del Ejemplo B.4

Demanda	Nodo	Hora	Precio ($\$/MW$)	$\underline{P}_D (MW)$	$\bar{P}_D (MW)$
D1	N1	1	65.00	0.0	20.0
D2	N2	1	81.00	0.0	25.0
D3	N3	1	55.00	0.0	15.0



Al liberar la contingencia en el sistema de transmisión las potencias adjudicadas tanto para el productor como para el comercializador son diferentes comparándolas con los resultados obtenidos por el operador del mercado. La tabla 4.13 muestra los resultados obtenidos por el operador del sistema con las retribuciones que serán pagadas a cada productor del sistema, la figura 4.5 muestra el comportamiento de la potencia generada por los productores. La tabla 4.14 muestra las potencias adjudicadas a los comercializadores del mercado y los pagos que tienen que realizar.

Tabla 4.13. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (retribuciones) obtenida por el operador del sistema

Generador	Hora	Precio (\$/MW)	Generación (MW)	Retribución (\$)
G1	1	32.00	15.5	496.00
G2	1	26.00	25.0	650.00
G3	1	20.00	19.5	390.00
			Total	1536.00

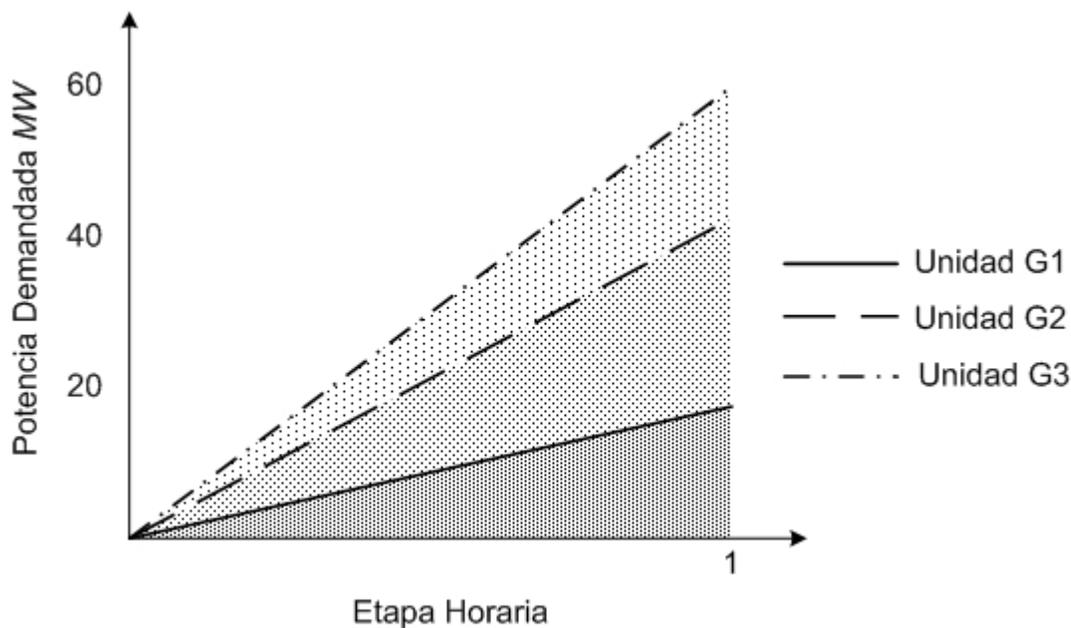


Figura 4.5 Potencia generada del ejemplo B.4 obtenida por el operador del sistema

La figura 4.5 muestra la potencia que debe de generar cada productor en la etapa del horizonte de planeación



Tabla 4.14. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo B.4 (pagos) obtenida por el operador del sistema

Demanda	Hora	Precio (\$/MW)	Demanda (MW)	Pagos (\$)
D1	1	32.00	20.0	640.00
D2	1	26.00	25.0	650.00
D3	1	20.00	15.0	300.00
			Total	1590.00

La tabla 4.15 muestra los ángulos nodales para la etapa del horizonte de optimización obtenidos por SAUMED.

Tabla 4.15. Ángulo Nodal para la etapa del Ejemplo B.4

		Hora
		1
Ángulo Nodal	N1	0.0
	N2	0.009
	N3	0.018

La tabla 4.16 muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para la etapa del horizonte de optimización obtenida por el operador independiente del sistema.

Tabla 4.16. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del Ejemplo B.4

		Hora	
		Nodos de Conexión	1
Línea de Transmisión	E1	N1 – N2	-1.500
	E2	N1 – N3	-3.000
	E3	N2 – N3	-1.500

Con la ejecución de la liberación de la congestión el precio en cada uno de los nodos lo determinan las variables duales del problema los cuales son los precios ofertados por los productores de energía en cada nodo respectivamente. El precio que obtuvo el operador del mercado ya no es considerado debido a la congestión que existía en las líneas de transmisión y al momento de liberarla el precio de la energía es modificado.



4.5.2 Ejemplo C.4

Para este ejemplo el horizonte de planeación es de 5 horas de operación del sistema mostrado en la figura 4.7. En este ejemplo se consideran tres ofertas de generación de los productores de energía y se tienen tres ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico. Las tablas 4.17 y 4.18 muestran las ofertas de los productores y comercializadores respectivamente.

Tabla 4.17. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo C.4

Oferta	Nodo	Hora	B_j (\$/MW)	P_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	N1	1,2,3,4,5	22.0	0.0	247.5	00.00
G2	N2	1,2,3,4,5	26.0	0.0	192.0	00.00
G3	N3	1,2,3,4,5	28.0	0.0	128.0	00.00

Tabla 4.18. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico Ejemplo C.4

Hora	Demanda	P_D (MW)	Precio (\$/MW)	Demanda	P_D (MW)	Precio (\$/MW)	Demanda	P_D (MW)	Precio (\$/MW)
1	N4	90.0	70.00	N5	125.0	70.00	N6	100.0	70.00
2	N4	100.0	70.00	N5	115.0	70.00	N6	90.0	70.00
3	N4	110.0	70.00	N5	105.0	70.00	N6	110.0	70.00
4	N4	120.0	70.00	N5	95.0	70.00	N6	80.0	70.00
5	N4	130.0	70.00	N5	85.0	70.00	N6	120.0	70.00

El operador del mercado eléctrico realiza la subasta de compra y venta de energía obteniendo los resultados mostrados en las tablas 4.19 y 4.20. La tabla 4.19 muestra la potencia generada por los productores y las retribuciones que estos obtendrán. La tabla 4.20 presenta la potencia adjudicada a los comercializadores del mercado y el pago que estos deben de hacer por dicha potencia.



Tabla 4.19. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo C.4 (retribuciones)

Generador	Hora	Precio (\$/MW)	Generación (MW)	Retribución (\$)
G1	1	26.00	247.5	6435.00
G1	2	26.00	247.5	6435.00
G1	3	26.00	247.5	6435.00
G1	4	26.00	247.5	6435.00
G1	5	26.00	247.5	6435.00
G2	1	26.00	67.5	1755.00
G2	2	26.00	57.5	1495.00
G2	3	26.00	77.5	2015.00
G2	4	26.00	47.5	1235.00
G2	5	26.00	87.5	2275.00
G3	1	26.00	0.0	00.00
G3	2	26.00	0.0	00.00
G3	3	26.00	0.0	00.00
G3	4	26.00	0.0	00.00
G3	5	26.00	0.0	00.00
			Total	40950.00

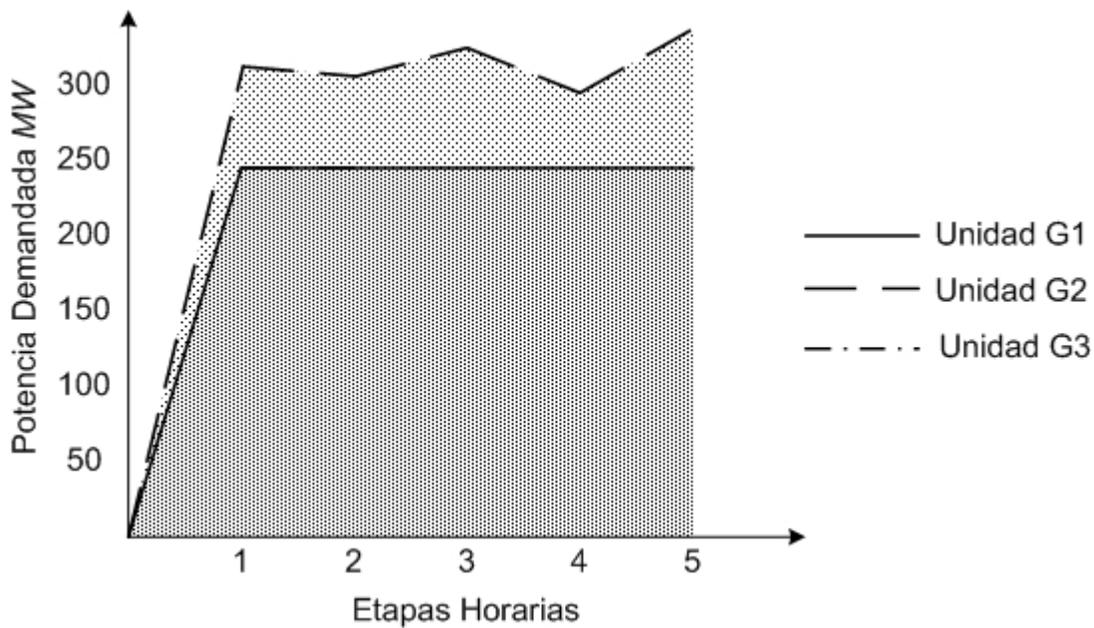


Figura 4.6 Potencia generada por las unidades en el horizonte de planeación del ejemplo C.4



La figura 4.6 muestra la potencia que generara cada unidad en el horizonte de planeación de acuerdo a los resultados obtenidos por el operador del mercado. La unidad G1 genera en todo el horizonte 247.5 MW, la unidad G2 el resto de la potencia demandada y la unidad G3 no genera por ofertar un precio muy elevado de producción de energía.

Tabla 4.20. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo C.4 (pagos)

Demanda	Hora	Precio (\$/MW)	Demanda (MW)	Pagos (\$)
D1	1	26.00	90.0	2340.00
D1	2	26.00	100.0	2600.00
D1	3	26.00	110.0	2860.00
D1	4	26.00	120.0	3120.00
D1	5	26.00	130.0	3380.00
D2	1	26.00	125.0	3250.00
D2	2	26.00	115.0	2990.00
D2	3	26.00	105.0	2730.00
D2	4	26.00	95.0	2470.00
D2	5	26.00	85.0	2210.00
D3	1	26.00	100.0	2600.00
D3	2	26.00	90.0	2340.00
D3	3	26.00	110.0	2860.00
D3	4	26.00	80.0	2080.00
D3	5	26.00	120.0	3120.00
			Total	40950.00

Para determinar si existe o no contingencia alguna en el horizonte de planeación el operador del mercado entrega sus resultados al operador independiente del sistema, para realizar la simulación el operador del sistema cuenta con los datos característicos de la red de transmisión los cuales se muestran en la figura 4.7.

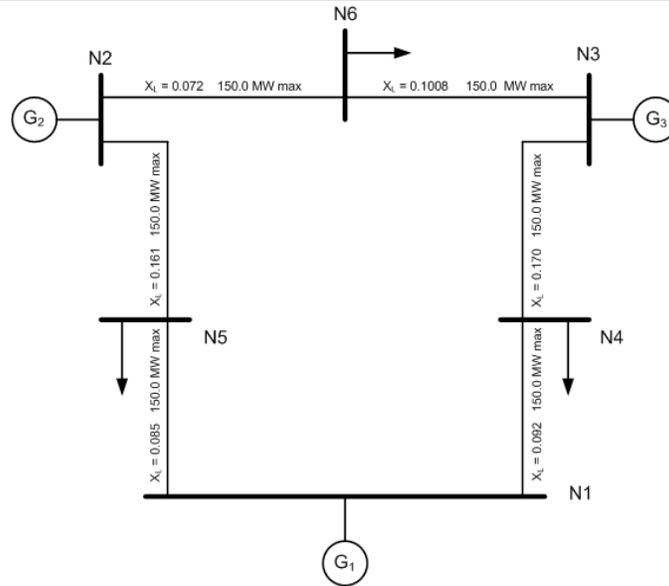


Figura 4.7 Sistema de simulación del modelo descentralizado en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo C.4

Con los datos de resultados del operador del mercado y de la red de transmisión el operador del sistema determina si existe o no alguna contingencia en la red de transmisión.

El operador del sistema al realizar la ejecución de su programa determina que no hay ninguna contingencia en la red de transmisión con lo cual se presentan los siguientes resultados:

La tabla 4.21 muestra los ángulos de las tensiones nodales del sistema. La tabla 4.22 muestra los flujos en las líneas de transmisión en el horizonte de planeación obtenidas por el SAUMED.

Tabla 4.21. Ángulo Nodal para las etapas del Ejemplo C.4

		Hora				
		1	2	3	4	5
Ángulo Nodal	N1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	N2	-12.28	-12.33	-11.60	-12.17	-10.92
	N3	-15.03	-14.99	-15.78	-15.19	-16.54
	N4	-10.65	-11.23	-12.11	-12.50	-13.57
	N5	-11.20	-10.66	-9.85	-9.49	-8.50
	N6	-17.63	-17.22	-17.96	-16.79	-18.30



La tabla 4.22 muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para las etapas del horizonte de optimización obtenida por el operador independiente del sistema.

Tabla 4.22. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para las etapas del Ejemplo C.4

		Hora					
		Nodos de Conexión	1	2	3	4	5
Línea de Transmisión	E1	N1 – N4	115.76	122.11	131.62	135.85	147.48
	E2	N1 – N5	131.74	125.39	115.88	111.65	100.02
	E3	N2 – N5	-6.74	-10.39	-10.88	-16.65	-15.02
	E4	N2 – N6	74.24	67.89	88.38	64.15	102.52
	E5	N3 – N4	-25.76	-22.11	-21.62	-15.85	-17.48
	E6	N3 – N6	25.76	22.11	21.62	15.85	-17.48

Como se observa ninguna de las líneas de transmisión está en su límite máximo de flujo de energía en las etapas de planeación, lo que indica que en el sistema no existe contingencia alguna. Y los resultados obtenidos por el operador del mercado son los que se emplean en la operación de este sistema en el horizonte de planeación.

Al realizar la simulación en todas las etapas solo dos generadores están en funcionamiento es decir produciendo energía eléctrica y el precio de generación en cada una de las etapas es de 26.00 \$/MW y las líneas de transmisión en todas las etapas están por debajo del flujo de potencia que pueden transmitir. La unidad G1 en todo el horizonte de planeación esta produciendo su potencia máxima de generación lo que indica que se tiene un mejor aprovechamiento de esta unidad, en cambio la unidad G2 genera la potencia que no se satisface con G1. La unidad G3 por ofertar un precio elevado de generación en todo el horizonte de planeación se encuentra desconecta (0 MW).



4.5.3 Ejemplo D.4

El ejemplo D.4 es muy similar al ejemplo C.4 cuenta con 5 etapas de planeación del sistema mostrado en la figura 4.9 En este ejemplo de simulación de mercado descentralizado, se tienen tres ofertas de productores de energía sus datos característicos son mostrados en la tabla 4.23. A diferencia del ejemplo anterior en este ejemplo se consideran las rampas de incremento y decremento así como la condición inicial de los generadores. La demanda de energía requerida por los comercializadores es elástica (variable) la cual se muestra en la tabla 4.24. Y el sistema de trasmisión solo puede soportar 100 MW por línea.

Tabla 4.23. Ofertas de los productores de energía del Ejemplo D.4

Oferta	Nodo	Hora	$B_j (\$/MW)$	$P_j (MW)$	$\bar{P}_j (MW)$	$S_j (MW)$	$T_j (MW)$	$p_j^0 (MW)$
G1	N1	1,2,3,4,5	22.00	0.0	247.5	120.0	120.0	40.0
G2	N2	1,2,3,4,5	26.00	0.0	192.0	080.0	110.0	20.0
G3	N3	1,2,3,4,5	28.00	0.0	128.0	050.0	090.0	15.0

Tabla 4.24. Ofertas de los comercializadores del mercado eléctrico Ejemplo D.4

Demanda	Nodo	Hora	Precio ($\$/MW$)	$P_D (MW)$	$\bar{P}_D (MW)$
D1	N4	1	25.00	0.0	90.0
D1	N4	2	25.00	0.0	100.0
D1	N4	3	25.00	0.0	110.0
D1	N4	4	25.00	0.0	120.0
D1	N4	5	25.00	0.0	130.0
D2	N5	1	26.00	0.0	125.0
D2	N5	2	26.00	0.0	115.0
D2	N5	3	26.00	0.0	105.0
D2	N5	4	26.00	0.0	95.0
D2	N5	5	26.00	0.0	85.0
D3	N6	1	33.00	0.0	100.0
D3	N6	2	33.00	0.0	90.0
D3	N6	3	33.00	0.0	110.0
D3	N6	4	33.00	0.0	80.0
D3	N6	5	33.00	0.0	120.0



Con los datos de los productores y comercializadores del mercado eléctrico el operador del mercado realiza la subasta de compra y venta de energía para determinar la cantidad de potencia adjudicada para los productores y comercializadores. Estos resultados son mostrados en las tablas 4.25 y 4.26 respectivamente.

Tabla 4.25. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo D.4 (retribuciones)

Generador	Hora	Precio (\$/MW)	Generación (MW)	Retribución (\$)
G1	1	22.00	160.0	3520.00
G1	2	22.00	247.5	5445.00
G1	3	22.00	247.5	5445.00
G1	4	22.00	247.5	5445.00
G1	5	22.00	247.5	5445.00
G2	1	22.00	0.0	00.00
G2	2	22.00	0.0	00.00
G2	3	22.00	0.0	00.00
G2	4	22.00	0.0	00.00
G2	5	22.00	0.0	00.00
G3	1	22.00	0.0	00.00
G3	2	22.00	0.0	00.00
G3	3	22.00	0.0	00.00
G3	4	22.00	0.0	00.00
G3	5	22.00	0.0	00.00

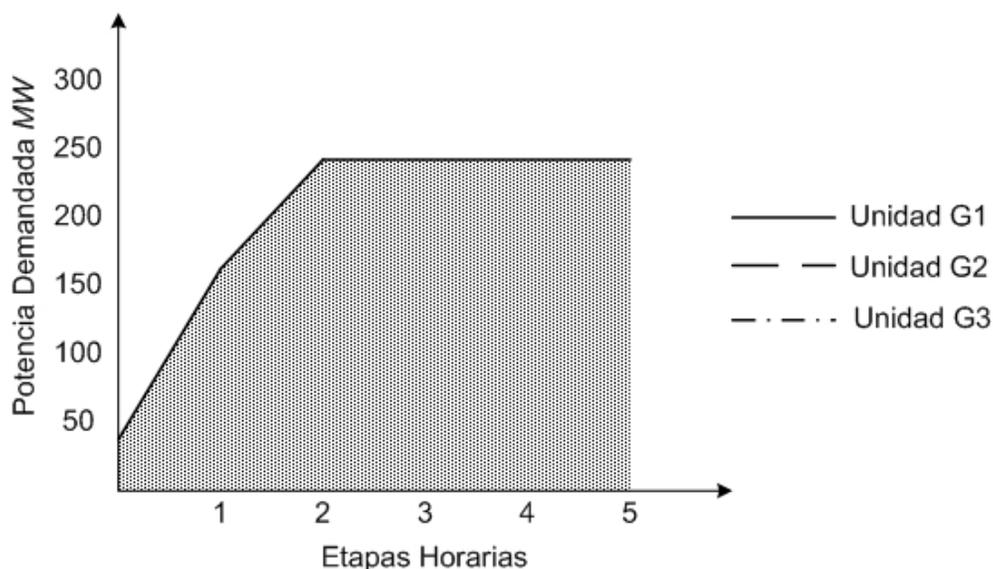


Figura 4.8 Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del ejemplo D.4



La figura 4.8 muestra la potencia que generara cada unidad en el horizonte de planeación de acuerdo a los resultados obtenidos por el operador del mercado. Se observa que únicamente la unidad G1 se encuentra generando. En la primera etapa la unidad G1 solo genera 160 MW debido a su condición inicial (40 MW) y a la rampa de incremento de potencia (120 MW). Las otras dos unidades no generan debido al precio que ofertan y al precio ofertado por los comercializadores del mercado.

Tabla 4.26. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo D.4 (pagos)

Demanda	Hora	Precio (\$/MW)	Demanda (MW)	Pagos (\$)
D1	1	22.00	0.0	00.00
D1	2	22.00	42.5	935.00
D1	3	22.00	32.5	715.00
D1	4	22.00	72.5	1595.00
D1	5	22.00	42.5	935.00
D2	1	22.00	60.0	1320.00
D2	2	22.00	115.0	2530.00
D2	3	22.00	105.0	2310.00
D2	4	22.00	95.0	2090.00
D2	5	22.00	85.0	1870.00
D3	1	22.00	100.0	2200.00
D3	2	22.00	90.0	1980.00
D3	3	22.00	110.0	2420.00
D3	4	22.00	80.0	1760.00
D3	5	22.00	120.0	2640.00

De acuerdo con los resultados obtenidos de las potencias adjudicadas tanto para los productores como comercializadores el operador del sistema realiza la simulación de estas potencias para determinar que no exista congestión alguna con estos resultados. Para realizar su simulación el operador del sistema cuenta con los datos característicos de las líneas de transmisión los cuales son mostrados en la figura 4.9.

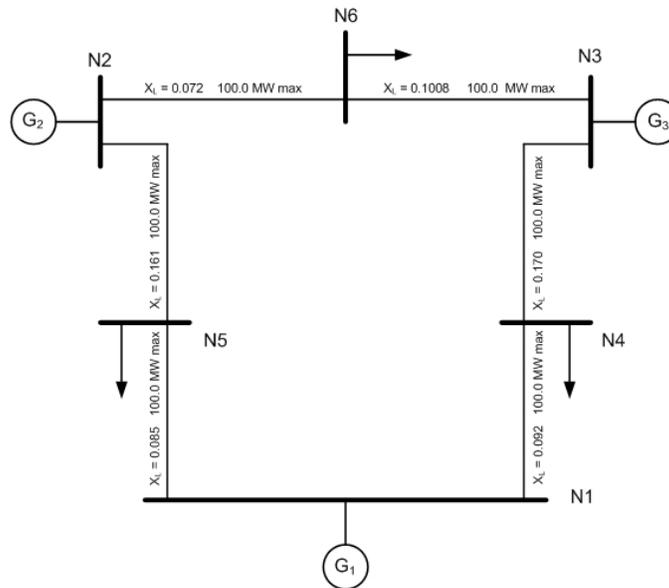


Figura 4.9 Sistema de simulación del modelo descentralizado del Ejemplo D.4
Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea

Con los datos de las líneas de transmisión el operador del sistema determina que existen contingencias en el sistema con lo que se ve obligado a pedir a los productores y comercializadores sus ofertas de ajuste para realizar nuevamente la asignación de las potencias adjudicadas y liberando las contingencias que se tienen en el sistema. Los productores y comercializadores tendrán nuevas potencias adjudicadas muy diferentes a las que el operador del mercado obtuvo.

La tabla 4.27 presenta las características de las unidades de los productores de energía y la tabla 4.28 presenta los datos de las potencias que están dispuestos a comprar los comercializadores de energía.

Tabla 4.27. Ofertas de ajuste de los productores de energía del Ejemplo D.4

Oferta	Nodo	Hora	B_j (\$/MW)	P_j (MW)	\bar{P}_j (MW)	S_j (MW)	T_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	N1	1,2,3,4,5	22.00	0.0	247.5	120.0	120.0	40.0
G2	N2	1,2,3,4,5	26.00	0.0	192.0	080.0	110.0	20.0
G3	N3	1,2,3,4,5	28.00	0.0	128.0	050.0	090.0	15.0



Tabla 4.28. Ofertas de ajuste de los comercializadores del mercado eléctrico Ejemplo D.4

Demanda	Nodo	Hora	Precio (\$/MW)	P_D (MW)	\bar{P}_D (MW)
D1	N4	1	25.00	0.0	90.0
D1	N4	2	25.00	0.0	100.0
D1	N4	3	25.00	0.0	110.0
D1	N4	4	25.00	0.0	120.0
D1	N4	5	25.00	0.0	130.0
D2	N5	1	26.00	0.0	125.0
D2	N5	2	26.00	0.0	115.0
D2	N5	3	26.00	0.0	105.0
D2	N5	4	26.00	0.0	95.0
D2	N5	5	26.00	0.0	85.0
D3	N6	1	33.00	0.0	100.0
D3	N6	2	33.00	0.0	90.0
D3	N6	3	33.00	0.0	110.0
D3	N6	4	33.00	0.0	80.0
D3	N6	5	33.00	0.0	120.0

Con los datos de las ofertas de ajuste el operador del sistema realiza la nueva asignación de potencias liberando las congestiones tratando de satisfacer la mayor cantidad de energía demandada al menor precio posible. Para realizar la nueva asignación el operador considera los datos característicos de las unidades y de la demanda, el operador del sistema debe de ser informado de la ubicación de los productores y comercializadores dentro del sistema de potencia

La tabla 4.29 contiene las potencias adjudicadas a cada productor de energía con el precio que tendrá su energía y el pago recibido por generar la potencia adjudica. La tabla 4.30 muestra la potencia demanda adjudica por comercializador, también presenta el precio que tendrá por etapa y el pago que tendrá que realizar el comercializador.



Tabla 4.29. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo D.4 (retribuciones) obtenidas por el operador del sistema

Generador	Hora	Precio (\$/MW)	Generación (MW)	Retribución (\$)
G1	1	24.82	160.0	3971.20
G1	2	26.00	200.0	5200.00
G1	3	25.63	200.0	5126.10
G1	4	25.00	200.0	5000.00
G1	5	26.00	200.0	5200.00
G2	1	22.00	0.0	00.00
G2	2	26.00	1.1	28.60
G2	3	25.34	30.0	760.20
G2	4	25.00	0.0	00.00
G2	5	25.54	44.5	1136.53
G3	1	22.00	0.0	00.00
G3	2	25.68	0.0	00.00
G3	3	25.63	0.0	00.00
G3	4	26.00	0.0	00.00
G3	5	26.00	0.0	00.00

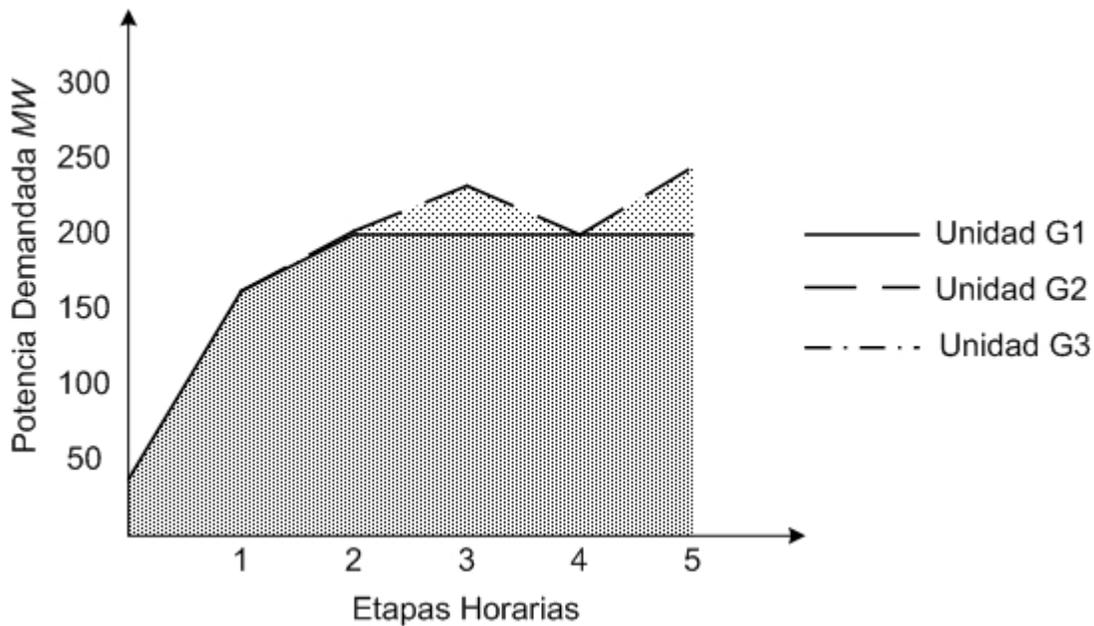


Figura 4.10 Potencia generada del ejemplo D.4 obtenidas por el operador del sistema

La figura 4.10 muestra la potencia que debe de generar cada productor en el horizonte de planeación y como se observa los productores que generan en el horizonte de planeación es G1 y G2 por ofertar el precio más económico del sistema y el otro productor se encuentra fuera de operación (0 MW)



Tabla 4.30. Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado descentralizado del Ejemplo D.4 (pagos) obtenidas por el operador del sistema

Demanda	Hora	Precio (\$/MW)	Generación (MW)	Pagos (\$)
D1	1	22.00	7.8	171.60
D1	2	26.00	60.1	1562.60
D1	3	25.00	60.1	1502.50
D1	4	26.00	64.4	1674.40
D1	5	26.00	60.1	1562.60
D2	1	22.00	52.2	1148.40
D2	2	25.34	51.0	1292.34
D2	3	25.00	59.9	1497.50
D2	4	26.00	55.6	1445.60
D2	5	25.54	64.4	1644.78
D3	1	25.68	100.0	2568.00
D3	2	25.63	90.0	2306.70
D3	3	25.00	110.0	2750.00
D3	4	26.00	80.0	2080.00
D3	5	26.00	120.0	3120.00

Los ángulos de las tensiones nodales obtenidos por el operador del sistema al momento de liberar la congestión se muestran en la tabla 4.31

Tabla 4.31. Ángulos Nodales para el horizonte de planeación del Ejemplo D.4

		Hora				
		1	2	3	4	5
Ángulo Nodal	N1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	N2	-16.20	-16.39	-14.95	-15.65	-14.23
	N3	-14.39	-15.98	-15.98	-15.25	-15.98
	N4	-5.52	-9.20	-9.20	-9.20	-9.20
	N5	-8.50	-8.50	-8.50	-8.50	-8.50
	N6	-19.65	-20.00	-20.00	-18.84	-20.00

Al liberar las congestiones en la red de transmisión los flujos de potencia son modificados por el operador del sistema. La tabla 4.32 muestra los flujos en las líneas de transmisión que serán transportados en el horizonte de planeación.



Tabla 4.32. Flujo de potencia en las líneas de transmisión para las etapas del Ejemplo D.4

		Hora					
		Nodos de Conexión	1	2	3	4	5
Línea de Transmisión	E1	N1 – N4	60.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	E2	N1 – N5	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	E3	N2 – N5	-47.84	-49.02	-40.07	-44.39	-35.60
	E4	N2 – N6	47.84	50.12	70.12	44.39	80.12
	E5	N3 – N4	-52.16	-39.88	-39.88	-35.61	-39.88
	E6	N3 – N6	52.16	39.88	39.88	35.61	39.88

Al liberar las contingencias del sistema en la simulación del mismo los precios establecidos por el operador del mercado son omitidos debido a que existían violaciones en los flujos de las líneas de transmisión por lo que los nuevos precios ofertados en el sistema son las variables duales del mismo. Las potencias que fueron adjudicadas por el operador del mercado son nuevamente calculadas por el operador del sistema al momento de liberar las violaciones que existen en la red. Los productores y comercializadores ofertan los mismos precios que fueron ofertados para el operador del mercado, esto lo hacen con el fin de tener una mejor ganancia (productores) y la satisfacción de la demanda de energía (comercializador). Si la demanda de energía oferta un precio elevado, está se satisface por completo en cambio cuando oferta un precio muy bajo no se satisface dicha demanda y en los productores de energía cuando ofertan un precio muy económico de ellos se extrae la máxima potencia posible y cuando ofertan un precio elevado se obtiene de ellos un mínima potencia o en definitiva no participan en la operación del sistema.



4.5 CONCLUSIONES

El capítulo presenta un modelo de la simulación para la asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado, este modelo descompone al sistema en dos componentes principales, la primera es el operador del mercado que se encarga de realizar las subastas de la compra y venta de energía de acuerdo a las ofertas que presentan tanto productores como comercializadores, la otra parte fundamental del mercado descentralizado es el operador del mercado que se encarga de determinar si no existe congestión alguna de acuerdo a los resultados obtenidos por el operador del mercado y en el caso de que exista alguna contingencia en el sistema es quien se encarga de liberarla con las nuevas ofertas que los productores y comercializadores presentan a este operador para que las contingencias del sistema sean liberadas.

El capítulo presenta cuatro ejemplos de la asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado, estos ejemplos tiene la finalidad de presentar los posibles escenarios cuando son consideradas las restricciones de las líneas de transmisión, la variación de la potencia y las ofertas de precios de los productores y comercializadores del mercado eléctrico.

En este capítulo se consideran las rampas de incremento y decremento de la potencia generada por las unidades así como la condición inicial de las mismas, esta consideración se hace debido a que las unidades térmicas no pueden incrementar de su potencia mínima a la máxima en una hora de planeación. La condición inicial es fundamental ya que con ella y las rampas de incremento y decremento la unidad puede generar una mayor potencia o puede salir de operación.



CAPÍTULO 5

ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN EL MERCADO ELÉCTRICO HÍBRIDO

5.1 INTRODUCCIÓN

En los mercados de electricidad con arquitectura híbrida no existe la separación de las funciones de mercado y las funciones del sistema eléctrico antes descritas (capítulo 3 y 4). En este sentido, el mercado mayorista se desarrolla tomando en cuenta las posturas de compra y venta de energía, considerando las limitaciones físicas de la red de transmisión. Para lo anterior se utilizan herramientas denominadas de “Despacho de Potencia” que se encarga de seleccionar las ofertas de generación más económicas para suministrar la demanda de electricidad y determinar los precios correspondientes.

5.2 MODELO DEL MERCADO ELÉCTRICO HÍBRIDO

Si la asignación de unidades no se ejecuta utilizando modelos de optimización como los que representan a los mercados centralizados (Inglaterra, Nueva York y PJM), ni en forma de simples subastas de compra y venta de energía, se dice que el mercado eléctrico es híbrido (Nueva Zelanda y Ontario), [Flores, 2002], [Madrigal, 2000b].

De la combinación de los modelos de los mercados eléctricos centralizados y de los descentralizados surgen los modelos de mercados híbridos. La diferencia de este mercado a los otros es que se permite que existan contratos bilaterales y que también exista la posibilidad de seleccionar proveedores del operador del mercado. A los participantes del mercado que no establecieron contratos bilaterales serán atendidos por el operador del mercado y contarán con dos opciones las cuales están basadas en un proveedor de precios y un proveedor de servicios por lo que la operación se basa en precios y servicios. Al



establecer el mercado híbrido se tiene un inconveniente debido al precio elevado de contar con el operador del mercado y con el operador del sistema.

En el modelo híbrido se presenta la separación y simplificación parcial de funciones basada en la ejecución de modelos de despacho simplificado. La subasta de energía y reserva se efectúa en un mismo operador. Es decir, el mercado mayorista híbrido organiza una subasta que permite flexibilidad a los generadores, o permite la inclusión de algunas restricciones de rampa. Con lo anterior, el modelo de subasta para el mercado diario no puede ser desacoplado de manera horaria [Madrigal, 2000b].

Se puede decir que un modelo híbrido para mercados mayoristas tiene características específicas que lo distinguen de los modelos anteriores (centralizado y descentralizado), como son las siguientes:

- Utilizan modelos de la red eléctrica en la subasta para generar soluciones factibles y precios nodales/regionales de la energía.
- Inclusión de ciertas restricciones en las ofertas de los generadores, especialmente restricciones de rampa y
- Manejo de contratos bilaterales y posible ejecución paralela de mercados para servicios auxiliares, especialmente aquellos relacionados con la potencia activa.



5.3 FORMULACIÓN DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN EL MERCADO ELÉCTRICO HÍBRIDO.

La filosofía de este mercado consiste en ejecutar la subasta (mercado diario) usando un despacho económico restringido (modelos lineales de flujos óptimos). Con esta metodología, la subasta de energía genera resultados que son factibles a la red de transmisión y permiten la generación de precios nodales o regionales de la energía. Este modelo de optimización es muy similar al utilizado en el alivio de la congestión en los mercados descentralizados, y se puede escribir como un modelo donde se considera que cada generador envía al operador del mercado ofertas simples de generación, para cada hora dentro del mercado diario. Además, considera que la demanda participa en la subasta (demanda elástica), es decir que cada comprador participante envía la cantidad de potencia que requiere .

El modelo de optimización para el mecanismo de subasta en el mercado diario es:

Minimizar:

$$Z = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j=1}^J B_j p_j^k - \sum_{i=1}^I D_i p_{Di}^k \right] \quad (5.1)$$

Sujeto a:

$$P_{Gi}^k = P_{Di}^k + \sum_{M \in i} \frac{(\delta_i^k - \delta_m^k)}{x_{im}} \quad (5.2)$$

$$\frac{(\delta_i^k - \delta_m^k)}{x_{im}} \leq P_{im}^{\max} \quad (5.3)$$

$$p_j^k - p_j^{k+1} \leq T_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (5.4)$$

$$p_j^{k+1} - p_j^k \leq S_j \quad \forall j, k = 0, \dots, K-1 \quad (5.5)$$

$$\underline{P}_j \leq p_j^k \leq \bar{P}_j \quad (5.6)$$

$$\underline{P}_{Di} \leq p_{Di}^k \leq \bar{P}_{Di} \quad (5.7)$$

$$\sum_{j=1}^J p_j^k = \sum_{i=1}^I p_{Di}^k \quad (5.8)$$



Donde:

5.3.1. Datos

K	Número de periodos de tiempo que tiene el horizonte temporal
B_j	Precio variable de la central j
D_i	Precio de ofertas de la demanda j
\underline{P}_j	Producción mínima de la central j
\bar{P}_j	Producción máxima de la central j
S_j	Rampa máxima de incremento de carga de la central j
T_j	Rampa máxima de decremento de carga de la central j
\underline{P}_{Di}	Potencia mínima demandada en el nodo i
\bar{P}_{Di}	Potencia máxima demandada en el nodo i
P_{Di}^k	Potencia de demanda en el nodo i .
P_{Gi}^k	Potencia de generación en el nodo i .
x_{im}	Reactancia de la línea conectando a los nodos i y m .
P_{im}^{\max}	Potencia máxima de transferencia en el elemento conectando a los nodos i y m .
δ_1^k	Ángulo de la tensión compleja nodal en el nodo 1 $\delta_1^k = 0.0$
J	Número de centrales de producción
I	Número de demandas en el sistema

5.3.2. Variables

Las variables de este problema son las siguientes:

p_j^k	Producción de la central j durante el periodo k
P_{Di}^k	Potencia demandada en el nodo i en la etapa k
δ_i^k	Ángulo de la tensión compleja nodal para $i \neq 1$



La solución al problema de despacho dará para cada hora en la subasta, los siguientes resultados:

- La potencia que venderá cada generador
- La potencia de compra de cada demanda
- El precio de la potencia nodal representando el modelo de la red eléctrica, el cual es determinado por la variable dual asociada a la respectiva restricción de balance nodal.

De esta manera, toda la generación en un nodo específico recibirá el precio de la potencia que resulte para dicho nodo. Los precios nodales serán iguales cuando no exista congestión en el sistema y diferentes cuando exista congestión.

5.4. SIMULADOR DE LA ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN EL MERCADO ELÉCTRICO HÍBRIDO (SAUMEH)

La integración del SAUMEH se hace de igual forma que en el punto 2.7. La herramienta principal que implementa el modelo de asignación de unidades es el software MINOS 5.51_{MR} (resuelve el problema lineal), el simulador cuenta con un archivo de salida en el cual se encuentra la asignación de unidades, precio nodal ($\$/MW$), los ángulos de los voltajes nodales y por último los flujos en las líneas de transmisión por etapa del horizonte de planeación

5.4.1 Programa principal (SAUMEH)

El SAUMEH está realizado en el software Compaq Visual Fortran 6.0 el cual para realizar la simulación necesita del archivo de datos característicos. Este archivo contempla entre parámetros como el número de unidades, número de nodos del sistema, número de etapas del horizonte de planeación, la potencia nodal demandada por etapa, entre otros. El SAUMEH está constituido principalmente por las subrutinas MPS-SAUMEH, MINOS1 y ESCR-SAUMEH las cuales son descritas en los siguientes párrafos.



5.4.2 Subrutina MPS-SAUMEH

La subrutina MPS-SAUMEH lee los datos característicos de las unidades que son asignadas, elementos que tiene la red, conexiones entre los nodos y las reactancias de estos elementos al igual que en el punto 2.7.2 con la diferencia que existen las líneas de transmisión, reactancia, límites de sus flujos y características de la potencia demandada (oferta de compra, potencia mínima y máxima demandada). A continuación se da el orden en que se escriben los datos en el archivo .DAT.

- Nombre del sistema.
- Número de termoeléctricas para la asignación.
- Por ciento de la reserva rodante del sistema.
- Nombre de la Termoeléctrica:
- Potencia máxima de Generación.
- Potencia Mínima de Generación.
- Límite de Rampa de Incremento de Potencia
- Límite de Rampa de Decremento de Potencia
- Precio Variable del Generador
- Potencia Generada antes de iniciar el horizonte
- Número de líneas de transmisión del sistema
- Nodo de envió
- Nodo de Recepción
- Reactancia
- Potencia límite de la línea
- Número de etapas que tiene el horizonte
- Precio por la potencia adjudicada en el nodo 1 etapa 1
- Potencia Mínima de adjudicación en el nodo 1 etapa 1
- Potencia Máxima de adjudicación en el nodo 1 etapa 1
- Precio por la potencia adjudicada en el nodo 1 etapa 2
- Potencia Mínima de adjudicación en el nodo 1 etapa 2
- Potencia Máxima de adjudicación en el nodo 1 etapa 2



Una vez concluida la lectura de datos MPS-SAUMEH de forma automática determina el nombre del archivo de datos de salida (resultados) y el nombre del archivo MPS. Con los datos característicos de las unidades, número de etapas, líneas de transmisión entre otras esta subrutina determina de forma autónoma el número de filas, variables, apariciones que tiene cada variable en la matriz característica de restricciones, límites de las variables, entre otros

Ya teniendo los renglones, variables y de más la subrutina crea la función objetivo, la matriz característica de restricciones, vector de desigualdades y los límites de las variables, la subrutina los escribe en un formato muy especial que es utilizado por el software MINOS 5.51_{MR}. El archivo MPS tiene una forma muy peculiar en donde primero se escribe el tipo de fila que tiene el problema (función objetivo (N), \leq , $=$, \geq), ya teniendo el tipo de fila de cada una de ellas se escribe la variable en la fila que aparece y por último el coeficiente que tiene la variable en esa fila, ya llena la matriz característica de restricciones se escribe el vector de desigualdades y por último se escriben los límites de las variables.

5.4.3 Archivo SPC

El archivo SPC es en donde se declara el tipo de problema si es de minimización o maximización según se haya planteado el problema, se sobredimensiona el número probable de filas, número probable de variables, entre otros. Al igual que el archivo MPS este archivo necesita de un formato especial el cual se puede ver en el manual de MINOS 5.51_{MR}. Los datos que conforma a este archivo son:

- Nombre del problema que se va a resolver.
- Tipo de función objetivo a optimizar (minimizar o maximizar).
- Número de filas probables que tendrá el problema y en caso de no conocerlo sobredimensionar el número de filas.
- Número columnas que tendrá el problema y en caso de no conocerlo sobredimensionar el número de columnas.



- Número de elementos que tendrá el problema y en caso de no conocerlo sobredimensionar el número de elementos.
- Unidad de donde va hacer leído el archivo .MPS.
- Número máximo de iteraciones para resolver el problema.

5.4.4 Subrutina MINOS1

En la subrutina MINOS1 es la parte modular del SAUSEC puesto que en ella se tienen muchas subrutinas para dar solución al problema lineal que fue creado y escrito en el archivo MPS el cual es resuelto por el método simplex (ver manual de MINOS).

5.4.5 Subrutina ESCR-SAUMEH

La subrutina ESCR-SAUMEH crea el archivo de salida (*.SAL) en el cual son escritos los resultados obtenidos por el software MINOS 5.51_{MR}, para realizar la escritura esta subrutina hace el llamado de la subrutina MATRI de IMSL en la que se escribe de forma matricial los resultados obtenidos por el optimizador. En el archivo de resultados como primera instancia se encuentra una portada seguido de la solución encontrada por el optimizador de la función objetivo, la potencia generada por unidad en las etapa del horizonte de planeación, los ángulos nodales por etapa y por último se presenta el flujo de potencia de las líneas de transmisión por cada etapa del horizonte de planeación.

5.4.6 Limitaciones

Las limitaciones que tiene el SAUMEH es el no considerar los tiempos mínimos de conexión y de desconexión de los generadores.



5.4 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL MERCADO MAYORISTA HÍBRIDO

Para tener una mejor idea del funcionamiento de la asignación de unidades en el mercado eléctrico híbrido se presentan ejemplos considerando diferentes características de las unidades generadoras, red de transmisión y de la demanda de energía eléctrica. En cada uno de los ejemplos se presenta el diagrama físico del sistema en el que se presentan los datos de las líneas de transmisión (reactancia y flujo máximo permitido), también es presentado en forma de tablas los datos característicos de las unidades y los datos característicos de la demanda. Los resultados que se muestran consisten en el diagrama de flujos de carga de potencia activa, la potencia generada por unidad, el precio de la producción de la energía eléctrica, las contribuciones y pagos por la energía, los ángulos de las tensiones nodales y el flujo de potencia que es transmitido por las líneas de transmisión.

5.4.1 Ejemplo A.5

Para ilustrar el funcionamiento del mercado híbrido, los participantes del mercado envían datos de generaciones máximas y mínimas y el precio al cual están dispuestos a vender, así como la hora y el nodo al que están conectados, lo cual se presenta en la tabla 5.1. Los distribuidores solicitan la potencia que requieren y los precios que están dispuestos a pagar, considerando su demanda inelástica, tal como se muestra en la tabla 5.2.

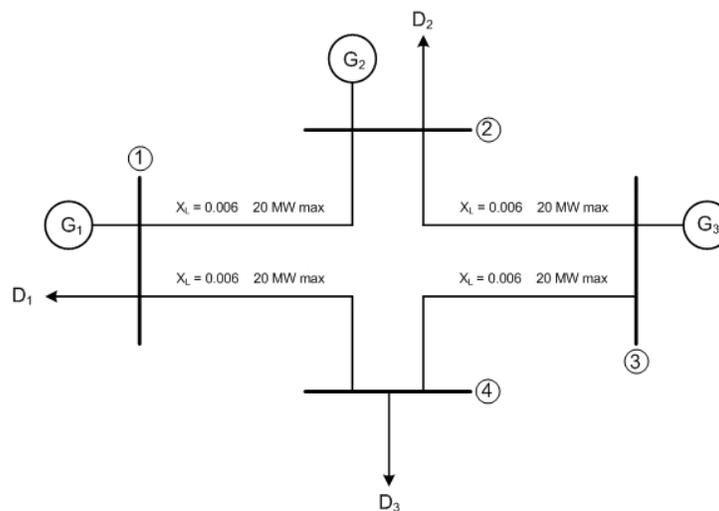


Figura 5.1 Sistema de Simulación del Mercado Eléctrico Mayorista Híbrido del Ejemplo A.5



Tabla 5.1 Ofertas de Generación del Ejemplo A.5

Generador	Nodo	Hora	\$/MW	\underline{P}	\bar{P}
G ₁	1	1	15.00	0.0	34.00
G ₂	2	1	30.00	0.0	30.00
G ₃	3	1	27.00	0.0	31.00

Tabla 5.2 Ofertas de Demanda del Ejemplo A.5

Demanda	Nodo	Hora	\$/MW	\underline{P}_D	\bar{P}_D
D ₁	1	1	100.00	30.00	30.00
D ₂	2	1	100.00	35.00	35.00
D ₃	4	1	100.00	25.00	25.00

Ejecutando la simulación en el SAUMEH, los resultados son mostrados en la figura 5.2 y las retribuciones y pagos son mostrados en las tablas 5.3 y 5.4 respectivamente.

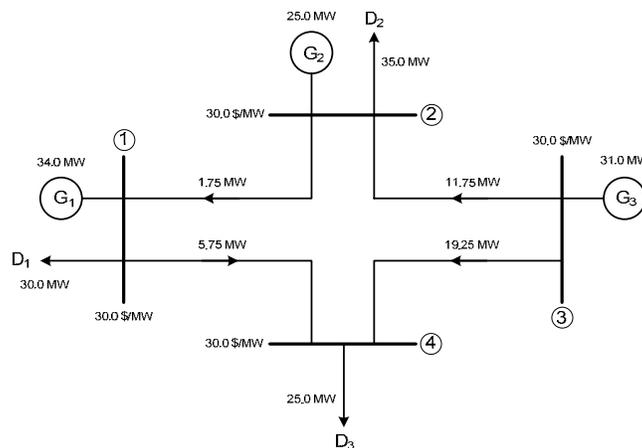


Figura 5.2 Resultados de la simulación del SAUMEH del Ejemplo A.5

La tabla 5.3 muestra las potencias calculadas por el SAUMEH para la etapa de planeación.

Tabla 5.3 Solución óptima a la Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Híbrido del Ejemplo A.5

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}
1	90.0	34.0	25.0	31.0

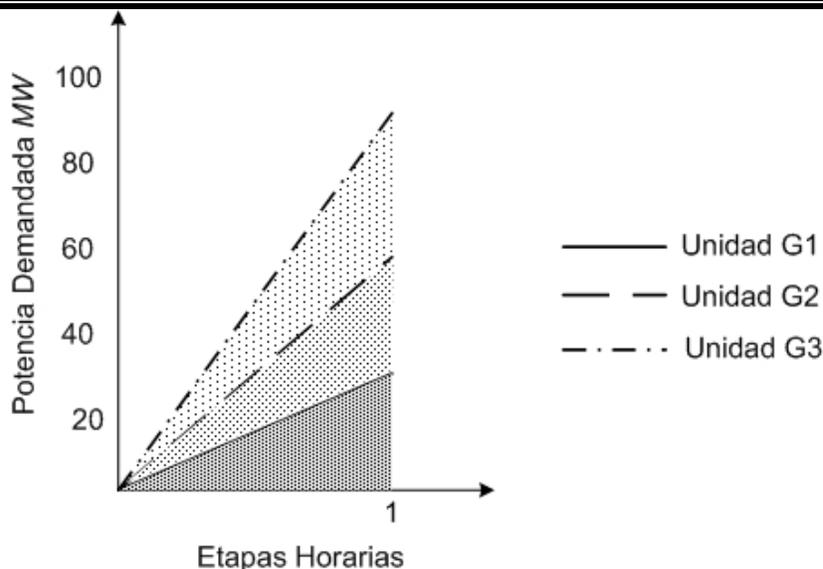


Figura 5.3 Potencia generada por las unidades la etapa de planeación del ejemplo A.5

De acuerdo a los resultados del SAUMEH la unidad G1 genera su potencia máxima (34.0 MW) al igual que la unidad G3 (31.0 MW) y la unidad G2 genera el resto de la demanda (25.0 MW) que no es satisfecha por las otras dos unidades. Estos resultados se muestran en la figura 5.3

Las variables duales del problema determinan el precio de la potencia en cada uno de los nodos que para este caso es de 30.0 \$/MW. En la tabla 5.4 se muestran las contribuciones que tendrá cada unidad por la potencia generada en la etapa.

Tabla 5.4 Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo A.5

Generador	Nodo	Hora	\$/MW	p^1	Retribuciones (\$)
G ₁	1	1	30.00	34.0	1020.00
G ₂	2	1	30.00	25.0	750.00
G ₃	3	1	30.00	31.0	930.00

Con las variables duales que determinaron el precio de la potencia en cada uno de los nodos que en este caso es igual en todos los nodos (30.0 \$/MW). La tabla 5.5 muestra los pagos que tienen que hacer las diferentes demandas del sistema por el consumo de potencia eléctrica.



Tabla 5.5 Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo A.5

Demanda	Nodo	Hora	\$/MW	P_D^1	Pagos (\$)
D ₁	1	1	30.00	30.0	900.00
D ₂	2	1	30.00	35.0	1050.00
D ₃	4	1	30.00	25.0	750.00

En la tabla 5.6 se muestran los ángulos de los voltajes nodales para la etapa del horizonte de optimización. El ángulo de los voltajes nodales es determinado en el SAUMEH al momento de minimizar la función objetivo

Tabla 5.6 Ángulo nodal para la etapa del Ejemplo A.5

		Hora
		1
Ángulo Nodal	N1	0.0
	N2	0.01
	N3	0.08
	N4	-0.03

En la tabla 5.7 se muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para la etapa del horizonte de optimización.

Tabla 5.7 Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del ejemplo A.5

		Hora	
		Nodos de Conexión	1
Línea de Transmisión	E1	N1 – N2	-1.75
	E2	N1 – N4	5.75
	E3	N2 – N3	-11.75
	E4	N3 – N4	19.25



5.4.2 Ejemplo B.5

En el ejemplo la demanda participa en la subasta, en potencia y precio. Los participantes envían datos de generación conforme a la tabla 5.8. Los distribuidores solicitan su potencia demandada y los precios que están dispuestos a pagar, sus datos característicos son mostrados en la tabla 5.9. La red eléctrica es la misma del ejemplo A.5, presentada en la figura 5.1.

Tabla 5.8 Ofertas de Generación del Ejemplo B.5

Generador	Nodo	Hora	\$/MW	\underline{P}	\bar{P}
G ₁	1	2	10.00	0.0	35.00
G ₂	2	2	40.00	0.0	50.00
G ₃	3	2	60.00	0.0	48.00

Tabla 5.9 Ofertas de Demanda del Ejemplo B.5

Demanda	Nodo	Hora	\$/MW	\underline{P}_D	\bar{P}_D
D ₁	1	2	50.00	0.0	34.00
D ₂	2	2	55.00	0.0	36.00
D ₃	4	2	80.00	0.0	25.00

Ejecutando la simulación en el SAUMEH, los resultados son mostrados en la figura 5.4 y las retribuciones y pagos son mostrados en las tablas 5.10 y 5.11 respectivamente.

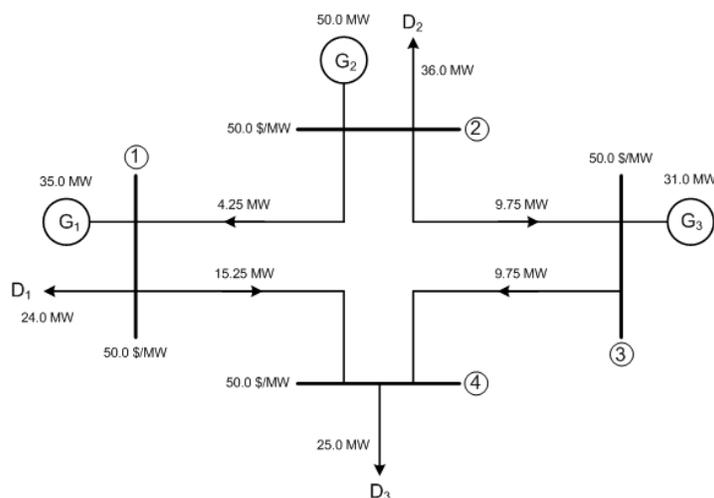


Figura 5.4 Resultados de la simulación del SAUMEH del Ejemplo B.5



La solución óptima determinada por el SAUMEH indica que la unidad G1 genera una potencia de 35.0 MW (\bar{P}), la unidad G2 genera su potencia máxima (50.0 MW) y la unidad G3 por ser la menos económica es la que no genera. Los resultados de la potencia generada por cada unidad para la etapa están mostrados en la tabla 5.10 y en la figura 5.5

Potencia Generada por cada unidad para la etapa.

Tabla 5.10 Solución óptima a la Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Híbrido para las Potencias Generadas del Ejemplo B.5

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}
1	85.0	35.0	50.0	0.0

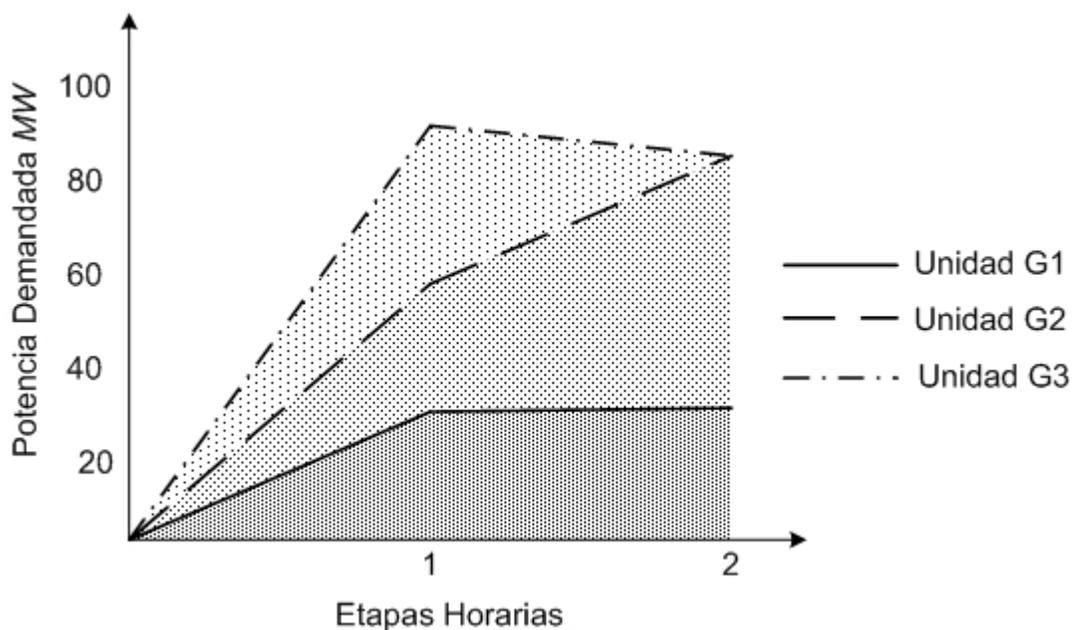


Figura 5.5 Potencia generada por las unidades en la etapa de planeación del ejemplo B.5

El SAUMEH determina las potencias adjudicadas que dan una mejor ganancia, estas potencias son P_{D2} , P_{D3} , las cuales están dispuestas a pagar 55.0 y 88.0 \$/MW respectivamente por lo que son adjudicadas con su potencia máxima demandada y la P_{D1} por ofertar un precio menor de compra de energía es la que tiene una menor potencia adjudicada (24.0 MW). Estos resultados obtenidos de la potencia demandada adjudicada para la etapa en el SAUMEH se encuentran reportados en la tabla 5.11.



Tabla 5.11 Solución óptima a la Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Híbrido para las Potencias Demandadas Adjudicadas del Ejemplo B.5

Hora	P_D	P_{D1}	P_{D2}	P_{D3}
1	85.0	24.0	36.0	25.0

Las variables duales de este problema son las que determinan el precio de la potencia en cada uno de los nodos ($50.0 \$/MW$), este precio es debido a la potencia demanda P_{D1} que es la demanda que oferto el precio menos económico de compra de energía. Las contribuciones que serán pagadas a cada unidad generadora se encuentran en la tabla 5.12

Tabla 5.12 Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo B.5

Generador	Nodo	Hora	$\$/MW$	p^2	Retribuciones (\$)
G_1	1	2	50.00	35.0	1750.00
G_2	2	2	50.00	50.0	2500.00
G_3	3	2	50.00	00.0	00.00

Con el precio nodal ($50.0 \$/MW$) único, debido al cumplimiento de todas las restricciones de las líneas de transmisión, los demandantes de energía están obligados a pagar, estos pagos de potencia que se muestran en la tabla 5.13.

Tabla 5.13 Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo B.5

Demanda	Nodo	Hora	$\$/MW$	P_D^1	Pagos (\$)
D_1	1	2	50.00	24.0	1200.00
D_2	2	2	50.00	36.0	1800.00
D_3	4	2	50.00	25.0	1250.00

En la tabla 5.14 se muestran los ángulos de los voltajes nodales para la etapa del horizonte de optimización. El ángulo de los voltajes nodales es determinado en el SAUMEH al momento de minimizar la función objetivo.



Tabla 5.14. Ángulo nodal para la etapa del Ejemplo B.5

		Hora	
		1	
Ángulo Nodal	N1	0.0	
	N2	0.026	
	N3	-0.033	
	N4	-0.092	

En la tabla 5.15 se muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para la etapa del horizonte de optimización.

Tabla 5.15 Flujo de potencia en las líneas de transmisión para la etapa del Ejemplo B.5

		Hora	
		Nodos de Conexión	1
Línea de Transmisión	E1	N1 – N2	-4.25
	E2	N1 – N4	15.25
	E3	N2 – N3	9.75
	E4	N3 – N4	9.75

5.4.3 Ejemplo C.5

El ejemplo C.5 de simulación de mercado eléctrico híbrido, se considera un horizonte de planeación de cinco horas, en este horizonte se cuenta con el sistema eléctrico de la figura 5.6, la cual tiene tres generadores, seis líneas de transmisión y tres nodos de carga, los datos característicos de las unidades y de la carga se encuentran en las tablas 5.16 y 5.17 respectivamente.

Tabla 5.16 Ofertas de generación del Ejemplo C.5

Oferta	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (\$/MW)
G1	22.0	25.0	247.5
G2	26.0	19.0	192.0
G3	28.0	13.0	128.0

La demanda en todo el horizonte de planeación es inelástica (fija) y el precio permanece constante para las etapas del horizonte.



Tabla 5.17 Demandas nodales por etapa del Ejemplo C.5

Demanda Nodal											
Nodo	Hora	\$/MW	\bar{P}_D	Nodo	Hora	\$/MW	\bar{P}_D	Nodo	Hora	\$/MW	\bar{P}_D
4	1	70.00	090.0	5	1	70.00	125.0	6	1	70.00	100.0
4	2	70.00	100.0	5	2	70.00	115.0	6	2	70.00	090.0
4	3	70.00	110.0	5	3	70.00	105.0	6	3	70.00	110.0
4	4	70.00	120.0	5	4	70.00	095.0	6	4	70.00	080.0
4	5	70.00	130.0	5	5	70.00	085.0	6	5	70.00	120.0

Ejecutando la simulación en el SAUMEH, los resultados son mostrados en la figura 5.7, las retribuciones y pagos son mostrados en las tablas 5.20 y 5.21 respectivamente.

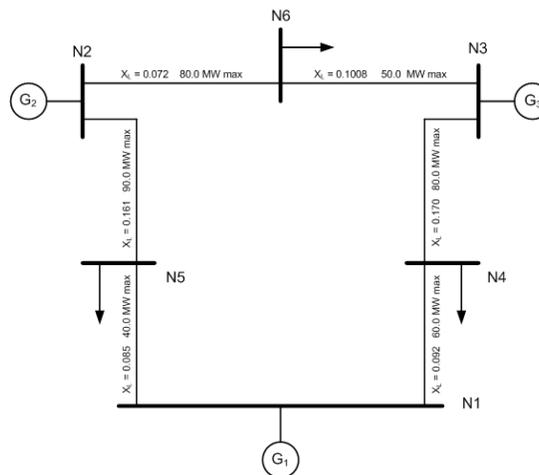


Figura 5.6 Sistema de simulación del modelo híbrido en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo C.5

La tabla 5.18 muestra la potencia generada por unidad en cada etapa del horizonte de planeación calculada por el SAUMEH.

Tabla 5.18 Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado híbrido del Ejemplo C.5

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}
1	315	73.4	165.0	76.6
2	305	89.9	155.0	60.1
3	325	94.9	145.0	85.2
4	295	100.0	106.2	88.9
5	335	89.7	125.3	120.0



Debido a la restricción del flujo máximo de transferencia por las líneas de transmisión la unidad G1 no puede generar más de 100 MW esto se debe a que la línea L1 puede transmitir solo 40 MW y la línea L2 solo transmitir un flujo máximo de 60 MW.

Este comportamiento es similar para las otras dos unidades. Por lo que el precio de transmisión lo definen las variables duales del problema. La figura 5.7 muestra el comportamiento de la potencia generada por las unidades en todo el horizonte de planeación

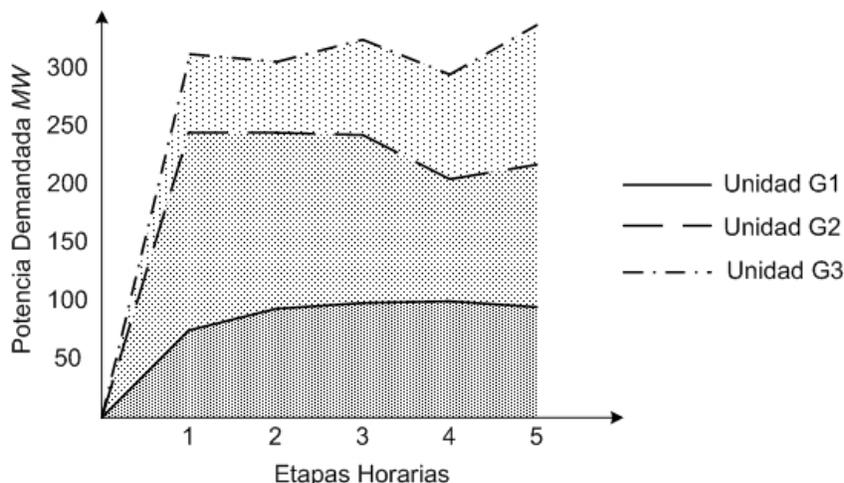


Figura 5.7 Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del ejemplo C.5

En la tabla 5.19 se muestran los precios de la potencia por nodo. Estos precios son determinados por las variables duales del problema y por las contingencias que tiene el sistema de transmisión. Debido a que las líneas de transmisión están en su límite máximo los precios de la potencia es diferente en cada uno de los nodos.

Tabla 5.19 Precio de la potencia por nodo por etapa del horizonte de planeación del Ejemplo C.5

Precio nodal (\$/MW)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora 1	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	26.00
Hora 2	26.00	26.00	26.00	26.00	28.00	28.00
Hora 3	28.00	28.00	28.00	24.11	24.11	24.11
Hora 4	29.97	30.76	29.69	29.69	29.69	24.14
Hora 5	23.38	30.31	30.31	30.31	26.83	27.17



Con los precios de la potencia que se tendrá en los nodos se calcula las contribuciones por unidad generadora y los pagos que los comercializadores del sistema deben de pagar. Estas contribuciones y pagos están mostrados en las tablas 5.20 y 5.21 respectivamente.

Tabla 5.20 Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo C.5

Generador	Nodo	Hora	\$/MW	p^k	Retribuciones (\$)
G ₁	1	1	22.00	73.40	1614.80
G ₂	2	1	22.00	165.00	3630.00
G ₃	3	1	22.00	76.60	1685.20
G ₁	1	2	26.00	89.90	2337.40
G ₂	2	2	26.00	155.00	4030.00
G ₃	3	2	26.00	60.10	1562.60
G ₁	1	3	28.00	94.90	2657.2
G ₂	2	3	28.00	145.00	4060.00
G ₃	3	3	28.00	85.10	2382.80
G ₁	1	4	29.97	100.00	2997.00
G ₂	2	4	30.76	106.2	3266.71
G ₃	3	4	29.69	88.80	2636.47
G ₁	1	5	23.38	89.70	2097.19
G ₂	2	5	30.31	125.30	3797.84
G ₃	3	5	30.31	120.0	3637.20

Tabla 5.21 Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo C.5

Demanda	Nodo	Hora	\$/MW	P_D^k	Pagos (\$)
D ₁	4	1	22.00	90.0	1980.00
D ₂	5	1	22.00	125.0	2750.00
D ₃	6	1	26.00	100.0	2600.00
D ₁	4	2	26.00	100.0	2600.00
D ₂	5	2	28.00	115.0	3220.00
D ₃	6	2	28.00	90.0	2520.00
D ₁	4	3	24.11	110.0	2652.10
D ₂	5	3	24.11	105.0	2531.55
D ₃	6	3	24.11	110.0	2432.10
D ₁	4	4	29.69	120.0	3562.80
D ₂	5	4	29.69	95.0	6555.00
D ₃	6	4	24.14	80.0	1931.20
D ₁	4	5	30.31	130.0	3940.30
D ₂	5	5	26.83	85.0	2280.55
D ₃	6	5	27.17	120.0	3260.40



En la tabla 5.22 se muestran los ángulos nodales para cada una de las etapas del horizonte de optimización obtenidos por el SAUMEH

Tabla 5.22 Ángulo nodal para cada una de las etapas del Ejemplo C.5

		Ángulo Nodal					
		N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora	1	0.0	10.29	6.54	-3.08	-3.40	4.53
	2	0.0	8.68	3.92	-4.59	-3.40	2.92
	3	0.0	7.07	4.33	-5.05	-3.40	1.31
	4	0.0	5.46	4.68	-5.52	-3.40	1.77
	5	0.0	6.38	6.38	-5.52	-2.52	1.34

El SAUMEH al momento de minimizar los precios de producción a cada iteración determina los ángulos de los voltajes nodales y los flujos de potencia en las líneas de transmisión. Para determinar estos ángulos el nodo N1 se tomo como referencia con ángulo de cero.

Al realizar la simulación en todas las etapas los tres generadores están en funcionamiento es decir produciendo energía eléctrica y el precio de generación en cada una de las etapas es variable en cada nodo debido a que existen contingencias en el sistema y las líneas de transmisión en casi todas las etapas están en sus límites de transmisión de potencia eléctrica, como se aprecia en la tabla 5.23. Todos los generadores están por debajo de su potencia máxima, lo cual nos indica que no se tiene un aprovechamiento máximo de generación en las diferentes etapas y esto se debe a los límites de las líneas de transmisión.

En la tabla 5.23 se muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para cada una de las etapas del horizonte de optimización.

Tabla 5.23 Flujo de potencia en las líneas de transmisión para las etapas del Ejemplo C.5

		Línea de Transmisión					
		N1 – N4	N1 – N5	N2 – N5	N2 – N6	N3 – N4	N3 – N6
Hora	1	33.43	40.00	85.00	80.00	56.57	20.00
	2	49.91	40.00	75.00	80.00	50.09	10.00
	3	54.85	40.00	65.00	80.00	55.15	30.00
	4	60.00	40.00	55.00	51.15	60.00	28.85
	5	60.00	29.69	55.31	70.00	70.00	50.00



5.4.4 Ejemplo D.5

El ejemplo D.5 de simulación de mercado eléctrico híbrido, se considera un horizonte de planeación de cinco horas, en este horizonte se cuenta con una red eléctrica (figura 6.8), la red cuenta con tres generadores, seis líneas de transmisión y tres nodos de carga, los datos característicos de las unidades y de la carga se encuentran en las tablas 5.24 y 5.25 respectivamente. Para este ejemplo se consideran las rampas de decremento e incremento de potencia de generación así como la condición inicial de las unidades.

Tabla 5.24 Ofertas de generación del Ejemplo D.5

Oferta	B_j (\$/MW)	\underline{P}_j (MW)	\bar{P}_j (\$/MW)	S_j (MW)	T_j (MW)	p_j^0 (MW)
G1	22.0	25.0	247.5	120.00	120.00	40.00
G2	26.0	19.0	192.0	80.00	110.0	20.00
G3	28.0	13.0	128.0	050.0	090.0	15.00

La demanda en todo el horizonte de planeación es inelástica (fija) y el precio permanece constante para las etapas del horizonte.

Tabla 5.25 Demandas nodales por etapa del Ejemplo D.5

Demanda Nodal											
Nodo	Hora	\$/MW	\bar{P}_D	Nodo	Hora	\$/MW	\bar{P}_D	Nodo	Hora	\$/MW	\bar{P}_D
4	1	70.00	090.0	5	1	70.00	125.0	6	1	70.00	100.0
4	2	70.00	100.0	5	2	70.00	115.0	6	2	70.00	090.0
4	3	70.00	110.0	5	3	70.00	105.0	6	3	70.00	110.0
4	4	70.00	120.0	5	4	70.00	095.0	6	4	70.00	080.0
4	5	70.00	130.0	5	5	70.00	085.0	6	5	70.00	120.0

Al considerar las restricciones de rampa de incremento y decremento de potencia de generación en el sistema tiene un comportamiento distinto. En este ejemplo las líneas de transmisión soportan un mayor flujo de potencia y todas las líneas soportan 100 MW como potencia máxima de transferencia. El diagrama del sistema muestra las características de las líneas y la ubicación física de los elementos que componen al sistema (figura 5.8).

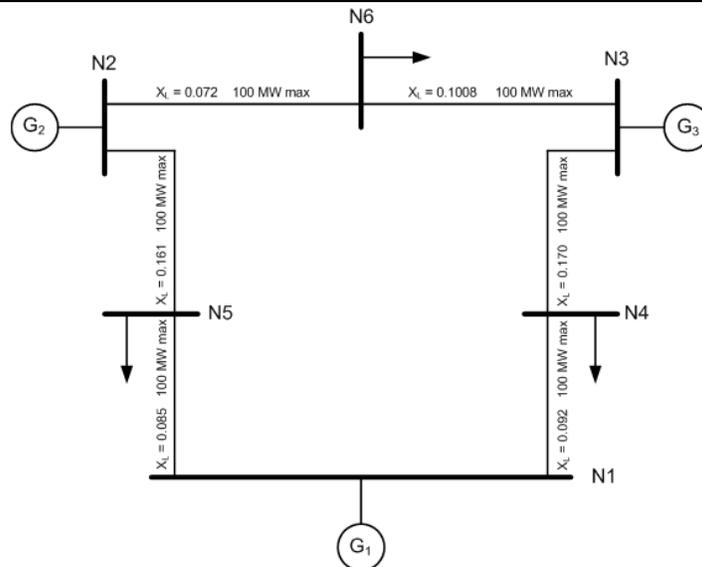


Figura 5.8 Sistema de simulación del modelo híbrido en 5 horas distintas. Las líneas muestran sus límites máximos de transferencia y reactancia de la línea del Ejemplo D.5

La tabla 5.26 muestra la potencia generada por unidad en cada etapa del horizonte de planeación calculada por el SAUMEH.

Tabla 5.26 Solución óptima a la asignación de unidades en el mercado híbrido del Ejemplo D.5

Hora	P_D	P_{G1}	P_{G2}	P_{G3}
1	315	160.0	100.0	55.0
2	305	200.0	85.5	19.5
3	325	200.0	68.0	57.0
4	295	200.0	21.4	73.6
5	335	198.6	19.0	117.4

Por considerar las rampas de decremento e incremento de las unidades generadoras las unidades no pueden reducir de su potencia máxima a la mínima en una etapa (1 hora) y ni de forma contraria de la mínima a la máxima. Si no se considera la condición inicial de las unidades y son consideradas las rampas se tendrá un precio mayor de producción debido a que únicamente en la primer etapa podrán generar el incremento máximo de potencia y se puede tener infactibilidad en la solución del problema, es decir, que no se satisfaga en su totalidad la demanda de energía que tiene el sistema en la primer etapa. Los resultados de la potencia generada por las unidades es representada en la figura 5.9

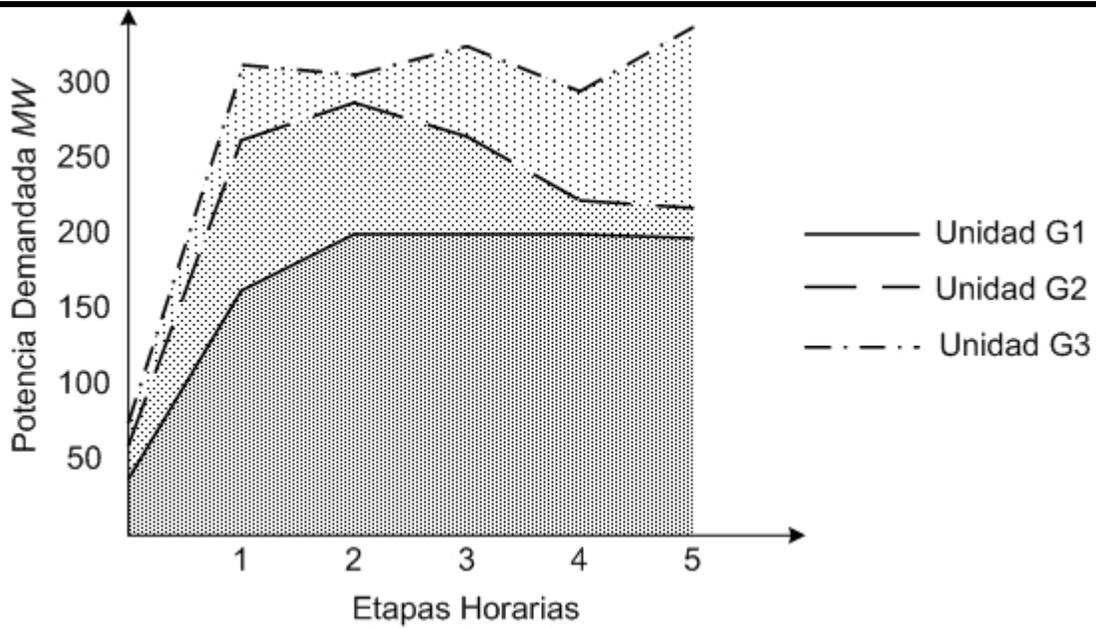


Figura 5.9 Potencia generada por las unidades en las etapas de planeación del ejemplo D.5

En la tabla 5.27 se muestran los precios de la potencia por nodo. Estos precios son determinados por las variables duales del problema y por las contingencias que tiene el sistema de transmisión. Debido a que las líneas de transmisión están en su límite máximo los precios de la potencia es diferente en cada uno de los nodos.

Tabla 5.27 Precio de la potencia por nodo por etapa del horizonte de planeación del Ejemplo D.5

Precio nodal (\$/MW)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora 1	28.00	22.00	22.00	22.00	22.00	28.00
Hora 2	26.00	26.00	26.00	25.52	28.00	28.00
Hora 3	28.00	28.00	28.00	28.00	29.97	29.97
Hora 4	29.97	30.43	28.00	24.14	24.14	24.14
Hora 5	23.22	28.00	26.83	26.83	26.83	26.56

Con los precios de la potencia que se tendrá en los nodos se calcula las contribuciones por unidad generadora y los pagos que los comercializadores del sistema deben de pagar. Estas contribuciones y pagos están mostrados en las tablas 5.28 y 5.29 respectivamente.



Tabla 5.28 Retribuciones (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo D.5

Generador	Nodo	Hora	\$/MW	p^2	Retribuciones (\$)
G ₁	1	1	28.00	160.0	4480.00
G ₂	2	1	22.00	100.0	2200.00
G ₃	3	1	22.00	55.0	1210.00
G ₁	1	2	26.00	200.0	5200.00
G ₂	2	2	26.00	85.5	2223.00
G ₃	3	2	26.00	19.5	507.00
G ₁	1	3	28.00	200.0	5600.00
G ₂	2	3	28.00	68.0	1904.00
G ₃	3	3	28.00	57.0	1596.00
G ₁	1	4	29.97	200.0	5994.00
G ₂	2	4	30.43	21.4	651.202
G ₃	3	4	28.00	73.6	2060.80
G ₁	1	5	23.22	198.6	4611.49
G ₂	2	5	28.00	19.0	532.00
G ₃	3	5	26.83	117.4	3149.84

Tabla 5.29 Pagos (precio nodal x potencia generada) del Ejemplo D.5

Demanda	Nodo	Hora	\$/MW	P_D^1	Pagos (\$)
D ₁	4	1	22.00	90.0	1980.00
D ₂	5	1	22.00	125.0	2750.00
D ₃	6	1	26.00	100.0	2600.00
D ₁	4	2	26.00	100.0	2600.00
D ₂	5	2	28.00	115.0	3220.00
D ₃	6	2	28.00	90.0	2520.00
D ₁	4	3	24.11	110.0	2652.10
D ₂	5	3	24.11	105.0	2531.55
D ₃	6	3	24.11	110.0	2652.10
D ₁	4	4	29.69	120.0	3562.8
D ₂	5	4	29.69	95.0	2820.55
D ₃	6	4	24.14	80.0	1931.2
D ₁	4	5	30.31	130.0	3940.30
D ₂	5	5	26.83	85.0	2280.55
D ₃	6	5	27.17	120.0	3260.40

En la tabla 5.30 se muestra los ángulos nodales para cada una de las etapas del horizonte de optimización obtenidos por el SAUMEH.



Tabla 5.30 Ángulo nodal para cada una de las etapas del Ejemplo D.5

		Ángulo Nodal					
		N1	N2	N3	N4	N5	N6
Hora	1	0.0	-1.97	-3.09	-6.46	-7.63	-6.64
	2	0.0	-6.08	-9.20	-9.20	-8.50	-11.16
	3	0.0	-7.69	-7.50	-9.20	-8.50	-12.23
	4	0.0	-9.30	-5.80	-9.20	-8.50	-11.20
	5	0.0	-10.57	-4.10	-9.20	-8.38	-12.91

El SAUMEH al momento de minimizar los precios de producción a cada iteración determina los ángulos de los voltajes nodales y los flujos de potencia en las líneas de transmisión. Para determinar estos ángulos el nodo G1 se tomo como referencia con ángulo de cero.

Debido a las restricciones de decremento e incremento de la potencia generada por las unidades y por la restricción del flujo máximo de potencia en las líneas de transmisión ninguna unidad puede generar más de 200 MW, pero si existiera alguna carga en el nodo donde esta algún generador, esté podría generar una mayor potencia para satisfacer la potencia que tiene demandada en su propio nodo y generar para la satisfacción de potencia demandada en otros nodos del sistema.

En la tabla 5.31 se muestra la potencia que circula en cada una de las líneas para cada una de las etapas del horizonte de optimización.

Tabla 5.31 Flujo de potencia en las líneas de transmisión por etapa del Ejemplo D.5

		Línea de Transmisión					
		N1 – N4	N1 – N5	N2 – N5	N2 – N6	N3 – N4	N3 – N6
Hora	1	70.19	89.81	35.19	64.81	19.81	35.19
	2	100.00	100.00	15.00	70.53	00.00	19.47
	3	100.00	100.00	5.00	63.04	10.00	46.96
	4	100.00	100.00	-5.00	26.38	20.00	53.62
	5	100.00	98.58	-13.58	32.58	30.00	87.42



5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS

La introducción de competencia afecta a las actividades de generación y comercialización, manteniéndose como reguladas el transporte y la distribución lo que hace que los sistemas eléctricos convencionales pasen a ser empresas de competencia en la generación y comercialización de la energía eléctrica.

Debido principalmente a que no se puede almacenar la energía eléctrica, el suministro de energía se debe de llevar a cabo en todo instante coordinando la operación de uno de los sistemas más complejos y grandes creados por el hombre: los sistemas de energía eléctrica.

Los tres componentes principales en el diseño de una arquitectura de mercado de electricidad eficiente son: el diseño del mercado eléctrico mayorista; el diseño de los procedimientos para el manejo de la transmisión y el diseño de los procedimientos para el manejo de los servicios auxiliares. El mercado eléctrico mayorista es la estructura a través de la cual se compra y vende energía eléctrica de manera competitiva.

Se analizan los resultados de un sistema sometido a un sistema eléctrico convencional (2.7.6), en el mercado centralizado (3.10.4), descentralizado (4.5.4) e híbrido (5.5.4). Las unidades generadoras tienen las mismas características en todos los casos, la demanda es inelástica excepto para el mercado eléctrico descentralizado

Tabla 5.32. Análisis de resultados de las potencias generadas por las unidades en los diferentes escenarios.

	SAUSEC	SAUMEC	SAUMED	SAUMEH	SAUSEC	SAUMEC	SAUMED	SAUMEH	SAUSEC	SAUMEC	SAUMED	SAUMEH
Hora	P_{G1}	P_{G1}	P_{G1}	P_{G1}	P_{G2}	P_{G2}	P_{G2}	P_{G2}	P_{G3}	P_{G3}	P_{G3}	P_{G3}
1	160.0	160.0	160.0	160.0	100.0	100.0	0.0	100.0	55.0	55.0	0.0	55.0
2	247.5	200.0	200.0	200.0	57.5	85.5	1.1	85.5	0.0	19.5	0.0	19.5
3	247.5	200.0	200.0	200.0	77.5	68.0	30.0	68.0	0.0	57.0	0.0	57.0
4	247.5	200.0	200.0	200.0	47.5	21.4	44.5	21.4	0.0	73.6	0.0	73.6
5	247.5	198.6	200.0	198.6	87.5	19.0	0.0	19.0	0.0	117.4	0.0	117.4



En el sistema eléctrico convencional al no considerar el sistema de transmisión (sistema uninodal) la minimización consiste en producir la demanda de energía eléctrica al menor costo posible. En cambio en los mercados eléctricos es considerada la red de transmisión lo cual se describe en los renglones sucesivos. En el mercado eléctrico centralizado es considerado el sistema de transmisión y se deben de minimizar los costos de producción satisfaciendo la demanda que existe en las etapas del horizonte de planeación. Para el mercado eléctrico descentralizado debe de hacerse como primera fase la subasta de compra y venta de energía y la segunda fase es que una vez teniendo la cantidad de energía que se le debe de comprar a cada productor y la que debe de comprar cada comercializador, el operador del sistema determina si existe o no contingencia alguna en la red del sistema eléctrico y en caso de que existan éstas debe de liberarlas con las nuevas ofertas que le dan tanto comerciantes y productores. En el mercado eléctrico híbrido la función objetivo es minimizar los precios de producción de la energía eléctrica, en éste todas las unidades que ofertan deben de ser despachadas al igual que la demanda. En este mercado la asignación no se hace de forma tan simple como en el descentralizado pero no tan complicada como en el centralizado

En los párrafos siguientes se hace la descripción de la potencia generada por cada unidad en los diferentes escenarios de participación (tabla 5.32)

Comparando la potencia generada por la unidad G1 en los posibles mercados y sistema convencional, se tiene que en el sistema convencional genera su máxima potencia a excepción de la primera etapa que esta restringida por su condición inicial y la rampa de incremento de energía generando únicamente 160 MW. En los mercados eléctricos mayoristas en la primera etapa genera la misma potencia que en el sistema convencional, en cambio para las otras etapas esta unidad genera 200 MW debido a la existencia de las líneas de transmisión en las cuales se tiene un límite máximo de flujo de potencia de 100 MW y es por esta restricción que la unidad genera únicamente 200 MW.



El generador G2 en el sistema convencional, mercado centralizado e híbrido genera su potencia permitida por su propia condición inicial y la rampa de incremento de potencia generada con lo que únicamente genera 100 MW en la primera etapa del horizonte de planeación. Para las siguientes etapas del horizonte en el sistema convencional y en el mercado descentralizado genera la potencia que no pudo ser satisfecha por la unidad G1 cumpliendo así en su totalidad la demanda de energía eléctrica. En el mercado centralizado e híbrido la unidad tiene el mismo comportamiento y en ambos casos participa para la satisfacción de la demanda de energía eléctrica que se tiene en el sistema.

La unidad G3 para la primera etapa del horizonte de planeación genera la potencia que no se satisface por las unidades G1 y G2 generando 55 MW para el sistema convencional, centralizado e híbrido. En el sistema eléctrico convencional para las restantes horas de operación esta unidad deja de funcionar puesto que con las otras dos unidades se satisface en su totalidad la demanda de energía que hay en el sistema. En el marco eléctrico centralizado esta unidad participa con mayor generación, esto es debido a las restricciones de la red de transmisión que no permite que en las líneas no sobrepasen un flujo máximo de 100 MW. La unidad G3 tiene el mismo comportamiento en el mercado eléctrico centralizado e híbrido debido a las restricciones antes descritas. En el mercado eléctrico descentralizado la unidad no participa en la generación de energía eléctrica debido a dos factores primordiales: el primero de ellos es por ofertar un precio elevado de generación y el otro factor es el precio ofertado por los comercializadores del sistema.



5.6 CONCLUSIONES

El mercado eléctrico mayorista híbrido utiliza modelos de despacho económico restringido muy simplificados, estos modelos son utilizados para realizar la subasta de compra de energía satisfaciendo restricciones de las unidades generadoras como de las líneas de transmisión. Además estos modelos permiten determinar los precios de la energía por nodo del sistema.

Cuando son empleadas las restricciones de rampas de incremento y decremento de la potencia generada por las unidades, la solución al problema es más completa debido a que las unidades térmicas no pueden generar de su potencia mínima a su potencia máxima en una etapa (hora), por lo que es indispensable utilizar estas restricciones

En las simulaciones se considera la condición inicial de las unidades. Esta condición es apropiada cuando se utilizan las rampas de incremento y decremento de la potencia generada puesto que si no es considerada las unidades en la primer etapa solo podrían generar su potencia mínima más el incremento de la potencia generada y en cambio cuando se considera la condición inicial la potencia generada puede ser mucho mayor.

En las simulaciones presentadas en este capítulo es evidente que la participación del precio de la demanda de potencia en las subasta determina un precio del mercado más aceptable, en comparación cuando la demanda es inelástica.

El SAUMEH para cada una de las horas del horizonte de planeación determina la potencia que es generada por unidad, la potencia demandada adjudicada, el precio de la energía por nodo, los ángulos de las tensiones nodales, los flujos en las líneas de transmisión, satisfaciendo las restricciones operativas de las unidades y de la red de transmisión.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES, APORTACIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En esta tesis se presentan modelos para enfrentar el problema de la programación de generación a corto plazo, el cual se implementó y simuló utilizando programación lineal como técnica base de optimización.

Con los modelos establecidos de asignación de unidades en un sistema convencional y en los mercados eléctricos mayoristas, estos fueron desarrollados en el uso combinado de FORTRAN y de la herramienta MINOS 5.51 para dar solución a los problemas lineales de optimización.

La asignación de unidades en un sistema convencional es un tema difícil de resolver por todas las limitaciones físicas de los generadores, por tal motivo no se consideró el decremento de potencia en las unidades termoeléctricas, ya que este decremento en distintos trabajos no se considera.

La asignación de unidades en el mercado eléctrico centralizado o pool fue desarrollado con la asignación de unidades convencional y la linealización del sistema eléctrico (líneas de transmisión), en este modelo se consideran todas las limitaciones físicas y eléctricas de las unidades generadoras así como el límite máximo de transferencia de potencia de las líneas de transmisión.

La asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado considera a sus principales componentes que son el operador del mercado y el operador del sistema, en este modelo se hace la consideración de las condiciones iniciales y de las rampas de incremento y decremento de la potencia que pueden generar las unidades.



La asignación de unidades en el mercado eléctrico híbrido su modelo de optimización considera las condiciones iniciales, restricciones de las unidades térmicas y de la red de transmisión. Este mercado está compuesto por los mercados centralizados y descentralizados.

En la asignación de unidades convencional para su optimización son considerados los costos de arranque y de paro de las unidades así como el costo fijo de generación.

En la asignación de unidades en el mercado centralizado son considerados los costos de arranque, costo de paro, costo fijo y costo variable para optimizar dicho problema

En la asignación de unidades en el mercado eléctrico descentralizado son consideradas las ofertas de los productores y de los comercializadores, aunque en otros modelos no son consideradas las condiciones iniciales ni las rampas de generación, en esta modelación son consideradas para tener un mejor comportamiento del sistema.

En el mercado eléctrico híbrido al realizar la asignación de unidades son contempladas todas las unidades así como las condiciones iniciales, las rampas de incremento y decremento y las restricciones operativas del sistema de transmisión.

Para que una unidad térmica entre en servicio depende del costo que oferta y de las restricciones que tenga dicha unidad.

En los mercados eléctricos para que una unidad sea considerada en la generación dependerá de los precios ofertados, restricciones físicas y eléctricas del generador y de las características que se tenga el sistema eléctrico (red eléctrica).

Los resultados de las simulaciones de programación lineal han demostrado la factibilidad de la aplicación de la programación lineal en la solución del problema de la asignación de unidades eléctricas tanto en un sistema convencional como en los mercados eléctricos mayoristas.



6.2 APORTACIONES

Implementar los modelos de asignación de unidades convencional, del mercado eléctrico centralizado, descentralizado e híbrido.

Para el mercado centralizado se consideraron restricciones las cuales en otros modelos no son consideradas, estas restricciones son: costo de paro, costo de arranque, rampa de máximo incremento de potencia generada, rampa de máximo decremento de potencia generada y la condición inicial de las unidades.

En el mercado eléctrico descentralizado son consideradas las restricciones de rampas de incremento y decremento de la potencia generada así como la condición inicial de las unidades, estas restricciones y condiciones no son consideradas en otros modelos de la literatura

En el mercado eléctrico híbrido son contempladas las restricciones de incremento y decremento de la potencia de generación y la potencia inicial que esta generando la unidad.

La integración de herramientas computacionales para la solución de la asignación de unidades las cuales fueron desarrolladas en el programa Compaq Visual Fortran 6.0

Estos modelos y herramientas computacionales permiten realizar diferentes simulaciones para la asignación de unidades de tal forma que se comprende el funcionamiento de la asignación de unidades convencional y en los mercados eléctricos mayoristas.

La herramienta computacional es de fácil entendimiento para la creación del archivo de datos de entrada así como la comprensión de resultados.

Utilización de MINOS 5.51 para dar solución al problema de asignación de unidades.



El desarrollo de esta tesis puede servir para un desarrollo de futuras herramientas computacionales y como base para el entendimiento del problema de la asignación de unidades.

6.3 RECOMENDACIONES

La asignación de unidades es un problema difícil de optimizar debido a la gran cantidad de restricciones que se deben de tomar en cuenta. Los programas implementados para este análisis pueden desarrollar un gran número de simulaciones para diferentes características de las unidades así como de la red eléctrica, para trabajos futuros se proponen las siguientes ideas:

En la asignación de unidades convencional considerar un mayor número de restricciones las cuales pueden ser: rampa de decremento de potencia, máximo número de arranques y paros, tiempos mínimos de conexión y desconexión de las unidades.

Para los mercados eléctricos considerar nuevos modelos para determinar los precios de la energía por etapa y por nodo

Aplicación de software avanzado en programación lineal como CEPLEX entre otros.

**Bibliografía**

- [Ahmad, 2000] A. Ahmad y D. P. Kothari, “*A Practical Model for generator Maintenance Scheduling with Transmission Constraints*”, *Electric Machines and Power Systems*, Vol. 28, N° 6, pp. 501-513, Junio 2000
- [Al-kalaani, 1996] Y. Al-kalaani, F. E. Villaseca y F. Renovich Jr., “*Storage and Delivery Constrained Unit Commitment*”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, N° 2, pp. 1059-1066, Mayo 1996
- [Al-Skakarchi, 2000] M. R. G. Al-Shakarchi y H. D. H. Al-Hassany, “*Short-Term Hydrothermal Power System Unit Commitment: A Comparative Study*”, *Electric Machines and Power Systems*, Vol. 28, N° 10, pp. 955-969, Octubre 2000
- [Baldwin, 1959] Baldwin, C. J. , K. M. Dale, and R. T. dittrich, “*A Estudy of The economic shunt-down of Generating in Daily Dispatch*” *AIEE Trans. Pas*, 78 no. 45, pp 1272, December 1959
- [Banzhaf et al, 1998] W. Banzhaf, P. Nordin, R. E. Keller y F. D. Francone, “*Genetic Programming: An Introduction*”, Morgan Kaufmaann Publishers, Inc, 1998
- [Bard, 1988] J. F. Bard, “*Short Term Scheduling of Thermal Electric Generators Using Lagrangian Relaxation*”, *Operations Research*, Vol. 36, N° 5, pp 756-766, Agosto 1988
- [Bazaraa, 2004] Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis, Hanif D. sherali, “*Programación lineal y Flujos en redes*”, libro de Editorial Limusa, Segunda Edición 2004
- [Beasley, 1993a] D. Beasley, D. R. Bull y R. R. Martin, “*An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals*”, *University Computing*, Vol. 15, N° 2, pp. 58-69, 1993
- [Beasley, 1993b] D. Beasley, D. R. Bull, y R. R. Martin, “*An Overview of Genetic Algorithms: Part 2, Research Topics*”, *University Computing*, Vol. 15, N° 4, pp. 170-181, 1993



- [Billinton, 2000] R. Billinton y M. Fotuhi-Firuzabad, “*A Reliability Framework for Generating Unit Commitment*”, *Electric Power Systems Research*, Vol. 56, N° 1, pp. 81-88, octubre 2000
- [Birge, 1995] J. R. Birge, S. Takriti y E. Long, “*Intelligent Unified Control of Unit Commitment and Generation Allocation*”, Technical Report 94-26, Department of Industrial and Operations Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, September 1994, actualizado como EPRI Report, Diciembre 1995
- [Burns, 1975] R. M. Bruns and C. A. Gibson “*Optimization of Priority List for a Unit Commitment Program*”, IEEE Pes Summer Meeting, 1975
- [Cheng, 2000] C.-P. Cheng, C.-W. Liu y C.-C. Liu, “*Unit Commitment by Lagrangian Relaxation and Genetic Algorithms*”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, N° 2, pp. 707-714, Mayo 2000
- [Christensen & Soliman, 1988] G. S. Christensen y S. A. Soliman, “*Optimal Long-Term Operation of Electric Power Systems*”, Plenum Press, 1988
- [Cohen, 1983] A. I. Cohen y M. Yoshimura, “*A Branch-and-Bound Algorithm for Unit Commitment*”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, N° 2, pp. 444-451, Febrero 1983
- [Conejo, 2002] Antonio J. Conejo, Pablo Pedregal, Ricardo García y Natalia Alguacil, “*Formulación y Resolución de modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*”, libro del 20 de Febrero de 2002
- [Dentcheva, 1996] D. Dentcheva, R. Gollmer, A. Moller, W. Romisch y R. Schultz, “*Solving the Unit Commitment Problem in Power Generation by Primal and Dual Methods*”, *Progress in Industrial Mathematics at ECMI 96*, Teubner, Stuttgart, pp. 332-339, 1997
- [Drake, 1962] J. H. Drake, L. K. Kirchmayer, R. B. Mayall y H. Wood, “*Optimum Operation of a Hydrothermal System*”, *AIEE Transactions* Vol. 81, Part III: *Power Apparatus and Systems*, pp. 242-250, Agosto 1962



- [Flores, 2002] Marcelo Flores Rosales “Simulación de Mercados de Energía Eléctrica Utilizando Herramientas de Optimización”, Tesis del Instituto Tecnológico de Morelia, Departamento de Ingeniería Eléctrica y electrónica. Diciembre de 2002
- [Gallego, 1998] R. A. Gallego, A. J. Monticelli y R. Romero, “*Comparative Studies on Non-Convex Optimization Methods for Transmission Network Expansion Planning*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, N° 3, pp. 822-828, Agosto 1998
- [Garver, 1963] L. L. Garver, “*Power Generation Scheduling by Integer Programming – Development of Theory*”, AIEE Transactions Vol. 81, Part III: Power Apparatus and Systems, pp. 730-735, Febrero 1963
- [Gollmer, 1998] R.. Gollmer, A. Möller, M. P. Nowak, W. Römisch y R. Schultz, “*Primal and dual methods for unit commitment in a hydro-thermal power system*”, Humboldt-University Berlin, Institute Mathematik, Preprint Nr. 98-20, 1998
- [Happ, 1971] Happ, H. H., r. C. Johnson, W. J. Wrigth and G. A. Newman, “*Large Scale Hydro-Thermal Unit Commitment-Methods and Results*”, IEEE Trans. Pas, 90, 1971, pp 1373, 1384
- [Habibollahzadeh, 1986] H. Habibollahzadeh y J. A. Bubenko, “*Application of Decomposition Techniques to Short-Term Operation Planning of Hydrothermal Power System*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-1, N° 1, pp. 41-47, Febrero 1986
- [Hillier, 2001] F. S. Hillier & G. J. Lieberman, “*Investigación de Operaciones*” Ed. Mc. Graw Hill, Séptima Edición, México, 2001.
- [Hong, 2000] Y.-Y. Hong y M.-T. Weng, “*Optimal Short-Term Real Power Scheduling in a Deregulated Competitive Market*”, Electric Power Systems Research, Vol. 54, N° 3, pp. 181-188, Junio 2000



- [Kerr, 1966] R. H. Kerr, J. L. Scheidt, A. J. Fontana and J. K. Wiley, “*Unit commitment*”, IEEE Trans., Vol PAS-85, pp 417-421, 1966
- [Kirchmayer, 1958] Leon K. Kirchmayer, “*Economic Operation of Power Systems*”, John Wiley & Sons, 1958
- [Li, 1993] S. Li y S. H. Shahidehpour, “*Promoting the Application of Expert Systems in Short Term Unit Commitment*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, N° 1, pp. 287-292, Febrero 1993
- [Lee, 1995] K. Y. Lee, X. Bai, Y.-M. Park, “*Optimization method for reactive power planning by using a modified simple genetic algorithm*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, N° 4, pp. 1843-1850, Noviembre 1995
- [Liang, 1992] Z. -X. Liang y J. D. Glover, “*A zoom feature for a dynamic programming solution to economic dispatch including transmission losses*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, N° 2, pp. 544-550, Mayo 1992
- [Lin, 2001] W.-M. Lin; F.-S. Cheng y M.-T. Tsay, “*Nonconvex economic dispatch by integrated artificial*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, N° 2, pp. 307-311, Mayo 2001
- [Liu, 1992] Z. J. Liu, F. E. Villaseca, y F. Renovich Jr., “*Neural Networks for Generation Scheduling in Power Systems*”, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Vol. 2, pp. 233-238, 1992
- [Lowery, 1966] P. G. Lowery, “*Generating Unit Commitment by Dynamic programming*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-85, N° 5, pp. 422- 426, Mayo 1966
- [Madrigal, 2000a] M. Madrigal y V. H. Quintana, “*Using Optimization Models and Techniques to Implement Electricity Auctions*”, IEEE Transactions on Power Systems, 2000, pp. 897-902



- [Madrigal, 2000b] M. Madrigal, “*Optimization Models and techniques for Implementation and Pricing of Electricity Markets*”, Ph. D. Thesis, Univ. Waterloo, Ontario, Canada 2000
- [Madrigal, 2001] M. Madrigal y V. H. Quintana, “*Existence and Determination of Competitive Equilibrium in Unit Commitment Power Pool Auctions: Price Settings and Scheduling*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, N° 3, pp. 380-388, Agosto 2001
- [Merlin, 1983] A. Merlin y P. Sandrin, “*A New Method for Unit Commitment at Electricite de France*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, N° 5, pp. 1218-1225, Mayo 1983
- [Muckstadt, 1968] J. A. Muckstadt y R. C. Wilson, “*An Application of Mixed-Integer Programming Duality to Scheduling Thermal Generating Systems*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, N° 12, pp. 1968-1977, Diciembre 1968
- [Muckstadt, 1977] J. A. Muckstadt y S. A. Koenig, “*An Application of Lagrangian Relaxation to Scheduling in Power-Generation Systems*”, Operations Research, Vol. 25, N°3, Mayo-Junio 1977
- [Ouyang, 1991] Z. Ouyang, y S. M. Shahidehpour, “*An Intelligent Dynamic Programming for Unit Commitment Application*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, N° 3, pp. 1203-1209, Agosto 1991
- [Pang, 1981] C. K. Pang, G. B. Sheble y F. Albuyeh, “*Evaluation of Dynamic Programming Based Methods and Multiple Area Representation for Thermal Unit Commitments*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS- 100, N° 3, pp. 1212-1218, Marzo 1981



- [Park, 1993] J. H. Park, Y. S. Kim, I. K. Eom y K. Y. Lee, “*Economic Load Dispatch for Piecewise Quadratic Cost Functions Using Hopfield Neural Network*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, N° 3, pp. 1030-1038, Agosto 1993
- [Pereira, 1983] M. V. Pereira y L. M. V. G. Pinto, “*Application of Decomposition Techniques to the Mid – and Short – Term Scheduling of Hydrothermal Systems*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, N° 11, pp. 3611-3618, Noviembre 1983
- [Pereira, 1998] M. Pereira, N. Campodónico y R. Kelman, “*Long-Term Hydro Scheduling Based on Stochastic Models*”, EPSOM, Septiembre 1998, Zurich
- [Pereira, 1999] M. V. Pereira, N. Campodónico y R. Kelman, “*Application of Stochastic Dual DP and Extensions to Hydrothermal Scheduling*”, PSRI Tech. Report 012/99
- [Pereira, 2000] M. V. Pereira, L. A. Barroso y R. Kelman, “*Market Power Issues in Bid-Based Hydrothermal Dispatch*”, IEEE Summer Meeting 2000
- [Rudnick, 1996] H. Rudnick, R. Palma, E. Cura y C. Silva, “*Economically Adapted Transmission Systems in Open Access Schemes: Application of Genetic algorithm*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, N° 3, pp. 1427-1440, Agosto 1996
- [Sasaki, 1992] H. Sasaki, M. Watanabe y R. Yokoyama, “*A Solution Method of Unit Commitment by Artificial Neural Networks*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, N° 3, pp. 974-981, Agosto 1992
- [Saleh, 2000] R. A. F. Saleh y H. R. Bolton, “*Genetic Algorithm-Aided Design of a Fuzzy Logic Stabilizer for a Superconducting Generator*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, N° 4, pp. 1329-1335, Noviembre 2000



- [Sheble, 1994] Gerald B. Sheble', George N. fahd, "Unit commitment Literature Synopsis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, N° 1, pp. 128-135, Febrero 1994
- [Taha, 2004] H. A. Taha, "Investigación de Operaciones", Ed, Alfaomega, Décimo cuarta reimpresión, México, Octubre 2004.
- [Tong, 1991] S. K. Tong, S. M. Shahidehpour y Z. Ouyang, "A Heuristic Short-Term Unit Commitment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, N° 3, pp. 1210-1216, Agosto 1991
- [Van Den Bosch, 1985] P. P. J. Van Den Bosch y G. Honderd, "A Solution of the Unit Commitment Problem Via Decomposition and Dynamic Programming", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, N° 7, pp. 1684-1690, Julio 1985
- [Walsh, 1997] M. P. Walsh y M. J. O'Malley, "Augmented Hopfield Network for Unit Commitment and Economic Dispatch", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, N° 4, pp. 1765-1774, Noviembre 1997
- [Wood & Wollenberg, 1996] Allen j. Wood & Broce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control", A Wiley-Interscience Publication John wiley & Sons, Inc.
- [Wu, 2000] Y.-G. Wu, C.-Y. Ho y D.-Y. Wang, "A Diploid Genetic Approach to Short-Term Scheduling of Hydrothermal System", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, N° 4, pp. 1268-1274, Noviembre 2000
- [Zhuang, 1988] F. Zhuang y F. D. Galiana, "Towards a More Vigorous and Practical Unit Commitment by Lagrangian Relaxation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-3, N° 2, pp. 763-770, Mayo 1988



Apéndice A

PROGRAMACIÓN LINEAL

A.1 EL PROBLEMA DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL

El análisis empezará planteando un tipo particular de problema de programación lineal. Como se verá más adelante, cualquier problema general de programación lineal puede manipularse de esta forma [Bazaraa, 2004], [Hillier, 2001].

A.1.1 Definiciones básicas

Considere el siguiente problema de programación lineal.

$$\text{Minimizar} \quad c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (6.1)$$

Sujeto a:

$$\begin{array}{rcccccc} a_{11}x_1 & + & a_{12}x_2 & + & \dots & + & a_{1n}x_n & \geq & b_1 \\ a_{21}x_1 & + & a_{22}x_2 & + & \dots & + & a_{2n}x_n & \geq & b_2 \\ \vdots & & \vdots & & & & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1}x_1 & + & a_{m2}x_2 & + & \dots & + & a_{mn}x_n & \geq & b_m \\ x_1, & & x_2, & & \dots & , & x_n & \geq & 0 \end{array} \quad (6.2)$$

Aquí $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ es la función objetivo (o función criterio) que debe minimizarse y se denotara por z . Los coeficientes c_1, c_2, \dots, c_n son los *coeficientes de costo*, y x_1, x_2, \dots, x_n son las *variables de decisión* (variables, variables estructurales o niveles de actividad) que deben determinarse. La desigualdad $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i$ denota la i -ésima *restricción*. Los coeficientes a_{ij} para $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ se llaman *coeficientes tecnológicos*. Estos coeficientes tecnológicos forman la matriz de restricciones **A** siguiente:



$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

El vector columna cuya i -ésima componente es b_i , al cual se denomina *vector del lado derecho*, representa los requerimientos mínimos que deben satisfacerse. Las restricciones $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$ son las *restricciones de no negatividad*. Un conjunto de variables x_1, \dots, x_n que satisfacen todas las restricciones se denomina *punto factible* o *vector factible*. El conjunto de todos estos puntos se llama *región factible* o *espacio factible*.

Usando la terminología anterior, el problema de programación lineal se puede enunciar como sigue: entre todos los vectores factibles, encontrar el que minimiza (o maximiza) la función objetivo [Taha, 2004], [Bazaraa, 2004].

A.1.2 Hipótesis de la programación lineal

Para representar un problema de optimización como un programa lineal se requieren varias hipótesis que están implícitas en el planteamiento de la programación lineal dada antes. A continuación se explican brevemente tales hipótesis.

1. *Proporcionalidad*. Dada una variable x_j , su contribución al costo total es $c_j x_j$, y su contribución a la i -ésima restricción es $a_{ij} x_j$. Lo anterior significa que si, por ejemplo, se dobla el valor de x_j , entonces se dobla su contribución al costo total y a cada una de las restricciones. A manera de ilustración, suponga que x_j es la cantidad que se usa de la actividad j . Por ejemplo, si $x_j = 10$, entonces el costo de esta actividad es $10 c_j$. Si $x_j = 20$, entonces el costo es $20 c_j$. Lo anterior significa



que no se logra ningún ahorro (o costo extra) usando más de la actividad j , es decir, no hay economías o devoluciones a escalar, ni tampoco descuentos. Tampoco se incurre en ningún costo inicial por empezar la actividad [Hillier, 2001].

2. *Aditividad.* Esta hipótesis garantiza que el costo total es la suma de los costos individuales, y que la contribución total a la i -ésima restricción es la suma de las contribuciones individuales de cada actividad. En otras palabras, entre las actividades no hay efectos de sustitución o interacción.
3. *Divisibilidad.* Esta hipótesis asegura que las variables de decisión se pueden dividir en cualesquiera niveles fraccionarios, de modo que se permiten valores no enteros para las variables de decisión.
4. *Determinística.* Todos los coeficientes c_j , a_{ij} y b_i se encuentran de manera determinística. Se supone que cualquier elemento probabilístico o estocástico inherente en la demanda, costos, precios, recursos disponibles, usos, etc., es aproximado por tales coeficientes a través de algún equivalente determinístico.

A pesar de las hipótesis aparentemente restrictivas, los programas lineales se cuentan entre los modelos más utilizados actualmente. Representan varios sistemas de manera bastante satisfactoria y son capaces de proporcionar una gran cantidad de información, en vez de una sola solución [Taha, 2004], [Bazaraa, 2004].

A.1.3 Manipulación del problema.

Recuerde que un programa lineal es un problema de minimizar o maximizar una función lineal en presencia de restricciones lineales de desigualdad y/o igualdad. Mediante simples manipulaciones, el problema se puede transformar de una forma a otra forma equivalente.



Una desigualdad se puede transformar fácilmente en una ecuación. Por ejemplo, considere la restricción dada por $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i$. Esta restricción se puede escribir en forma de ecuación sustrayendo la *variable de exceso* o de *holgura* no negativa x_{n+i} (que algunas veces se denota por s_i), obteniendo $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - x_{n+i} = b_i$ y $x_{n+i} \geq 0$. Similarmente, la restricción $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i$ es equivalente a $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + x_{n+i} = b_i$ y $x_{n+i} \geq 0$. Asimismo, una ecuación de la forma $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i$ puede transformarse en dos desigualdades $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i$ y $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i$, aunque no suele hacerse.

En casi todos los problemas prácticos, las variables representan cantidades físicas, por lo cual deben ser no negativas.

Otra manipulación del problema consiste en convertir un problema de maximización en un problema de minimización y viceversa. Observe que, sobre cualquier región

$$\text{Máximo} \sum_{j=1}^n c_j x_j = -\text{Mínimo} \sum_{j=1}^n -c_j x_j \quad (6.4)$$

Así pues, un problema de maximización (minimización) se puede convertir en un problema de minimización (maximización) multiplicado por -1 los coeficientes de la función objetivo. Después de completar la optimización del nuevo problema, el valor del problema original es -1 veces el valor óptimo del nuevo problema.

A.1.4 Formas estándar y canónica.

Para el análisis se observa que un programa lineal dado puede expresarse en diferentes formas equivalentes por medio de técnicas de manipulación idóneas. De estas,



dos serán particularmente útiles. Se trata de las formas estándar (o normal) y canónica. Se dice que un programa lineal esta en *forma estándar* si todas las restricciones son igualdades y todas las variables son no negativas. El método simplex esta diseñado para ser aplicado solo después de que el problema se plantea en forma estándar. La forma canónica también es de utilidad, especialmente cuando se trata de aprovechar las características de las relaciones de dualidad. Un problema de minimización está en *forma canónica* si todas las variables son no negativas y todas las restricciones son del tipo \geq . Un problema de maximización esta en forma canónica si todas las restricciones son del tipo no negativas y todas las restricciones son del tipo \leq . En la tabla B.1 se resumen las formas estándar y canónica [Taha, 2004], [Bazaraa, 2004].

Tabla B.1. Formas estándar y canónicas

	PROBLEMA DE MINIMIZACIÓN	PROBLEMA DE MAXIMIZACIÓN
FORMA ESTÁNDAR	Minimizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$	Minimizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$
FORMA CANÓNICA	Minimizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$	Minimizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$

A.1.5 Programación lineal en notación matricial

Usando notación matricial es posible plantear en forma más conveniente un problema de programación lineal como ejemplo, considere el siguiente problema.

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{j=1}^n c_j x_j \tag{6.5}$$



$$\begin{aligned} \text{Sujeto a} \quad & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6.6)$$

Sea \mathbf{c} el vector renglón (c_1, c_2, \dots, c_n) y considere los siguientes vectores columna \mathbf{x} y \mathbf{b} , así como la matriz A de $m \times n$.

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Entonces el problema se puede escribir como.

$$\text{Minimizar} \quad \mathbf{c}\mathbf{x} \quad (6.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Sujeto a} \quad & A\mathbf{x} = \mathbf{b} \\ & \mathbf{x} \geq 0 \end{aligned} \quad (6.8)$$

A.2 MODELADO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL

El modelado y el análisis de un problema de investigación de operaciones en general y un problema de programación lineal en particular se desarrollan a través de varias etapas. La etapa *fase de planteamiento del problema* implica un estudio detallado del sistema, la recolección de datos y la identificación del problema específico que es necesario analizar, junto con las restricciones o limitaciones del sistema y la función objetivo. A menudo, el problema analizado puede formar parte de un problema de un sistema global. La siguiente etapa implica la elaboración de una abstracción o una idealización del problema mediante un *modelo matemático*. Es necesario tener cuidado de asegurarse que el modelo matemático represente de manera satisfactoria al sistema bajo análisis y que además sea matemáticamente tratable. Lo anterior debe efectuarse de manera prudente, y las hipótesis subyacentes inherentes al modelo deben considerarse de forma adecuada.



Debe tenerse en cuenta que a partir de este momento las soluciones obtenidas serán soluciones del modelo y no necesariamente soluciones del sistema real [Taha, 2004], [Bazaraa, 2004].

La tercera etapa es *deducir una solución*. Es necesario elegir o diseñar una técnica apropiada que aproveche cualquier estructura (en caso de haber). Es posible buscar una o más soluciones óptimas, o tal vez solamente sea posible determinar una solución heurística aproximada junto con alguna evaluación de su calidad. En el caso de funciones objetivo múltiples, podrán buscarse soluciones *eficientes* u *óptimas de Pareto*, es decir, soluciones tales que una mejora adicional de cualquier valor de función objetivo necesariamente vaya acompañada de un detrimento en algún otro valor de la función objetivo.

La cuarta etapa es la *prueba, análisis y (posible) reestructuración de modelo*. Se examina la solución del modelo y su sensibilidad a varios parámetros del sistema, y se estudian sus predicciones con respecto a diversos escenarios del tipo “qué sucede si”. Este análisis proporciona información profunda acerca del sistema. También es posible usar este análisis para evaluar la confiabilidad del modelo mediante la comparación de los resultados predichos y los resultados esperados, usando ya sea experiencia pasada o aplicando la prueba de manera retroactiva usando datos históricos. En esta etapa, sería aconsejable *enriquecer* más aún el modelo a través de la incorporación de otras características importantes del sistema que no han sido modeladas todavía o, por otra parte, podría elegirse simplificar el modelo [Taha, 2004], [Bazaraa, 2004].

La etapa final es la implementación. El modelo se pone en marcha para auxiliar interactivamente en el proceso de toma de decisiones. El modelo nunca debe *reemplazar* a la persona que toma las decisiones. A menudo, antes de emprender políticas relacionadas con la toma de decisiones es necesario aplicar a la solución del modelo un “factor-franco” con base en el criterio y la experiencia.



Apéndice B

SIMULADORES DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN MINOS 5.51_{MR}.

Los simuladores realizados para el sistema convencional así como para los mercados eléctricos están realizados en la plataforma de COMPAQ VISUAL FORTRAN 6.0 y en el optimizador empleado para la programación lineal MINOS 5.51_{MR}. En los siguientes párrafos se describirá el funcionamiento de estos simuladores.

Recordando lo que textualmente se escribió en el punto 2.6.1: MINOS es un sistema computacional basado en FORTRAN diseñado para la solución óptima de problemas de gran tamaño, expresados en la forma estándar mediante subrutinas fabricadas por el usuario.

Los simuladores realizados en esta tesis consisten primordialmente en cuatro etapas

- Lectura de datos
- Creación del archivo MPS
- Optimización de la asignación de unidades
- Escritura de los resultados de la optimización

Los programas principales de los simuladores consisten básicamente en el llamado de la subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS, de la subrutina de MINOS 5.51 y por último el llamado de la subrutina de escritura de resultados.

El Simulador de Asignación de Unidades en un Sistema Eléctrico Convencional (SAUSEC) en su subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS en su primera etapa lee los datos característicos del sistema los cuales son el nombre del sistema, número de unidades a asignar, la reserva rodante del sistema, para las unidades se tiene un ciclo repetitivo hasta que todos los datos de ellas sean leídos. Estos datos consisten en el nombre



de la unidad, la potencia máxima de generación, potencia mínima de generación, el límite de la rampa de incremento de potencia generada, el costo fijo, costo de arranque, costo de paro, el costo variable y el último dato que lee de cada unidad es la condición inicial de la misma, una vez leídos los datos característicos de las unidades esta subrutina lee el número de etapas del horizonte de planeación, también lee la potencia demandada en cada una de las etapas de este horizonte.

La subrutina de lectura y creación del archivo MPS crea en forma automática el nombre del archivo MPS el cual lo determina por el nombre del sistema, también de forma automática crea los nombres de los archivos de salida que son del nombre del sistema empleado. Para crear el contenido del archivo MPS primero determina la cantidad de filas por lo que va a estar compuesto el problema, este número de filas es determinado por el número de etapas, por el número de unidades y por la función objetivo dando la ecuación que número de filas es igual al número de etapas por el número de unidades más la función objetivo, ya teniendo el número de filas a cada una de ellas le determina si es menor o igual, igual, mayor o igual y/o si es la función objetivo. Después de determinar el tipo de fila la subrutina determina la cantidad de variables que tiene el problema para lo cual hace una multiplicación del número de etapas por el número de unidades más el número de unidades. Ya con el número de variables esta subrutina determina el número de apariciones que tendrá dicha variable, por ejemplo, si es la condición inicial aparecerá una sola vez, si esta en una etapa del horizonte de planeación tendrá participación en cuatro filas de las cuales es: en la función objetivo, en la fila de la etapa de participación, en la condición inicial para la rampa de incremento para la siguiente etapa y en la cota final de la rampa de incremento de la etapa anterior y si es la de la última etapa aparecerá tres veces: en la función objetivo, en la fila de la última etapa de planeación y en la fila de restricción de la rampa de incremento de potencia generada. Una vez teniendo el número de la fila en que aparece y el coeficiente que tendrá en la fila esta subrutina lo escribe de forma automática en el archivo MPS, este procedimiento lo realiza hasta la última variable del problema. Como el optimizador MINOS 5.51_{MR}. Después de hacer la lectura del número de fila y su tipo, lee el nombre de la variable, la fila en que aparece y el coeficiente que tiene en esa



fila, después de llenar la matriz de restricciones MINOS 5.51_{MR}. Lee el vector de desigualdades el cual es creado por la subrutina MPS-SAUSEC el cual consiste de la fila dos hasta la fila etapas del horizonte de planeación más una en la potencia demandada en el sistema y de la fila número de etapas más dos hasta la fila dos veces el número de etapas más uno, su desigualdad consiste en la rampa de incremento de potencia generada, este último procedimiento se repite de acuerdo al número de unidades que tiene el sistema. Una vez que la subrutina determina el vector de desigualdades y lo guardo en el archivo MPS determina para cada una de las variables el tipo que es y sus límites lo cual consiste en que si es fija (FX), si tiene límite inferior (LO), si tiene límite superior (UP), si es libre (FR), entre otros y para nuestro caso las que se ocupan es la fija, límite inferior y límite superior. Se utiliza la de variable fija para la condición inicial, la de límite inferior para la potencia mínima de generación y la del límite superior para la potencia máxima de generación. Está subrutina para cada variable del problema determina su tipo y su límite por ejemplo para la primera variable es una variable fija que es la condición inicial de la unidad uno, la variable dos tiene un límite inferior y superior, la variable tres también tiene un límite inferior y superior, esto se repite hasta el número de etapas, para la variable número de etapas más uno nuevamente esta variable es fija y es la condición inicial de la unidad dos, la variable número de etapas más dos tiene nuevamente límite inferior y superior, este procedimiento se repite para todas las unidades y este ciclo se detiene al momento de culminar con la última unidad representada por la última variable. Después de determinar el tipo de variable y sus límites, estos datos son escritos en el archivo MPS y la subrutina cierra el archivo MPS conservándolo y regresando al programa principal.

Nuevamente estando en el programa principal esté hace el llamado de la subrutina MINOS1 para dar solución al problema escrito en el archivo MPS. La subrutina MINOS1 escribe los resultados en uno de los archivos de salida creados por la subrutina de escritura y creación del archivo MPS (MPS-SAUSEC), pero debido a la gran cantidad de información que arroja en el optimizador se desarrollo la subrutina de escritura de datos la cual sintetiza los resultados obtenidos por dicho optimizador.



La subrutina de escritura de resultados (ESCH-SAUSEC) como primera fase escribe una pequeña portada describiendo las restricciones que fueron empleadas para la asignación de unidades entre otras. Después de esta portada la subrutina escribe el valor de la función objetivo, escribe en forma matricial la potencia generada por unidad en cada etapa del horizonte de planeación en donde cada fila indica una unidad generadora y cada columna corresponde a una etapa del horizonte. Para la realización de esta forma matricial fue modificado el código de MINOS 5.51_{MR}. Debido a que este entrega la solución del problema en forma de matriz en un archivo difícil de entender puesto que en la tercera columna de la sección 2 de columnas indica el coeficiente de la variable y por lo cual no se tiene una buena apreciación de los resultados y es por ellos que fue modificado el código de este optimizador para que la solución de la asignación de unidades sea de una mejor comprensión. La subrutina de escritura de resultados es la última fase del SAUSEC (ver apéndice C y apéndice D)

Para los simuladores de los mercados eléctricos los programas principales de los simuladores también están compuestos primordialmente por estas tres subrutinas. La diferencia entre uno y otro es que en el mercado centralizado es modelada la red de transmisión y la agregación de la restricción de la rampa de decremento de la potencia de generación. En el Simulador de Asignación de unidades en el Mercado Eléctrico Descentralizado (SAUSED), la primera subrutina de la creación de el archivo MPS no considera la condición inicial y si considera las rampas de generación así como las potencias demandadas por los comercializadores, en la segunda subrutina de la escritura del archivo MPS las potencias de generación por unidad para las etapas del horizonte de planeación son consideradas fijas y las rampas de incremento y decremento así como la condición inicial ya no son consideradas puesto que estas fueron consideradas en las subastas del operador del mercado y cuando existe contingencia en la red de transmisión el SAUSED llama a la tercera subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS y en esta son consideradas todas las restricciones de las unidades así como las potencias y precios ofertados por los comercializadores del sistema. El Simulador de Asignación de Unidades en el Mercado Eléctrico Híbrido (SAUMEH) tiene un funcionamiento muy



parecido al de los otros dos mercados con la diferencia que en este todas las unidades son despachadas, es considerada la red de transmisión así como las potencias mínimas y máximas adjudicadas a los comercializadores del sistema.

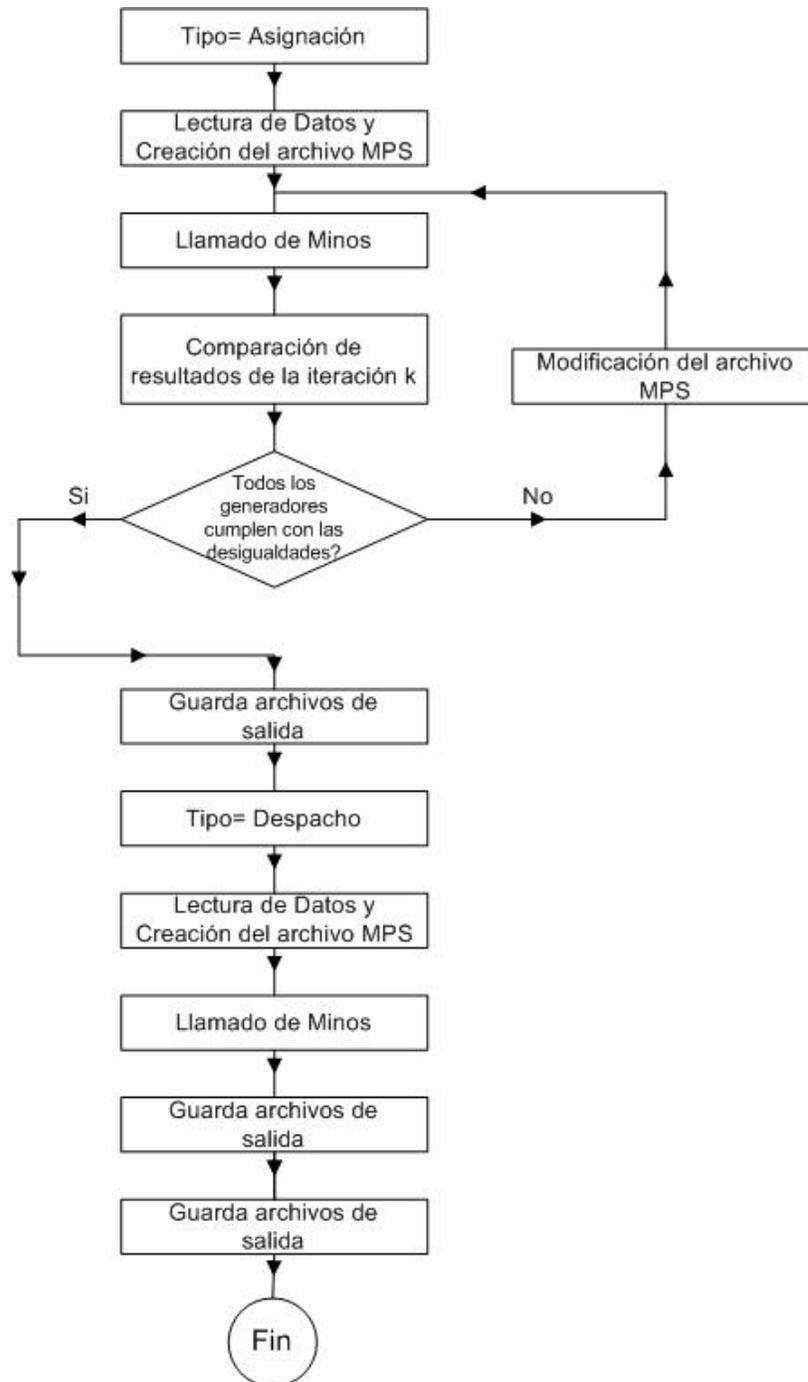
En los tres casos la subrutina de escritura de resultados es muy similar la diferencia consiste en la escritura de los precios de la potencia en cada una de las etapas, por ejemplo, para el SAUMEC el precio es determinado por la unidad menos económica y para los otros dos mercados es determinado por las variables duales del balance nodal.



Apéndice C

SIMULADOR DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN SISTEMA ELÉCTRICO CONVENCIONAL (SAUSEC)

C.1 Diagrama de Bloques del SAUSEC





C.2 Programa principal

```

*****
*                               *
*               asignacion de unidades                               *
*                               *
*     Este programa contempla la potencia inicial de cada generador, *
*     tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento *
*     maximo de generacion                                           *
*     Sistema Modular en base a la optimizacion no lineal           *
*                               *
* Realizado por:                                                     *
*                               *
*     Fabian Vazquez Ramirez                                         julio de 2005 *
*****

```

```

character*24  archivo, archivol, opc, tipo, nomsis, Sistema
data         NWCORE/100000/
double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*           CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*           Z(100000),Pmax,x,l,d1,d2,d3,tol,
*           xxn, objetivo, aux6
integer      num, linea, spc, itera, aux2,numeta, aux1,aux,
*           aux4, aux5, Termos

```

```

-----
* Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----

```

```

common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),l1(100000),l(100000)
common / fvr1 /  xxn(10000)
common / fvr2 /  num, objetivo
common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, tipo, Sistema
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common /cycle2/  objtru,suminf,numinf
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*              CostFij(10000), CosArr(10000), CostPar(10000),
*              CostVar(10000),ConIni(10000),aux1(10000),
*              Dmax(10000), Pmaxi(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)

```

```

-----
* Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----

```

```

iter=1
tol=5e-5

Tipo='Asignacion'

call mps

100 continue

open(4,file='minimize.spc')
open(9,file=archivol)
open(10,file=archivo)

call minos1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

x(1)=xxn(1)
do i=2,num
  x(i)=xxn(i)
  d1(i)=abs(x(i)-Pmax(i))
  d2(i)=abs(x(i)-0.00000)
  d3(i)=abs(x(i)-l(i))

  if((d1(i).ge.tol).and.(d2(i).ge.tol).and.(d3(i).ge.tol))then
    open(10,file=archivo)
    do j=1,linea-1
      read(10,*)
    end do
    if(x(i-1).eq.0.00)then
      if(i.le.9)then

```



```

        write(10,203)i, l(i)
    else if(i.le.99)then
        write(10,204)i, l(i)
    else if(i.le.999)then
        write(10,205)i, l(i)
    else
        write(10,206)i, l(i)
    end if
else
    if(i.le.9)then
        write(10,203)i, Pmax(i)
    else if(i.le.99)then
        write(10,204)i, Pmax(i)
    else if(i.le.999)then
        write(10,205)i, Pmax(i)
    else
        write(10,206)i, Pmax(i)
    end if
end if
linea=linea+1
close(10,status='keep')
itera=itera+1
c    write(6,202)i, x(i), Pmax(i), l(i)
    goto 100
c    else
    write(6,202)i, x(i), Pmax(i), l(i)

end if
c    pause
end do

call escr

    Tipo='Despacho'

    call mps

    open(4,file='minimize.spc')
open(9,file=Archivol)
    open(10,file=archivo)

    call minosl(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
    close(10,status='keep')

aux=numeta
aux2=1
x(1)=xxn(1)
c    write(*,*) objetivo
do i=2, num
    x(i)=xxn(i)
c    write(*,*)x(i),i
    if(i<(aux2*aux)+aux2+1)then
c    write(*,*)i, aux2
        if((x(i).ne.0.0).and.(x(i-1)<=tol))then
            objetivo = objetivo+ CosArr(aux2)+CostFij(aux2)
c    write(*,*) objetivo,CosArr(aux2),CostFij(aux2), i,aux2
        else if(x(i)>=tol)then
            objetivo=objetivo+CostFij(aux2)
c    write(*,*) objetivo, CostFij(aux2), i, aux2
        else if(x(i-1)>=tol.and.x(i)<=tol)then
            objetivo=objetivo+CostPar(aux2)
c    write(*,*)objetivo, CostPar(aux2),i, aux2
        end if
    else
        aux2=aux2+1
    end if
end do
c    write(6,101)itera, objetivo

aux4=1
do j=1,numeta
    aux6(j)=00.00
    do i=1, Termos
        aux5= i+(numeta)*(i-1)+aux4
        if(x(aux5)>tol)then
            aux7=CostVar(i)*1.0
            if(aux7>aux6(j))then

```



```

                aux6(j)=aux7
            end if
        end if
        if(i==Termos)then
            aux4=aux4+1
        end if
    end do
c    write(6,209)aux6(j), j
    end do

    call escr

*-----*
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----*

101  format(//,5x,' El programa se realizo en ',i3,' iteraciones',
*       //,5x,' El valor objetivo es ', f20.9,////)
202  format(//,5x,'Variable ',i4,//,5x,'Potencia Calculada ',F20.15,
*       //,5x,'Potencia Maxima ',F20.15,//,5x,'Incremento Maximo ',
*       F20.15)
203  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X00',i1,5x,e12.5,/, 'ENDATA')
204  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,e12.5,/, 'ENDATA')
205  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,e12.5,/, 'ENDATA')
206  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,e12.5,/, 'ENDATA')
207  format(//,5x,'No hay modificacion en *.MPS para la variable',i4)
208  format(//,5x,'Variable ',i4,//,5x,'Potencia Calculada ',F20.15,
*       //,5x,'Potencia Maxima ',F20.15,//,5x,'Incremento Maximo '
*       ,F20.15,//,5x,'Potencia Generada en la etapa anterior ',
*       F20.15)
209  format(//,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,' $/MW Para la ',
*       'etapa',i3)

*-----*
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----*

        stop
        end

```

C.3 Subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS

```

*****
*
*           asignacion de unidades
*
*   Subrrutina que lleva el archivo de datos caracteristicos de
*   los generadores y de la demanda de cada una de las etapas del
*   horizonte de planeación a la forma standart de minos
*
*
*   Realizado por:
*
*   Fabian Vazquez Ramirez                               junio de 2005
*
*****

subroutine mps

double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*           CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*           tol, Pmax, aux6, l, lxl, x

character*24  archivo, nombre, opc, decic, entrada, nomsis,
*           clave, Sistema, archivol, Tipo

integer      filas, Vari, aux1, aux2, aux4, aux5, linea, aux7, ll, lx,
*           lxx, Termos, numeta, aux8, aux9, aux10, aux11

*-----*
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----*

        common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
        common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, Tipo, Sistema
        common / fvr4 /  lxl(100000)
        common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)

```



Apéndice C

```

        common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*           CostFij(10000), CosArr(10000), CostPar(10000),
*           CostVar(10000), ConIni(10000), aux1(10000),
*           Dmax(10000), Pmaxi(10000)
        common / fvr11/  Termos, numeta, tol
*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----
*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*
        write(6,1000)

        if(Tipo=='Asignacion')then
            write(6,1001)
            read(5,2000) entrada
        end if

        open(1,file=entrada)
        read(1,3000) Sistema, Termos, Reserva

        do k=1,Termos
            read(1,3001) Nomsis(k), Pmaxi(k), Pmin(k), LimRamIncPot(k),
*           CostFij(k), CosArr(k), CostPar(k), CostVar(k), ConIni(k)
        end do

        read(1,3002) numeta

        do i=1,numeta
            read(1,3003) Dmax(i)
        end do

        close(1,status= 'keep')

*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*
*-----
*   Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----
1000   format(//,5X,' Asignacion de unidades para simular a corto plazo')
1001   format(//,7X,'El Archivo de entrada de datos es  ',,$)

2000   format(A24)

3000   format(////////,59x,a8,/,59x,i4,/,59x,f8.3)
3001   format(////////,29x,a8,/,59x,F10.3,/,59x,F10.3,/,59x,F10.3,/,
*           59x,F10.3,/,59x,F10.3,/,59x,F10.3,/,59x,F10.3,/,59x,F10.3)
3002   format(///,59x,i4,/)
3003   format(59x,f10.4)

*-----
*   Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----
*
*   Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
        if(Tipo=='Asignacion')then
            open(2,file='Fabian.Sal')
            write(2,002)Sistema
            close(2,status='keep')
            open(2,file='Fabian.Sal')
            read(2,101)archivo
            close(2,status='delete')
            open(2,file='Fabian.Sal')
            write(2,003)Sistema
            close(2,status='keep')
            open(2,file='Fabian.Sal')
            read(2,101)archivo1
            close(2,status='delete')
            do i=1, Termos
                Dmax(i)=((100.0+Reserva)/100.0)*Dmax(i)
            end do
        else
            open(unit=2, file='Fabian.Sal')
            write(2,004)Sistema

```



```
        close(2,status='keep')
        open(2,file='Fabian.Sal')
        read(2,102)archivo
        close(2,status='delete')
        open(2,file='Fabian.Sal')
        write(2,005)Sistema
        close(2,status='keep')
        open(2,file='Fabian.Sal')
        read(2,102)archivo1
        close(2,status='delete')
    end if

*
*   Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*

        open(10,file=archivo)

        nombre='Asignacion'

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        write(10,201)nombre

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

002 format(a8,'Asignacion.MPS')
003 format(a8,'Asignacion.Sal')
004 format(a8,'Despacho.MPS')
005 format(a8,'Despacho.Sal')
101 format(a22)
102 format(a20)
201 format('NAME',10x,a8,/, 'ROWS')

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

c   Cuantas filas tiene tu problema ?

        filas=1+(numeta*(Terminos+1))

c   Si la fila es menor o igual      (L)
c   Si la fila es mayor o igual     (G)
c   Si la fila es igual             (E)
c   Si la fila es la funcion objetivo (N)
c   Si la fila es libre             (M)

*   La variable opc(i) sirve para determinar la clave de la fila

        linea=2
        lx=1

        do i=1, filas
            linea=linea+1

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

            if(i==1)then
                opc(i)='N'
                write(10,200)i
            else
                if(i<=9.and.i<=numeta+1)then
                    opc(i)='G'
                    write(10,202)opc(i),i
                else if(i<=99.and.i<=numeta+1)then
                    opc(i)='G'
                end if
            end if
        end do
    end if
```



```

        write(10,203)opc(i),i
    else if(i<=999.and.i<=numeta+1)then
        opc(i)='G'
        write(10,204)opc(i),i
    else if(i<=9999.and.i<=numeta+1)then
        opc(i)='G'
        write(10,205)opc(i),i
    else if(i<=9.and.i>numeta+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,202)opc(i),i
    else if(i<=99.and.i>numeta+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,203)opc(i),i
    else if(i<=999.and.i>numeta+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,204)opc(i),i
    else if(i<=9999.and.i>numeta+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,205)opc(i),i
    end if
end if
if(opc(i).eq.'L'.and.i>numeta+1)then
    ll(lx)=i
    lx=lx+1
end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

    end do

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    write(10,206)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    linea=linea+1

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

200 format(lx,'N',2x,'FVR000',i1)
202 format(lx,A1,2x,'FVR000',i1)
203 format(lx,A1,2x,'FVR00',i2)
204 format(lx,A1,2x,'FVR0',i3)
205 format(lx,A1,2x,'FVR',i4)
206 format('COLUMNS')

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

c   'Cuántas variables tiene el problema ?

    vari=(numeta*Termos)+Termos

*
*   LA VARIABLE Vari SIRVE PARA DETERMINAR EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA
*
*
*   EN ESTE DO SE LLENA LA MATRIZ A
*   DONDE:
*   aux1 ES EL NUMERO DE VECES QUE APARECE LA VARIABLE EN EL PROBLEMA
*   aux2 ES EL NUMERO DE LA FILA EN QUE APARECE DICHA VARIABLE
*   aux3 ES LA RELACION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LA FILA Y LA VARIABLE
*
*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz característica
*

    aux8=1
    do i=1,vari
        if(i==1)then

```



Apéndice C

```

        aux1(i)=1
    else if(i==((aux8*numeta)+aux8))then
        aux1(i)=3
    else if(i==((aux8*numeta)+1+aux8))then
        aux1(i)=1
    else
        aux1(i)=4
    end if

    if(i-(1+aux8)==aux8*numeta)then
        aux8=aux8+1
    end if
c
    write(*,*)i, aux1(i)
end do

*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
*
*   Llenado de la matriz caracteristica
*

aux8=1
aux9=1
aux12=2
aux10=2

do i=1, Vari
    aux10=aux10-1
    aux11=2
    do j=1, aux1(i)
        if(i==1)then
            aux2=(aux8*numeta)+(1+aux8)
            aux3=-1.0
c
            write(*,*)i,j,aux2,aux3
        else if(j==1.and.i.ne.1.and.i<((aux8*numeta)+aux8+1))then
            aux2=j
c
            aux3=CostVar(aux9)
            write(*,*)i,j,aux2,aux3
        else if(j==2)then
            aux2=aux12
            aux12=aux12+1
            aux3=1.0
c
            write(*,*)i,j,aux2,aux3
        else if(j>2) then
            aux2=numeta+2+aux10
            aux3=(-1.0)**aux11
            aux10=aux10+1
            aux11=aux11-1
c
            write(*,*)i,j,aux2,aux3
        else if(i-(1+aux8)==aux8*numeta)then
            aux2=(aux8*numeta)+2+numeta
            aux3=-1.0
c
            write(*,*)i,aux2,aux3
            aux8=aux8+1
            aux9=aux9+1
            aux10=aux10+2
            aux12=2
        end if
    end do
*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
*
    if(i.le.9)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
            write(10,207)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.99)then
                write(10,208)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.999)then
                write(10,209)i,aux2,aux3
            else
                write(10,210)i,aux2,aux3
        end if
    else if(i.le.99)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
            write(10,211)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
            write(10,212)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then

```



```

        write(10,213)i,aux2,aux3
    else
        write(10,214)i,aux2,aux3
    end if

    else if(i.le.999)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
            write(10,215)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
            write(10,216)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
            write(10,217)i,aux2,aux3
        else
            write(10,218)i,aux2,aux3
        end if

    else
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
            write(10,219)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
            write(10,220)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
            write(10,221)i,aux2,aux3
        else
            write(10,222)i,aux2,aux3
        end if

    end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
*
    end do
end do
*
*   Llenado de la matriz caracteristica
*
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
    write(10,223)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

207 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR000',i1,3x,e12.5)
208 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR00',i2,3x,e12.5)
209 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR0',i3,3x,e12.5)
210 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR',i4,3x,e12.5)
211 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR000',i1,3x,e12.5)
212 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR00',i2,3x,e12.5)
213 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR0',i3,3x,e12.5)
214 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR',i4,3x,e12.5)
215 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR000',i1,3x,e12.5)
216 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR00',i2,3x,e12.5)
217 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR0',i3,3x,e12.5)
218 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR',i4,3x,e12.5)
219 format(4x,'X',i4,5x,'FVR000',i1,3x,e12.5)
220 format(4x,'X',i4,5x,'FVR00',i2,3x,e12.5)
221 format(4x,'X',i4,5x,'FVR0',i3,3x,e12.5)
222 format(4x,'X',i4,5x,'FVR',i4,3x,e12.5)
223 format('RHS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

*
*   EN ESTA PARTE ES LLENADA EL VECTOR DE DESIGUALDADES
*   DONDE:
*   i REPRESENTA LA FILA &

```



Apéndice C

```
*      b ES EL VALOR DE LA DESIGUALDAD PARA LA FILA i
*
*      lxx=1
*      aux8=1
c      write(*,*) filas
*
*      do i=2,filas
*
*      Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*
*
*      linea=linea+1
*      if(i.le.numeta+1)then
*          b=Dmax(i-1)
c          write(*,*)i,b
*      else if(i>(numeta*aux8)-aux8.and.(i<((aux8+1)*numeta)+1))then
*          b=LimRamIncPot(aux8)
c          write(*,*)i,b
*      else
*          b=LimRamIncPot(aux8)
*          aux8=aux8+1
c          write(*,*)i,b
*      end if
*
*      Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*
*
*      if(i.le.9)then
*          write(10,224)i,b
*      else if(i.le.99)then
*          write(10,225)i,b
*      else if(i.le.999)then
*          write(10,226)i,b
*      else
*          write(10,227)i,b
*      end if
*
*      Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*
*
*      Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*      que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*      do k=1,lx-1
*          if(l1(k).eq.i)then
*              lx1(lxx)=b
*              lxx=lxx+1
*          end if
*      end do
*
*      Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*      que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*      Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*
*
*      end do
*
*      Escritura en el archivo MPS
*
*
*      write(10,233)
*
*      Escritura en el archivo MPS
*
*
*      linea=linea+1
*
*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----
```



Apéndice C

```

224 format(4x,'MINOS',5x,'FVR000',i1,3x,e12.5)
225 format(4x,'MINOS',5x,'FVR00',i2,3x,e12.5)
226 format(4x,'MINOS',5x,'FVR0',i3,3x,e12.5)
227 format(4x,'MINOS',5x,'FVR',i4,3x,e12.5)
233 format('BOUNDS')

```

```

-----
*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----
*
*   aux4=Vari
*
*   aux4  ES EL NUMERO DE COTAS QUE TIENE EL PROBLEMA
*
*   Para limite inferior           LO
*   Para limite superior          UP
*   Para variable fija             FX
*   Para variable libre            FR
*   Para variable de menos infinito MI
*   Para variable a mas infinito  PL
*
*   EN ESTA PARTE SE DETERMINA LAS COTAS DE LAS VARIABLES CON SUS RESPECTIVAS CLAVES
*   DONDE:
*   aux5  ES EL NUMERO DE LA VARIABLE
*   clave ES EL TIPO DE LIMITE PARA LA VARIABLE
*   aux6  ES LA COTA PARA DICHO LIMITE DE LA VARIABLE
*
*
*   if(Tipo=='Asignacion')then
*     lxx=1
*     aux8=1
*     do i=1, Vari
*
*     Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*     condiciones inicales de cada generador
*
*
*     linea=linea+1
*     if(i=1)then
*       aux5=i
*       clave='FX'
*       aux6=ConIni(i)
*       write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
*     else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
*       aux5=i
*       clave='UP'
*       aux6=Pmaxi(aux8)
*       write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
*     else
*       aux5=i
*       clave='FX'
*       aux6=ConIni(aux8+1)
*       aux8=aux8+1
*       write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
*     end if
*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales
*
*
*   if(aux5.le.9)then
*     write(10,228)clave,aux5,aux6
*   else if(aux5.le.99)then
*     write(10,229)clave,aux5,aux6
*   else if(aux5.le.999)then
*     write(10,230)clave,aux5,aux6
*   else
*     write(10,231)clave,aux5,aux6
*   end if
*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales
*
*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

```



Apéndice C

```

        if (clave.eq.'UP') then
            Pmax(aux5)=aux6*1.0
            l(aux5)=lx1(lxx)
            lxx=lxx+1
        end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
*

    end do

    else

        lxx=1
        aux8=1

        do i=1, Vari

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador para el despacho economico
*

            linea=linea+1
            if(i=1)then
                aux5=i
                clave='FX'
                aux6=ConIni(i)
            else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
                if(x(i)>tol)then
                    aux5=i
                    clave='LO'
                    aux6=Pmin(aux8)
                    if(aux5.le.9)then
                        write(10,228)clave,aux5,aux6
                        write(*,*)clave,aux5,aux6
                    c
                    else if(aux5.le.99)then
                        write(10,229)clave,aux5,aux6
                        write(*,*)clave,aux5,aux6
                    c
                    else if(aux5.le.999)then
                        write(10,230)clave,aux5,aux6
                        write(*,*)clave,aux5,aux6
                    c
                    else
                        write(10,231)clave,aux5,aux6
                        write(*,*)clave,aux5,aux6
                    c
                    end if
                    aux5=i
                    clave='UP'
                    c
                    aux6=x(i)
                    aux6=Pmaxi(aux8)
                    linea=linea+1
                else
                    aux5=i
                    clave='UP'
                    aux6=0.00
                end if

            else

                aux5=i
                clave='FX'
                c
                aux6=x(i)
                aux6=ConIni(aux8+1)
                aux8=aux8+1

            end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*

            if(aux5.le.9)then
                write(10,228)clave,aux5,aux6
                write(*,*)clave,aux5,aux6
            c
        
```



Apéndice C

```

        else if(aux5.le.99)then
            write(10,229)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c
        else if(aux5.le.999)then
            write(10,230)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c
        else
            write(10,231)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c
        end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*
*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

        if (clave.eq.'UP') then
            Pmax(aux5)=1e20
            Pmax(aux5)=aux6*1.0
            l(aux5)=lxl(lxx)
            lxx=lxx+1
        end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
*
        end do

        end if

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

write(10,232)

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

        linea=linea+1

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

228 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,e12.5)
229 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,e12.5)
230 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,e12.5)
231 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,e12.5)
232 format('ENDATA')

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

        close(10,status='keep')
c
        write(*,*)linea
        return
        end
```



C.4 Subrutina de escritura del archivo de salida ESCH-SAUSEC

```

*****
*
*          asignacion de unidades
*
*      Este programa contempla la potencia inicial de cada generador,
*      tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento
*      maximo de generacion
*
*      Realizado por:
*
*      Fabian Vazquez Ramirez          julio de 2005
*****

      subroutine escr
      use msimsl
      character*24      archivo, archiv1, opc, tipo, nomsis, Sistema
      integer           Termos, numeta
      parameter         lda=1000
      real              a(lda,lda)
      double precision xxn, objetivo, aux6
-----
*      Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
      common / fvr1 / xxn(10000)
      common / fvr2 / num, objetivo
      common / fvr3 / linea, archivo, archiv1, tipo, Sistema
      common / fvr5 / x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
      common /cycle2/ objtru,suminf,numinf
      common / fvr11/ Termos, numeta
      common / fvr12/ aux6(10000)
      common / fvr13/ rgtestt
-----
*      Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
      if(Tipo=='Asignacion')then
          open(2,file='Fabian.Sal')
          write(2,001)Sistema
          close(2,status='keep')
          open(2,file='Fabian.Sal')
          read(2,101)archivo
          close(2,status='delete')
          open (11,file=archivo)
          write(11,103)
              if (rgtestt<0.1) then
                  write(11,1800)
              else
                  write(11,1802)
              end if
          write(11,107) objetivo
      else
          open(2,file='Fabian.Sal')
          write(2,002)Sistema
          close(2,status='keep')
          open(2,file='Fabian.Sal')
          read(2,102)archivo
          close(2,status='delete')
          open(11,file=archivo)
          write(11,104)
              if (rgtestt<0.1) then
                  write(11,1800)
              else
                  write(11,1802)
              end if
          write(11,108) objetivo
          do i=1, numeta
              write(11,105)aux6(i), i
          end do
      end if

      k=1
      j=1
      do i=1, num
          a(k,j)=xxn(i+k)*1.0
          write(*,*) k,j,i, a(k,j)
          if(i==(k*numeta))then
              k=k+1
              j=1
          else

```



Apéndice C

```

        j=j+1
    end if
end do
write(11,106)
write(11,109)
write(11,106)
call umach (-2, 11)
call wropt (-1,1,1)
call wrnrrn ('Generacion Horaria', Termos, numeta, a, lda, 0)
close(11,status='keep')
*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----
001  format(a8,'Asignacion1.Sal')
002  format(a8,'Despachol.Sal')
101  format(a23)
102  format(a21)
103  format(//,10x,
**++++**+,
*/,10x,
**      Asignacion de Unidades      **
*/,10x,
**                                     **
*/,10x,
**   Este programa contempla la potencia inicial de cada **
*/,10x,
**   generador,la potencia minima y la potencia maxima de **
*/,10x,
**   generacion y el incremento maximo de generacion      **
*/,10x,
**                                     **
*/,10x,
** Realizado por: **
*/,10x,
**                                     **
*/,10x,
**   Fabian Vazquez Ramirez          julio de 2005 **
*/,10x,
**++++**+,
*/)
104  format(//,10x,
**++++**+,
*/,10x,
**      Despacho de unidades      **
*/,10x,
**                                     **
*/,10x,
**   Este programa contempla la potencia inicial de cada **
*/,10x,
**   generador,tambien contempla la potencia maxima de    **
*/,10x,
**   generacion y el incremento maximo de generacion      **
*/,10x,
**                                     **
*/,10x,
** Realizado por: **
*/,10x,
**                                     **
*/,10x,
**   Fabian Vazquez Ramirez          julio de 2005 **
*/,10x,
**++++**+,
*/)
105  format(//,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,' $/MW Para la ',
*'etapa',i3)
106  format(5x,///)
107  format(//,10x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/,
* 10x,'Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion'///)
108  format(//,10x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,///)
109  format(//,2x,'Nota :',
*/,      4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Generadores',
*/,      4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
1800 format(///,10x,' EXIT -- optimal solution found')
1802 format(///,10x,' EXIT -- near-optimal solution found'

$  /,10x,' XXX WARNING: reduced gradient is large --',
$  ' solution is not really optimal',/)
*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----
return
end

```



Apéndice D

ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA PARA LA SIMULACIÓN DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN UN SISTEMA ELÉCTRICO CONVENCIONAL

D.1 Archivo de datos de entrada

%%%

ARCHIVO PRINCIPAL DE DATOS PARA EL PROGRAMA TERMoeLECTRICO

%%%

Datos del sistema:

Nombre del sistema	Sistema : Conejo02
Numero de termoelectricas del sistema	Termos = 3
Porcentaje de reserva rodante del sistema	Reserva = 10.0

Nombre de la Termoelectrica: Conejo01	
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 350.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 50.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 200.00
Costo Fijo de Generacion	CostFij = 5.00
Costo de Arranque del Generador	CostArr = 20.00
Costo de Paro del Generador	CostPar = 0.50
Costo Variable del Generador	CostVar = 0.100
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 0.00

Nombre de la Termoelectrica: Conejo02	
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 200.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 80.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 100.00
Costo Fijo de Generacion	CostFij = 7.00
Costo de Arranque del Generador	CostArr = 18.00
Costo de Paro del Generador	CostPar = 0.30
Costo Variable del Generador	CostVar = 0.125
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 0.00



Nombre de la Termoelectrica: Conejo03
 Potencia máxima de Generacion Pmax = 140.00
 Potencia Mínima de generacion Pmin = 40.00
 Limite de Rampa de Incremento de Potencia LimRamIncPot = 100.00
 Costo Fijo de Generacion CostFij = 6.00
 Costo de Arranque del Generador CostArr = 5.00
 Costo de Paro del Generador CostPar = 1.00
 Costo de Variable del Generador CostVar = 0.150
 Potencia Generada antes de iniciar el horizonte ConIni = 0.00

Numero de etapas que tienes el horizonte numeta = 03

Demanda de Energia en la hora 1 Dmax(1) = 150.00
 Demanda de Energia en la hora 2 Dmax(2) = 500.00
 Demanda de Energia en la hora 3 Dmax(3) = 400.00



D.2 Archivo de salida creado por Asignación

```

*+++++*
*           Asignación de unidades           *
*                                           *
*   Este programa contempla la potencia inicial de cada *
*   generador, tambien contempla la potencia maxima de *
*   generacion y el incremento maximo de generacion *
*                                           *
* Realizado por:                               *
*                                           *
* Fabian Vazquez Ramirez                       julio de 2005 *
*+++++*
    
```

EXIT -- optimal solution found

El valor de la funcion objetivo es: 191.000000000

El Precio del mercado es de 0.100 \$/MW Para la etapa 1

El Precio del mercado es de 0.150 \$/MW Para la etapa 2

El Precio del mercado es de 0.125 \$/MW Para la etapa 3

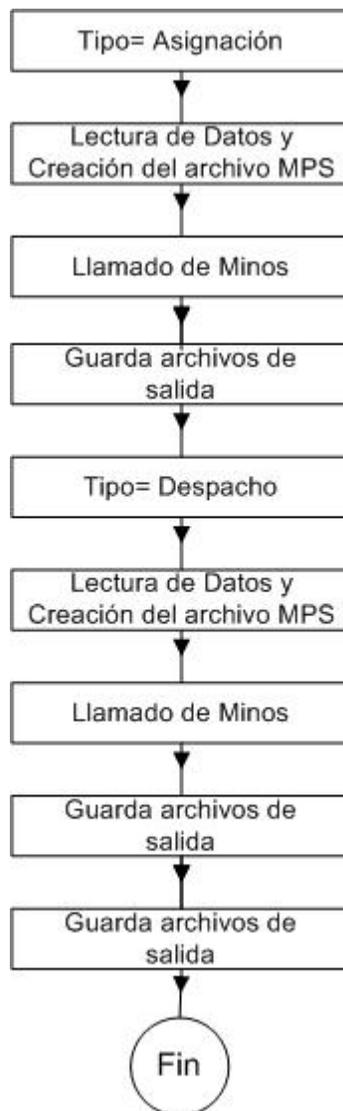
Generacion Horaria			
	1	2	3
1	150.0	350.0	320.0
2	0.0	100.0	80.0
3	0.0	50.0	0.0



Apéndice E

ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS EN UN MERCADO ELÉCTRICO CENTRALIZADO (SAUMEC)

E.1 Diagrama de bloques del SAUMEC





E.2 Programa principal SAUMEC

```

*****
*                               *
*               asignacion de unidades                               *
*                               *
*     Este programa contempla la potencia inicial de cada generador, *
*     tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento *
*                               *
*               maximo de generacion                               *
*               Sistema Modular en base a la optimizacion no lineal *
*                               *
*     Realizado por:                                               *
*                               *
*     Fabian Vazquez Ramirez                                       Agosto de 2005 *
*****

character*24  archivo, archivol, opc, tipo, nomsis, Sistema
data
nwcore/1000000/
double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*               CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*               z(1000000), Pmax, x, l, dl, d2, d3, tol,
*               xxn, objetivo, aux6, LimRamDecPot
integer
*               num, linea, spc, itera, aux2, numeta, aux1, aux,
*               aux4, aux5, Termos, nodo, Nodos, Elementos

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
common / fvr1 /  xxn(10000)
common / fvr2 /  num, objetivo
common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, tipo, Sistema
common / fvr5 /  x(100000),dl(100000),d2(100000),d3(100000)
common /cycle2/  objtru,suminf,numinf
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*               LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*               CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*               ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*               Pmaxi(10000), nodo(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*               Potlimlin(10000), aux05(10000),
*               aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*               aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*               MaElem(1000,1000)
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

itera=1
tol=5e-5

Tipo='Asignacion'

call mps

100 continue

open(4,file='minimize.spc')
open(9,file=archivol)
open(10,file=archivo)

call minos1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

x(1)=xxn(1)

do i = 2 , numeta*termos + termos
x(i)=xxn(i)
dl(i)=abs(x(i))-Pmax(i)
d2(i)=abs(x(i))-0.00000
d3(i)=abs(x(i))-l(i)

if((dl(i).ge.tol).and.(d2(i).ge.tol).and.(d3(i).ge.tol))then

```



```
open(10,file=archivo)
  do j=1, linea-1
    read(10,*)
  end do
  if(x(i-1).eq.0.00)then
    if(i.le.9)then
      write(10,203)i, l(i)
    else if(i.le.99)then
      write(10,204)i, l(i)
    else if(i.le.999)then
      write(10,205)i, l(i)
    else
      write(10,206)i, l(i)
    end if
  else
    if(i.le.9)then
      write(10,203)i, Pmax(i)
    else if(i.le.99)then
      write(10,204)i, Pmax(i)
    else if(i.le.999)then
      write(10,205)i, Pmax(i)
    else
      write(10,206)i, Pmax(i)
    end if
  end if
  write(6,202)i, x(i), Pmax(i), l(i)
  linea=linea+1
  close(10,status='keep')
  itera=itera+1
c
  goto 100
else
c
  write(6,202)i, x(i), Pmax(i), l(i)
end if
end do
c
pause

call escr

  Tipo='Despacho'

  call mps

  open(4,file='minimize.spc')
  open(9,file=Archivol)
  open(10,file=archivo)

  call minos1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

  aux=numeta
  aux2=1
  x(1)=xxn(1)
c
  write(*,*) objetivo
  do i=2, num
    x(i)=xxn(i)
c
    write(*,*)x(i),i
    if(i<(aux2*aux)+aux2+1)then
c
      write(*,*)i, aux2
      if((x(i).ne.0.0).and.(x(i-1)<=tol))then
        objetivo = objetivo+ CosArr(aux2)+CostFij(aux2)
c
        write(*,*) objetivo,CosArr(aux2),CostFij(aux2), i,aux2
      else if(x(i)>=tol)then
c
        objetivo=objetivo+CostFij(aux2)
        write(*,*) objetivo, CostFij(aux2), i, aux2
      else if(x(i-1)>=tol.and.x(i)<=tol)then
c
        objetivo=objetivo+CostPar(aux2)
        write(*,*)objetivo, CostPar(aux2),i, aux2
      end if
    else
      aux2=aux2+1
    end if
  end do
c
  write(6,101)itera, objetivo

  aux4=1
  do j=1,numeta
    aux6(j)=00.00
```



Apéndice E

```

do i=1, Termos
  aux5= i+(numeta)*(i-1)+aux4
  if(x(aux5)>tol)then
    aux7=CostVar(i)*1.0
    if(aux7>aux6(j))then
      aux6(j)=aux7
    end if
  end if
  if(i/=Termos)then
    aux4=aux4+1
  end if
end do
c   write(6,209)aux6(j), j
end do

call escr

*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----
101  format(//,5x,' El programa se realizo en ',i3,' iteraciones',
*      //,5x,' El valor objetivo es ', f20.9,//////)
202  format(//,5x,'Variable ',i4,//,5x,'Potencia Calculada ',F20.15,
*      //,5x,'Potencia Maxima ',F20.15,//,5x,'Incremento Maximo ',
*      F20.15)
203  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
204  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
205  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
206  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
207  format(///,5x,'No hay modificacion en *.MPS para la variable',i4)
208  format(//,5x,'Variable ',i4,//,5x,'Potencia Calculada ',F20.15,
*      //,5x,'Potencia Maxima ',F20.15,//,5x,'Incremento Maximo '
*      ,F20.15,//,5x,'Potencia Generada en la etapa anterior ',
*      F20.15)
209  format(//,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,' $/MW Para la ',
*      'etapa',i3)

*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----

stop
end

```

E.3 Subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS (MPS-SAUMEC)

```

*****
*
*          asignacion de unidades
*
*   Subrutina que lleva el archivo de datos caracteristicos de
*   los generadores y de la demanda de cada una de las etapas del
*   horizonte de planeación a la forma standart de minos
*
*
*   Realizado por:
*
*   Fabian Vazquez Ramirez                               junio de 2005
*
*****

subroutine mps

double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*   CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*   tol, Pmax, aux6, l, lxl, x, LimRamDecPot,
*   Reac, Potlimlin, MaReac, MaElem

character*24   archivo, nombre, opc, decic, entrada, nomsis,
*   clave, Sistema, archivol, Tipo

integer       filas, Vari, aux1, aux2, aux4, aux5, linea, aux7, ll, lx,
*   lxx, Termos, numeta, aux8, aux9, aux10, aux11,

```



Apéndice E

```

*          Nodo, elementos, Nodoi, Nodoj, Nodos, aux05,
*          aux013, aux0130, aux016, aux06

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

      common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
      common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, Tipo, Sistema
      common / fvr4 /  lxl(100000)
      common / fvr5 /  x(100000),dl(100000),d2(100000),d3(100000)
      common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*                    LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*                    CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*                    ConIni(10000), auxl(10000), Dmax(10000),
*                    Pmaxi(10000), Nodoo(10000)
      common / fvr11/  Termos, numeta, tol
      common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*                    Potlimlin(10000), aux05(10000),
*                    aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*                    aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*                    MaElem(1000,1000), aux06(10000)
      common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*

      if(Tipo=='Asignacion')then
        write(6,1000)
        read(5,2000) entrada
      end if

      open(1,file=entrada)

      read(1,3000) Sistema, Termos, Reserva, Nodos
      write(*,*) Sistema, Termos, Reserva, Nodos
      do k=1,Termos
        read(1,3001) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*                 LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k), CostFij(k),
*                 CosArr(k), CostPar(k), CostVar(k),ConIni(k)
      c   write(*,*)
      c   *                 Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
      c   *                 LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k), CostFij(k),
      c   *                 CosArr(k), CostPar(k), CostVar(k),ConIni(k)
      end do

      read(1,3004) Elementos

      do i = 1, Nodos
        do j = 1, Nodos
          MaReac(i,j)=0.00
        end do
      end do
      aux040 = 1
      do i = 1, Elementos
        read(1,3005) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
      c   write(*,*) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
        MaReac(Nodoi(i),Nodoj(i))=1/Reac(i)
        MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))=1/Reac(i)
      c   write(*,*)MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))
        MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
        MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
        aux040=aux040+1
        MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
        MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
        aux040=aux040+1
      end do

      c   call umach (-2, 6)
      c   call wropt (-1,1,1)
      c   call dwrrrn ('Reactancias', Elementos, Elementos, MaReac, 1000, 0)
      c   call dwrrrn ('Elementos', Elementos*2, Elementos, MaElem, 1000, 0)
      c   pause

      read(1,3002) numeta

      do i=1,numeta*nodos
        read(1,3003) Dmax(i)
      c   write(*,*)i, Dmax(i)

```



```

        end do
c      pause
        close(1,status= 'keep')

*
*      Lectura de datos para hacer la asignacion de unidades
*

*-----*
*      Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----*

1000  format(//,9x,
**++++**+,
*/,9x,
**+*,
**++++**+,

```



Apéndice E

```

*////,7x,'El Archivo de entrada de datos es ? ',§)
2000 format(A24)
3000 format(////////,59x,a8,/,59x,i4,/,59x,f8.3,/,59x,i4)
3001 format(////////,29x,a8,/,59x,i8,/,59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,
*          59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,
*          59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,59x,f10.3)
3002 format(///,59x,i4,/)
3003 format(59x,f10.4)
3004 format(///,59x,i4,////)
3005 format(3x,i4,3x,i4,3x,f13.10,3x,f10.5)

*-----
*      Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----

*
*      Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
if(Tipo='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,003)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivol
  close(2,status='delete')
  do i=1, Termos
    Dmax(i)=((100.0+Reserva)/100.0)*Dmax(i)
  end do
else
  open(unit=2,file='Fabian.Sal')
  write(2,004)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,005)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivol
  close(2,status='delete')
end if

*
*      Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
  open(10,file=archivo)

nombre='Asignacion'

*
*      Escritura en el archivo *MPS
*
  write(10,201)nombre

*
*      Escritura en el archivo *MPS
*

*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

002 format(a8,'Asignacion.MPS')
003 format(a8,'Asignacion.Sal')
004 format(a8,'Despacho.MPS')
005 format(a8,'Despacho.Sal')
101 format(a22)
```



Apéndice E

```
102 format(a20)
201 format('NAME',10x,a8,/, 'ROWS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

c   Cuantas filas tiene tu problema ?

      filas=1+(numeta*Nodos)+2*Terminos*numeta + 2*elementos*numeta
c   write(*,*) filas

c   Si la fila es menor o igual      (L)
c   Si la fila es mayor o igual     (G)
c   Si la fila es igual              (E)
c   Si la fila es la funcion objetivo (N)
c   Si la fila es libre              (M)

*   La variable opc(i) sirve para determinar la clave de la fila

      linea=2
      lx=1
      aux01=numeta*Nodos
      aux03 = aux01 + 2*elementos*numeta
      aux02=aux03 + Terminos*numeta + Terminos
      aux04=1
c   write(*,*) aux01, aux02, aux03
do i=1, filas
      linea=linea+1

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

      if(i==1)then
          opc(i)='N'
          write(10,200)i
      else
          if(i<=9.and.i<=aux01+1)then
              opc(i)='E'
              write(10,202)opc(i),i
          else if(i<=99.and.i<=aux01+1)then
              opc(i)='E'
              write(10,203)opc(i),i
          else if(i<=999.and.i<=aux01+1)then
              opc(i)='E'
              write(10,204)opc(i),i
          else if(i<=9999.and.i<=aux01+1)then
              opc(i)='E'
              write(10,205)opc(i),i

          else if(i<=9.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
              if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
              else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
              end if
              write(10,202)opc(i),i
          else if(i<=99.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
              if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
              else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
              end if
              write(10,203)opc(i),i
          else if(i<=999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
              if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
              else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
              end if
              write(10,204)opc(i),i
          else if(i<=9999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
              if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
```



Apéndice E

```

        else
            opc(i)='L'
            aux04=1
        end if
        write(10,205)opc(i),i

        else if(i<=9.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,205)opc(i),i
        end if
    end if
    if(opc(i).eq.'L'.and.i>aux03+1.and.i<=aux02+1)then
        ll(lx)=i
        lx=lx+1
    end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*
c   write(*,*)opc(i),i
    end do
c   write(*,*) lx
c   pause
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        write(10,206)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

200 format(lx,'N',2x,'FVR000',i1)
202 format(lx,A1,2x,'FVR000',i1)
203 format(lx,A1,2x,'FVR00',i2)
204 format(lx,A1,2x,'FVR0',i3)
205 format(lx,A1,2x,'FVR',i4)
206 format('COLUMNS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

c   'Cuantas variables tiene el problema ?

        vari=(numeta*Termos) + Termos + (numeta*nodos)
c   write(*,*) vari

*
*   LA VARIABLE Vari SIRVE PARA DETERMINAR EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA
*
*
*   EN ESTE DO SE LLENA LA MATRIZ A
*   DONDE:
*   aux1 ES EL NUMERO DE VECES QUE APARECE LA VARIABLE EN EL PROBLEMA
*   aux2 ES EL NUMERO DE LA FILA EN QUE APARECE DICHA VARIABLE
*   aux3 ES LA RELACION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LA FILA Y LA VARIABLE
*
*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*

```



Apéndice E

```

***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****

    aux01=numeta*termos + termos
    do i= 1, nodos
      aux01 = aux01 + 1
      aux05(aux01) = 0
      do j=1, nodos
        if(MaReac(i,j).ne.0.0)then
          aux05(aux01) = aux05(aux01) + 1
        end if
      end do
      aux05(aux01)= 3*aux05(aux01) + 1
    end do
  c   pause
***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

    do i = 1, Elementos
      do j = 1, Elementos
        if(i.ne.j)then
          MaReac(i,i) = MaReac(i,i) + MaReac(i,j)
          MaReac(i,j) = - MaReac(i,j)
        end if
      end do
    end do

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

  c   call umach (-2, 6)
  c   call wropt (-1,1,1)
  c   call dwrrrn('M. de Reactancias',Elementos,Elementos,MaReac,1000,0)
  c   pause

  aux01=numeta*termos + termos
  aux8=1

  do i=1,vari
    if(i==1.and. i<=aux01)then
      aux1(i)=2
    else if(i==(aux8*numeta)+aux8).and. i<=aux01)then
      aux1(i)=4
    else if(i==(aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
      aux1(i)=2
    else if(i<((aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
      aux1(i)=6
    end if

    if(i-(1+aux8)==aux8*numeta)then
      aux8=aux8+1
    end if

    if(i>aux01)then
      aux1(i)=aux05(i)
    end if

  c   write(*,*)i, aux1(i)
  end do
  c   pause

*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
*
*   Llenado de la matriz caracteristica
*

  aux8   = 1
  aux9   = 1
  aux10  = 2
  aux12  = 2
  aux011 = 1
  aux012 = 1
  aux015 = termos + termos*numeta
  aux016 = 1
  aux017 = 1
  aux018 = 1
  aux020 = 0
  aux021 = 2

```



Apéndice E

```

***** P R U E B A *****
do i = aux015+1, aux015 + nodos
  aux019 = 1
5000  continue
***** Balance Nodal *****
      if(MaReac(aux012,aux011).ne.0.0.and.aux019==1)then
        aux013(i,aux016) = aux012*numeta - numeta + 2 + aux020
        aux014(i,aux016) = MaReac(aux012,aux011)
c      write(*,*) i, aux016, aux013(i,aux016), aux014(i,aux016), aux011,
c      *      aux012, MaReac(aux012,aux011)
        aux012 = aux012 + 1
        aux016 = aux016 + 1
        goto 5001
      else if(aux019==1) then
        aux012 = aux012 + 1
        goto 5001
      end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****

      if(MaElem(aux018,aux017).ne.0.0.and.aux019==2)then
        aux013(i,aux016) = nodos*numeta + aux018 + 1
        aux014(i,aux016)=MaElem(aux018,aux017)
c      write(*,*) i,aux016,aux013(i,aux016),aux014(i,aux016)
c      *      ,aux018, aux017, aux016
c      pause
        aux018 = aux018 + 1
        aux016 = aux016 + 1
        aux021 = aux021 + 1
        goto 5002
      else
        aux018 = aux018 + 1
      end if
***** Restricciones de red *****

***** Balance Nodal *****
5001  if(aux012==nodos+1)then
      aux012=1
      aux019=2
      if(aux011<nodos+1)then
        aux011 = aux011 + 1
      else
        aux011 = 1
        aux020 = aux020 + 1
        aux019 = 1
      end if
    end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****
5002  if(aux017==nodos+1)then
      aux017=1
      aux019=1
    end if
***** Restricciones de red *****
      if(aux016==aux1(i)+1)then
        aux016 = 1
        aux017 = aux017 + 1
        aux018 = 1
        if(aux018<=Elementos*2)then
          aux018 = 1
        end if
      else
        goto 5000
      end if
    end do

    aux0131 = aux015+1
    aux0132 = 0

*****
    aux01 = numeta*termos + termos
    aux054 = aux01 + 1

    do i= 1, nodos
      aux01 = aux01 + 1
c      write(*,*) aux01, aux05(aux01)
      do k = 1, numeta
        aux06(aux054) = aux05(aux01)
c      write(*,*) aux054, aux06(aux054)
        aux054 = aux054 + 1

```



Apéndice E

```

        end do
    end do
    do i= aux015+1, vari
        aux1(i) = aux06(i)
    c      write(*,*) i, aux1(i)
    end do
*****

    do i = aux015+1, aux015 + nodos*numeta
        do j = 1 , aux1(i)
    c      aux05(aux01)= 3*aux05(aux01)+1
    c      aux1(i)=aux05(i)
    c      aux1(i)=(aux1(i)-1)/3 + 1
            if(j<=((aux1(i)-1)/3) + 1) then
                aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + aux0132
                aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
    c      write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
    c      *      aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
            else
                aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + 2*aux0132*Elementos
                aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
    c      write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
    c      *      aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
            end if
        end do
    c      write(*,*) aux0132
        if(aux0132==numeta - 1)then
            aux0131 = aux0131 + 1
            aux0132 = 0
            if(aux0131==numeta+1)then
                aux0131=1
            end if
        else
            aux0132 = aux0132 + 1
        end if
    c      write(*,*) aux0131
    c      pause
    end do

***** P R U E B A *****

    do i=1, Vari
        aux10=aux10-1
        aux11=2
        do j=1, aux1(i)
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
            if(i==1.and.j==1)then
                aux2 = (aux8*numeta*nodos) + 1 + aux8
                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                aux3 = -1.0
    c      write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
    c      pause
            else if(i==1.and.j==2)then
                aux2 = (aux8*numeta*nodos) + (1+aux8) + termos*numeta
                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                aux3 = 1.0
    c      write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
    c      pause
            else if(j==1.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                aux2 = j
                aux3 = CostVar(aux9)
    c      write(*,*) 'j=1', i, j, aux2, aux3
    c      pause
            else if(j==2.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                aux2 = (nodo(aux8) - 1)*numeta + aux12
                aux12= aux12+1
                aux3 = -1.0
    c      write(*,*)'j=2', i, j, aux2, aux3
    c      pause
            else if(j==3.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10
                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                aux3 = 1.0
                aux10= aux10 + 1
                aux11= aux11 - 1
    c      write(*,*) 'j=3', i, j, aux2, aux3
    c      pause
            else if(j==4.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                if(aux10.ne.numeta*aux8)then
                    aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10
                    aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta

```



```

c          aux3 = -1.0
          write(*,*) 'j=4', i, j, aux2, aux3
    else
      aux2 = numeta*nodos + 1 + aux10 + terminos*numeta
      aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
      aux3 = -1.0
c          write(*,*) 'j=5', i, j, aux2, aux3
c          end if
c          pause
      else if(j==5.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
        aux2 = numeta*nodos + 1 + aux10 + terminos*numeta
        aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
        aux3 = -1.0
c          write(*,*) 'j=5', i, j, aux2, aux3
c          pause
      else if(j==6.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
        aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10 + terminos*numeta
        aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
        aux3 = 1.0
        aux10= aux10+1
c          write(*,*) 'j=6', i, j, aux2, aux3
c          pause
      else if(i-(1+aux8)==aux8*numeta.and.aux8<=Terminos-1)then
        if(j==1)then
          aux2 = numeta*nodos + 3 + aux10
          aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
          aux3 = -1.0
c          write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
        else
          aux2 = numeta*nodos + 3 + aux10 +terminos*numeta
          aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
          aux3 = 1.0
c          write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
          aux8 = aux8+1
          aux9 = aux9+1
          aux10= aux10+2
          aux12= 2
          if(aux8 == Terminos + 1)then
            aux8=0
          end if
        end if
      end if
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
      else if(i>(terminos + terminos*numeta))then
        aux2 = aux0130(i,j)
        aux3 = aux0140(i,j)
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
      end if
*
*      Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
*
      if(i.le.9)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
          write(10,207)i,aux2,aux3
          else if(aux2.le.99)then
            write(10,208)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
          write(10,209)i,aux2,aux3
        else
          write(10,210)i,aux2,aux3
        end if
      else if(i.le.99)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
          write(10,211)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
          write(10,212)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
          write(10,213)i,aux2,aux3
        else
          write(10,214)i,aux2,aux3
        end if
      else if(i.le.999)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
          write(10,215)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
          write(10,216)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then

```



```

                write(10,217)i,aux2,aux3
            else
                write(10,218)i,aux2,aux3
            end if

        else
            linea=linea+1
            if(aux2.le.9)then
                write(10,219)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.99)then
                write(10,220)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.999)then
                write(10,221)i,aux2,aux3
            else
                write(10,222)i,aux2,aux3
            end if
        end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz característica)
*
        end do
c   pause
end do
*
*   Llenado de la matriz característica
*
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
        write(10,223)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        linea=linea+1

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

207 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
208 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
209 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
210 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
211 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
212 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
213 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
214 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
215 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
216 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
217 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
218 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
219 format(4x,'X',i4,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
220 format(4x,'X',i4,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
221 format(4x,'X',i4,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
222 format(4x,'X',i4,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
223 format('RHS')

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

*
*   EN ESTA PARTE ES LLENADA EL VECTOR DE DESIGUALDADES
*   DONDE:
*   i REPRESENTA LA FILA &
*   b ES EL VALOR DE LA DESIGUALDAD PARA LA FILA i
*
        lxx=1
        aux8=1
        aux022 = nodos*numeta
        aux023 = 1
        aux024 = 2*elementos*numeta
        aux025 =aux024 + Termos*numeta
        aux026=1
        aux027=1
        aux028=1

```



Apéndice E

```
        aux029=1
    do i=2,filas

*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*

        linea=linea+1
        if(i.le.aux022+1)then
            b=-1.0*Dmax(i-1)
            write(*,*)i,b
c
        else if(i>(aux022*aux8)-aux8.and.(i<=(aux024+aux022)+1))then
            if(opc(i)=='G')then
                b=-Potlimlin(aux023)
            else
                b=Potlimlin(aux023)
            end if
            write(*,*)i,b, aux023
            if(aux023<Elementos. and. opc(i).ne.'G')then
                aux023=aux023+1
            else if (aux023>=Elementos.and.opc(i).ne.'G') then
                aux023=1
            end if
        else if(i>(aux024+aux022)+1.and.(i<=aux025 + aux022 + 1))then
            b=LimRamIncPot(aux026)
            aux027 = aux027 + 1
            write(*,*)i, b, aux026
            if(aux027==numeta+1)then
                aux026 = aux026 + 1
                aux027 = 1
            end if
c
        else
            b=LimRamDecPot(aux028)
            aux029 = aux029 + 1
            write(*,*)i,b
            if(aux029==numeta+1)then
                aux028 = aux028 + 1
                aux029 = 1
            end if
        end if

*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

        if(i.le.9)then
            write(10,224)i,b
        else if(i.le.99)then
            write(10,225)i,b
        else if(i.le.999)then
            write(10,226)i,b
        else
            write(10,227)i,b
        end if

*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

        do k=1,lx-1
            if(ll(k).eq.i)then
                lxl(lxx)=b
c
            write(*,*)lxl(k), k
                lxx=lxx+1
            end if
        end do

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*
```



Apéndice E

```
        end do
c      pause
*
*      Escritura en el archivo MPS
*
        write(10,233)
*
*      Escritura en el archivo MPS
*
        linea=linea+1
*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----
224  format(4x,'MINOS',5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
225  format(4x,'MINOS',5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
226  format(4x,'MINOS',5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
227  format(4x,'MINOS',5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
233  format('BOUNDS')
*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

aux4=Vari

*      aux4  ES EL NUMERO DE COTAS QUE TIENE EL PROBLEMA

c      Para limite inferior          LO
c      Para limite superior          UP
c      Para variable fija            FX
c      Para variable libre           FR
c      Para variable de menos infinito MI
c      Para variable a mas infinito  PL

*
*      EN ESTA PARTE SE DETERMINA LAS COTAS DE LAS VARIABLES CON SUS RESPECTIVAS CLAVES
*      DONDE:
*      aux5  ES EL NUMERO DE LA VARIABLE
*      clave ES EL TIPO DE LIMITE PARA LA VARIABLE
*      aux6  ES LA COTA PARA DICHO LIMITE DE LA VARIABLE
*
if(Tipo=='Asignacion')then

    lxx=1
    aux8=1
    aux030 = Termos * Numeta + Termos
    aux031 = 0.0

    do i=1, Vari

*
*      Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*      condiciones inicales de cada generador
*

        linea=linea+1
        if(i<=Termos*numeta + Termos) then
            if(i==1)then
                aux5=i
                clave='FX'
                aux6=ConIni(i)
c              write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
            else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
                aux5=i
                clave='UP'
                aux6=Pmaxi(aux8)
c              write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
            else
                aux5=i
                clave='FX'
                aux6=ConIni(aux8+1)
                aux8=aux8+1
c              write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
            end if
            else if (i>aux030.and.i<= aux030 + numeta)then
                aux5=i
```



Apéndice E

```

        clave='FX'
        aux6= 00.00
        aux031 = aux031 + 1
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
    else
        aux5=i
        clave='LO'
        aux6= -30.0
c         aux8=aux8+1
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
        linea=linea+1
        if(aux5.le.9)then
            write(10,228)clave,aux5,aux6
            else if(aux5.le.99)then
                write(10,229)clave,aux5,aux6
            else if(aux5.le.999)then
                write(10,230)clave,aux5,aux6
            else
                write(10,231)clave,aux5,aux6
            end if
        aux5=i
        clave='UP'
        aux6= 30.0
c         aux8=aux8+1
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
    end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales
*

    if(aux5.le.9)then
        write(10,228)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.99)then
        write(10,229)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.999)then
        write(10,230)clave,aux5,aux6
    else
        write(10,231)clave,aux5,aux6
    end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales
*

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

    if (clave.eq.'UP'.and.i<=Termos*numeta + Termos) then
        Pmax(aux5)=aux6*1.0
        l(aux5)=lxl(lxx)
        lxx=lxx+1
    end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
*

    end do

    else
        aux030 = Termos * Numeta + Termos
        aux031 = 0.0
        lxx=1
        aux8=1

        do i=1, Vari

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador para el despacho economico
*

```



Apéndice E

```

linea=linea+1
if(i<=Termos*numeta + Termos) then
  if(i=1)then
    aux5=i
    clave='FX'
    aux6=ConIni(i)
  else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
    if(x(i)>tol)then
      aux5=i
      clave='LO'
      aux6=Pmin(aux8)
      if(aux5.le.9)then
c        write(10,228)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
      else if(aux5.le.99)then
c        write(10,229)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
      else if(aux5.le.999)then
c        write(10,230)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
      else
c        write(10,231)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
      end if
      aux5=i
      clave='UP'
      aux6=Pmaxi(aux8)
      linea=linea+1
    else
      aux5=i
      clave='UP'
      aux6=0.00
    end if

  else
    aux5=i
    clave='FX'
    aux6=x(i)
    aux8=aux8+1
  end if
else if (i>aux030.and.i<= aux030 + numeta)then
  aux5=i
  clave='FX'
  aux6= 00.00
  aux031 = aux031 + 1
c  write(*,*)aux5,'      ', clave, aux6
else
  aux5=i
  clave='LO'
  aux6= -20.0
c  write(*,*)aux5,'      ', clave, aux6
  linea=linea+1
  if(aux5.le.9)then
    write(10,228)clave,aux5,aux6
  else if(aux5.le.99)then
    write(10,229)clave,aux5,aux6
  else if(aux5.le.999)then
    write(10,230)clave,aux5,aux6
  else
    write(10,231)clave,aux5,aux6
  end if
  aux5=i
  clave='UP'
  aux6= 20.0
c  write(*,*)aux5,'      ', clave, aux6
end if

*
*  Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*  Despacho economico
*

  if(aux5.le.9)then
c    write(10,228)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
  else if(aux5.le.99)then
c    write(10,229)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
  else if(aux5.le.999)then
c    write(10,230)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
  else

```



```

                write(10,231)clave,aux5,aux6
c                write(*,*)clave,aux5,aux6
                end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*
*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
                if (clave.eq.'UP'.and.i<=Termos*numeta + Termos) then
                    Pmax(aux5)=1e20
                    Pmax(aux5)=aux6*1.0
                    l(aux5)=lxl(lxx)
                    lxx=lxx+1
                end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
*
                end do

                end if

*
*   Escritura en el archivo MPS
*
                write(10,232)

*
*   Escritura en el archivo MPS
*
                linea=linea+1

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*
228 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5)
229 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5)
230 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5)
231 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5)
232 format('ENDATA')

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

                close(10,status='keep')
c                write(*,*)'Lineas', Linea
c                pause
                return
                end

```

E.4 Subrutina de escritura del archivo de salida (ESCH-SAUMEC)

```

*****
*                               asignacion de unidades                               *
*                                                                           *
*   Este programa contempla la potencia inicial de cada generador,          *
*   tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento      *
*   maximo de generacion                                                    *
*                                                                           *
*   Realizado por:                                                         *
*                                                                           *
*   Fabian Vazquez Ramirez                                               julio de 2005 *
*****

```



Apéndice E

```
subroutine escr
use msimsl

character*24    archivo, archiv1, opc, tipo, nomsis, Sistema
integer        Termos, numeta, Nodos, Elementos, aux102, aux103
parameter      lda=1000
real           a(lda,lda)
double precision xxn, objetivo, aux6, MaReac

*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----
common / fvr1 / xxn(10000)
common / fvr2 / num, objetivo
common / fvr3 / linea, archivo, archiv1, tipo, Sistema
common / fvr5 / x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common /cycle2/ objtru,suminf,numinf
common / fvr11/ Termos, numeta, tol
common / fvr12/ aux6(10000)
common / fvr13/ Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*           Potlimlin(10000), aux05(10000),
*           aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*           aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*           MaElem(1000,1000)
common / fvr14/ rgtestt
common / fvr15/ Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)

*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----

if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,001)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open (11,file=archivo)
  write(11,103)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
  write(11,107) objetivo
else
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(11,file=archivo)
  write(11,104)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
  write(11,108) objetivo
  do i=1, numeta
    write(11,105)aux6(i), i
  end do
end if

k=1
j=1
do i=1, num
  a(k,j)=xxn(i+k)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
  if(i==(k*numeta))then
    k=k+1
    j=1
  else
    j=j+1
  end if
end do

c  pause

write(11,106)
```



Apéndice E

```
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,111)
call wrrrn ('Generacion Horaria', Termos, numeta, a, lda, 0)

k=1
  j=1
  Aux100= Numeta * Termos + Termos + 1

do i = Aux100, num
  a(k,j)=xxn(i)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
c   if(j==numeta)then
      k=k+1
      j=1
    else
      j=j+1
    end if
  end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,112)
c   call wrrrn ('Angulo Nodal', Nodos, numeta, a, lda, 0)
  pause

write(11,106)
  write(11,110)
  aux100 = aux100 - 1

do k = 1, numeta
  do i = 1, Elementos
    write(11,106)
    do j = 1, Elementos
c     write(*,*) MaReac(i,j), xxn(aux100 + k + i - 1)
      if(i.ne.j.and.MaReac(i,j).ne.0.0)then
        aux102 = numeta*(i-1)
        aux103 = numeta*(j-1)
c       write(*,*) aux102, aux103, aux100
        aux101 = xxn(aux100 + k + aux102)
        aux101 = aux101 - xxn(aux100 + k + aux103)
        aux101 = aux101 * (-1.0*MaReac(i,j))
        write(11,109) i, j, aux101, k
      end if
    end do
  end do
end do
c   pause
close(11,status='keep')

*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----
001 format(a8,'Asignacion1.Sal')
002 format(a8,'Despachol.Sal')
101 format(a23)
102 format(a21)
103 format(//,10x,
*'*****',
*/,10x,
***,
*/,10x,
***)
  Instituto Politecnico Nacional
  Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
  E S I M E Zacatenco
  Asignacion de Unidades
```



Apéndice E

```

*/,10x,
***      Se contempla las siguientes características:      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
*** - La potencia inicial de cada generador      *,
*/,10x,
*** - Potencia minima y potencia maxima de generacion      *,
*/,10x,
*** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa  *,
*/,10x,
*** - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores *,
*/,10x,
*** - Costo fijo de generacion por unidad      *,
*/,10x,
*** - Costo Variable de generacion por unidad      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      Tambien contempla las características de red:      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
*** - Conexion entre nodos      *,
*/,10x,
*** - Nodo al que pertenece cada generador.      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
*** Realizado por:      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      Fabian Vazquez Ramirez      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      Agosto de 2005      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/)

104  format(//,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      Instituto Politecnico Nacional      *,
*/,10x,
***      Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion      *,
*/,10x,
***      E S I M E Zacatenco      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      Despacho de Unidades      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
***      Se contempla las siguientes características:      *,
*/,10x,
***      *,
*/,10x,
*** - La potencia inicial de cada generador      *,
*/,10x,
*** - Potencia minima y potencia maxima de generacion      *,

```



Apéndice E

```

*/,10x,
*** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa  *',
*/,10x,
*** - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores *',
*/,10x,
*** - Costo fijo de generacion por unidad  *',
*/,10x,
*** - Costo Variable de generacion por unidad  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
*** Tambien contempla las características de red:  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
*** - Conexion entre nodos  *',
*/,10x,
*** - Nodo al que pertenece cada generador.  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
*** Realizado por:  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
*** Fabian Vazquez Ramirez  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
*** Agosto de 2005  *',
*/,10x,
***  *',
*/,10x,
***+++++++*',
*/)

105 format(//,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,
* '$/MW Para la etapa: ',i3)
106 format(5x,/)
107 format(//,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/,
* 5x,'Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion'/)
108 format(//,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/)
1800 format(///,5x,'EXIT -- optimal solution found')
1802 format(///,5x,'EXIT -- near-optimal solution found')
$ /,5x,'XXX WARNING: reduced gradient is large --',
$ 'solution is not really optimal',/)
109 format(5x,'Del Nodo ',i3,' al Nodo',i3,' Con un Flujo de ',f10.5,
* ' MW para la etapa ',i3 )
110 format(10x,'Flujos de Potencia en los elementos de la red')
111 format(//,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Generadores',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
112 format(//,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
*-----
* Formatos utilizados para realizar el programa
*-----

return
end

```



Apéndice F

ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA PARA EL SIMULADOR DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN EL MERCADO ELÉCTRICO CENTRALIZADO

F.1 Archivo de datos de entrada

%%%

ARCHIVO PRINCIPAL DE DATOS PARA EL PROGRAMA TERMOELECTRICO

%%%

Datos del sistema:

Nombre del sistema	Sistema : Anderso2
Numero de termoelectricas del sistema	Termos = 3
Porcentaje de reserva rodante del sistema	Reserva = 00.0
Numero de Nodos del Sistema	Nodos = 6

Nombre de la Termoelectrica: Centra01	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0001
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 247.50
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 25.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 120.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 120.00
Costo Fijo de Generacion	CostFij = 17.00
Costo de Arranque del Generador	CostArr = 30.00
Costo de Paro del Generador	CostPar = 05.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 22.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 40.00

Nombre de la Termoelectrica: Centra02	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0002
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 192.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 19.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 080.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 110.00
Costo Fijo de Generacion	CostFij = 20.00
Costo de Arranque del Generador	CostArr = 40.00
Costo de Paro del Generador	CostPar = 03.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 26.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 20.00



```

Nombre de la Termoelectrica: Centra03
Numero del nodo al que esta conectada           Nodo = 0003
Potencia máxima de Generacion                   Pmax = 128.00
Potencia Mínima de generacion                  Pmin = 13.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia      LimRamIncPot = 050.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia      LimRamDecPot = 090.00
Costo Fijo de Generacion                        CostFij = 23.00
Costo de Arranque del Generador                CostArr = 20.00
Costo de Paro del Generador                    CostPar = 01.00
Costo Variable del Generador                   CostVar = 28.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte ConIni = 15.00
    
```

Numero de lineas de transmision del sistema elementos = 06

```

---1234---1234---12.4567890123---1234.67890
  Nodoi  Nodoj    Reactancia  Potencia limite de linea
          (PU)           (MW)
  0001   0004    00.09200     0100.00000
  0001   0005    00.08500     0100.00000
  0002   0005    00.16100     0100.00000
  0002   0006    00.07200     0100.00000
  0003   0004    00.17000     0100.00000
  0003   0006    00.10080     0100.00000
    
```

Numero de etapas que tienes el horizonte numeta = 05

```

Demanda de Energia en el nodo 1 en la hora 01 Dmax(1,01) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 1 en la hora 02 Dmax(1,02) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 1 en la hora 03 Dmax(1,03) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 1 en la hora 04 Dmax(1,04) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 1 en la hora 05 Dmax(1,05) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 2 en la hora 01 Dmax(2,01) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 2 en la hora 02 Dmax(2,02) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 2 en la hora 03 Dmax(2,03) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 2 en la hora 04 Dmax(2,04) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 2 en la hora 05 Dmax(2,05) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 3 en la hora 01 Dmax(3,01) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 3 en la hora 02 Dmax(3,02) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 3 en la hora 03 Dmax(3,03) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 3 en la hora 04 Dmax(3,04) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 3 en la hora 05 Dmax(3,05) = 000.00
Demanda de Energia en el nodo 4 en la hora 01 Dmax(4,01) = 090.00
Demanda de Energia en el nodo 4 en la hora 02 Dmax(4,02) = 100.00
Demanda de Energia en el nodo 4 en la hora 03 Dmax(4,03) = 110.00
Demanda de Energia en el nodo 4 en la hora 04 Dmax(4,04) = 120.00
Demanda de Energia en el nodo 4 en la hora 05 Dmax(4,05) = 130.00
Demanda de Energia en el nodo 5 en la hora 01 Dmax(5,01) = 125.00
    
```



Demanda de Energia en el nodo 5 en la hora 02 Dmax(5,02) = 115.00
 Demanda de Energia en el nodo 5 en la hora 03 Dmax(5,03) = 105.00
 Demanda de Energia en el nodo 5 en la hora 04 Dmax(5,04) = 095.00
 Demanda de Energia en el nodo 5 en la hora 05 Dmax(5,05) = 085.00
 Demanda de Energia en el nodo 6 en la hora 01 Dmax(6,01) = 100.00
 Demanda de Energia en el nodo 6 en la hora 02 Dmax(6,02) = 090.00
 Demanda de Energia en el nodo 6 en la hora 03 Dmax(6,03) = 110.00
 Demanda de Energia en el nodo 6 en la hora 04 Dmax(6,04) = 080.00
 Demanda de Energia en el nodo 6 en la hora 05 Dmax(6,05) = 120.00

F.2 Archivo de salida creado por Asignación

```

*+++++*
*
*
*           Instituto Politecnico Nacional
*   Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*           E S I M E   Zacatenco
*
*
*           Asignacion de Unidades
*
*
*   Se contempla las siguientes características:
*
* - La potencia inicial de cada generador
* - Potencia minima y potencia maxima de generacion
* - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
* - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores
* - Costo de paro de cada uno de los generadores
* - Costo fijo de generacion por unidad
* - Costo Variable de generacion por unidad
*
*
*   Tambien contempla las características de red:
*
* - Conexion entre nodos
* - Nodo al que pertenece cada generador.
*
*
* Realizado por:
*
*           Fabian Vazquez Ramirez
*
*
*                               Agosto de 2005
*
*+++++*
  
```

EXIT -- optimal solution found

El valor de la funcion objetivo es: 38060.631874498



Apéndice F

El Precio del mercado es de	28.000	\$/MW	Para la etapa:	1
El Precio del mercado es de	28.000	\$/MW	Para la etapa:	2
El Precio del mercado es de	28.000	\$/MW	Para la etapa:	3
El Precio del mercado es de	28.000	\$/MW	Para la etapa:	4
El Precio del mercado es de	28.000	\$/MW	Para la etapa:	5

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Generadores
 Cada Columna indica el numero de Etapa

		Generacion Horaria				
		1	2	3	4	5
1	160.0	200.0	200.0	200.0	198.6	
2	100.0	85.5	68.0	21.4	19.0	
3	55.0	19.5	57.0	73.6	117.4	

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
 Cada Columna indica el numero de Etapa

		Angulo Nodal				
		1	2	3	4	5
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	-1.97	-6.08	-7.69	-9.30	-10.57	
3	-3.09	-9.20	-7.50	-5.80	-4.10	
4	-6.46	-9.20	-9.20	-9.20	-9.20	
5	-7.63	-8.50	-8.50	-8.50	-8.38	
6	-6.64	-11.16	-12.23	-11.20	-12.91	

Flujos de Potencia en los elementos de la red

Del Nodo	1 al Nodo	4	Con un Flujo de	70.18651 MW para la etapa	1
Del Nodo	1 al Nodo	5	Con un Flujo de	89.81343 MW para la etapa	1
Del Nodo	2 al Nodo	5	Con un Flujo de	35.18654 MW para la etapa	1
Del Nodo	2 al Nodo	6	Con un Flujo de	64.81345 MW para la etapa	1
Del Nodo	3 al Nodo	4	Con un Flujo de	19.81347 MW para la etapa	1
Del Nodo	3 al Nodo	6	Con un Flujo de	35.18659 MW para la etapa	1
Del Nodo	4 al Nodo	1	Con un Flujo de	-70.18651 MW para la etapa	1
Del Nodo	4 al Nodo	3	Con un Flujo de	-19.81347 MW para la etapa	1



Apéndice F

Del Nodo	5 al Nodo	1	Con un Flujo de	-89.81343 MW para la etapa	1
Del Nodo	5 al Nodo	2	Con un Flujo de	-35.18654 MW para la etapa	1
Del Nodo	6 al Nodo	2	Con un Flujo de	-64.81345 MW para la etapa	1
Del Nodo	6 al Nodo	3	Con un Flujo de	-35.18658 MW para la etapa	1
Del Nodo	1 al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995 MW para la etapa	2
Del Nodo	1 al Nodo	5	Con un Flujo de	99.99997 MW para la etapa	2
Del Nodo	2 al Nodo	5	Con un Flujo de	15.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	2 al Nodo	6	Con un Flujo de	70.52666 MW para la etapa	2
Del Nodo	3 al Nodo	4	Con un Flujo de	0.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	3 al Nodo	6	Con un Flujo de	19.47342 MW para la etapa	2
Del Nodo	4 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995 MW para la etapa	2
Del Nodo	4 al Nodo	3	Con un Flujo de	0.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	5 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99997 MW para la etapa	2
Del Nodo	5 al Nodo	2	Con un Flujo de	-15.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	6 al Nodo	2	Con un Flujo de	-70.52666 MW para la etapa	2
Del Nodo	6 al Nodo	3	Con un Flujo de	-19.47342 MW para la etapa	2
Del Nodo	1 al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995 MW para la etapa	3
Del Nodo	1 al Nodo	5	Con un Flujo de	99.99997 MW para la etapa	3
Del Nodo	2 al Nodo	5	Con un Flujo de	5.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	2 al Nodo	6	Con un Flujo de	63.03824 MW para la etapa	3
Del Nodo	3 al Nodo	4	Con un Flujo de	10.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	3 al Nodo	6	Con un Flujo de	46.96186 MW para la etapa	3
Del Nodo	4 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995 MW para la etapa	3
Del Nodo	4 al Nodo	3	Con un Flujo de	-10.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	5 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99997 MW para la etapa	3
Del Nodo	5 al Nodo	2	Con un Flujo de	-5.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	6 al Nodo	2	Con un Flujo de	-63.03824 MW para la etapa	3



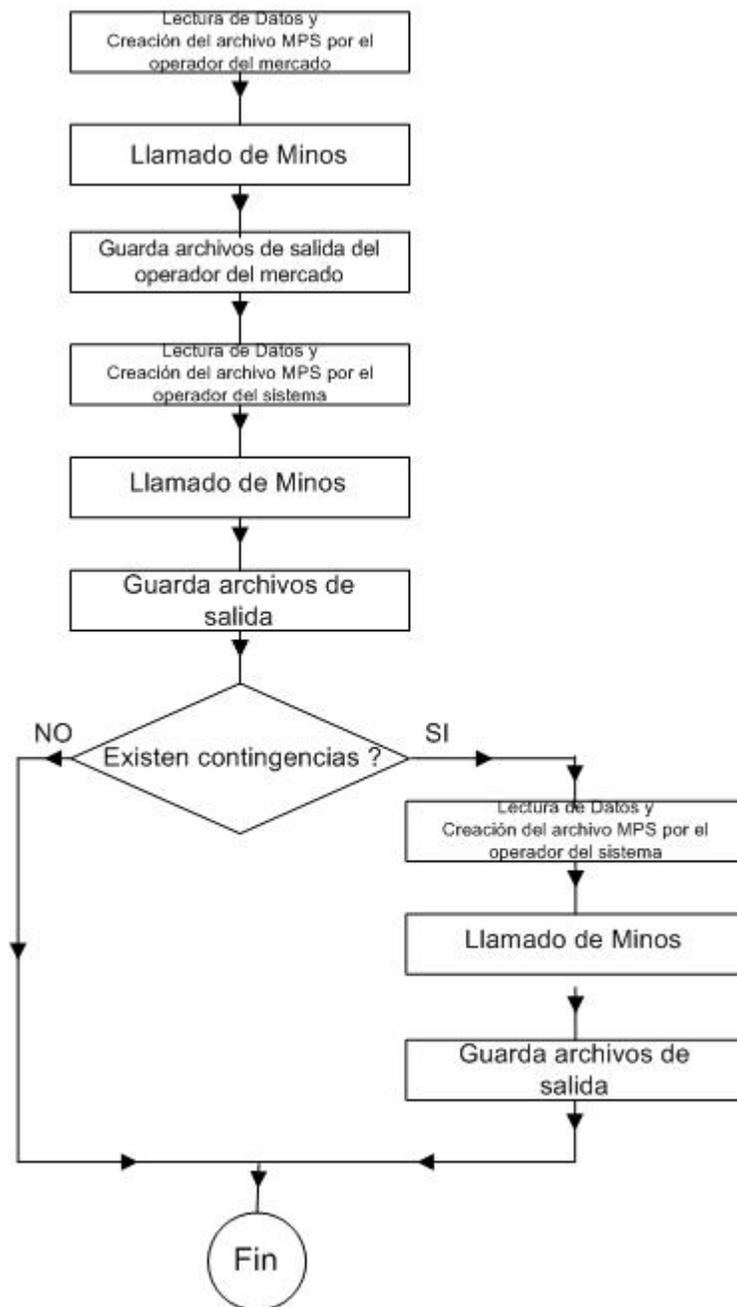
Del Nodo	6	al Nodo	3	Con un Flujo de	-46.96186 MW	para la etapa	3
Del Nodo	1	al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995 MW	para la etapa	4
Del Nodo	1	al Nodo	5	Con un Flujo de	99.99997 MW	para la etapa	4
Del Nodo	2	al Nodo	5	Con un Flujo de	-5.00000 MW	para la etapa	4
Del Nodo	2	al Nodo	6	Con un Flujo de	26.38313 MW	para la etapa	4
Del Nodo	3	al Nodo	4	Con un Flujo de	20.00001 MW	para la etapa	4
Del Nodo	3	al Nodo	6	Con un Flujo de	53.61695 MW	para la etapa	4
Del Nodo	4	al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995 MW	para la etapa	4
Del Nodo	4	al Nodo	3	Con un Flujo de	-20.00001 MW	para la etapa	4
Del Nodo	5	al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99997 MW	para la etapa	4
Del Nodo	5	al Nodo	2	Con un Flujo de	5.00000 MW	para la etapa	4
Del Nodo	6	al Nodo	2	Con un Flujo de	-26.38313 MW	para la etapa	4
Del Nodo	6	al Nodo	3	Con un Flujo de	-53.61694 MW	para la etapa	4
Del Nodo	1	al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995 MW	para la etapa	5
Del Nodo	1	al Nodo	5	Con un Flujo de	98.58115 MW	para la etapa	5
Del Nodo	2	al Nodo	5	Con un Flujo de	-13.58120 MW	para la etapa	5
Del Nodo	2	al Nodo	6	Con un Flujo de	32.58119 MW	para la etapa	5
Del Nodo	3	al Nodo	4	Con un Flujo de	30.00002 MW	para la etapa	5
Del Nodo	3	al Nodo	6	Con un Flujo de	87.41888 MW	para la etapa	5
Del Nodo	4	al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995 MW	para la etapa	5
Del Nodo	4	al Nodo	3	Con un Flujo de	-30.00002 MW	para la etapa	5
Del Nodo	5	al Nodo	1	Con un Flujo de	-98.58115 MW	para la etapa	5
Del Nodo	5	al Nodo	2	Con un Flujo de	13.58120 MW	para la etapa	5
Del Nodo	6	al Nodo	2	Con un Flujo de	-32.58120 MW	para la etapa	5
Del Nodo	6	al Nodo	3	Con un Flujo de	-87.41888 MW	para la etapa	5



Apéndice G

ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS EN UN MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO

G.1 Diagrama de bloques del SAUMED





G.2 Programa principal del operador del mercado eléctrico

```

*****
*                               Subastas del Operador del Mercado                               *
*                               *                               *                               *
*                               Este programa contempla la potencia inicial de cada generador,   *
*                               tambien contempla la potencia maxima de generacion y los      *
*                               decrementos e incrementos maximos de generacion             *
*                               Sistema Modular en base a la optimizacion no lineal          *
*                               *                               *                               *
*                               Realizado por:                                             *
*                               *                               *                               *
*                               Fabian Vazquez Ramirez                                     Agosto de 2005 *
*****

character*24    archivo, archivol, opc, tipo, nomsis, Sistema
data           nwcore/1000000/
double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*             CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*             z(1000000), Pmax, x, l, dl, d2, d3, tol,
*             xxn, objetivo, aux6, LimRamDecPot,VarDual
integer        num, linea, spc, itera, aux2, numeta, aux1, aux,
*             aux4, aux5, Termos, nodo, Nodos, Elementos

-----
*                               Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*                               *                               *
-----

common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
common / fvr1 /  xxn(10000),VarDual(10000)
common / fvr2 /  num, objetivo, aux99
common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, tipo, Sistema
common / fvr5 /  x(100000),dl(100000),d2(100000),d3(100000)
common /cycle2/ objtru,suminf,numinf
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*             LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*             CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*             ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*             Pmaxi(10000), CostVarDem(10000),
*             PDmin(10000), PDmaxi(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*             Potlimlin(10000), aux05(10000),
*             aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*             aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*             MaElem(1000,1000)
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
common / fvr16/  Nodo(10000)

-----
*                               Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*                               *                               *
-----

itera=1
tol=5e-5

Tipo='Asignacion'

call mps

open(4,file='minimize.spc')
open(9,file=archivol)
open(10,file=archivo)

call minos1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

x(1)=xxn(1)

do i = 2 , numeta*termos + termos
    x(i)=xxn(i)
end do
c    pause

call escr

```



```

Tipo=' Despacho'

x(1)=xxn(1)

do i=2, num
    x(i)=xxn(i)
end do
aux4=1
do j=1,numeta
    aux6(j)=00.00
    do i=1, Termos
        aux5= i+(numeta)*(i-1)+aux4
        if(x(aux5)>tol)then
            aux7=CostVar(i)*1.0
            if(aux7>aux6(j))then
                aux6(j)=aux7
            end if
        end if
        if(i==Termos)then
            aux4=aux4+1
        end if
    end do
c    write(6,209)aux6(j), j
end do

call escr

stop
end

```

G.3 Subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS del operador del mercado eléctrico

```

*****
*
*          asignacion de unidades
*          Mercado Mayorista Hibrido
*          Subrrutina que lleva el archivo de datos caracteristicos de
*          los generadores y de la demanda de cada una de las etapas del
*          horizonte de planeación a la forma standart de minos
*
*
*          Realizado por:
*
*          Fabian Vazquez Ramirez                      Diciembre de 2005
*
*****

subroutine mps

double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
* CostPar, CostVar, ConIni, PDmaxi, Pmaxi, Reserva,
* tol, Pmax, aux6, l, lxl, x, LimRamDecPot,
* Reac, Potlimlin, MaReac, MaElem, CostVarDem,PDmin

character*24    archivo, nombre, opc, decic, entrada, nomsis,
* clave, Sistema, archivol, Tipo

integer        filas,Vari,aux1,aux2,aux4,aux5, linea,aux7,ll,lx,
* lxx, Termos, numeta, aux8, aux9, aux10, aux11,
* Nodo, elementos, Nodoi, Nodoj, Nodos, aux05,
* aux013, aux0130, aux016, aux06

-----
*          Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*          -----

common / fvr00/  opc(10000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
common / fvr3 /  linea, archivol, archivol, Tipo, Sistema
common / fvr4 /  lxl(100000)
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
* LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
* CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
* ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
* Pmaxi(10000), CostVarDem(10000),
* PDmin(10000), PDmaxi(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol

```



Apéndice G

```

      common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*          Potlimlin(10000), aux05(10000),
*          aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*          aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*          MaElem(1000,1000), aux06(10000)
      common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
      common / fvr16/  Nodo(10000)
*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----
*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*
      if(Tipo=='Asignacion')then
        write(6,1000)
        read(5,2000) entrada
      end if

      open(1,file=entrada)

      read(1,3000) Sistema, Termos, Nodos
      write(*,*) Sistema, Termos, Nodos
c
      do k=1,Termos
        read(1,3001) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*          LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k),
*          CostVar(k),ConIni(k)
c
c      write(*,*) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*          LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k),
c      *          CostVar(k),ConIni(k)
      end do
c
      pause
      read(1,3002) numeta

      do i=1,numeta*nodos
        read(1,3003) CostVarDem(i), PDmaxi(i), PDmin(i)
c
c      write(*,*)numeta*nodos, i, CostVarDem(i), PDmaxi(i),PDmin(i)
      end do
c
      pause
      close(1,status= 'keep')

*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*
*-----
*   Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----
1000 format(//,9x,
*'+-----+',
*/,9x,
*'+',
*/,9x,
*'+',
*/,9x,
*'+ Instituto Politecnico Nacional +',
*/,9x,
*'+ Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion +',
*/,9x,
*'+ E S I M E Zacatenco +',
*/,9x,
*'+',
*/,9x,
*'+',
*/,9x,
*'+',
*/,9x,
*'+ Subastas del Operador del Mercado +',
*/,10x,
*'+',
*/,10x,
*'+',
*/,10x,
*'+ Se contempla las siguientes características: +',
*/,10x,
*'+',
*/,10x,
*'+ - La potencia inicial de cada generador +',
*/,10x,
*'+ - Potencia minima y potencia maxima de generacion +',

```



Apéndice G

```

*/,10x,
*** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa *,
*/,9x,
*** *,
*/,9x,
*** *,
*/,9x,
*** *,
*/,9x,
*** Realizado por: *,
*/,9x,
*** *,
*/,9x,
*** Fabian Vazquez Ramirez *,
*/,9x,
*** *,
*/,9x,
*** Diciembre de 2005 *,
*/,9x,
*** *,
*/,9x,
***+*****',
*////,7x,'El Archivo de entrada de datos es ? ',\$)

```

```
2000 format(A24)
```

```

3000 format(////////,59x,a8,,59x,i4,,59x,i4)
3001 format(///,29x,a8,,59x,i4,,59x,f10.3,,59x,f10.3,,
*          59x,f10.3,,59x,f10.3,,
*          59x,f10.3,,59x,f10.3)
3002 format(///,59x,i4,/)
3003 format(59x,f10.4,,59x,f10.3/,59x,f10.3,/)
3004 format(///,59x,i4,////)
3005 format(3x,i4,3x,i4,3x,f13.10,3x,f10.5)

```

```

*-----
*   Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----

```

```

*
*   Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,003)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo1
  close(2,status='delete')
  do i=1, Termos
    Dmax(i)=((100.0+Reserva)/100.0)*Dmax(i)
  end do
else
  open(unit=2,file='Fabian.Sal')
  write(2,004)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,005)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo1
  close(2,status='delete')
end if

```

```

*
*   Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
  open(10,file=archivo)

```



Apéndice G

```
nombre='Asignacion'

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    write(10,201)nombre

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

002 format(a8,'Subastas.MPS')
003 format(a8,'Subastas.Sal')
004 format(a8,'Subastas1.MPS')
005 format(a8,'Subastas1.Sal')
101 format(a22)
102 format(a20)
201 format('NAME',10x,a8,/, 'ROWS')

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

c   Cuantas filas tiene tu problema ?

filas=1+(numeta)+2*Terminos*numeta
c   write(*,*) filas

c   Si la fila es menor o igual      (L)
c   Si la fila es mayor o igual     (G)
c   Si la fila es igual             (E)
c   Si la fila es la funcion objetivo (N)
c   Si la fila es libre             (M)

*   La variable opc(i) sirve para determinar la clave de la fila

linea=2
lx=1
aux01=numeta
aux03 = aux01 + 2*elementos*numeta
aux02=aux03 + Terminos*numeta + Terminos
aux04=1
c   write(*,*) aux01, aux02, aux03
do i=1, filas
    linea=linea+1

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

    if(i==1)then
        opc(i)='N'
        write(10,200)i
    else
        if(i<=9.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,205)opc(i),i
        else if(i<=9.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
```



Apéndice G

```
        write(10,205)opc(i),i
    end if
end if
if(opc(i).eq.'L'.and.i>aux03+1.and.i<=aux02+1)then
    ll(lx)=i
    lx=lx+1
end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*
c   write(*,*)opc(i),i
    end do
c   write(*,*) lx
c   pause
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    write(10,206)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    linea=linea+1

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

200  format(lx,'N',2x,'FVR000',i1)
202  format(lx,A1,2x,'FVR000',i1)
203  format(lx,A1,2x,'FVR00',i2)
204  format(lx,A1,2x,'FVR0',i3)
205  format(lx,A1,2x,'FVR',i4)
206  format('COLUMNS')

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

c   'Cuantas variables tiene el problema ?

    vari = (numeta*Termos) + Termos + (numeta*nodos)
c   write(*,*) vari
c   pause

*
*   LA VARIABLE Vari SIRVE PARA DETERMINAR EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA
*
*   EN ESTE DO SE LLENA LA MATRIZ A
*   DONDE:
*   aux1 ES EL NUMERO DE VECES QUE APARECE LA VARIABLE EN EL PROBLEMA
*   aux2 ES EL NUMERO DE LA FILA EN QUE APARECE DICHA VARIABLE
*   aux3 ES LA RELACION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LA FILA Y LA VARIABLE
*

*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*

    aux01 = numeta*termos + termos
    aux8=1

    do i=1,vari
        if(i==1.and. i<=aux01)then
            aux1(i)=2
        else if(i==((aux8*numeta)+aux8).and. i<=aux01)then
            aux1(i)=4
        else if(i==((aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
            aux1(i)=2
        else if(i<((aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
            aux1(i)=6
        end if

        if(i-(1+aux8)==aux8*numeta)then
            aux8=aux8+1
        end if

        if(i>aux01)then
```



Apéndice G

```

        aux1(i) = 2
    end if
    write(*,*)i, aux1(i), vari
end do
pause

*
* Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
*
* Llenado de la matriz caracteristica
*

aux8 = 1
aux9 = 1
aux10 = 2
aux12 = 2
aux011 = 1
aux012 = 1
aux015 = termos + termos*numeta
aux016 = 1
aux017 = 1
aux018 = 1
aux020 = 0
aux021 = 2
aux050 = 1
aux051 = 1
aux059 = 1

do i=1, Vari
    aux10=aux10-1
    aux11=2
    do j=1, aux1(i)
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
        if(i==1.and.j==1)then
            aux2 = (aux8*numeta) + 1 + aux8
            aux3 = -1.0
c         write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c         pause
        else if(i==1.and.j==2)then
            aux2 = (aux8*numeta) + (1+aux8) + termos*numeta
            aux3 = 1.0
c         write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c         pause
        else if(j==1.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
            aux2 = j
            aux3 = CostVar(aux9)
c         write(*,*) 'j=1', i, j, aux2, aux3
c         pause
        else if(j==2.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
            aux2 = aux12
            aux12= aux12+1
            aux3 = -1.0
c         write(*,*)'j=2', i, j, aux2, aux3
c         pause
        else if(j==3.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
            aux2 = numeta + 2 + aux10
            aux3 = 1.0
            aux10= aux10 + 1
            aux11= aux11 - 1
            write(*,*) 'j=3', i, j, aux2, aux3
c         pause
        else if(j==4.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
            if(aux10.ne.numeta*aux8)then
                aux2 = numeta + 2 + aux10
                aux3 = -1.0
c             write(*,*) 'j=4', i, j, aux2, aux3
            else
                aux2 = numeta + 1 + aux10 + termos*numeta
                aux3 = -1.0
c             write(*,*)'j=5', i, j, aux2, aux3
            end if
c         pause
        else if(j==5.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
            aux2 = numeta + 1 + aux10 + termos*numeta
            aux3 = -1.0
c         write(*,*) 'j=5', i, j, aux2, aux3
c         pause
        else if(j==6.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
            aux2 = numeta + 2 + aux10 + termos*numeta
            aux3 = 1.0

```



Apéndice G

```

c          aux10= aux10+1
c          write(*,*) 'j=6', i, j, aux2, aux3
c          pause
c          else if(i-(1+aux8)==aux8*numeta.and.aux8<=Termos-1)then
c          if(j==1)then
c          aux2 = numeta + 3 + aux10
c          aux3 = -1.0
c          write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c          else
c          aux2 = numeta + 3 + aux10 +termos*numeta
c          aux3 = 1.0
c          write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c          aux8 = aux8+1
c          aux9 = aux9+1
c          aux10= aux10+2
c          aux12= 2
c          if(aux8 == Termos + 1)then
c          aux8=0
c          end if
c          end if
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
c          else if(i>=vari-(numeta*nodos).and.aux051==1)then
c          aux2 = 1.0
c          aux3 = -1.0*CostVarDem(aux059)
c          aux051 = 2
c          aux059 = aux059 + 1
c          else if(i>vari-(numeta*nodos).and.aux051==2)then
c          aux2 = aux050 + 1
c          aux3 = 1.0
c          aux051 = 1
c          if(aux050<numeta)then
c          aux050 = aux050 + 1
c          else if(aux050==numeta)then
c          aux050 = 1
c          end if
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
c          end if
*
*          Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
*
c          if(i.le.9)then
c          linea=linea+1
c          if(aux2.le.9)then
c          write(10,207)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.99)then
c          write(10,208)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.999)then
c          write(10,209)i,aux2,aux3
c          else
c          write(10,210)i,aux2,aux3
c          end if
c          else if(i.le.99)then
c          linea=linea+1
c          if(aux2.le.9)then
c          write(10,211)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.99)then
c          write(10,212)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.999)then
c          write(10,213)i,aux2,aux3
c          else
c          write(10,214)i,aux2,aux3
c          end if
c          else if(i.le.999)then
c          linea=linea+1
c          if(aux2.le.9)then
c          write(10,215)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.99)then
c          write(10,216)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.999)then
c          write(10,217)i,aux2,aux3
c          else
c          write(10,218)i,aux2,aux3
c          end if
c          else
c          linea=linea+1
c          if(aux2.le.9)then
c          write(10,219)i,aux2,aux3
c          else if(aux2.le.99)then

```



Apéndice G

```
                write(10,220)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.999)then
                write(10,221)i,aux2,aux3
            else
                write(10,222)i,aux2,aux3
            end if

        end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz característica)
*
c   write(*,*)i,aux2,aux3, aux050
        end do
c   pause
end do

*
*   Llenado de la matriz característica
*

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        write(10,223)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        linea=linea+1

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

207 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
208 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
209 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
210 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
211 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
212 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
213 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
214 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
215 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
216 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
217 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
218 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
219 format(4x,'X',i4,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
220 format(4x,'X',i4,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
221 format(4x,'X',i4,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
222 format(4x,'X',i4,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
223 format('RHS')

*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

*
*   EN ESTA PARTE ES LLENADA EL VECTOR DE DESIGUALDADES
*   DONDE:
*   i REPRESENTA LA FILA &
*   b ES EL VALOR DE LA DESIGUALDAD PARA LA FILA i
*

        lxx=1
        aux8=1
        aux022 = numeta
        aux024 = 2*elementos*numeta
        aux025 = aux022 + Termos*numeta
        aux026=1
        aux027=1
        aux028=1
        aux029=1
        do i=2,filas

*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*

                linea=linea+1
                if(i.le.aux022+1)then
                    b=0.0
```



Apéndice G

```

c      write(*,*)i,b
      else if(i>aux022+1.and.i<=aux025+1)then
        b=LimRamIncPot(aux026)
        aux027 = aux027 + 1
c      write(*,*)i, b, aux026
        if(aux027==numeta+1)then
          aux026 = aux026 + 1
          aux027 = 1
        end if
      else
        b=LimRamDecPot(aux028)
        aux029 = aux029 + 1
c      write(*,*)i,b
        if(aux029==numeta+1)then
          aux028 = aux028 + 1
          aux029 = 1
        end if
      end if

*
*      Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

      if(i.le.9)then
        write(10,224)i,b
      else if(i.le.99)then
        write(10,225)i,b
      else if(i.le.999)then
        write(10,226)i,b
      else
        write(10,227)i,b
      end if

*
*      Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

*
*      Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*      que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

      do k=1,lx-1
        if(ll(k).eq.i)then
          lxl(lxx)=b
c      write(*,*)lxl(k), k
          lxx=lxx+1
        end if
      end do

*
*      Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*      que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

*
*      Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*

c      write(*,*)i,b
      end do
c      pause
*
*      Escritura en el archivo MPS
*

      write(10,233)

*
*      Escritura en el archivo MPS
*

      linea=linea+1

*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

224 format(4x,'MINOS',5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
225 format(4x,'MINOS',5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
226 format(4x,'MINOS',5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
227 format(4x,'MINOS',5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
233 format('BOUNDS')

```



Apéndice G

```

-----
*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*
-----

      aux4=Vari

*   aux4  ES EL NUMERO DE COTAS QUE TIENE EL PROBLEMA

c       Para limite inferior           LO
c       Para limite superior          UP
c       Para variable fija            FX
c       Para variable libre           FR
c       Para variable de menos infinito MI
c       Para variable a mas infinito  PL

*
*   EN ESTA PARTE SE DETERMINA LAS COTAS DE LAS VARIABLES CON SUS RESPECTIVAS CLAVES
*   DONDE:
*   aux5  ES EL NUMERO DE LA VARIABLE
*   clave ES EL TIPO DE LIMITE PARA LA VARIABLE
*   aux6  ES LA COTA PARA DICHO LIMITE DE LA VARIABLE
*
      aux030 = Termos * Numeta + Termos
      aux031 = 0.0
      lxx=1
      aux8=1
      aux052 = 1

      do i=1, Vari

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador para el despacho economico
*

      linea=linea+1
      if(i<=aux030) then
        if(i=1)then
          aux5=i
          clave='FX'
          aux6=ConIni(i)
c       write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
        else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
          aux5=i
          clave='LO'
          aux6=Pmin(aux8)
          if(aux5.le.9)then
c       write(10,228)clave,aux5,aux6
          write(*,*)clave,aux5,aux6
          else if(aux5.le.99)then
c       write(10,229)clave,aux5,aux6
          write(*,*)clave,aux5,aux6
          else if(aux5.le.999)then
c       write(10,230)clave,aux5,aux6
          write(*,*)clave,aux5,aux6
          else
c       write(10,231)clave,aux5,aux6
          write(*,*)clave,aux5,aux6
        end if
          aux5=i
          clave='UP'
          aux6=Pmaxi(aux8)
          linea=linea+1
        else
          aux5=i
          clave='FX'
          aux6=ConIni(aux8+1)
          aux8=aux8+1
c       write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
        end if
      else if (i>aux030)then
        aux5=i
        clave='LO'
        aux6= PDmin(aux052)
c       write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
        linea=linea+1
        if(aux5.le.9)then
          write(10,228)clave,aux5,aux6
        else if(aux5.le.99)then
          write(10,229)clave,aux5,aux6

```



```

else if(aux5.le.999)then
    write(10,230)clave,aux5,aux6
else
    write(10,231)clave,aux5,aux6
end if
aux5=i
clave='UP'
aux6= PDmaxi(aux052)
aux052 = aux052 + 1
end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*

if(aux5.le.9)then
    write(10,228)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.99)then
c    write(10,229)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.999)then
c    write(10,230)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
    else
c    write(10,231)clave,aux5,aux6
c    write(*,*)clave,aux5,aux6
end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*
*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

if (clave.eq.'UP'.and.i<=Termos*numeta + Termos) then
    Pmax(aux5)=1e20
    Pmax(aux5)=aux6*1.0
    l(aux5)=lxl(lxx)
    lxx=lxx+1
end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
c    write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
c    pause

end do

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

write(10,232)

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

linea=linea+1

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

228 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5)
229 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5)
230 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5)
231 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5)
232 format('ENDATA')
```



```

-----
*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*
-----

      close(10,status= 'keep')

      return
      end

```

G.4 Subrutina de escritura del archivo de salida del operador del mercado eléctrico

```

*****
*
*           asignacion de unidades
*
*
*           operador del mercado electrico
*
*
*   Este programa contempla la potencia inicial de cada generador,
*   tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento
*   maximo de generacion
*
*   Realizado por:
*
*   Fabian Vazquez Ramirez                               Diciembre de 2005
*
*****

      subroutine escr
      use msimsl

      character*24   archivo, archivo1, opc, tipo, nomsis, Sistema
      integer       Termos, numeta, Nodos, Elementos, aux102, aux103,
*                nodo
      parameter     lda=1000
      real          a(lda,lda)
      double precision xxn, objetivo, aux6, MaReac, VarDual

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
-----
      common / fvr1 /   xxn(10000),VarDual(10000)
      common / fvr2 /   num, objetivo, aux99
      common / fvr3 /   linea, archivo, archivo1, tipo, Sistema
      common / fvr5 /   x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
      common /cycle2/  objtru,suminf,numinf
      common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*                  LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*                  CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*                  ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*                  Pmaxi(10000), CostVarDem(10000),
*                  PDmin(10000), PDmaxi(10000)
      common / fvr11/  Termos, numeta, tol
      common / fvr12/  aux6(10000)
      common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*                  Potlimlin(10000), aux05(10000),
*                  aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*                  aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*                  MaElem(1000,1000)
      common / fvr14/  rgtestt
      common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
      common / fvr16/  Nodo(10000)

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
-----

      if(Tipo=='Asignacion')then
         open(2,file='Fabian.Sal')
         write(2,001)Sistema
         close(2,status='keep')
         open(2,file='Fabian.Sal')
         read(2,101)archivo
         close(2,status='delete')
         open (11,file=archivo)
         write(11,103)
         if (rgtestt<0.1) then
            write(11,1800)
         else
            write(11,1802)
         end if
         write(11,107) objetivo

```



```
else
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(11,file=archivo)
  write(11,103)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
  write(11,108) objetivo
  do i=1, numeta
    write(11,105)aux6(i), i
  end do
end if

k=1
j=1
do i=1, num
  a(k,j)=xxn(i+k)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
  if(i=((k*numeta)))then
    k=k+1
    j=1
  else
    j=j+1
  end if
end do

c
  pause

write(11,106)
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,111)
call wrrrn ('Generacion Horaria', Termos, numeta, a, lda, 0)

k=1
j=1
do i = 1 + termos + (termos*numeta), num
  a(k,j)=xxn(i)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
  if(j=numeta)then
    k=k+1
    j=1
  else
    j=j+1
  end if
end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,112)
call wrrrn ('Potencias Adjudicadas', Nodos, numeta, a, lda, 0)

close(11,status='keep')

  open(2,file='Fabian.Sal')
write(2,003)Sistema
close(2,status='keep')
open(2,file='Fabian.Sal')
read(2,102)archivo
close(2,status='delete')

open (12,file=archivo)

  write(12,113), Sistema, Termos, Nodos, numeta

k=1
j=1
do i=1, num
  a(k,j)=xxn(i+k)*1.0
  if(i=((k*numeta)))then
    k=k+1
    j=1
  else
```



Apéndice G

```
        j=j+1
    end if
end do

do i= 1, Termos
write(12,114) Nomsis(i), nodo(i)
    do j = 1, numeta
write(12,115)i, j, a(i,j)
    end do
end do

k=1
j=1
do i = 1 + termos + (termos*numeta), num
    a(k,j)=xxn(i)*1.0
    if(j=numeta)then
        k=k+1
        j=1
    else
        j=j+1
    end if
end do

write(12,117)

do i= 1, Nodos
    do j = 1, numeta
write(12,116)i, j, a(i,j)
    end do
end do

write(12,117)

close(12,status='keep')

*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----
001 format(a8,'Subastas1.Sal')
002 format(a8,'Subastas1.Sal')
003 format(a8,'Subastas1.Dat')
101 format(a23)
102 format(a21)
103 format(//,10x,
*'*****',
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
**
          Instituto Politecnico Nacional
*/,10x,
**
    Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*/,10x,
**
          E S I M E   Zacatenco
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
**
          Subastas del Operador del Mercado
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
**
          Se contempla las siguientes características:
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
**
    - La potencia inicial de cada generador
*/,10x,
**
    - Potencia minima y potencia maxima de generacion
*/,10x,
**
    - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*/,10x,
**
*'
*/,10x,
```



Apéndice G

```

*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Realizado por:
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Fabian Vazquez Ramirez
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Diciembre de 2005
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*+++++*
*/)

104 format(//,10x,
*'*+++++*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Instituto Politecnico Nacional
*/,10x,
*'* Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*/,10x,
*'* E S I M E Zacatenco
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Despacho de Unidades
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Se contempla las siguientes características:
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* - La potencia inicial de cada generador
*/,10x,
*'* - Potencia minima y potencia maxima de generacion
*/,10x,
*'* - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*/,10x,
*'* - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores
*/,10x,
*'* - Costo fijo de generacion por unidad
*/,10x,
*'* - Costo Variable de generacion por unidad
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Tambien contempla las características de red:
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* - Conexion entre nodos
*/,10x,
*'* - Nodo al que pertenece cada generador.
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'*
*/,10x,
*'* Realizado por:
*/,10x,

```



Apéndice G

```

**
*/,10x,
** Fabian Vazquez Ramirez
*/,10x,
**
*/,10x,
** Agosto de 2005
*/,10x,
**
*/,10x,
**'*****',
*/)

105 format(/,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,
* '$/MW en la etapa: ',i3)

106 format(5x,/)

107 format(/,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/,
* 5x,'Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion'/)

108 format(/,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/)

109 format(5x,'Del Nodo ',i3,' al Nodo',i3,' Con un Flujo de ',f10.5,
* ' MW para la etapa ',i3 )

110 format(10x,'Flujos de Potencia en los elementos de la red')

111 format(/,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Generadores',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)

112 format(/,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)

113 format('*****',
* '*****',/,5x,'DETECCION DE CONGESTION ',
* 'POR EL OPERADOR INDEPENDIENTE DEL SISTEMA',/,
* '*****',
* '*****',/,
* 'Datos del sistema: '//,
* 'Nombre del sistema Sistema : ',
* a8,/,
* 'Numero de termoelectricas del sistema Termos = ',
* i4,/,
* 'Numero de Nodos del Sistema Nodos = ',
* i4,/,
* 'Numero de etapas que tiene el horizonte numeta = ',
* i4)
114 format(/,5x,'Nombre de la Termoelectrica: ',a8,/,
* 'Numero del nodo al que esta conectada Nodo = ',
* i4)
115 format('Potencia Adjudicada al generador en la etapa ',
* ('i4','i4') = ',f10.3)
116 format(/,5x,'Potencia Demanda Adjudicada en la etapa ',
* ('i4','i4') = ',f10.3)
117 format(/,5x)

1800 format(/,5x,'EXIT -- optimal solution found')
1802 format(/,5x,'EXIT -- near-optimal solution found'
$ /,5x,'XXX WARNING: reduced gradient is large --',
$ 'solution is not really optimal',/)

*-----
* Formatos utilizados para realizar el programa
*-----

return
end

```



G.5 Programa principal del operador independiente del sistema eléctrico.

```

*****
*                                     *
*               asignacion de unidades *
*                                     *
*     Este programa contempla la potencia inicial de cada generador, *
*     tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento *
*     maximo de generacion *
*               Sistema Modular en base a la optimizacion no lineal *
*                                     *
*     Realizado por: *
*                                     *
*     Fabian Vazquez Ramirez *                       Diciembre de 2005 *
*****

character*24      archivo, archivol, opc, tipo, nomsis, Sistema
data              nwcore/1000000/
double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*               CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*               z(1000000), Pmax, x, l, dl, d2, d3, tol,
*               xxn, objetivo, aux6, LimRamDecPot, VarDual
integer          num, linea, spc, itera, aux2, numeta, aux1, aux,
*               aux4, aux5, Termos, nodo, Nodos, Elementos, aux80

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

common / fvr00/   opc(10000),Pmax(10000),ll(10000),l(10000)
common / fvr1 /   xxn(10000),VarDual(10000)
common / fvr2 /   num, objetivo, aux99
common / fvr3 /   linea, archivo, archivol, tipo, Sistema
common / fvr5 /   x(100000),dl(100000),d2(100000),d3(100000)
common / cycle2/ objtru,suminf,numinf
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*               LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*               CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*               ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*               Nodo(10000),CostVarDem(10000),
*               PDmin(10000), PDmaxi(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*               aux05(10000),
*               aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*               aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*               MaElem(1000,1000)
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
common / fvr16/  aux80
common / fvr17/  Pmaxi(10000)
common / fvr18/  Potlimlin(10000)

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

aux80 = 0

Tipo='Asignacion'

call mpsdciso

open(4,file='minimize.spc')
open(9,file=archivol)
open(10,file=archivo)

call minos1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

do i = 1 , numeta*termos + termos
    x(i)=xxn(i)
end do

call esrcdciso
do i = 1, numeta*termos
c   write(*,*)Pmaxi(i), xxn(i), aux80

```



Apéndice G

```

c      end do
c      pause

      if (aux80.ne.0)then

      Tipo ='Asignacion'
      call mpslciso
      open(4,file='minimize.spc')
      open(9,file=archivo1)
      open(10,file=archivo)

      call minosl(z,nwcore)

      close(4,status='keep')
      close(9,status='keep')
      close(10,status='keep')

      do i = 1 , numeta*termos + termos
          x(i)=xxn(i)
      end do

      call esclrciso

      end if

      stop
      end

```

G.6 Subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS del operador del sistema eléctrico para detectar contingencias.

```

*****
*
*          asignacion de unidades
*          Mercado Mayorista Descentralizado
*          Subrutina que lleva el archivo de datos caracteristicos de
*          los generadores y de la demanda de cada una de las etapas del
*          horizonte de planeación a la forma standart de minos
*
*
*          Realizado por:
*
*          Fabian Vazquez Ramirez                      Diciembre de 2005
*
*****

      subroutine mpsdciso

      double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*          CostPar, CostVar, ConIni, PDmaxi, Pmaxi, Reserva,
*          tol, Pmax, aux6, l, lxl, x, LimRamDecPot,
*          Reac, Potlimlin, MaReac, MaElem, CostVarDem,PDmin

      character*24      archivo, nombre, opc, decic, entrada, nomsis,
*          clave, Sistema, archivol, Tipo

      integer          filas,Vari,aux1,aux2,aux4,aux5, linea,aux7,ll,lx,
*          lxx, Termos, numeta, aux8, aux9, aux10, aux11,
*          Nodo, elementos, Nodoi, Nodoj, Nodos, aux05,
*          aux013, aux0130, aux016, aux06, aux80

*-----
*          Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----

      common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
      common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, Tipo, Sistema
      common / fvr4 /  lxl(100000)
      common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
      common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*          LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*          CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*          ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*          Nodo(10000),CostVarDem(10000),
*          PDmin(10000), PDmaxi(10000)

      common / fvr11/  Termos, numeta, tol
      common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*          aux05(10000),

```



Apéndice G

```

*          aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*          aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*          MaElem(1000,1000), aux06(10000)
common / fvrl5/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
common / fvrl6/  aux80
common / fvrl7/  Pmaxi(10000)
common / fvrl8/  Potlimlin(10000)
*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----
*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*-----
*
*           Unidad 1
*-----
*
*   aux80 = 0
*   if(Tipo=='Asignacion')then
*       write(6,1000)
*       read(5,2000) entrada
*   end if
*
*   open(1,file=entrada)
*
*   read(1,3000) Sistema, Termos, Nodos, Numeta
*   write(*,*) Sistema, Termos, Nodos, Numeta
c
do i=1,Termos
c
*   read(1,3001) Nomsis(i), nodo(i)
*   write(*,*) Nomsis(i), nodo(i)
*   do j= 1, numeta
c
*   read(1,3100) Pmaxi(((i-1)*numeta)+j)
*   write(*,*)Pmaxi(((i-1)*numeta)+j), ((i-1)*numeta)+j
c
*   end do
c
*   end do
c
*   pause
*   read(1,3006)
*   do i=1,numeta*nodos
*       read(1,3003) PDmaxi(i)
c
*       write(*,*)PDmaxi(i), i, numeta*nodos
*   end do
c
*   pause
*
*   close(1,status= 'keep')
*-----
*
*           Unidad 1
*-----
*-----
*
*           Unidad 2
*-----
*-----
*
*   write(6,1001)
*   read(5,2000) entrada
*
*   open(2,file=entrada)
*
*   read(2,3004) Elementos
c
*   write(*,*)elementos
c
*   pause
*   do i = 1, Nodos
*       do j = 1, Nodos
*           MaReac(i,j)=0.00
*       end do
*   end do
*   aux040 = 1
*   do i = 1, Elementos
*       read(2,3005) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
c
*       write(*,*) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
*       MaReac(Nodoi(i),Nodoj(i))=1/Reac(i)
*       MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))=1/Reac(i)
c
*       write(*,*)MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))
*       MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
*       MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
*       aux040=aux040+1
*       MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
*       MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
*       aux040=aux040+1
*   end do

```



Apéndice G

```
close(2,status= 'keep')

*-----
*                               Unidad 2
*-----

c    call umach (-2, 6)
c    call wropt (-1,1,1)
c    call dwrrrn ('Reactancias', Elementos, Elementos, MaReac, 1000, 0)
c    call dwrrrn ('Elementos', Elementos*2, Elementos, MaElem, 1000, 0)
c    pause

*
*    Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*

*-----
*    Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----

1000 format(//,9x,
*'+-----+',
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                               Instituto Politecnico Nacional          *,
*/,9x,
**    Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion                    *,
*/,9x,
**                               E S I M E   Zacatenco                      *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                               Detección de las Contingencias          *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**    Se contempla las siguientes características:                        *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**    - La potencia adjudica a los generadores por el PX                  *,
*/,9x,
**    - La potencia demandada adjudica por el PX                          *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**    Realizado por:                                                       *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**    Fabian Vazquez Ramirez                                               *,
*/,9x,
**                                     *,
*/,9x,
**                               Diciembre de 2005                        *,
*/,9x,
**                                     *,
*'+-----+',
*////,7x,'El Archivo de entrada de datos es ? ',,$)

1001 format(//,7x,'El Archivo caracteristico de la red es ? ',,$)

2000 format(A24)

3000 format(///// ,59x,a8,/,59x,i4,/,59x,i4,/,59x,i4)
3001 format(///,29x,a8,/,59x,i8)
3100 format(59x,f10.3)
```



Apéndice G

```
3002 format(///,59x,i4,/)
3003 format(59x,f10.4,/)
3004 format(////////,59x,i4,////////)
3005 format(3x,i4,3x,i4,3x,f13.10,3x,f10.5)
3006 format(//)

*-----
*   Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----

*
*   Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,003)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivol
  close(2,status='delete')
  do i=1, Termos
    Dmax(i)=((100.0+Reserva)/100.0)*Dmax(i)
  end do
else
  open(unit=2,file='Fabian.Sal')
  write(2,004)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,005)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivol
  close(2,status='delete')
end if

*
*   Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
  open(10,file=archivo)

nombre='Asignacion'

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
  write(10,201)nombre

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

002 format(a8,'Congestion.MPS')
003 format(a8,'Congestion.Sal')
004 format(a8,'Contingencial.MPS')
005 format(a8,'Contingencial.Sal')
101 format(a22)
102 format(a25)
201 format('NAME',10x,a8,/,,'ROWS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----
```



Apéndice G

```
c      Cuantas filas tiene tu problema ?

      filas=1+(numeta*Nodos) + 2*elementos*numeta
c      write(*,*) filas

c      Si la fila es menor o igual      (L)
c      Si la fila es mayor o igual     (G)
c      Si la fila es igual              (E)
c      Si la fila es la funcion objetivo (N)
c      Si la fila es libre              (M)

*      La variable opc(i) sirve para determinar la clave de la fila

      linea=2
      lx=1
      aux01=numeta*Nodos
      aux03 = aux01 + 2*elementos*numeta
      aux02=aux03 + Termos*numeta + Termos
      aux04=1
c      write(*,*) aux01, aux02, aux03
      do i=1, filas
         linea=linea+1

*
*      Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

         if(i==1)then
            opc(i)='N'
            write(10,200)i
         else
            if(i<=9.and.i<=aux01+1)then
               opc(i)='E'
               write(10,202)opc(i),i
            else if(i<=99.and.i<=aux01+1)then
               opc(i)='E'
               write(10,203)opc(i),i
            else if(i<=999.and.i<=aux01+1)then
               opc(i)='E'
               write(10,204)opc(i),i
            else if(i<=9999.and.i<=aux01+1)then
               opc(i)='E'
               write(10,205)opc(i),i

            else if(i<=9.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
               if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
               else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
               end if
               write(10,202)opc(i),i
            else if(i<=99.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
               if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
               else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
               end if
               write(10,203)opc(i),i
            else if(i<=999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
               if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
               else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
               end if
               write(10,204)opc(i),i
            else if(i<=9999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
               if(aux04==1)then
                  opc(i)='G'
                  aux04=0
               else
                  opc(i)='L'
                  aux04=1
               end if
               write(10,205)opc(i),i
            end if
         end if
      end if
```



Apéndice G

```

        if(opc(i).eq.'L'.and.i>aux03+1.and.i<=aux02+1)then
            ll(lx)=i
            lx=lx+1
        end if
*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*
c   write(*,*)opc(i),i
    end do
c   write(*,*) lx
c   pause
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
        write(10,206)
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
        linea=linea+1
*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*
200 format(lx,'N',2x,'FVR000',i1)
202 format(lx,A1,2x,'FVR000',i1)
203 format(lx,A1,2x,'FVR00',i2)
204 format(lx,A1,2x,'FVR0',i3)
205 format(lx,A1,2x,'FVR',i4)
206 format('COLUMNS')
*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*
c   'Cuantas variables tiene el problema ?
    vari = (numeta*Termos) + 2*(numeta*nodos)
c   write(*,*) vari
c   pause
*
*   LA VARIABLE Vari SIRVE PARA DETERMINAR EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA
*
*   EN ESTE DO SE LLENA LA MATRIZ A
*   DONDE:
*   aux1 ES EL NUMERO DE VECES QUE APARECE LA VARIABLE EN EL PROBLEMA
*   aux2 ES EL NUMERO DE LA FILA EN QUE APARECE DICHA VARIABLE
*   aux3 ES LA RELACION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LA FILA Y LA VARIABLE
*
*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****
    aux01=numeta*termos
    do i= 1, nodos
        aux01 = aux01 + 1
        aux05(aux01) = 0
        do j=1, nodos
            if(MaReac(i,j).ne.0.0)then
                aux05(aux01) = aux05(aux01) + 1
            end if
        end do
        aux05(aux01)= 3*aux05(aux01) + 1
    end do
c   pause
***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****
***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

```



Apéndice G

```

do i = 1, Elementos
do j = 1, Elementos
  if(i.ne.j)then
    MaReac(i,i) = MaReac(i,i) + MaReac(i,j)
    MaReac(i,j) = - MaReac(i,j)
  end if
end do
end do

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

c  call umach (-2, 6)
c  call wropt (-1,1,1)
c  call dwrrrn('M. de Reactancias',Elementos,Elementos,MaReac,1000,0)
c  pause

aux01=numeta*termos
+ termos
aux8=1

do i=1,vari
  if(i<=aux01)then
    aux1(i)=2
  end if
  if(i>aux01.and.i<=aux01+(numeta*nodos))then
    aux1(i)=aux05(i)
  else if(i>aux01+(numeta*nodos))then
    aux1(i)=2
  end if
c  write(*,*)i, aux1(i), vari
end do
c  pause

*
*  Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*

*
*  Llenado de la matriz caracteristica
*

aux8 = 1
aux9 = 1
aux10 = 2
aux12 = 2
aux011 = 1
aux012 = 1
c  aux015 = termos + termos*numeta
aux015 = termos * numeta
aux016 = 1
aux017 = 1
aux018 = 1
aux020 = 0
aux021 = 2
aux050 = 1
aux051 = 1

***** P R U E B A *****
do i = aux015+1, aux015 + nodos
  aux019 = 1
5000  continue
***** Balance Nodal *****
  if(MaReac(aux012,aux011).ne.0.0.and.aux019==1)then
    aux013(i,aux016) = aux012*numeta - numeta + 2 + aux020
    aux014(i,aux016) = MaReac(aux012,aux011)
c  write(*,*) i, aux016, aux013(i,aux016), aux014(i,aux016), aux011
c  *
    aux012, MaReac(aux012,aux011)
    aux012 = aux012 + 1
    aux016 = aux016 + 1
    goto 5001
  else if(aux019==1) then
    aux012 = aux012 + 1
    goto 5001
  end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****

  if(MaElem(aux018,aux017).ne.0.0.and.aux019==2)then
    aux013(i,aux016) = nodos*numeta + aux018 + 1
    aux014(i,aux016)=MaElem(aux018,aux017)

```



Apéndice G

```

c      write(*,*)      i,aux016,aux013(i,aux016),aux014(i,aux016)
c      *              ,aux018, aux017, aux016
c      pause
                                aux018 = aux018 + 1
                                aux016 = aux016 + 1
                                aux021 = aux021 + 1
                                goto 5002
                                else
                                aux018 = aux018 + 1
                                end if
***** Restricciones de red *****

***** Balance Nodal *****
5001      if(aux012==nodos+1)then
                                aux012=1
                                aux019=2
                                if(aux011<nodos+1)then
                                        aux011 = aux011 + 1
                                else
                                        aux011 = 1
                                        aux020 = aux020 + 1
                                        aux019 = 1
                                end if
                                end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****
5002      if(aux017==nodos+1)then
                                aux017=1
                                aux019=1
                                end if
***** Restricciones de red *****
                                if(aux016==auxl(i)+1)then
                                        aux016 = 1
                                        aux017 = aux017 + 1
                                        aux018 = 1
                                        if(aux018<=Elementos*2)then
                                                aux018 = 1
                                        end if
                                else
                                        goto 5000
                                end if
                                end do

                                aux0131 = aux015+1
                                aux0132 = 0

*****
                                aux01 = numeta*terminos
                                aux054 = aux01 + 1

                                do i= 1, nodos
                                        aux01 = aux01 + 1
c      write(*,*) aux01, aux05(aux01)
                                        do k = 1, numeta
c      aux06(aux054) = aux05(aux01)
                                        write(*,*) aux054, aux06(aux054)
c      aux054 = aux054 + 1
                                        end do
                                end do
                                do i= aux015+1, vari-(numeta*nodos)
                                        auxl(i) = aux06(i)
c      write(*,*) i, auxl(i)
                                end do
*****

                                do i = aux015+1, aux015 + nodos*numeta
                                        do j = 1 , auxl(i)
                                                if(j<=((auxl(i)-1)/3) + 1) then
                                                        aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + aux0132
                                                        aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
c      write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
c      *      aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
                                                else
                                                        aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + 2*aux0132*Elementos
                                                        aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
c      write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
c      *      aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
                                                end if
                                        end do
                                end do
c      write(*,*) aux0132
                                if(aux0132==numeta - 1)then

```



Apéndice G

```

        aux0131 = aux0131 + 1
        aux0132 = 0
        if(aux0131==numeta+1)then
            aux0131=1
        end if
    else
        aux0132 = aux0132 + 1
    end if
c   write(*,*) aux0131
c   pause
end do

***** P R U E B A *****
do i=1, Vari
    aux10=aux10-1
    aux11=2
    do j=1, aux1(i)
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
        if(j==1.and.i<(aux8*numeta+aux8+1).and.i<=aux015)then
            aux2 = j
            aux3 = 1.0
c           write(*,*) 'j=1', i, j, aux2, aux3
c           pause
        else if(j==2.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1).and.i<=aux015)then
            aux2 = (nodo(aux8) - 1)*numeta + aux12
            aux12= aux12+1
            aux3 = -1.0
            if(i==aux8*numeta.and.aux8<=Termos-1)then
                aux8 = aux8+1
                aux12 = 2
            end if
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****

        else if(i>(aux015).and.i<=vari-(numeta*nodos))then
            aux2 = aux0130(i,j)
            aux3 = aux0140(i,j)
        else if(i>=vari-(numeta*nodos).and.aux051==1)then
            aux2 = 1.0
c           aux3 = -1.0*CostVarDem(aux050)
            aux3 = -1.0
            aux051 = 2
        else if(i>vari-(numeta*nodos).and.aux051==2)then
            aux050 = aux050 + 1
            aux2 = aux050
            aux3 = 1.0
            aux051 = 1
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
        end if
    *
    *   Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
    *
        if(i.le.9)then
            linea=linea+1
            if(aux2.le.9)then
                write(10,207)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.99)then
                write(10,208)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.999)then
                write(10,209)i,aux2,aux3
            else
                write(10,210)i,aux2,aux3
            end if
        else if(i.le.99)then
            linea=linea+1
            if(aux2.le.9)then
                write(10,211)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.99)then
                write(10,212)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.999)then
                write(10,213)i,aux2,aux3
            else
                write(10,214)i,aux2,aux3
            end if
        else if(i.le.999)then
            linea=linea+1
            if(aux2.le.9)then
                write(10,215)i,aux2,aux3
            else if(aux2.le.99)then
                write(10,216)i,aux2,aux3

```



```

        else if(aux2.le.999)then
            write(10,217)i,aux2,aux3
        else
            write(10,218)i,aux2,aux3
        end if

    else
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
            write(10,219)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
            write(10,220)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
            write(10,221)i,aux2,aux3
        else
            write(10,222)i,aux2,aux3
        end if

    end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz característica)
*
c   write(*,*)i,aux2,aux3, aux8
    end do
c   pause
    end do
*
*   Llenado de la matriz característica
*
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
        write(10,223)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

        linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

207 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
208 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
209 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
210 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
211 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
212 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
213 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
214 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
215 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
216 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
217 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
218 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
219 format(4x,'X',i4,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
220 format(4x,'X',i4,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
221 format(4x,'X',i4,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
222 format(4x,'X',i4,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
223 format('RHS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

*
*   EN ESTA PARTE ES LLENADA EL VECTOR DE DESIGUALDADES
*   DONDE:
*   i REPRESENTA LA FILA &
*   b ES EL VALOR DE LA DESIGUALDAD PARA LA FILA i
*
        lxx=1
        aux8=1
        aux022 = nodos*numeta
        aux023 = 1
        aux024 = 2*elementos*numeta
        aux025 =aux024 + Termos*numeta
        aux026=1

```



Apéndice G

```
aux027=1
aux028=1
aux029=1
do i=2,filas

*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*

    linea=linea+1
    if(i.le.aux022+1)then
        b=0.0
c      write(*,*)i,b
    else if(i>(aux022*aux8)-aux8.and.(i<=(aux024+aux022)+1))then
        if(opc(i)='G')then
            b=-Potlimlin(aux023)
        else
            b=Potlimlin(aux023)
        end if
c      write(*,*)i,b, aux023
        if(aux023<Elementos.and.opc(i).ne.'G')then
            aux023=aux023+1
        else if (aux023>=Elementos.and.opc(i).ne.'G') then
            aux023=1
        end if
    else if(i>(aux024+aux022)+1.and.(i<=aux025 + aux022 + 1))then
        b=LimRamIncPot(aux026)
c      aux027 = aux027 + 1
        write(*,*)i, b, aux026
        if(aux027==numeta+1)then
            aux026 = aux026 + 1
            aux027 = 1
        end if

    else
        b=LimRamDecPot(aux028)
c      aux029 = aux029 + 1
        write(*,*)i,b
        if(aux029==numeta+1)then
            aux028 = aux028 + 1
            aux029 = 1
        end if
    end if

*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

    if(i.le.9)then
        write(10,224)i,b
    else if(i.le.99)then
        write(10,225)i,b
    else if(i.le.999)then
        write(10,226)i,b
    else
        write(10,227)i,b
    end if

*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

    do k=1,lx-1
        if(ll(k).eq.i)then
c      write(*,*)lx1(k), k
            lx1(lxx)=b
            lxx=lxx+1
        end if
    end do

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
```



Apéndice G

```

*
      end do
c      pause
*
*      Escritura en el archivo MPS
*
      write(10,233)

*
*      Escritura en el archivo MPS
*
      linea=linea+1

*-----*
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

224 format(4x,'MINOS',5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
225 format(4x,'MINOS',5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
226 format(4x,'MINOS',5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
227 format(4x,'MINOS',5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
233 format('BOUNDS')

*-----*
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

      aux4=Vari

*      aux4 ES EL NUMERO DE COTAS QUE TIENE EL PROBLEMA

c      Para limite inferior          LO
c      Para limite superior          UP
c      Para variable fija            FX
c      Para variable libre           FR
c      Para variable de menos infinito MI
c      Para variable a mas infinito  PL

*
*      EN ESTA PARTE SE DETERMINA LAS COTAS DE LAS VARIABLES CON SUS RESPECTIVAS CLAVES
*      DONDE:
*      aux5 ES EL NUMERO DE LA VARIABLE
*      clave ES EL TIPO DE LIMITE PARA LA VARIABLE
*      aux6 ES LA COTA PARA DICHO LIMITE DE LA VARIABLE
*

      aux030 = Termos * Numeta
      aux031 = 0.0
      lxx=1
      aux8=1
      aux052 = 1

      do i=1, Vari

*
*      Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*      condiciones inicales de cada generador para el despacho economico
*

      linea=linea+1
      if(i<=Termos*numeta) then
        aux5=i
        clave='UP'
        aux6=1.00*Pmaxi(i)
        linea=linea+1
      else if (i>aux030.and.i<= aux030 + numeta)then
        aux5=i
        clave='FX'
        aux6= 00.00
        aux031 = aux031 + 1
        write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
      else if(i>numeta.and.i<=vari-(numeta*nodos))then
        aux5=i
        clave='LO'
        aux6= -20.0
        write(*,*)aux5,' ', clave, aux6
      linea=linea+1
      if(aux5.le.9)then
        write(10,228)clave,aux5,aux6

```



```

        else if(aux5.le.99)then
            write(10,229)clave,aux5,aux6
        else if(aux5.le.999)then
            write(10,230)clave,aux5,aux6
        else
            write(10,231)clave,aux5,aux6
        end if
    aux5=i
    clave='UP'
    aux6= 20.0
c    write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
else if(i>vari-(numeta*nodos))then
    aux5=i
    clave='FX'
    aux6= PDmaxi(aux052)
    aux052 = aux052 + 1
end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*

    if(aux5.le.9)then
        write(10,228)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.99)then
        write(10,229)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.999)then
        write(10,230)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
    else
c        write(10,231)clave,aux5,aux6
c        write(*,*)clave,aux5,aux6
    end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*
*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

    if (clave.eq.'UP'.and.i<=Termos*numeta + Termos) then
        Pmax(aux5)=1e20
        Pmax(aux5)=aux6*1.0
        l(aux5)=lxl(lxx)
        lxx=lxx+1
    end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
*
c    write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
end do
c    pause
c    end if

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

write(10,232)

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

    linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
```



```

-----
228 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5)
229 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5)
230 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5)
231 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5)
232 format('ENDATA')

-----
*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*
-----

      close(10,status='keep')
c     write(*,*)'Lineas', Linea
c     pause
      return
      end

```

G.7 Subrutina de escritura del archivo de salida del operador del sistema eléctrico para detectar contingencias.

```

*****
*                               Deteccion de contingencias                               *
*                               *                                                       *
*   Este programa contempla la potencia inicial de cada generador,                   *
*   tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento                *
*   maximo de generacion                                                            *
*                                                                                       *
*   Realizado por:                                                                    *
*                                                                                       *
*   Fabian Vazquez Ramirez                                                             julio de 2005 *
*****

      subroutine esrcdciso
      use msimsl

      character*24   archivo, archivol, opc, tipo, nomsis, Sistema
      integer        Termos, numeta, Nodos, Elementos, aux102, aux103
      integer        aux80
      parameter      lda=1000
      real           a(lda,lda)
      double precision xxn, objetivo, aux6, MaReac, VarDual, Pmaxi,
*                 Potlimlin

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

      common / fvr1 /   xxn(10000),VarDual(10000)
      common / fvr2 /   num, objetivo, aux99
      common / fvr3 /   linea, archivo, archivol, tipo, Sistema
      common / fvr5 /   x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
      common /cycle2/   objtru,suminf,numinf
      common / fvr10/   nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*                   LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*                   CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*                   ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*                   Nodo(10000),CostVarDem(10000),
*                   PDmin(10000), PDmaxi(10000)

      common / fvr11/   Termos, numeta, tol
      common / fvr12/   aux6(10000)
      common / fvr13/   Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*                   aux05(10000),
*                   aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*                   aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*                   MaElem(1000,1000)

      common / fvr14/   rgtestt
      common / fvr15/   Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
      common / fvr16/   aux80
      common / fvr17/   Pmaxi(10000)
      common / fvr18/   Potlimlin(10000)

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

c     write(*,*) tipo

      if(Tipo=='Asignacion')then

```



Apéndice G

```
open(2,file='Fabian.Sal')
write(2,001)Sistema
c write(*,001)Sistema
close(2,status='keep')
open(2,file='Fabian.Sal')
read(2,101)archivo
c write(*,101)archivo
close(2,status='delete')
open(11,file=archivo)
write(11,103)
if (aux80.eq.0) then
write(11,1800)
else
write(11,1810)
end if
write(11,107) objetivo
else
open(2,file='Fabian.Sal')
write(2,002)Sistema
close(2,status='keep')
open(2,file='Fabian.Sal')
read(2,102)archivo
close(2,status='delete')
open(11,file=archivo)
write(11,104)
if (aux80.eq.0) then
write(11,1800)
else
write(11,1810)
end if
write(11,108) objetivo
do i=1, numeta
do j=1, nodos
write(11,105)-1.0*VarDual(((i-1)*nodos)+j+1), j, i
end do
end do
end if

k=1
j=1
do i=1, num
c a(k,j)=xxn(i)*1.0
write(*,*) k,j,i, a(k,j)
if(i==(k*numeta))then
k=k+1
j=1
else
j=j+1
end if
end do

c pause

write(11,106)
call umach (-2, 11)
call wropt (-1,1,1)
write(11,111)
call wrrrn ('Generacion Horaria', Termos, numeta, a, lda, 0)

k=1
j=1

do i = num - (numeta*nodos) + 1, num
c a(k,j)=xxn(i)*1.0
write(*,*) k,j,i, a(k,j)
if(j==numeta)then
k=k+1
j=1
else
j=j+1
end if
end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
call wropt (-1,1,1)
write(11,112)
c call wrrrn ('Potencias Adjudicadas', Nodos, numeta, a, lda, 0)
pause

Aux100= Numeta * Termos + 1
```




Apéndice G

```

*'*          Detección de las Contingencias          *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          Se contempla las siguientes características: *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'* - La potencia adjudica a los generadores por el PX *' ,
*/ ,9x,
*'* - La potencia demandada adjudica por el PX *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'* Realizado por: *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          Fabian Vazquez Ramirez *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          Diciembre de 2005 *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*/ ,9x,
*'*          *' ,
*')
104  format(//,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          Instituto Politecnico Nacional *' ,
*/ ,10x,
*'*          Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion *' ,
*/ ,10x,
*'*          E S I M E Zacatenco *' ,
*/ ,10x,
*'*          Despacho de Unidades *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          Se contempla las siguientes características: *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'* - La potencia inicial de cada generador *' ,
*/ ,10x,
*'* - Potencia minima y potencia maxima de generacion *' ,
*/ ,10x,
*'* - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa *' ,
*/ ,10x,
*'* - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores *' ,
*/ ,10x,
*'* - Costo fijo de generacion por unidad *' ,
*/ ,10x,
*'* - Costo Variable de generacion por unidad *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          *' ,
*/ ,10x,
*'*          Tambien contempla las características de red: *' ,
*/ ,10x,

```



```

**
*/,10x,
*** - Conexion entre nodos
*/,10x,
*** - Nodo al que pertenece cada generador.
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
*** Realizado por:
*/,10x,
**
*/,10x,
*** Fabian Vazquez Ramirez
*/,10x,
**
*/,10x,
*** Agosto de 2005
*/,10x,
**
*/,10x,
**
***)
*/)

105 format(//,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,
* ' $/MW para el nodo ', i3 ' en la etapa: ',i3)
106 format(5x,/)
107 format(//,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,,
* 5x,'Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion'/)
108 format(//,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/)
1800 format(///,5x,'EXIT -- optimal solution found')
1810 format(' EXIT -- the problem is infeasible')
109 format(5x,'Del Nodo ',i3,' al Nodo',i3,' Con un Flujo de ',f10.5,
* ' MW para la etapa ',i3 )
110 format(10x,'Flujos de Potencia en los elementos de la red')
111 format(//,2x,'Nota :',
*/,
4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Generadores',
*/,
4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
112 format(//,2x,'Nota :',
*/,
4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema',
*/,
4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
113 format(/4x,'Hay contingencia en la red la unidad ',i4,
*/,
4x,'Debe de generar ',f10.3,
*/,
4x,' en vez de la potencia determinada por PX ',f10.3)
*-----*
* Formatos utilizados para realizar el programa
*-----*

return
end

```

G.8 Subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS del operador del sistema eléctrico para liberar contingencias.

```

*****
*
*          asignacion de unidades
*          Mercado Mayorista Descentralizado
*          Subrutina que lleva el archivo de datos caracteristicos de
*          los generadores y de la demanda de cada una de las etapas del
*          horizonte de planeación a la forma standart de minos
*
*
*          Realizado por:
*
*          Fabian Vazquez Ramirez
*
*          Diciembre de 2005
*
*****

subroutine mpslciso

double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
* CostPar, CostVar, ConIni, PDmaxi, Pmaxi, Reserva,
* tol, Pmax, aux6, l, lx1, x, LimRamDecPot,

```



Apéndice G

```

*          Reac, Potlimlin, MaReac, MaElem, CostVarDem,PDmin
*
character*24  archivo, nombre, opc, decic, entrada, nomsis,
*
*          clave, Sistema, archivol, Tipo
*
integer      filas, Vari, aux1, aux2, aux4, aux5, linea, aux7, ll, lx,
*
*          lxx, Termos, numeta, aux8, aux9, aux10, aux11,
*          Nodo, elementos, Nodoi, Nodoj, Nodos, aux05,
*          aux013, aux0130, aux016, aux06
*
-----
*          Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
-----
common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, Tipo, Sistema
common / fvr4 /  lxl(100000)
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common / fvr10/ nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*          LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*          CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*          ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*          Pmaxi(10000), Nodo(10000),CostVarDem(10000),
*          PDmin(10000), PDmaxi(10000)
common / fvr11/ Termos, numeta, tol
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*          Potlimlin(10000), aux05(10000),
*          aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*          aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*          MaElem(1000,1000), aux06(10000)
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
*
-----
*          Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
-----
*
*          Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*
*
if(Tipo=='Asignacion')then
  write(6,1000)
  read(5,2000) entrada
end if

open(1,file=entrada)

read(1,3000) Sistema, Termos, Nodos
write(*,*) Sistema, Termos, Reserva, Nodos
pause
do k=1,Termos
  read(1,3001) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*          LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k),
*          CostVar(k),ConIni(k)
write(*,*) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*          LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k),
*          CostVar(k),ConIni(k)
end do
pause
read(1,3004) Elementos

do i = 1, Nodos
  do j = 1, Nodos
    MaReac(i,j)=0.00
  end do
end do
aux040 = 1
do i = 1, Elementos
  read(1,3005) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
c   write(*,*) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
  MaReac(Nodoi(i),Nodoj(i))=1/Reac(i)
  MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))=1/Reac(i)
c   write(*,*)MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))
  MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
  MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
  aux040=aux040+1
  MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
  MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
  aux040=aux040+1
end do

c   call umach (-2, 6)
c   call wropt (-1,1,1)

```



Apéndice G

```

c      call dwwrrn ('Reactancias', Elementos, Elementos, MaReac, 1000, 0)
c      call dwwrrn ('Elementos', Elementos*2, Elementos, MaElem, 1000, 0)
c      pause

      read(1,3002) numeta

      do i=1,numeta*nodos
        read(1,3003) CostVarDem(i), PDmaxi(i), PDmin(i)
c      write(*,*)numeta*nodos, i, CostVarDem(i), PDmaxi(i),PDmin(i)
c      pause
      end do

      close(1,status= 'keep')

*
*      Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*

*-----*
*      Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----*

1000 format(//,9x,
*'+*****+',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**      Instituto Politecnico Nacional      **',
*/,9x,
**      Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion      **',
*/,9x,
**      E S I M E      Zacatenco      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**      Liberación de las Contingencias      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**      Se contempla las siguientes características:      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** - La potencia inicial de cada generador      **',
*/,9x,
** - Potencia minima y potencia maxima de generacion      **',
*/,9x,
** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa      **',
*/,9x,
** - Precio Variable de generacion por unidad      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**      Tambien contempla las características de red:      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** - Conexion entre nodos      **',
*/,9x,
** - Nodo al que pertenece cada generador.      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**      Realizado por:      **',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**      Fabian Vazquez Ramirez      **',

```



Apéndice G

```
*/,9x,
***
*/,9x,
***
*/,9x,
***
*/,9x,
***
*////////,7x,'Existen congestiones en el Sistema ',
*///,7x,'El Archivo de entrada de datos es ? ',,$)
```

```
2000 format(A24)
```

```
3000 format(////////,59x,a8,/,59x,i4,/,59x,i4)
```

```
3001 format(///,29x,a8,/,59x,i4,/,59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,
*          59x,f10.3,/,59x,f10.3,/,
*          59x,f10.3,/,59x,f10.3)
```

```
3002 format(///,59x,i4,/,)
```

```
3003 format(59x,f10.4,/,59x,f10.3/,59x,f10.3,/,)
```

```
3004 format(///,59x,i4,////////)
```

```
3005 format(3x,i4,3x,i4,3x,f13.10,3x,f10.5)
```

```
*-----
*      Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----
```

```
*
*      Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,003)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivol
  close(2,status='delete')
  do i=1, Termos
    Dmax(i)=((100.0+Reserva)/100.0)*Dmax(i)
  end do
else
  open(unit=2,file='Fabian.Sal')
  write(2,004)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,005)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivol
  close(2,status='delete')
end if
```

```
*
*      Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
```

```
open(10,file=archivo)
```

```
nombre='Asignacion'
```

```
*
*      Escritura en el archivo *MPS
*
```

```
write(10,201)nombre
```

```
*
*      Escritura en el archivo *MPS
*
```



Apéndice G

```
*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----
002 format(a8,'Liberacion.MPS')
003 format(a8,'Liberacion.Sal')
004 format(a8,'Liberacion1.MPS')
005 format(a8,'Liberacion1.Sal')
101 format(a22)
102 format(a23)
201 format('NAME',10x,a8,/, 'ROWS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

c   Cuantas filas tiene tu problema ?

filas=1+(numeta*Nodos)+2*Terminos*numeta + 2*elementos*numeta
c   write(*,*) filas

c   Si la fila es menor o igual      (L)
c   Si la fila es mayor o igual     (G)
c   Si la fila es igual             (E)
c   Si la fila es la funcion objetivo (N)
c   Si la fila es libre             (M)

*   La variable opc(i) sirve para determinar la clave de la fila

linea=2
lx=1
aux01=numeta*Nodos
aux03 = aux01 + 2*elementos*numeta
aux02=aux03 + Terminos*numeta + Terminos
aux04=1
c   write(*,*) aux01, aux02, aux03
do i=1, filas
    linea=linea+1

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

    if(i==1)then
        opc(i)='N'
        write(10,200)i
    else
        if(i<=9.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,205)opc(i),i

        else if(i<=9.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                opc(i)='L'
                aux04=1
            end if
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                opc(i)='L'
                aux04=1
            end if
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                else

```



```

        opc(i)='L'
        aux04=1
    end if
    write(10,204)opc(i),i
else if(i<=9999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
    if(aux04==1)then
        opc(i)='G'
        aux04=0
    else
        opc(i)='L'
        aux04=1
    end if
    write(10,205)opc(i),i

    else if(i<=9.and.i>aux01+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,202)opc(i),i
    else if(i<=99.and.i>aux01+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,203)opc(i),i
    else if(i<=999.and.i>aux01+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,204)opc(i),i
    else if(i<=9999.and.i>aux01+1)then
        opc(i)='L'
        write(10,205)opc(i),i
    end if
end if
if(opc(i).eq.'L'.and.i>aux03+1.and.i<=aux02+1)then
    ll(lx)=i
    lx=lx+1

end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*
c   write(*,*)opc(i),i
    end do
c   write(*,*) lx
c   pause
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    write(10,206)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

linea=linea+1

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

200 format(lx,'N',2x,'FVR000',i1)
202 format(lx,A1,2x,'FVR000',i1)
203 format(lx,A1,2x,'FVR00',i2)
204 format(lx,A1,2x,'FVR0',i3)
205 format(lx,A1,2x,'FVR',i4)
206 format('COLUMNS')

-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
-----

c   'Cuántas variables tiene el problema ?

    vari=(numeta*Termos) + Termos + 2*(numeta*nodos)
c   write(*,*) vari
c   pause

*
*   LA VARIABLE Vari SIRVE PARA DETERMINAR EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA
*
*
*   EN ESTE DO SE LLENA LA MATRIZ A
*   DONDE:
*   aux1 ES EL NUMERO DE VECES QUE APARECE LA VARIABLE EN EL PROBLEMA

```



Apéndice G

```

*      aux2 ES EL NUMERO DE LA FILA EN QUE APARECE DICHA VARIABLE
*      aux3 ES LA RELACION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LA FILA Y LA VARIABLE
*
*
*      Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****

      aux01=numeta*terminos + terminos
      do i= 1, nodos
        aux01 = aux01 + 1
        aux05(aux01) = 0
        do j=1, nodos
          if(MaReac(i,j).ne.0.0)then
            aux05(aux01) = aux05(aux01) + 1
          end if
        end do
        aux05(aux01)= 3*aux05(aux01) + 1
      end do
c      pause
***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

      do i = 1, Elementos
        do j = 1, Elementos
          if(i.ne.j)then
            MaReac(i,i) = MaReac(i,i) + MaReac(i,j)
            MaReac(i,j) = - MaReac(i,j)
          end if
        end do
      end do

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

c      call umach (-2, 6)
c      call wropt (-1,1,1)
c      call dwwrrn('M. de Reactancias',Elementos,Elementos,MaReac,1000,0)
c      pause

      aux01=numeta*terminos + terminos
      aux8=1

      do i=1,vari
        if(i==1.and. i<=aux01)then
          aux1(i)=2
        else if(i==((aux8*numeta)+aux8).and. i<=aux01)then
          aux1(i)=4
        else if(i==((aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
          aux1(i)=2
        else if(i<((aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
          aux1(i)=6
        end if

        if(i-(1+aux8)==aux8*numeta)then
          aux8=aux8+1
        end if

        if(i>aux01.and.i<=aux01+(numeta*nodos))then
          aux1(i)=aux05(i)
        else if(i>aux01+(numeta*nodos))then
          aux1(i)=2
        end if
c      write(*,*)i, aux1(i), vari
c      end do
c      pause

*
*      Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
*
*      Llenado de la matriz caracteristica
*

      aux8 = 1
      aux9 = 1

```



Apéndice G

```
aux10 = 2
aux12 = 2
aux011 = 1
aux012 = 1
aux015 = termos + termos*numeta
aux016 = 1
aux017 = 1
aux018 = 1
aux020 = 0
aux021 = 2
aux050 = 1
aux051 = 1

***** P R U E B A *****
do i = aux015+1, aux015 + nodos
  aux019 = 1
  continue
5000
***** Balance Nodal *****
  if(MaReac(aux012,aux011).ne.0.0.and.aux019==1)then
    aux013(i,aux016) = aux012*numeta - numeta + 2 + aux020
    aux014(i,aux016) = MaReac(aux012,aux011)
c    write(*,*) i, aux016, aux013(i,aux016), aux014(i,aux016), aux011,
c *    aux012, MaReac(aux012,aux011)
    aux012 = aux012 + 1
    aux016 = aux016 + 1
    goto 5001
  else if(aux019==1) then
    aux012 = aux012 + 1
    goto 5001
  end if
***** Balance Nodal *****
***** Restricciones de red *****

  if(MaElem(aux018,aux017).ne.0.0.and.aux019==2)then
    aux013(i,aux016) = nodos*numeta + aux018 + 1
    aux014(i,aux016)=MaElem(aux018,aux017)
c    write(*,*) i,aux016,aux013(i,aux016),aux014(i,aux016)
c *    ,aux018, aux017, aux016
c    pause
    aux018 = aux018 + 1
    aux016 = aux016 + 1
    aux021 = aux021 + 1
    goto 5002
  else
    aux018 = aux018 + 1
  end if
***** Restricciones de red *****

***** Balance Nodal *****
5001  if(aux012==nodos+1)then
      aux012=1
      aux019=2
      if(aux011<nodos+1)then
        aux011 = aux011 + 1
      else
        aux011 = 1
        aux020 = aux020 + 1
        aux019 = 1
      end if
    end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****
5002  if(aux017==nodos+1)then
      aux017=1
      aux019=1
    end if
***** Restricciones de red *****
      if(aux016==aux1(i)+1)then
        aux016 = 1
        aux017 = aux017 + 1
        aux018 = 1
        if(aux018<=Elementos*2)then
          aux018 = 1
        end if
      else
        goto 5000
      end if
    end do
```



Apéndice G

```

aux0131 = aux015+1
aux0132 = 0

*****
aux01 = numeta*termos + termos
aux054 = aux01 + 1

do i= 1, nodos
  aux01 = aux01 + 1
c   write(*,*) aux01, aux05(aux01)
  do k = 1, numeta
    aux06(aux054) = aux05(aux01)
c   write(*,*) aux054, aux06(aux054)
    aux054 = aux054 + 1
  end do
end do
do i= aux015+1, vari-(numeta*nodos)
  aux1(i) = aux06(i)
c   write(*,*) i, aux1(i)
end do
*****

do i = aux015+1, aux015 + nodos*numeta
  do j = 1 , aux1(i)
    if(j<=((aux1(i)-1)/3) + 1) then
      aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + aux0132
      aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
c   write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
c   *   aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
    else
      aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + 2*aux0132*Elementos
      aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
c   write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
c   *   aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
    end if
  end do
c   write(*,*) aux0132
  if(aux0132==numeta - 1)then
    aux0131 = aux0131 + 1
    aux0132 = 0
    if(aux0131==numeta+1)then
      aux0131=1
    end if
  else
    aux0132 = aux0132 + 1
  end if
c   write(*,*) aux0131
c   pause
end do

***** P R U E B A *****
do i=1, Vari
  aux10=aux10-1
  aux11=2
  do j=1, aux1(i)
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
    if(i==1.and.j==1)then
      aux2 = (aux8*numeta*nodos) + 1 + aux8
      aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
      aux3 = -1.0
c   write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c   pause
    else if(i==1.and.j==2)then
      aux2 = (aux8*numeta*nodos) + (1+aux8) + termos*numeta
      aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
      aux3 = 1.0
c   write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c   pause
    else if(j==1.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
      aux2 = j
      aux3 = CostVar(aux9)
c   write(*,*) 'j=1', i, j, aux2, aux3
c   pause
    else if(j==2.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
      aux2 = (nodo(aux8) - 1)*numeta + aux12
      aux12= aux12+1
      aux3 = -1.0
c   write(*,*)'j=2', i, j, aux2, aux3
c   pause
    else if(j==3.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
      aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10
      aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta

```



```

aux3 = 1.0
aux10= aux10 + 1
aux11= aux11 - 1
c      write(*,*) 'j=3', i, j, aux2, aux3
c      pause
      else if(j==4.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
        if(aux10.ne.numeta*aux8)then
          aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10
          aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
          aux3 = -1.0
c      write(*,*) 'j=4', i, j, aux2, aux3
        else
          aux2 = numeta*nodos + 1 + aux10 + termos*numeta
          aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
          aux3 = -1.0
c      write(*,*) 'j=5', i, j, aux2, aux3
        end if
c      pause
      else if(j==5.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
        aux2 = numeta*nodos + 1 + aux10 + termos*numeta
        aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
        aux3 = -1.0
c      write(*,*) 'j=5', i, j, aux2, aux3
c      pause
      else if(j==6.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
        aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10 + termos*numeta
        aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
        aux3 = 1.0
        aux10= aux10+1
c      write(*,*) 'j=6', i, j, aux2, aux3
c      pause
        else if(i-(1+aux8)==aux8*numeta.and.aux8<=Terminos-1)then
          if(j==1)then
            aux2 = numeta*nodos + 3 + aux10
            aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
            aux3 = -1.0
c      write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
          else
            aux2 = numeta*nodos + 3 + aux10 +terminos*numeta
            aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
            aux3 = 1.0
c      write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
            aux8 = aux8+1
            aux9 = aux9+1
            aux10= aux10+2
            aux12= 2
            if(aux8 == Terminos + 1)then
              aux8=0
            end if
          end if
        end if
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****

      else if(i>(aux015).and.i<=vari-(numeta*nodos))then
        aux2 = aux0130(i,j)
        aux3 = aux0140(i,j)
      else if(i>=vari-(numeta*nodos).and.aux051==1)then
        aux2 = 1.0
        aux3 = -1.0*CostVarDem(aux050)
        aux051 = 2
      else if(i>=vari-(numeta*nodos).and.aux051==2)then
        aux050 = aux050 + 1
        aux2 = aux050
        aux3 = 1.0
        aux051 = 1
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
      end if
*
*      Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
*
      if(i.le.9)then
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
          write(10,207)i,aux2,aux3
          else if(aux2.le.99)then
            write(10,208)i,aux2,aux3
          else if(aux2.le.999)then
            write(10,209)i,aux2,aux3
          else
            write(10,210)i,aux2,aux3
        end if

```



```

else if(i.le.99)then
  linea=linea+1
  if(aux2.le.9)then
    write(10,211)i,aux2,aux3
  else if(aux2.le.99)then
    write(10,212)i,aux2,aux3
  else if(aux2.le.999)then
    write(10,213)i,aux2,aux3
  else
    write(10,214)i,aux2,aux3
  end if

else if(i.le.999)then
  linea=linea+1
  if(aux2.le.9)then
    write(10,215)i,aux2,aux3
  else if(aux2.le.99)then
    write(10,216)i,aux2,aux3
  else if(aux2.le.999)then
    write(10,217)i,aux2,aux3
  else
    write(10,218)i,aux2,aux3
  end if

else
  linea=linea+1
  if(aux2.le.9)then
    write(10,219)i,aux2,aux3
  else if(aux2.le.99)then
    write(10,220)i,aux2,aux3
  else if(aux2.le.999)then
    write(10,221)i,aux2,aux3
  else
    write(10,222)i,aux2,aux3
  end if

end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz característica)
*
c   write(*,*)i,aux2,aux3
end do
c   pause
end do

*
*   Llenado de la matriz característica
*

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

write(10,223)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

207 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
208 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
209 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
210 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
211 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
212 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
213 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
214 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
215 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
216 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
217 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
218 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
219 format(4x,'X',i4,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
220 format(4x,'X',i4,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
221 format(4x,'X',i4,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
222 format(4x,'X',i4,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
223 format('RHS')

```



Apéndice G

```

-----
*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*
-----
*
*   EN ESTA PARTE ES LLENADA EL VECTOR DE DESIGUALDADES
*   DONDE:
*   i REPRESENTA LA FILA &
*   b ES EL VALOR DE LA DESIGUALDAD PARA LA FILA i
*
*   lxx=1
*   aux8=1
*   aux022 = nodos*numeta
*   aux023 = 1
*   aux024 = 2*elementos*numeta
*   aux025 =aux024 + Termos*numeta
*   aux026=1
*   aux027=1
*   aux028=1
*   aux029=1
*   do i=2,filas
*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*
*   linea=linea+1
*   if(i.le.aux022+1)then
*       b=0.0
*       write(*,*)i,b
*   else if(i>(aux022*aux8)-aux8.and.(i<=(aux024+aux022)+1))then
*       if(opc(i)=='G')then
*           b=-Potlimlin(aux023)
*       else
*           b=Potlimlin(aux023)
*       end if
*   write(*,*)i,b, aux023
*   if(aux023<Elementos.and.opc(i).ne.'G')then
*       aux023=aux023+1
*   else if (aux023>=Elementos.and.opc(i).ne.'G') then
*       aux023=1
*   end if
*   else if(i>(aux024+aux022)+1.and.(i<=aux025 + aux022 + 1))then
*       b=LimRamIncPot(aux026)
*       aux027 = aux027 + 1
*       write(*,*)i, b, aux026
*       if(aux027==numeta+1)then
*           aux026 = aux026 + 1
*           aux027 = 1
*       end if
*   else
*       b=LimRamDecPot(aux028)
*       aux029 = aux029 + 1
*       write(*,*)i,b
*       if(aux029==numeta+1)then
*           aux028 = aux028 + 1
*           aux029 = 1
*       end if
*   end if
*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*
*   if(i.le.9)then
*       write(10,224)i,b
*   else if(i.le.99)then
*       write(10,225)i,b
*   else if(i.le.999)then
*       write(10,226)i,b
*   else
*       write(10,227)i,b
*   end if
*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades

```



Apéndice G

```

*
      do k=1,lx-1
          if (ll(k).eq.i) then
              lxl(lxx)=b
c       write(*,*)lxl(k), k
              lxx=lxx+1
          end if
      end do

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*
*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*
      end do
c     pause
*
*   Escritura en el archivo MPS
*
      write(10,233)

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

      linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

224 format(4x,'MINOS',5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
225 format(4x,'MINOS',5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
226 format(4x,'MINOS',5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
227 format(4x,'MINOS',5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
233 format('BOUNDS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

aux4=Vari

*   aux4  ES EL NUMERO DE COTAS QUE TIENE EL PROBLEMA

c       Para limite inferior          LO
c       Para limite superior          UP
c       Para variable fija            FX
c       Para variable libre           FR
c       Para variable de menos infinito MI
c       Para variable a mas infinito  PL

*
*   EN ESTA PARTE SE DETERMINA LAS COTAS DE LAS VARIABLES CON SUS RESPECTIVAS CLAVES
*   DONDE:
*   aux5  ES EL NUMERO DE LA VARIABLE
*   clave ES EL TIPO DE LIMITE PARA LA VARIABLE
*   aux6  ES LA COTA PARA DICHO LIMITE DE LA VARIABLE
*

      aux030 = Termos * Numeta + Termos
      aux031 = 0.0
      lxx=1
          aux8=1
          aux052 = 1

      do i=1, Vari

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador para el despacho economico
*

          linea=linea+1
          if(i<=Termos*numeta + Termos) then
              if(i==1)then

```



```

        aux5=i
        clave='FX'
        aux6=ConIni(i)
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
c     pause
        else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
c         if(x(i)>tol)then
            aux5=i
            clave='LO'
            aux6=Pmin(aux8)
            if(aux5.le.9)then
c                 write(10,228)clave,aux5,aux6
                write(*,*)clave,aux5,aux6
            else if(aux5.le.99)then
c                 write(10,229)clave,aux5,aux6
                write(*,*)clave,aux5,aux6
            else if(aux5.le.999)then
c                 write(10,230)clave,aux5,aux6
                write(*,*)clave,aux5,aux6
            else
c                 write(10,231)clave,aux5,aux6
                write(*,*)clave,aux5,aux6
            end if
            aux5=i
            clave='UP'
            aux6=Pmaxi(aux8)
            linea=linea+1
        else
            aux5=i
            clave='FX'
            aux6=ConIni(aux8+1)
            aux8=aux8+1
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
c         aux5=i
c         clave='FX'
c         aux6=x(i)
c         aux8=aux8+1
        end if
    else if (i>aux030.and.i<= aux030 + numeta)then
        aux5=i
        clave='FX'
        aux6= 00.00
        aux031 = aux031 + 1
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
    else if(i>numeta.and.i<=vari-(numeta*nodos))then
        aux5=i
        clave='LO'
        aux6= -20.0
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
        linea=linea+1
        if(aux5.le.9)then
            write(10,228)clave,aux5,aux6
        else if(aux5.le.99)then
            write(10,229)clave,aux5,aux6
        else if(aux5.le.999)then
            write(10,230)clave,aux5,aux6
        else
            write(10,231)clave,aux5,aux6
        end if
        aux5=i
        clave='UP'
        aux6= 20.0
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
    else if(i>vari-(numeta*nodos))then
        aux5=i
        clave='LO'
        aux6= PDmin(aux052)
c         write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6
        linea=linea+1
        if(aux5.le.9)then
            write(10,228)clave,aux5,aux6
        else if(aux5.le.99)then
            write(10,229)clave,aux5,aux6
        else if(aux5.le.999)then
            write(10,230)clave,aux5,aux6
        else
            write(10,231)clave,aux5,aux6
        end if
        aux5=i
        clave='UP'
```



Apéndice G

```

        aux6= PDmaxi(aux052)
        aux052 = aux052 + 1
c        write(*,*)aux5,'          ', clave, aux6

c        pause
        end if

*
*      Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*      Despacho economico
*

        if(aux5.le.9)then
            write(10,228)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c        else if(aux5.le.99)then
            write(10,229)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c        else if(aux5.le.999)then
            write(10,230)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c        else
            write(10,231)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c        end if

*
*      Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*      Despacho economico
*

*
*      Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*      que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

        if (clave.eq.'UP'.and.i<=Termos*numeta + Termos) then
            Pmax(aux5)=1e20
            Pmax(aux5)=aux6*1.0
            l(aux5)=lxl(lxx)
            lxx=lxx+1
        end if

*
*      Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*      que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

*
*      Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*      condiciones inicales de cada generador
*

        end do
c    end if

*
*      Escritura en el archivo MPS
*

        write(10,232)

*
*      Escritura en el archivo MPS
*

        linea=linea+1

*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----
228 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5)
229 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5)
230 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5)
231 format(lx,a2,lx,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5)
232 format('ENDATA')

*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

```



```

        close(10,status= 'keep')
c      write(*,*)'Lineas', Linea
c      pause
        return
        end

```

G.9 Subrutina de escritura del archivo de salida del operador del sistema eléctrico para liberar contingencias.

```

*****
*                               *
*               asignacion de unidades                               *
*                               *
*      Este programa contempla la potencia inicial de cada generador, *
*      tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento *
*      maximo de generacion                                           *
*                               *
*      Realizado por:                                                 *
*                               *
*      Fabian Vazquez Ramirez                                         julio de 2005 *
*****

```

```

subroutine esclrciso
use msimsl

character*24   archivo, archiv01, opc, tipo, nomsis, Sistema
integer        Termos, numeta, Nodos, Elementos, aux102, aux103
parameter      lda=1000
real           a(lda,lda)
double precision xxn, objetivo, aux6, MaReac, VarDual

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

common / fvr1 /  xxn(10000),VarDual(10000)
common / fvr2 /  num, objetivo, aux99
common / fvr3 /  linea, archivo, archiv01, tipo, Sistema
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common /cycle2/  objtru,suminf,numinf
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*               Potlimlin(10000), aux05(10000),
*               aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*               aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*               MaElem(1000,1000)
common / fvr14/  rgtestt
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)

-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,001)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open (11,file=archivo)
  write(11,103)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
  write(11,107) objetivo
  do i=1, numeta
    do j=1, nodos
      write(11,105)-1.0*VarDual(((i-1)*nodos)+j+1), j, i
    end do
  end do
else
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')

```



Apéndice G

```
read(2,102)archivo
close(2,status='delete')
open(11,file=archivo)
write(11,104)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
write(11,108) objetivo
do i=1, numeta
  do j=1, nodos
    write(11,105)-1.0*VarDual(((i-1)*nodos)+j+1), j, i
  end do
end do
end if

k=1
j=1
do i=1, num
  a(k,j)=xxn(i+k)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
  if(i==((k*numeta)))then
    k=k+1
    j=1
  else
    j=j+1
  end if
end do

c
  pause

write(11,106)
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,111)
call wrrrn ('Generacion Horaria', Termos, numeta, a, lda, 0)

k=1
j=1

do i = num - (numeta*nodos) + 1, num
  a(k,j)=xxn(i)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
  if(j==numeta)then
    k=k+1
    j=1
  else
    j=j+1
  end if
end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,112)
call wrrrn ('Potencias Adjudicadas', Nodos, numeta, a, lda, 0)

c
  pause

  Aux100= Numeta * Termos + Termos + 1

k=1
j=1

do i = Aux100, num - (numeta*nodos)
  a(k,j)=xxn(i)*1.0
  write(*,*) k,j,i, a(k,j)
  if(j==numeta)then
    k=k+1
    j=1
  else
    j=j+1
  end if
end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
  call wropt (-1,1,1)
  write(11,112)
call wrrrn ('Angulo Nodal', Nodos, numeta, a, lda, 0)

c
  pause
```



```
write(11,106)
write(11,110)
aux100 = aux100 - 1

do k = 1, numeta
  do i = 1, Elementos
    write(11,106)
    do j = 1, Elementos
      c write(*,*) MaReac(i,j), xxn(aux100 + k + i - 1)
        if(i.ne.j.and.MaReac(i,j).ne.0.0)then
          aux102 = numeta*(i-1)
          aux103 = numeta*(j-1)
        c write(*,*) aux102, aux103, aux100
          aux101 = xxn(aux100 + k + aux102)
          aux101 = aux101 - xxn(aux100 + k + aux103)
          aux101 = aux101 * (-1.0*MaReac(i,j))
          write(11,109) i, j, aux101, k
        end if
      end do
    end do
  end do
end do
c pause
close(11,status='keep')
```

```
-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*   -----
001 format(a8,'Liberacionl.Sal')
002 format(a8,'Liberacionl.Sal')
101 format(a23)
102 format(a23)
103 format(//,10x,
**'+++++',
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
**' Instituto Politecnico Nacional
*/,10x,
**' Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*/,10x,
**' E S I M E Zacatenco
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
**' Liberacion de la Congestion
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
**' Se contempla las siguientes características:
*/,10x,
**'
*/,10x,
**' - La potencia inicial de cada generador
*/,10x,
**' - Potencia minima y potencia maxima de generacion
*/,10x,
**' - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
**' Tambien contempla las características de red:
*/,10x,
**'
*/,10x,
**' - Conexion entre nodos
*/,10x,
**' - Nodo al que pertenece cada generador.
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
**'
*/,10x,
```



Apéndice G

```

**
*/,10x,
** Realizado por:
*/,10x,
**
*/,10x,
** Fabian Vazquez Ramirez
*/,10x,
**
*/,10x,
** Diciembre de 2005
*/,10x,
**
*/,10x,
**
**
**
**
104 format(//,10x,
**
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Instituto Politecnico Nacional
*/,10x,
** Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*/,10x,
** E S I M E Zacatenco
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Despacho de Unidades
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Se contempla las siguientes características:
*/,10x,
**
*/,10x,
** - La potencia inicial de cada generador
*/,10x,
** - Potencia minima y potencia maxima de generacion
*/,10x,
** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*/,10x,
** - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores
*/,10x,
** - Costo fijo de generacion por unidad
*/,10x,
** - Costo Variable de generacion por unidad
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Tambien contempla las características de red:
*/,10x,
**
*/,10x,
** - Conexion entre nodos
*/,10x,
** - Nodo al que pertenece cada generador.
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Realizado por:
*/,10x,
**
*/,10x,
** Fabian Vazquez Ramirez
*/,10x,

```



Apéndice G

```
***                                                                 *',
*/,10x,
***                                                                 Agosto de 2005 *',
*/,10x,
***                                                                 *',
*/,10x,
***++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++* ',
*/)

105 format(,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,
*' $/MW para el nodo ', i3 ' en la etapa: ',i3)
106 format(5x,/)
107 format(,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/,
* 5x,'Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion'/)
108 format(,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/)
1800 format(,5x,'EXIT -- optimal solution found')
1802 format(,5x,'EXIT -- near-optimal solution found'
$ /,5x,'XXX WARNING: reduced gradient is large --',
$ 'solution is not really optimal',/)
109 format(5x,'Del Nodo ',i3,' al Nodo ',i3,' Con un Flujo de ',f10.5,
*' MW para la etapa ',i3 )
110 format(10x,'Flujos de Potencia en los elementos de la red')
111 format(,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Generadores',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
112 format(,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
*-----
* Formatos utilizados para realizar el programa
*-----

return
end
```



Apéndice H

ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA PARA EL SIMULADOR DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN EL MERCADO ELÉCTRICO DESCENTRALIZADO

H.1 Archivo de datos de entrada para el operador del mercado eléctrico.

%%%

ARCHIVO PRINCIPAL DE DATOS PARA EL OPERADOR DEL MERCADO ELECTRICO

%%%

Datos del sistema:

Nombre del sistema	Sistema : EjemploA
Numero de termoelectricas del sistema	Termos = 3
Numero de Nodos del Sistema	Nodos = 3

Nombre de la Termoelectrica: Centra01	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0001
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 34.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 00.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 34.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 34.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 32.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 00.00

Nombre de la Termoelectrica: Centra02	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0002
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 25.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 00.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 25.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 25.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 25.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 00.00

Nombre de la Termoelectrica: Centra03	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0003
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 20.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 00.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 20.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 20.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 20.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 00.00

Numero de etapas que tienes el horizonte	numeta = 01
--	-------------

Costo por la potencia adjudicada	PreVarDem(1,01) = 65.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(1,01) = 20.00



Apéndice H

Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(1,01) = 00.00
Costo por la potencia adjudicada	PreVarDem(2,01) = 81.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(2,01) = 25.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(2,01) = 00.00
Costo por la potencia adjudicada	PreVarDem(3,01) = 55.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,01) = 15.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,01) = 00.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(4,01) = 400.10
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(4,01) = 34.10
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(4,01) = 34.10

H.2 Archivo de salida creado por el operador del mercado eléctrico.

```

*+++++*
*
*
*           Instituto Politecnico Nacional
*   Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*           E S I M E   Zacatenco
*
*
*           Subastas del Operador del Mercado
*
*   Se contempla las siguientes características:
*
* - La potencia inicial de cada generador
* - Potencia minima y potencia maxima de generacion
* - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*
*
*
* Realizado por:
*
*           Fabian Vazquez Ramirez
*
*
*                               Diciembre de 2005
*
*+++++*

```

EXIT -- optimal solution found

El valor de la funcion objetivo es: -2645.00000000

El Precio del mercado es de 32.000 \$/MW en la etapa: 1



Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Generadores
Cada Columna indica el numero de Etapa

Generacion Horaria	
1	15.00
2	25.00
3	20.00

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
Cada Columna indica el numero de Etapa

Potencias Adjudicadas	
1	20.00
2	25.00
3	15.00

H.3 Archivo de datos de entrada para el operador independiente del sistema mercado eléctrico para detectar contingencias.

%%%

DETECCION DE CONGESTION POR EL OPERADOR INDEPENDIENTE DEL SISTEMA

%%%

Datos del sistema:

Nombre del sistema	Sistema : EjemploA
Numero de termoelectricas del sistema	Termos = 3
Numero de Nodos del Sistema	Nodos = 3
Numero de etapas que tiene el horizonte	numeta = 1

Nombre de la Termoelectrica: Centra01	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 1
Potencia Adjudicada al generador en la etapa (1, 1) =	15.000

Nombre de la Termoelectrica: Centra02	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 2
Potencia Adjudicada al generador en la etapa (2, 1) =	25.000

Nombre de la Termoelectrica: Centra03	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 3
Potencia Adjudicada al generador en la etapa (3, 1) =	20.000

Potencia Demanda Adjudicada en la etapa (1, 1) =	20.000
---	--------



Apéndice H

Potencia Demanda Adjudicada en la etapa (2, 1) = 25.000
 Potencia Demanda Adjudicada en la etapa (3, 1) = 15.000

%%%

DATOS CARACTERISTICOS DE LA RED DE TRANSMISIÓN

%%%

Datos del sistema:

Numero de lineas de transmision del sistema elementos = 03

```

---1234---1234---12.4567890123---1234.67890
  Nodoi  Nodoj    Reactancia  Potencia limite de linea
              (PU)              (MW)
  0001   0002   00.00600      0010.00000
  0001   0003   00.00600      0010.00000
  0002   0003   00.00600      0010.00000
  
```

H.4 Archivo de salida creado por el operador independiente del sistema mercado eléctrico para detectar contingencias.

```

*+++++*
*
*                               *
*      Instituto Politecnico Nacional      *
*      Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion      *
*      E S I M E   Zacatenco      *
*
*                               *
*      Detección de las Contingencias      *
*
*
*      Se contempla las siguientes características:      *
*
* - La potencia adjudica a los generadores por el PX      *
* - La potencia demandada adjudica por el PX      *
*
*                               *
*      Realizado por:      *
*
*      Fabian Vazquez Ramirez      *
*
*                               *
*                               *      Diciembre de 2005      *
*
*+++++*
  
```

EXIT -- optimal solution found



El valor de la funcion objetivo es: 0.000000000
 Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion

Nota :
 Cada Fila indica Cada uno De los Generadores
 Cada Columna indica el numero de Etapa

Generacion Horaria
 1 15.00
 2 25.00
 3 20.00

Nota :
 Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
 Cada Columna indica el numero de Etapa

Potencias Adjudicadas
 1 20.00
 2 25.00
 3 15.00

Nota :
 Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
 Cada Columna indica el numero de Etapa

Angulo Nodal
 1 0.00000
 2 0.01000
 3 0.02000

Flujos de Potencia en los elementos de la red

Del Nodo	1 al Nodo	2	Con un Flujo de	-1.66667 MW para la etapa	1
Del Nodo	1 al Nodo	3	Con un Flujo de	-3.33333 MW para la etapa	1
Del Nodo	2 al Nodo	1	Con un Flujo de	1.66667 MW para la etapa	1
Del Nodo	2 al Nodo	3	Con un Flujo de	-1.66667 MW para la etapa	1
Del Nodo	3 al Nodo	1	Con un Flujo de	3.33333 MW para la etapa	1
Del Nodo	3 al Nodo	2	Con un Flujo de	1.66667 MW para la etapa	1



H.5 Archivo de datos de entrada para el operador independiente del sistema mercado eléctrico para liberar contingencias.

%%%

ARCHIVO PRINCIPAL DE DATOS PARA LA LIBERACIÓN DE LA FALLA

%%%

Datos del sistema:

Nombre del sistema	Sistema : EjemploA
Numero de termoelectricas del sistema	Termos = 3
Numero de Nodos del Sistema	Nodos = 3

Nombre de la Termoelectrica: Centra01	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0001
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 34.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 00.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 34.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 34.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 32.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 00.00

Nombre de la Termoelectrica: Centra02	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0002
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 25.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 00.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 25.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 25.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 25.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 00.00

Nombre de la Termoelectrica: Centra03	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0003
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 20.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 00.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 20.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 20.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 20.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 00.00

Numero de lineas de transmision del sistema elementos = 03

```

---1234---1234---12.4567890123---1234.67890
  Nodoi  Nodoj  Reactancia  Potencia limite de linea
          (PU)      (MW)
  0001   0002   00.00600   0010.00000
  0001   0003   00.00600   0003.00000
  0002   0003   00.00600   0010.00000

```

Numero de etapas que tienes el horizonte numeta = 01



Costo por la potencia adjudicada	PreVarDem(1,01) = 65.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(1,01) = 20.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(1,01) = 00.00
Costo por la potencia adjudicada	PreVarDem(2,01) = 81.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(2,01) = 25.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(2,01) = 00.00
Costo por la potencia adjudicada	PreVarDem(3,01) = 55.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,01) = 15.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,01) = 00.00

H.6 Archivo de salida creado por el operador independiente del sistema mercado eléctrico para liberar contingencias.

```

*+++++*
*
*
*           Instituto Politecnico Nacional
*   Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*           E S I M E   Zacatenco
*
*
*           Liberacion de la Congestion
*
*
*   Se contempla las siguientes características:
*
* - La potencia inicial de cada generador
* - Potencia minima y potencia maxima de generacion
* - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*
*
*   Tambien contempla las características de red:
*
* - Conexion entre nodos
* - Nodo al que pertenece cada generador.
*
*
* Realizado por:
*
*           Fabian Vazquez Ramirez
*
*
*                               Diciembre de 2005
*
*+++++*

```

EXIT -- optimal solution found

El valor de la funcion objetivo es: -2639.000000000
Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion



Apéndice H

El Precio del mercado es de 32.000 \$/MW para el nodo 1 en la etapa: 1

El Precio del mercado es de 26.000 \$/MW para el nodo 2 en la etapa: 1

El Precio del mercado es de 20.000 \$/MW para el nodo 3 en la etapa: 1

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Generadores
Cada Columna indica el numero de Etapa

Generacion Horaria

1	15.50
2	25.00
3	19.50

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
Cada Columna indica el numero de Etapa

Potencias Adjudicadas

1	20.00
2	25.00
3	15.00

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
Cada Columna indica el numero de Etapa

Angulo Nodal

1	0.00000
2	0.00900
3	0.01800

Flujos de Potencia en los elementos de la red

Del Nodo 1 al Nodo 2 Con un Flujo de -1.50000 MW para la etapa 1
Del Nodo 1 al Nodo 3 Con un Flujo de -3.00000 MW para la etapa 1

Del Nodo 2 al Nodo 1 Con un Flujo de 1.50000 MW para la etapa 1
Del Nodo 2 al Nodo 3 Con un Flujo de -1.50000 MW para la etapa 1

Del Nodo 3 al Nodo 1 Con un Flujo de 3.00000 MW para la etapa 1
Del Nodo 3 al Nodo 2 Con un Flujo de 1.50000 MW para la etapa 1



Apéndice I

ASIGNACIÓN DE UNIDADES GENERADORAS EN UN MERCADO ELÉCTRICO HÍBRIDO

I.1 Diagrama de bloques del SAUMEH





I.2 Programa principal del mercado eléctrico híbrido

```

*****
*                               *
*               asignacion de unidades                               *
*                               *
*     Este programa contempla la potencia inicial de cada generador, *
*     tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento *
*                               *
*               maximo de generacion                               *
*               Sistema Modular en base a la optimizacion no lineal *
*                               *
*     Realizado por:                                               *
*                               *
*     Fabian Vazquez Ramirez                                       Agosto de 2005 *
*****

character*24  archivo, archivol, opc, tipo, nomsis, Sistema
data
nwcore/1000000/
double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*               CostPar, CostVar, ConIni, Dmax, Pmaxi, Reserva,
*               z(1000000), Pmax, x, l, d1, d2, d3, tol,
*               xxn, objetivo, aux6, LimRamDecPot, VarDual
integer
*               num, linea, spc, itera, aux2, numeta, aux1, aux,
*               aux4, aux5, Termos, nodo, Nodos, Elementos

-----
*     Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
common / fvr1 /  xxn(10000),VarDual(10000)
common / fvr2 /  num, objetivo, aux99
common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, tipo, Sistema
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common /cycle2/  objtru,suminf,numinf
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*               LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*               CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*               ConIni(10000), aux1(10000), Dmax(10000),
*               Pmaxi(10000), nodo(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*               Potlimlin(10000), aux05(10000),
*               aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*               aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*               MaElem(1000,1000)
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)

-----
*     Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
-----

itera=1
tol=5e-5

Tipo='Asignacion'

call mps

100 continue

open(4,file='minimize.spc')
open(9,file=archivol)
open(10,file=archivo)

call minus1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

x(1)=xxn(1)

do i = 2 , numeta*termos + termos
x(i)=xxn(i)
d1(i)=abs(x(i)-Pmax(i))
d2(i)=abs(x(i)-0.00000)
d3(i)=abs(x(i)-l(i))

if((d1(i).ge.tol).and.(d2(i).ge.tol).and.(d3(i).ge.tol))then

```



```
open(10,file=archivo)
  do j=1, linea-1
    read(10,*)
  end do
  if(x(i-1).eq.0.00)then
    if(i.le.9)then
      write(10,203)i, l(i)
    else if(i.le.99)then
      write(10,204)i, l(i)
    else if(i.le.999)then
      write(10,205)i, l(i)
    else
      write(10,206)i, l(i)
    end if
  else
    if(i.le.9)then
      write(10,203)i, Pmax(i)
    else if(i.le.99)then
      write(10,204)i, Pmax(i)
    else if(i.le.999)then
      write(10,205)i, Pmax(i)
    else
      write(10,206)i, Pmax(i)
    end if
  end if
  write(6,202)i, x(i), Pmax(i), l(i)
  linea=linea+1
  close(10,status='keep')
  itera=itera+1
  goto 100
else
  write(6,202)i, x(i), Pmax(i), l(i)
end if
end do
pause

call escr

  Tipo='Despacho'

  call mps

  open(4,file='minimize.spc')
  open(9,file=Archivol)
  open(10,file=archivo)

  call minos1(z,nwcore)

close(4,status='keep')
close(9,status='keep')
close(10,status='keep')

aux=numeta
aux2=1
x(1)=xxn(1)
c write(*,*) objetivo
do i=2, num
  x(i)=xxn(i)
  c write(*,*)x(i),i
  if(i<(aux2*aux)+aux2+1)then
  c write(*,*)i, aux2
  if((x(i).ne.0.0).and.(x(i-1)<=tol))then
  c objetivo = objetivo+ CosArr(aux2)+CostFij(aux2)
  c write(*,*) objetivo,CosArr(aux2),CostFij(aux2), i,aux2
  else if(x(i)>=tol)then
  c objetivo=objetivo+CostFij(aux2)
  c write(*,*) objetivo, CostFij(aux2), i, aux2
  else if(x(i-1)>=tol.and.x(i)<=tol)then
  c objetivo=objetivo+CostPar(aux2)
  c write(*,*)objetivo, CostPar(aux2),i, aux2
  end if
  else
  aux2=aux2+1
  end if
end do

aux4=1
do j=1,numeta
  aux6(j)=00.00
  do i=1, Termos
```



```

        aux5= i+(numeta)*(i-1)+aux4
        if(x(aux5)>tol)then
            aux7=CostVar(i)*1.0
            if(aux7>aux6(j))then
                aux6(j)=aux7
            end if
        end if
        if(i==Termos)then
            aux4=aux4+1
        end if
        end do
c      write(6,209)aux6(j), j
    end do

    call escr

*-----*
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----*

202  format(//,5x,'Variable ',i4,//,5x,'Potencia Calculada ',F20.15,
*      //,5x,'Potencia Maxima ',F20.15,//,5x,'Incremento Maximo ',
*      F20.15)
203  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
204  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
205  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
206  format(lx,'FX',lx,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5,/, 'ENDATA')
207  format(///,5x,'No hay modificacion en *.MPS para la variable',i4)
208  format(//,5x,'Variable ',i4,//,5x,'Potencia Calculada ',F20.15,
*      //,5x,'Potencia Maxima ',F20.15,//,5x,'Incremento Maximo '
*      ,F20.15,//,5x,'Potencia Generada en la etapa anterior ',
*      F20.15)
209  format(/,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,' $/MW Para la ',
*      'etapa',i3)

*-----*
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----*

    stop
    end

```

I.3 Subrutina de lectura de datos y creación del archivo MPS del mercado eléctrico híbrido (MPS-SAUMEH)

```

*****
*
*          asignacion de unidades
*          Mercado Mayorista Hibrido
*          Subrrutina que lleva el archivo de datos caracteristicos de
*          los generadores y de la demanda de cada una de las etapas del
*          horizonte de planeación a la forma standart de minos
*
*
*          Realizado por:
*
*          Fabian Vazquez Ramirez                      Diciembre de 2005
*
*****

subroutine mps

double precision Pmin, LimRamIncPot, CostFij, CosArr,
*              CostPar, CostVar, ConIni, PDmaxi, Pmaxi, Reserva,
*              tol, Pmax, aux6, l, lxl, x, LimRamDecPot,
*              Reac, Potlimlin, MaReac, MaElem, CostVarDem,PDmin

character*24   archivo, nombre, opc, decic, entrada, nomsis,
*             clave, Sistema, archivol, Tipo

integer       filas, Vari, aux1, aux2, aux4, aux5, linea, aux7, ll, lx,
*             lxx, Termos, numeta, aux8, aux9, aux10, aux11,
*             Nodo, elementos, Nodoi, Nodoj, Nodos, aux05,
*             aux013, aux0130, aux016, aux06

*-----*
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----*

```



Apéndice I

```

common / fvr00/  opc(100000),Pmax(100000),ll(100000),l(100000)
common / fvr3 /  linea, archivo, archivol, Tipo, Sistema
common / fvr4 /  lxl(100000)
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common / fvr10/  nomsis(10000), Pmin(10000), LimRamIncPot(10000),
*              LimRamDecPot(10000), CostFij(10000),
*              CosArr(10000), CostPar(10000), CostVar(10000),
*              ConIni(10000), auxl(10000), Dmax(10000),
*              Pmaxi(10000), Nodo(10000),CostVarDem(10000),
*              PDmin(10000), PDmaxi(10000)
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*              Potlimlin(10000), aux05(10000),
*              aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*              aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*              MaElem(1000,1000), aux06(10000)
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)
-----
*
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*
-----
*
*   Lectura de datos para hacer la asignacion de uniades
*
if(Tipo=='Asignacion')then
  write(6,1000)
  read(5,2000) entrada
end if

open(1,file=entrada)

read(1,3000) Sistema, Termos, Reserva, Nodos
c write(*,*) Sistema, Termos, Reserva, Nodos
do k=1,Termos
  read(1,3001) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*           LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k), CostVar(k),
*           ConIni(k)
  write(*,*) Nomsis(k), nodo(k), Pmaxi(k), Pmin(k),
*           LimRamIncPot(k), LimRamDecPot(k), CostVar(k),
*           ConIni(k)
end do
pause
read(1,3004) Elementos

do i = 1, Nodos
  do j = 1, Nodos
    MaReac(i,j)=0.00
  end do
end do
aux040 = 1
do i = 1, Elementos
  read(1,3005) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
c write(*,*) Nodoi(i), Nodoj(i),Reac(i),Potlimlin(i)
  MaReac(Nodoi(i),Nodoj(i))=1/Reac(i)
  MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))=1/Reac(i)
c write(*,*)MaReac(Nodoj(i),Nodoi(i))
  MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
  MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
  aux040=aux040+1
  MaElem(aux040, Nodoi(i))=1/Reac(i)
  MaElem(aux040, Nodoj(i))=-1/Reac(i)
  aux040=aux040+1
end do

c call umach (-2, 6)
c call wropt (-1,1,1)
c call dwrrrn ('Reactancias', Elementos, Elementos, MaReac, 1000, 0)
c call dwrrrn ('Elementos', Elementos*2, Elementos, MaElem, 1000, 0)
c pause

read(1,3002) numeta

do i=1,numeta*nodos
  read(1,3003) CostVarDem(i), PDmaxi(i), PDmin(i)
c write(*,*)numeta*nodos, i, CostVarDem(i), PDmaxi(i),PDmin(i)
c pause
end do

close(1,status= 'keep')
*

```



Apéndice I

* Lectura de datos para hacer la asignacion de unidades

*

* Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada

```

1000 format(//,9x,
*'+++++++',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Instituto Politecnico Nacional',
*/,9x,
** Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion',
*/,9x,
** E S I M E Zacatenco',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Asignacion de Unidades',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Se contempla las siguientes características:',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** - La potencia inicial de cada generador',
*/,9x,
** - Potencia minima y potencia maxima de generacion',
*/,9x,
** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa',
*/,9x,
** - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores',
*/,9x,
** - Costo fijo de generacion por unidad',
*/,9x,
** - Costo Variable de generacion por unidad',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Tambien contempla las características de red:',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** - Conexion entre nodos',
*/,9x,
** - Nodo al que pertenece cada generador.',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Realizado por:',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Fabian Vazquez Ramirez',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*/,9x,
** Diciembre de 2005',
*/,9x,
**',
*/,9x,
**',
*'+++++++',
*////,7x,'El Archivo de entrada de datos es ? ', $)

```

2000 format(A24)



Apéndice I

```

3000 format(////////,59x,a8,,59x,i4,,59x,f8.3,,59x,i4)
3001 format(///,29x,a8,,59x,i8,,59x,f10.3,,59x,f10.3,,
*      59x,f10.3,,59x,f10.3,,59x,f10.3,,59x,f10.3)
3002 format(///,59x,i4,/)
3003 format(59x,f10.4,,59x,f10.3/,59x,f10.3,/)
3004 format(///,59x,i4,////)
3005 format(3x,i4,3x,i4,3x,f13.10,3x,f10.5)

```

```

*-----
*      Formatos empleados para la Lectura de datos del archivo de entrada
*-----

```

```

*
*      Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*
if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,003)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo1
  close(2,status='delete')
  do i=1, Termos
    Dmax(i)=((100.0+Reserva)/100.0)*Dmax(i)
  end do
else
  open(unit=2,file='Fabian.Sal')
  write(2,004)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,005)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo1
  close(2,status='delete')
end if

```

```

*
*      Creacion del nombre del archivo MPS y SAL
*

```

```

  open(10,file=archivo)

```

```

nombre='Asignacion'

```

```

*
*      Escritura en el archivo *MPS
*

```

```

  write(10,201)nombre

```

```

*
*      Escritura en el archivo *MPS
*

```

```

*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

```

```

002 format(a8,'Asignacion.MPS')
003 format(a8,'Asignacion.Sal')
004 format(a8,'Despacho.MPS')
005 format(a8,'Despacho.Sal')
101 format(a22)
102 format(a20)
201 format('NAME',10x,a8,/, 'ROWS')

```

```

*-----
*      Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS

```



Apéndice I

```

-----
c      Cuantas filas tiene tu problema ?

filas=1+(numeta*Nodos)+2*Termos*numeta + 2*elementos*numeta
c      write(*,*) filas

c      Si la fila es menor o igual      (L)
c      Si la fila es mayor o igual     (G)
c      Si la fila es igual             (E)
c      Si la fila es la funcion objetivo (N)
c      Si la fila es libre              (M)

*      La variable opc(i) sirve para determinar la clave de la fila

linea=2
lx=1
aux01=numeta*Nodos
aux03 = aux01 + 2*elementos*numeta
aux02=aux03 + Termos*numeta + Termos
aux04=1
c      write(*,*) aux01, aux02, aux03
do i=1, filas
    linea=linea+1

*
*      Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*

    if(i==1)then
        opc(i)='N'
        write(10,200)i
    else
        if(i<=9.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i<=aux01+1)then
            opc(i)='E'
            write(10,205)opc(i),i

        else if(i<=9.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                opc(i)='L'
                aux04=1
            end if
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                opc(i)='L'
                aux04=1
            end if
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                opc(i)='L'
                aux04=1
            end if
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i>aux01+1.and.i<=aux03+1)then
            if(aux04==1)then
                opc(i)='G'
                aux04=0
            else
                opc(i)='L'
                aux04=1
            end if
            write(10,205)opc(i),i
    end if
end do

```



```

        else if(i<=9.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,202)opc(i),i
        else if(i<=99.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,203)opc(i),i
        else if(i<=999.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,204)opc(i),i
        else if(i<=9999.and.i>aux01+1)then
            opc(i)='L'
            write(10,205)opc(i),i
        end if
    end if
    if(opc(i).eq.'L'.and.i>aux03+1.and.i<=aux02+1)then
        ll(lx)=i
        lx=lx+1
    end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS y determinacion de la clave para la fila
*
c   write(*,*)opc(i),i
    end do
c   write(*,*) lx
c   pause
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
    write(10,206)

*
*   Escritura en el archivo *MPS
*

    linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----
200  format(lx,'N',2x,'FVR000',i1)
202  format(lx,A1,2x,'FVR000',i1)
203  format(lx,A1,2x,'FVR00',i2)
204  format(lx,A1,2x,'FVR0',i3)
205  format(lx,A1,2x,'FVR',i4)
206  format('COLUMNS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

c   'Cuántas variables tiene el problema ?

    vari=(numeta*Termos) + Termos + 2*(numeta*nodos)
c   write(*,*) vari
c   pause

*
*   LA VARIABLE Vari SIRVE PARA DETERMINAR EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA
*
*
*   EN ESTE DO SE LLENA LA MATRIZ A
*   DONDE:
*   aux1 ES EL NUMERO DE VECES QUE APARECE LA VARIABLE EN EL PROBLEMA
*   aux2 ES EL NUMERO DE LA FILA EN QUE APARECE DICHA VARIABLE
*   aux3 ES LA RELACION NUMERICA QUE EXISTE ENTRE LA FILA Y LA VARIABLE
*

*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*

***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****

    aux01=numeta*termos + termos
    do i= 1, nodos
        aux01 = aux01 + 1
    end do

```



Apéndice I

```

        aux05(aux01) = 0
        do j=1, nodos
            if(MaReac(i,j).ne.0.0)then
                aux05(aux01) = aux05(aux01) + 1
            end if
        end do
        aux05(aux01)= 3*aux05(aux01) + 1
    end do
c    pause
***** Calculo del numero de variables en la matriz de Suceptancias *****

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

        do i = 1, Elementos
            do j = 1, Elementos
                if(i.ne.j)then
                    MaReac(i,i) = MaReac(i,i) + MaReac(i,j)
                    MaReac(i,j) = - MaReac(i,j)
                end if
            end do
        end do

***** LLenado de la matriz de Suceptancias *****

c    call umach (-2, 6)
c    call wropt (-1,1,1)
c    call dwrrrn('M. de Reactancias',Elementos,Elementos,MaReac,1000,0)
c    pause

aux01=numeta*termos + termos
aux8=1

do i=1,vari
    if(i==1.and. i<=aux01)then
        aux1(i)=2
    else if(i==(aux8*numeta)+aux8).and. i<=aux01)then
        aux1(i)=4
    else if(i==(aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
        aux1(i)=2
    else if(i<((aux8*numeta)+1+aux8).and. i<=aux01)then
        aux1(i)=6
    end if

    if(i-(1+aux8)==aux8*numeta)then
        aux8=aux8+1
    end if

    if(i>aux01.and.i<=aux01+(numeta*nodos))then
        aux1(i)=aux05(i)
    else if(i>aux01+(numeta*nodos))then
        aux1(i)=2
    end if
c    write(*,*)i, aux1(i), vari
c    pause

*
*   Determinacion de numero de apariciones de la variable en la matriz caracteristica
*
*
*   Llenado de la matriz caracteristica
*

aux8 = 1
aux9 = 1
aux10 = 2
aux12 = 2
aux011 = 1
aux012 = 1
aux015 = termos + termos*numeta
aux016 = 1
aux017 = 1
aux018 = 1
aux020 = 0
aux021 = 2
aux050 = 1
aux051 = 1

```



Apéndice I

```

***** P R U E B A *****
do i = aux015+1, aux015 + nodos
  aux019 = 1
5000  continue
***** Balance Nodal *****
  if(MaReac(aux012,aux011).ne.0.0.and.aux019==1)then
    aux013(i,aux016) = aux012*numeta - numeta + 2 + aux020
    aux014(i,aux016) = MaReac(aux012,aux011)
c      write(*,*) i, aux016, aux013(i,aux016), aux014(i,aux016), aux011,
c *      aux012, MaReac(aux012,aux011)
    aux012 = aux012 + 1
    aux016 = aux016 + 1
    goto 5001
  else if(aux019==1) then
    aux012 = aux012 + 1
    goto 5001
  end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****

  if(MaElem(aux018,aux017).ne.0.0.and.aux019==2)then
    aux013(i,aux016) = nodos*numeta + aux018 + 1
    aux014(i,aux016)=MaElem(aux018,aux017)
c      write(*,*) i,aux016,aux013(i,aux016),aux014(i,aux016)
c *      ,aux018, aux017, aux016
c      pause
    aux018 = aux018 + 1
    aux016 = aux016 + 1
    aux021 = aux021 + 1
    goto 5002
  else
    aux018 = aux018 + 1
  end if
***** Restricciones de red *****

***** Balance Nodal *****
5001  if(aux012==nodos+1)then
  aux012=1
  aux019=2
  if(aux011<nodos+1)then
    aux011 = aux011 + 1
  else
    aux011 = 1
    aux020 = aux020 + 1
    aux019 = 1
  end if
end if
***** Balance Nodal *****

***** Restricciones de red *****
5002  if(aux017==nodos+1)then
  aux017=1
  aux019=1
end if
***** Restricciones de red *****
  if(aux016==aux1(i)+1)then
    aux016 = 1
    aux017 = aux017 + 1
    aux018 = 1
    if(aux018<=Elementos*2)then
      aux018 = 1
    end if
  else
    goto 5000
  end if
end do

aux0131 = aux015+1
aux0132 = 0

*****
aux01 = numeta*termos + termos
aux054 = aux01 + 1

do i= 1, nodos
  aux01 = aux01 + 1
c      write(*,*) aux01, aux05(aux01)
  do k = 1, numeta
    aux06(aux054) = aux05(aux01)
c      write(*,*) aux054, aux06(aux054)
    aux054 = aux054 + 1

```



Apéndice I

```

        end do
    end do
    do i= aux015+1, vari-(numeta*nodos)
        aux1(i) = aux06(i)
c       write(*,*) i, aux1(i)
    end do
*****

    do i = aux015+1, aux015 + nodos*numeta
        do j = 1 , aux1(i)
            if(j<=((aux1(i)-1)/3) + 1) then
                aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + aux0132
                aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
c       *   write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
c           *   aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
            else
                aux0130(i,j) = aux013(aux0131, j) + 2*aux0132*Elementos
                aux0140(i,j) = aux014(aux0131, j)
c       *   write(*,*) i, j, aux0130(i,j), aux0140(i, j),
c           *   aux013(aux0131,j), aux014(aux0131, j)
            end if
        end do
c       write(*,*) aux0132
        if(aux0132==numeta - 1)then
            aux0131 = aux0131 + 1
            aux0132 = 0
            if(aux0131==numeta+1)then
                aux0131=1
            end if
        else
            aux0132 = aux0132 + 1
        end if
c       write(*,*) aux0131
c       pause
    end do

***** P R U E B A *****
    do i=1, Vari
        aux10=aux10-1
        aux11=2
        do j=1, aux1(i)
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
            if(i==1.and.j==1)then
                aux2 = (aux8*numeta*nodos) + 1 + aux8
                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                aux3 = -1.0
c       *   write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c       pause
            else if(i==1.and.j==2)then
                aux2 = (aux8*numeta*nodos) + (1+aux8) + termos*numeta
                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                aux3 = 1.0
c       *   write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
c       pause
            else if(j==1.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                aux2 = j
                aux3 = CostVar(aux9)
c       *   write(*,*) 'j=1', i, j, aux2, aux3
c       pause
            else if(j==2.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                aux2 = (nodo(aux8) - 1)*numeta + aux12
                aux12= aux12+1
                aux3 = -1.0
c       *   write(*,*)'j=2', i, j, aux2, aux3
c       pause
            else if(j==3.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10
                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                aux3 = 1.0
                aux10= aux10 + 1
                aux11= aux11 - 1
c       *   write(*,*) 'j=3', i, j, aux2, aux3
c       pause
            else if(j==4.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                if(aux10.ne.numeta*aux8)then
                    aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10
                    aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                    aux3 = -1.0
c       *   write(*,*) 'j=4', i, j, aux2, aux3
                else
                    aux2 = numeta*nodos + 1 + aux10 + termos*numeta
                    aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                end if
            end if
        end do
    end do

```



Apéndice I

```

                                aux3 = -1.0
c                                write(*,*)'j=5', i, j, aux2, aux3
                                end if
c    pause
                                else if(j==5.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                                aux2 = numeta*nodos + 1 + aux10 + termos*numeta
                                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                                aux3 = -1.0
c                                write(*,*) 'j=5', i, j, aux2, aux3
c    pause
                                else if(j==6.and.i>1.and.i<(aux8*numeta + aux8 + 1))then
                                aux2 = numeta*nodos + 2 + aux10 + termos*numeta
                                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                                aux3 = 1.0
                                aux10= aux10+1
c                                write(*,*) 'j=6', i, j, aux2, aux3
c    pause
                                else if(i-(1+aux8)==aux8*numeta.and.aux8<=Termos-1)then
                                if(j==1)then
                                aux2 = numeta*nodos + 3 + aux10
                                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                                aux3 = -1.0
c                                write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
                                else
                                aux2 = numeta*nodos + 3 + aux10 +termos*numeta
                                aux2 = aux2 + 2*Elementos*numeta
                                aux3 = 1.0
c                                write(*,*) 'con ini', i, j, aux2, aux3
                                aux8 = aux8+1
                                aux9 = aux9+1
                                aux10= aux10+2
                                aux12= 2
                                if(aux8 == Termos + 1)then
                                aux8=0
                                end if
                                end if
                                end if
***** Generadores, Incremento y Decremento *****
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****

                                else if(i>(aux015).and.i<=vari-(numeta*nodos))then
                                aux2 = aux0130(i,j)
                                aux3 = aux0140(i,j)
                                else if(i>=vari-(numeta*nodos).and.aux051==1)then
                                aux2 = 1.0
                                aux3 = -1.0*CostVarDem(aux050)
                                aux051 = 2
                                else if(i>=vari-(numeta*nodos).and.aux051==2)then
                                aux050 = aux050 + 1
                                aux2 = aux050
                                aux3 = 1.0
                                aux051 = 1
***** Red de Transmision y Balance Nodal *****
                                end if
*
*    Escritura en el archivo *MPS (matriz caracteristica)
*
                                if(i.le.9)then
                                linea=linea+1
                                if(aux2.le.9)then
                                write(10,207)i,aux2,aux3
                                else if(aux2.le.99)then
                                write(10,208)i,aux2,aux3
                                else if(aux2.le.999)then
                                write(10,209)i,aux2,aux3
                                else
                                write(10,210)i,aux2,aux3
                                end if
                                else if(i.le.99)then
                                linea=linea+1
                                if(aux2.le.9)then
                                write(10,211)i,aux2,aux3
                                else if(aux2.le.99)then
                                write(10,212)i,aux2,aux3
                                else if(aux2.le.999)then
                                write(10,213)i,aux2,aux3
                                else
                                write(10,214)i,aux2,aux3
                                end if
                                else if(i.le.999)then
                                linea=linea+1

```



```

        if(aux2.le.9)then
            write(10,215)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
            write(10,216)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
            write(10,217)i,aux2,aux3
        else
            write(10,218)i,aux2,aux3
        end if

    else
        linea=linea+1
        if(aux2.le.9)then
            write(10,219)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.99)then
            write(10,220)i,aux2,aux3
        else if(aux2.le.999)then
            write(10,221)i,aux2,aux3
        else
            write(10,222)i,aux2,aux3
        end if

    end if

*
*   Escritura en el archivo *MPS (matriz característica)
*
c   write(*,*)i,aux2,aux3
    end do
c   pause
end do
*
*   Llenado de la matriz característica
*
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
        write(10,223)
*
*   Escritura en el archivo *MPS
*
        linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

207 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
208 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
209 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
210 format(4x,'X000',i1,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
211 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
212 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
213 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
214 format(4x,'X00',i2,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
215 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
216 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
217 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
218 format(4x,'X0',i3,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
219 format(4x,'X',i4,5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
220 format(4x,'X',i4,5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
221 format(4x,'X',i4,5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
222 format(4x,'X',i4,5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
223 format('RHS')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

*
*   EN ESTA PARTE ES LLENADA EL VECTOR DE DESIGUALDADES
*   DONDE:
*   i REPRESENTA LA FILA &
*   b ES EL VALOR DE LA DESIGUALDAD PARA LA FILA i
*
        lxx=1
        aux8=1
        aux022 = nodos*numeta

```



Apéndice I

```

aux023 = 1
aux024 = 2*elementos*numeta
aux025 =aux024 + Termos*numeta
aux026=1
aux027=1
aux028=1
aux029=1
do i=2,filas

*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*

      linea=linea+1
      if(i.le.aux022+1)then
        b=0.0
c      write(*,*)i,b
      else if(i>(aux022*aux8)-aux8.and.(i<=(aux024+aux022)+1))then
        if(opc(i)=='G')then
          b=-Potlimlin(aux023)
        else
          b=Potlimlin(aux023)
        end if
c      write(*,*)i,b, aux023
        if(aux023<Elementos.and.opc(i).ne.'G')then
          aux023=aux023+1
        else if (aux023>=Elementos.and.opc(i).ne.'G') then
          aux023=1
        end if
      else if(i>(aux024+aux022)+1.and.(i<=aux025 + aux022 + 1))then
c      b=LimRamIncPot(aux026)
        aux027 = aux027 + 1
        write(*,*)i, b, aux026
        if(aux027==numeta+1)then
          aux026 = aux026 + 1
          aux027 = 1
        end if
      else
c      b=LimRamDecPot(aux028)
        aux029 = aux029 + 1
        write(*,*)i,b
        if(aux029==numeta+1)then
          aux028 = aux028 + 1
          aux029 = 1
        end if
      end if

*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

      if(i.le.9)then
        write(10,224)i,b
      else if(i.le.99)then
        write(10,225)i,b
      else if(i.le.999)then
        write(10,226)i,b
      else
        write(10,227)i,b
      end if

*
*   Escritura en el archivo MPS del vector de desigualdades
*

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

      do k=1,lx-1
        if(ll(k).eq.i)then
          lx1(lxx)=b
c      write(*,*)lx1(k), k
          lxx=lxx+1
        end if
      end do

*
*   Llenado de el vector de incrementos de potencia de cada generador
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades

```



Apéndice I

```

*
*
*   Llenado del vector de desigualdades para la matriz de restricciones
*
      end do
c   pause
*
*   Escritura en el archivo MPS
*
      write(10,233)
*
*   Escritura en el archivo MPS
*
      linea=linea+1
*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*
224 format(4x,'MINOS',5x,'FVR000',i1,3x,f12.5)
225 format(4x,'MINOS',5x,'FVR00',i2,3x,f12.5)
226 format(4x,'MINOS',5x,'FVR0',i3,3x,f12.5)
227 format(4x,'MINOS',5x,'FVR',i4,3x,f12.5)
233 format('BOUNDS')
*-----*
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----*

aux4=Vari

*   aux4  ES EL NUMERO DE COTAS QUE TIENE EL PROBLEMA

c       Para limite inferior           LO
c       Para limite superior           UP
c       Para variable fija             FX
c       Para variable libre            FR
c       Para variable de menos infinito MI
c       Para variable a mas infinito   PL

*
*   EN ESTA PARTE SE DETERMINA LAS COTAS DE LAS VARIABLES CON SUS RESPECTIVAS CLAVES
*   DONDE:
*   aux5  ES EL NUMERO DE LA VARIABLE
*   clave ES EL TIPO DE LIMITE PARA LA VARIABLE
*   aux6  ES LA COTA PARA DICHO LIMITE DE LA VARIABLE
*
      aux030 = Termos * Numeta + Termos
      aux031 = 0.0
      lxx=1
      aux8=1
      aux052 = 1

      do i=1, Vari

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador para el despacho economico
*

      linea=linea+1
      if(i<=Termos*numeta + Termos) then
        if(i=1)then
          aux5=i
          clave='FX'
          aux6=ConIni(i)
c       write(*,*)aux5,'      ', clave, aux6
c   pause
        else if((i.ne.1).and.(i<=(aux8*numeta)+aux8))then
c       if(x(i)>tol)then
          aux5=i
          clave='LO'
          aux6=Pmin(aux8)
          if(aux5.le.9)then
            write(10,228)clave,aux5,aux6
c       write(*,*)clave,aux5,aux6

```



Apéndice I

```

        else if(aux5.le.99)then
            write(10,229)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c
        else if(aux5.le.999)then
            write(10,230)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c
        else
            write(10,231)clave,aux5,aux6
            write(*,*)clave,aux5,aux6
c
        end if
            aux5=i
            clave='UP'
            aux6=Pmaxi(aux8)
            linea=linea+1

    else

        aux5=i
        clave='FX'
        aux6=ConIni(aux8+1)
        aux8=aux8+1
c
        write(*,*)aux5,'          ',clave,aux6
c
        aux5=i
        clave='FX'
c
        aux6=x(i)
c
        aux8=aux8+1
    end if
else if (i>aux030.and.i<= aux030 + numeta)then
    aux5=i
    clave='FX'
    aux6= 00.00
    aux031 = aux031 + 1
c
    write(*,*)aux5,'          ',clave,aux6
else if(i>numeta.and.i<=vari-(numeta*nodos))then
    aux5=i
    clave='LO'
    aux6= -20.0
c
    write(*,*)aux5,'          ',clave,aux6
    linea=linea+1
    if(aux5.le.9)then
        write(10,228)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.99)then
        write(10,229)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.999)then
        write(10,230)clave,aux5,aux6
    else
        write(10,231)clave,aux5,aux6
    end if
    end if
    aux5=i
    clave='UP'
    aux6= 20.0
c
    write(*,*)aux5,'          ',clave,aux6
else if(i>vari-(numeta*nodos))then
    aux5=i
    clave='LO'
    aux6= PDmin(aux052)
c
    write(*,*)aux5,'          ',clave,aux6
    linea=linea+1
    if(aux5.le.9)then
        write(10,228)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.99)then
        write(10,229)clave,aux5,aux6
    else if(aux5.le.999)then
        write(10,230)clave,aux5,aux6
    else
        write(10,231)clave,aux5,aux6
    end if
    end if
    aux5=i
    clave='UP'
    aux6= PDmaxi(aux052)
    aux052 = aux052 + 1
c
    write(*,*)aux5,'          ',clave,aux6

c
    pause
end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*

    if(aux5.le.9)then

```



Apéndice I

```

                write(10,228)clave,aux5,aux6
c                write(*,*)clave,aux5,aux6
                else if(aux5.le.99)then
                write(10,229)clave,aux5,aux6
c                write(*,*)clave,aux5,aux6
                else if(aux5.le.999)then
                write(10,230)clave,aux5,aux6
c                write(*,*)clave,aux5,aux6
                else
c                write(10,231)clave,aux5,aux6
                write(*,*)clave,aux5,aux6
                end if

*
*   Escritura en el archivo MPS limites y condiciones iniciales para el
*   Despacho economico
*

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

                if (clave.eq.'UP'.and.i<=Termos*numeta + Termos) then
                Pmax(aux5)=1e20
                Pmax(aux5)=aux6*1.0
                l(aux5)=lxl(lxx)
                lxx=lxx+1
                end if

*
*   Llenado del vector de potencia maxima de generacion
*   que es utilizado en el programa principal de asignacion de unidades
*

*
*   Llenado de los limites de potencia minima y maxima de generacion y
*   condiciones inicales de cada generador
*

                end do
c                end if

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

                write(10,232)

*
*   Escritura en el archivo MPS
*

                linea=linea+1

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

228 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X000',i1,5x,f12.5)
229 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X00',i2,5x,f12.5)
230 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X0',i3,5x,f12.5)
231 format(1x,a2,1x,'MINOSS',4x,'X',i4,5x,f12.5)
232 format('ENDATA')

*-----
*   Formatos empleados para la Escritura del archivo MPS
*-----

                close(10,status='keep')
c                write(*,*)'Lineas', Linea
c                pause
                return
                end
```



I.4 Subrutina de escritura del archivo de salida del mercado eléctrico híbrido (ESCR-SAUMEH)

```

*****
*                               *
*               asignacion de unidades                               *
*                               *
*                               *
*      Este programa contempla la potencia inicial de cada generador, *
*      tambien contempla la potencia maxima de generacion y el incremento *
*                               *
*               maximo de generacion                               *
*                               *
*      Realizado por:                                             *
*                               *
*      Fabian Vazquez Ramirez                                     julio de 2005 *
*                               *
*****
    
```

```

subroutine escr
use msimsl

character*24   archivo, archiv01, opc, tipo, nomsis, Sistema
integer       Termos, numeta, Nodos, Elementos, aux102, aux103
parameter     lda=1000
real          a(lda,lda)
double precision xxn, objetivo, aux6, MaReac, VarDual

*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----
common / fvr1 /  xxn(10000),VarDual(10000)
common / fvr2 /  num, objetivo, aux99
common / fvr3 /  linea, archivo, archiv01, tipo, Sistema
common / fvr5 /  x(100000),d1(100000),d2(100000),d3(100000)
common / cycle2/  objtru,suminf,numinf
common / fvr11/  Termos, numeta, tol
common / fvr12/  aux6(10000)
common / fvr13/  Nodoi(10000), Nodoj(10000),Reac(10000),
*               Potlimlin(10000), aux05(10000),
*               aux013(1000,1000),aux014(1000,1000),
*               aux0130(1000,1000), aux0140(1000,1000),
*               MaElem(1000,1000)
common / fvr14/  rgtestt
common / fvr15/  Nodos, Elementos, MaReac(1000,1000)

*-----
*   Bloques comunes utilizados para el enlace entre Asignacion, Mmps y Minos
*-----

if(Tipo=='Asignacion')then
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,001)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,101)archivo
  close(2,status='delete')
  open (11,file=archivo)
  write(11,103)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
  write(11,107) objetivo
else
  open(2,file='Fabian.Sal')
  write(2,002)Sistema
  close(2,status='keep')
  open(2,file='Fabian.Sal')
  read(2,102)archivo
  close(2,status='delete')
  open(11,file=archivo)
  write(11,104)
  if (rgtestt<0.1) then
    write(11,1800)
  else
    write(11,1802)
  end if
  write(11,108) objetivo
  do i=1, numeta
    do j=1, nodos
      write(11,105)-1.0*VarDual(((i-1)*nodos)+j+1), j, i
    
```



Apéndice I

```
        end do
    end do
end if

k=1
j=1
do i=1, num
    a(k,j)=xxn(i+k)*1.0
    write(*,*) k,j,i, a(k,j)
c    if(i==(k*numeta))then
        k=k+1
        j=1
    else
        j=j+1
    end if
end do

c    pause

write(11,106)
call umach (-2, 11)
    call wropt (-1,1,1)
    write(11,111)
call wrrrn ('Generacion Horaria', Termos, numeta, a, lda, 0)

k=1
j=1

do i = num - (numeta*nodos) + 1, num
    a(k,j)=xxn(i)*1.0
    write(*,*) k,j,i, a(k,j)
c    if(j=numeta)then
        k=k+1
        j=1
    else
        j=j+1
    end if
end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
    call wropt (-1,1,1)
    write(11,112)
call wrrrn ('Potencias Adjudicadas', Nodos, numeta, a, lda, 0)
c    pause

    Aux100= Numeta * Termos + Termos + 1

k=1
j=1

do i = Aux100, num - (numeta*nodos)
    a(k,j)=xxn(i)*1.0
    write(*,*) k,j,i, a(k,j)
c    if(j=numeta)then
        k=k+1
        j=1
    else
        j=j+1
    end if
end do

write(11,106)
call umach (-2, 11)
    call wropt (-1,1,1)
    write(11,112)
call wrrrn ('Angulo Nodal', Nodos, numeta, a, lda, 0)
c    pause

write(11,106)
    write(11,110)
aux100 = aux100 - 1

do k = 1, numeta
    do i = 1, Elementos
        write(11,106)
        do j = 1, Elementos
c            write(*,*) MaReac(i,j), xxn(aux100 + k + i - 1)
                if(i.ne.j.and.MaReac(i,j).ne.0.0)then
                    aux102 = numeta*(i-1)
                    aux103 = numeta*(j-1)
c                    write(*,*) aux102, aux103, aux100
```



Apéndice I

```

        aux101 = xxn(aux100 + k + aux102)
        aux101 = aux101 - xxn(aux100 + k + aux103)
        aux101 = aux101 * (-1.0*MaReac(i,j))
        write(11,109) i, j, aux101, k
    end if
end do
end do
end do
c  pause
   close(11,status='keep')

*-----
*   Formatos utilizados para realizar el programa
*-----
001 format(a8,'Asignacion1.Sal')
002 format(a8,'Despachol.Sal')
101 format(a23)
102 format(a21)
103 format(//,10x,
**+++++*****',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   Instituto Politecnico Nacional   **',
*/,10x,
**   Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion   **',
*/,10x,
**           E S I M E   Zacatenco           **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   Asignacion de Unidades   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   Se contempla las siguientes características:   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   - La potencia inicial de cada generador   **',
*/,10x,
**   - Potencia minima y potencia maxima de generacion   **',
*/,10x,
**   - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa   **',
*/,10x,
**   - Precio Variable de generacion por unidad   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   Tambien contempla las características de red:   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   - Conexion entre nodos   **',
*/,10x,
**   - Nodo al que pertenece cada generador.   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   Realizado por:   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**   Fabian Vazquez Ramirez   **',
*/,10x,
**',
*/,10x,
**'
Diciembre de 2005 **'

```



```

*,10x,
**
*,10x,
**+++++*****
*/)

104 format(//,10x,
**+++++*****
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Instituto Politecnico Nacional
*/,10x,
** Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*/,10x,
** E S I M E Zacatenco
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Despacho de Unidades
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Se contempla las siguientes características:
*/,10x,
**
*/,10x,
** - La potencia inicial de cada generador
*/,10x,
** - Potencia minima y potencia maxima de generacion
*/,10x,
** - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
*/,10x,
** - Precio Variable de generacion por unidad
*/,10x,
**
*/,10x,
** Tambien contempla las características de red:
*/,10x,
**
*/,10x,
** - Conexion entre nodos
*/,10x,
** - Nodo al que pertenece cada generador.
*/,10x,
**
*/,10x,
**
*/,10x,
** Realizado por:
*/,10x,
**
*/,10x,
** Fabian Vazquez Ramirez
*/,10x,
**
*/,10x,
** Diciembre de 2005
*/,10x,
**
**+++++*****
*/)

105 format(//,5x,'El Precio del mercado es de ',f10.3,
** $/MW para el nodo ', i3 ' en la etapa: ',i3)
106 format(5x,//)
107 format(//,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,,
** 5x,'Unicamente Considerando Costos Variables de Generacion'//)

```



Apéndice I

```
108 format(//,5x,'El valor de la funcion objetivo es:', f20.9,/)
1800 format(///,5x,'EXIT -- optimal solution found')
1802 format(///,5x,'EXIT -- near-optimal solution found'
$ /,5x,'XXX WARNING: reduced gradient is large --',
$ 'solution is not really optimal',/)
109 format(5x,'Del Nodo ',i3,' al Nodo',i3,' Con un Flujo de ',f10.5,
*' MW para la etapa ',i3 )
110 format(10x,'Flujos de Potencia en los elementos de la red')
111 format(/,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Generadores',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
112 format(/,2x,'Nota :',
*/, 4x,'Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema',
*/, 4x,'Cada Columna indica el numero de Etapa',/)
*-----
* Formatos utilizados para realizar el programa
*-----

return
end
```



Apéndice J

ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA PARA EL SIMULADOR DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES EN EL MERCADO ELÉCTRICO HÍBRIDO

J.1 Archivo de datos de entrada del mercado eléctrico híbrido

%%%

ARCHIVO PRINCIPAL DE DATOS PARA EL PROGRAMA TERMOELECTRICO

%%%

Datos del sistema:

Nombre del sistema	Sistema : EjemploD
Numero de termoelectricas del sistema	Termos = 3
Porcentaje de reserva rodante del sistema	Reserva = 00.0
Numero de Nodos del Sistema	Nodos = 6

Nombre de la Termoelectrica: Centra01	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0001
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 247.50
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 25.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 120.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 120.00
Costo Fijo de Generacion	CostFij = 17.00
Costo de Arranque del Generador	CostArr = 30.00
Costo de Paro del Generador	CostPar = 05.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 22.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 40.00

Nombre de la Termoelectrica: Centra02	
Numero del nodo al que esta conectada	Nodo = 0002
Potencia máxima de Generacion	Pmax = 192.00
Potencia Mínima de generacion	Pmin = 19.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia	LimRamIncPot = 080.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia	LimRamDecPot = 110.00
Costo Fijo de Generacion	CostFij = 20.00
Costo de Arranque del Generador	CostArr = 40.00
Costo de Paro del Generador	CostPar = 03.00
Costo Variable del Generador	CostVar = 26.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte	ConIni = 20.00



Apéndice J

Nombre de la Termoelectrica: Centra03
Numero del nodo al que esta conectada Nodo = 0003
Potencia máxima de Generacion Pmax = 128.00
Potencia Mínima de generacion Pmin = 13.00
Limite de Rampa de Incremento de Potencia LimRamIncPot = 050.00
Limite de Rampa de Decremento de Potencia LimRamDecPot = 090.00
Costo Fijo de Generacion CostFij = 23.00
Costo de Arranque del Generador CostArr = 20.00
Costo de Paro del Generador CostPar = 01.00
Costo Variable del Generador CostVar = 28.00
Potencia Generada antes de iniciar el horizonte ConIni = 15.00

Numero de lineas de transmision del sistema elementos = 06

---1234---1234---12.4567890123---1234.67890
Nodoi Nodoj Reactancia Potencia limite de linea
 (PU) (MW)
0001 0004 00.09200 0100.00000
0001 0005 00.08500 0100.00000
0002 0005 00.16100 0100.00000
0002 0006 00.07200 0100.00000
0003 0004 00.17000 0100.00000
0003 0006 00.10080 0100.00000

Numero de etapas que tienes el horizonte numeta = 05

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(1,01) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(1,01) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(1,01) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(1,02) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(1,02) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(1,02) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(1,03) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(1,03) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(1,03) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(1,04) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(1,04) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(1,04) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(1,05) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(1,05) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(1,05) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(2,01) = 000.00

potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(2,01) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(2,01) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(2,02) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(2,02) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(2,02) = 000.00

Costo por la potencia adjudicada CostVarDem(2,03) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion PDmaxi(2,03) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion PDmin(2,03) = 000.00



Apéndice J

Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(2,04) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(2,04) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(2,04) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(2,05) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(2,05) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(2,05) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(3,01) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,01) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,01) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(3,02) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,02) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,02) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(3,03) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,03) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,03) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(3,04) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,04) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,04) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(3,05) = 000.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(3,05) = 000.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(3,05) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(4,01) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(4,01) = 090.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(4,01) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(4,02) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(4,02) = 100.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(4,02) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(4,03) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(4,03) = 110.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(4,03) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(4,04) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(4,04) = 120.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(4,04) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(4,05) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(4,05) = 130.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(4,05) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(5,01) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(5,01) = 125.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(5,01) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(5,02) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(5,02) = 115.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(5,02) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(5,03) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(5,03) = 105.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(5,03) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(5,04) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(5,04) = 095.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(5,04) = 000.00



Apéndice J

Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(5,05) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(5,05) = 085.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(5,05) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(6,01) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(6,01) = 100.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(6,01) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(6,02) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(6,02) = 090.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(6,02) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(6,03) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(6,03) = 110.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(6,03) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(6,04) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(6,04) = 080.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(6,04) = 000.00
Costo por la potencia adjudicada	CostVarDem(6,05) = 070.00
potencia Minima de adjudicacion	PDmaxi(6,05) = 120.00
Potencia Maxima de adjudicacion	PDmin(6,05) = 000.00

J.2 Archivo de salida del mercado eléctrico híbrido

```

*+++++*
*
*
*           Instituto Politecnico Nacional
*   Seccion de Estudios de Posgrado e Investigacion
*           E S I M E   Zacatenco
*
*
*
*           Despacho de Unidades
*
*
*   Se contempla las siguientes características:
*
* - La potencia inicial de cada generador
* - Potencia minima y potencia maxima de generacion
* - Incremento y decremento maximo de generacion por etapa
* - Costo de arranque y paro de cada uno de los generadores
* - Costo fijo de generacion por unidad
* - Costo Variable de generacion por unidad
*
*
*   Tambien contempla las características de red:
*
* - Conexion entre nodos
* - Nodo al que pertenece cada generador.
*
*
* Realizado por:
*

```



```

*          Fabian Vazquez Ramirez          *
*                                          *
*                                          *
*                                          *
*                                          *
*+++++*

```

EXIT -- optimal solution found

El valor de la funcion objetivo es: -72189.368125502

```

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 1 en la
etapa: 1

El Precio del mercado es de 22.000 $/MW para el nodo 2 en la
etapa: 1

El Precio del mercado es de 22.000 $/MW para el nodo 3 en la
etapa: 1

El Precio del mercado es de 22.000 $/MW para el nodo 4 en la
etapa: 1

El Precio del mercado es de 22.000 $/MW para el nodo 5 en la
etapa: 1

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 6 en la
etapa: 1

El Precio del mercado es de 26.000 $/MW para el nodo 1 en la
etapa: 2

El Precio del mercado es de 26.000 $/MW para el nodo 2 en la
etapa: 2

El Precio del mercado es de 26.000 $/MW para el nodo 3 en la
etapa: 2

El Precio del mercado es de 25.524 $/MW para el nodo 4 en la
etapa: 2

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 5 en la
etapa: 2

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 6 en la
etapa: 2

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 1 en la
etapa: 3

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 2 en la
etapa: 3

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 3 en la
etapa: 3

El Precio del mercado es de 28.000 $/MW para el nodo 4 en la
etapa: 3

```



Apéndice J

El Precio del mercado es de etapa: 3	29.968	\$/MW	para el nodo	5	en la
El Precio del mercado es de etapa: 3	29.968	\$/MW	para el nodo	6	en la
El Precio del mercado es de etapa: 4	29.968	\$/MW	para el nodo	1	en la
El Precio del mercado es de etapa: 4	30.435	\$/MW	para el nodo	2	en la
El Precio del mercado es de etapa: 4	28.000	\$/MW	para el nodo	3	en la
El Precio del mercado es de etapa: 4	24.137	\$/MW	para el nodo	4	en la
El Precio del mercado es de etapa: 4	24.137	\$/MW	para el nodo	5	en la
El Precio del mercado es de etapa: 4	24.137	\$/MW	para el nodo	6	en la
El Precio del mercado es de etapa: 5	23.218	\$/MW	para el nodo	1	en la
El Precio del mercado es de etapa: 5	28.000	\$/MW	para el nodo	2	en la
El Precio del mercado es de etapa: 5	26.833	\$/MW	para el nodo	3	en la
El Precio del mercado es de etapa: 5	26.833	\$/MW	para el nodo	4	en la
El Precio del mercado es de etapa: 5	26.833	\$/MW	para el nodo	5	en la
El Precio del mercado es de etapa: 5	26.556	\$/MW	para el nodo	6	en la

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Generadores
Cada Columna indica el numero de Etapa

Generacion Horaria					
	1	2	3	4	5
1	160.0	200.0	200.0	200.0	198.6
2	100.0	85.5	68.0	21.4	19.0
3	55.0	19.5	57.0	73.6	117.4

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
Cada Columna indica el numero de Etapa



Potencias Adjudicadas					
	1	2	3	4	5
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
5	125.0	115.0	105.0	95.0	85.0
6	100.0	90.0	110.0	80.0	120.0

Nota :

Cada Fila indica Cada uno De los Nodos Del sistema
 Cada Columna indica el numero de Etapa

Angulo Nodal					
	1	2	3	4	5
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-1.97	-6.08	-7.69	-9.30	-10.57
3	-3.09	-9.20	-7.50	-5.80	-4.10
4	-6.46	-9.20	-9.20	-9.20	-9.20
5	-7.63	-8.50	-8.50	-8.50	-8.38
6	-6.64	-11.16	-12.23	-11.20	-12.91

Flujos de Potencia en los elementos de la red

Del Nodo	1	al Nodo	4	Con un Flujo de	70.18651 MW	para la etapa	1
Del Nodo	1	al Nodo	5	Con un Flujo de	89.81343 MW	para la etapa	1
Del Nodo	2	al Nodo	5	Con un Flujo de	35.18654 MW	para la etapa	1
Del Nodo	2	al Nodo	6	Con un Flujo de	64.81345 MW	para la etapa	1
Del Nodo	3	al Nodo	4	Con un Flujo de	19.81347 MW	para la etapa	1
Del Nodo	3	al Nodo	6	Con un Flujo de	35.18659 MW	para la etapa	1
Del Nodo	4	al Nodo	1	Con un Flujo de	-70.18651 MW	para la etapa	1
Del Nodo	4	al Nodo	3	Con un Flujo de	-19.81347 MW	para la etapa	1
Del Nodo	5	al Nodo	1	Con un Flujo de	-89.81343 MW	para la etapa	1
Del Nodo	5	al Nodo	2	Con un Flujo de	-35.18654 MW	para la etapa	1
Del Nodo	6	al Nodo	2	Con un Flujo de	-64.81345 MW	para la etapa	1
Del Nodo	6	al Nodo	3	Con un Flujo de	-35.18658 MW	para la etapa	1



Del Nodo	1 al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995 MW para la etapa	2
Del Nodo	1 al Nodo	5	Con un Flujo de	99.99997 MW para la etapa	2
Del Nodo	2 al Nodo	5	Con un Flujo de	15.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	2 al Nodo	6	Con un Flujo de	70.52666 MW para la etapa	2
Del Nodo	3 al Nodo	4	Con un Flujo de	0.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	3 al Nodo	6	Con un Flujo de	19.47342 MW para la etapa	2
Del Nodo	4 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995 MW para la etapa	2
Del Nodo	4 al Nodo	3	Con un Flujo de	0.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	5 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99997 MW para la etapa	2
Del Nodo	5 al Nodo	2	Con un Flujo de	-15.00000 MW para la etapa	2
Del Nodo	6 al Nodo	2	Con un Flujo de	-70.52666 MW para la etapa	2
Del Nodo	6 al Nodo	3	Con un Flujo de	-19.47342 MW para la etapa	2
Del Nodo	1 al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995 MW para la etapa	3
Del Nodo	1 al Nodo	5	Con un Flujo de	99.99997 MW para la etapa	3
Del Nodo	2 al Nodo	5	Con un Flujo de	5.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	2 al Nodo	6	Con un Flujo de	63.03824 MW para la etapa	3
Del Nodo	3 al Nodo	4	Con un Flujo de	10.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	3 al Nodo	6	Con un Flujo de	46.96186 MW para la etapa	3
Del Nodo	4 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995 MW para la etapa	3
Del Nodo	4 al Nodo	3	Con un Flujo de	-10.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	5 al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99997 MW para la etapa	3
Del Nodo	5 al Nodo	2	Con un Flujo de	-5.00000 MW para la etapa	3
Del Nodo	6 al Nodo	2	Con un Flujo de	-63.03824 MW para la etapa	3
Del Nodo	6 al Nodo	3	Con un Flujo de	-46.96186 MW para la etapa	3



Apéndice J

Del Nodo	1	al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995	MW para la etapa	4
Del Nodo	1	al Nodo	5	Con un Flujo de	99.99997	MW para la etapa	4
Del Nodo	2	al Nodo	5	Con un Flujo de	-5.00000	MW para la etapa	4
Del Nodo	2	al Nodo	6	Con un Flujo de	26.38313	MW para la etapa	4
Del Nodo	3	al Nodo	4	Con un Flujo de	20.00001	MW para la etapa	4
Del Nodo	3	al Nodo	6	Con un Flujo de	53.61695	MW para la etapa	4
Del Nodo	4	al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995	MW para la etapa	4
Del Nodo	4	al Nodo	3	Con un Flujo de	-20.00001	MW para la etapa	4
Del Nodo	5	al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99997	MW para la etapa	4
Del Nodo	5	al Nodo	2	Con un Flujo de	5.00000	MW para la etapa	4
Del Nodo	6	al Nodo	2	Con un Flujo de	-26.38313	MW para la etapa	4
Del Nodo	6	al Nodo	3	Con un Flujo de	-53.61694	MW para la etapa	4
Del Nodo	1	al Nodo	4	Con un Flujo de	99.99995	MW para la etapa	5
Del Nodo	1	al Nodo	5	Con un Flujo de	98.58115	MW para la etapa	5
Del Nodo	2	al Nodo	5	Con un Flujo de	-13.58120	MW para la etapa	5
Del Nodo	2	al Nodo	6	Con un Flujo de	32.58119	MW para la etapa	5
Del Nodo	3	al Nodo	4	Con un Flujo de	30.00002	MW para la etapa	5
Del Nodo	3	al Nodo	6	Con un Flujo de	87.41888	MW para la etapa	5
Del Nodo	4	al Nodo	1	Con un Flujo de	-99.99995	MW para la etapa	5
Del Nodo	4	al Nodo	3	Con un Flujo de	-30.00002	MW para la etapa	5
Del Nodo	5	al Nodo	1	Con un Flujo de	-98.58115	MW para la etapa	5
Del Nodo	5	al Nodo	2	Con un Flujo de	13.58120	MW para la etapa	5
Del Nodo	6	al Nodo	2	Con un Flujo de	-32.58120	MW para la etapa	5
Del Nodo	6	al Nodo	3	Con un Flujo de	-87.41888	MW para la etapa	5